Biblioteka Główna i OINT
Politechniki Wrocławskiej
100100212731

BLÜCHER

MODERNE TECHNIK

B 227
m
Archiwum
(Tafelbd nur im Lesesaale)

Moderne Technik.

Moderne Technik.

Die wichtigsten Gebiete der

Maschinentechnik und Verkehrstechnik

allgemeinverständlich dargestellt und erläutert durch

zerlegbare Modelle.

Unter Mitarbeit von

Regierungsbaumeister **B. Albrecht**, Ingenieur **H. Hagmann**, Regierungsbaumeister **C. Klug**, Ingenieur **M. Prüssing**, Dipl. Ing. **P. Reiniger**, Postrat **E. Schewe**, Prof. Dr. **W. Strecker**, Admiralitätsrat **G. Wislicenus**, Regierungsrat Dr. **A. Witt**

herausgegeben von

Ingenieur **H. Blücher.**

Mit 1391 Abbildungen im Text und 15 zerlegbaren Modellen.

Textband.

POLITECHNIKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA WROCŁAWSKA

TECHNISCHEN HOCHSCHULE

Leipzig und Wien.

Bibliographisches Institut.

1912.

1932. 857.

Vm. 18246.

Alle Rechte vorbehalten.
Copyright 1912 by Bibliographisches Institut Meyer, Leipzig.

3502467/1

Vorwort.

Das vorliegende Werk beabsichtigt, die wichtigsten Gebiete der Technik, die bedeutsamsten Maschinen und Maschinengruppen klar und jedem verständlich darzustellen.

Dabei bedient es sich zur Erhöhung der Anschaulichkeit *aufklappbarer Pappmodelle*, die besonders hervorragende oder aber für das Verständnis der Kapitel wesentliche Maschinentypen und anderes in allen Einzelheiten wiedergeben.

Bücher mit ähnlicher Tendenz gibt es wohl schon, jedoch ist das sonst dargebotene Modellmaterial durchweg auf veralteten Konstruktionen aufgebaut und erlaubt darum nur beschränkte Rückschlüsse auf den gegenwärtigen Stand der Technik. Dagegen veranschaulicht das vorliegende Werk ohne jede Einschränkung nur modernste Maschinentypen in Modellform.

Der Textband, der das Material der Modelle erst dem Verständnis erschließen muß, befleißigt sich einer durchaus allgemeinverständlichen Darstellung. Er wird dabei unterstützt von einer sehr großen Zahl von Illustrationen und bemüht sich, die Fäden, die zwischen den einzelnen Abteilungen bestehen, überall durch die Art der Textbehandlung und durch entsprechende Vor- und Rückverweise zusammenzuknüpfen.

Das Werk geht, im Gegensatz zu anderen ähnlichen, bewußt nicht auf die Einzelheiten des Maschinenbaues ein, bespricht also nicht die Maschinenelemente, wie Lager, Wellen, Zahnräder usw. Vielmehr sieht es seine Aufgabe darin, die *Wirkungsart* und die *Konstruktionsgrundsätze* der wichtigen Maschinen auf leichtfaßliche Weise zu erklären. Dabei betrachtet es die eigentlichen Maschinen nicht losgelöst von ihrem Verwendungszweck, vielmehr nur als Teile des letzteren, der infolgedessen auch die entsprechende Berücksichtigung und Erörterung findet. So ist die Lokomotive nur als Triebwerkzeug der Eisenbahnen behandelt, und demgemäß haben in der zugehörigen Abteilung außerdem der Eisenbahnbau, die Bahnanlagen, Sicherungsvorrichtungen, Eisenbahnwagen, Bremsen usw. Besprechung gefunden. Ähnlich ist es mit dem Schiffbau, der Luftfahrt u. a.

Gerade dieses Loslösen von zu enger Begrenzung dürfen wir wohl als einen Vorzug des Buches in Anspruch nehmen. Es will kein Lehrbuch des Maschinen*baues* sein, sondern ein großzügiges Erläuterungs- und Lehrwerk, das die wichtigsten technischen Gebiete zusammenfaßt; ein Führer, der auch den Neuling sicher leitet, und zwar nicht zu verstaubten Typen, die nur noch in Sammlungen ihr Dasein fristen, aber längst nicht mehr praktisch verwendet werden oder es vielleicht niemals wurden. Nein, wir führen den Leser unmittelbar auf das große Feld der Technik und zeigen ihm, wie sie wirklich ist und schafft, wie sie in unseren Tagen wirkt und was sie uns an Erzeugnissen schenkt. Daß trotzdem, und obwohl die modernen Maschinen mit ihrer Vervollkommnung auch immer komplizierter geworden sind, die Art der Darstellung auch dem Nichtfachmann das Verständnis zu erschließen geeignet ist, glauben wir behaupten zu dürfen.

Als Leserkreis denken wir uns vor allem das große Heer jener, die in der Technik als Lernende stehen, und zwar vom Studierenden der Technischen Hochschule hinab bis zum Praktiker der Maschinenwerkstatt. Dazu kommt der gewaltige Kreis aller, die sich überhaupt für Technik interessieren — für diese moderne Technik, die die Allbeherrscherin unserer Kulturwelt geworden ist. Der Modellband mit seinen Klappmodellen und den zugehörigen ausführlichen Beschreibungen wird auch für den schon fertigen Ingenieur manches Neue und ihn Interessierende enthalten, da eben den Modellen nur durchaus neuzeitliche und hervorragende Typen zugrunde gelegt

sind, und da sich darin mancherlei verkörpert, was sonst noch nicht bekannt war bzw. bisher noch geheimgehalten worden ist.

Um den beabsichtigten Zweck zu erreichen, auch den Uneingeweihten zu vollem Verständnis zu führen, mußten wir eine gewisse Breite der Darstellung maßgebend sein lassen. Das aber zwang wiederum dazu, den Kreis des zu behandelnden Stoffes erheblich einzuschränken. Nicht konnte daran gedacht werden, das ganze gewaltige Gebiet der Technik auch nur in flüchtigen Umrissen zu skizzieren, sondern wir mußten eine Auswahl treffen, um dafür innerhalb der verbleibenden Materien entsprechend mehr zu bieten, ohne doch den wünschenswerten Gesamtumfang des Textes zu überschreiten.

Das in dem Buche behandelte Material läßt sich in drei große Abschnitte gliedern. Davon umgreift der erste die *Kraftmaschinen (Motoren)* und der zweite die *Arbeitsmaschinen*, während im dritten die Technik des *Verkehrs* zu ihrem Rechte gekommen ist.

Der Abschnitt der Kraftmaschinen gliedert sich in Wind- und Wassermotoren, Dampfkraftmaschinen und Verbrennungsmaschinen; die sich daran schließenden Elektromotoren sind, um das Verständnis zu erleichtern und den Zusammenhang aufrechtzuerhalten, in den Abteilungen Elektrotechnik I und II mit allem sonst Wesentlichen dieses Gebietes zusammen behandelt.

Der Abschnitt über Arbeitsmaschinen kann naturgemäß auch nicht etwa lückenlos sein, vielmehr mußten zahlreiche Spezialmaschinen (z. B. diejenigen der Textilindustrie) übergangen werden. Aber er gibt doch ein gutes Übersichtsbild von diesem wichtigsten, weil dem eigentlichen *Zweck*gebiet der Maschinentechnik. Das immer bedeutsamer werdende Feld der landwirtschaftlichen Maschinen ist in einer besonderen Abteilung von den Arbeitsmaschinen abgezweigt worden, schon um ihm einen besonderen Spezialbearbeiter geben zu können.

Zu dem Abschnitt „Verkehrswesen" zählen die Abteilungen, die den Verkehr auf der Straße (Fahrräder und Motorwagen), auf Schienen (Eisenbahnen), auf dem Wasser (Schiffahrt), in der Luft (Luftschiffahrt und Flugwesen) sowie den Nachrichtenverkehr (Telegraphie, Fernsprechwesen und Radiotelegraphie) umfassen. Es sind ja auch hier überall „Arbeitsmaschinen" wirksam, aber es schien doch angemessener, die Verkehrsmaschinen bei ihrem Verwendungszweck zu behandeln, hat doch das Wort, daß wir „im Zeichen des Verkehrs" stehen, für das 20. Jahrhundert noch mehr als für das 19. Geltung, nachdem sich auch der Luftverkehr so überraschend schnell entwickelt hat und nachdem auch die Radiotelegraphie zu einem Faktor von so überragender Bedeutung geworden ist.

Wenn der Herausgeber hoffen darf, daß sein Werk den Plan verwirklicht, den er dafür aufgestellt hatte, so dankt er das zu einem großen Teil der hingebenden Tätigkeit seiner Mitarbeiter, die in jeder Hinsicht bemüht waren, ihr Bestes zu geben, und oft genug eigene Wünsche zurückgestellt haben, um das Werk im Sinne des Herausgebers zu einem einheitlichen Ganzen werden zu lassen.

Weiter hat der Herausgeber die angenehme Pflicht, an dieser Stelle den vielen hervorragenden Firmen zu danken, die ihn in uneigennütziger Weise mit Konstruktionszeichnungen ihrer neuesten Maschinen für die Modellherstellung und mit Illustrationsmaterial aller Art für den Textband unterstützt haben.

Endlich gebührt dem Verlage der wärmste Dank für die Bereitwilligkeit, mit der er ohne Rücksicht auf die Kosten alle Wünsche des Herausgebers erfüllt hat. Das reiche Illustrationsmaterial und die schöne Ausstattung des Werkes sprechen in dieser Hinsicht für sich selbst.

Leipzig, im Juli 1912.

H. Blücher.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Einleitung 1
Die Wind- und Wassermotoren 5
A. Die Windmotoren 5
I. Einleitung 5
II. Arten von Windmotoren 7
1. Windmotoren mit offenen Windfängen 7
2. Windmotoren mit geschlossenen Windfängen 11
B. Die Wassermotoren 18
I. Einleitung 18
II. Wasserräder 20
III. Turbinen 23
1. Einteilung der Turbinen 24
2. Hauptteile der Turbinen 25
3. Turbinensysteme 25
Die Dampfkraftmaschinen 37
A. Die Dampfkessel 37
I. Die Feuerungsanlage 38
II. Die Kessel 41
1. Walzenkessel 42
2. Flammrohrkessel 43
3. Heizrohrkessel 43
4. Wasserrohrkessel 45
III. Die Dampfkesselarmatur 47
IV. Die Zubehörteile 49
B. Die Dampfmaschinen 50
I. Allgemeines 50
II. Die Kolbendampfmaschinen 51
1. Die Steuerungen 56
2. Die Umsteuerung der Dampfmaschine 64
3. Die Reguliervorrichtungen der Dampfmaschine 65
4. Die Kondensation 67
5. Die verschiedenen Bauarten der Dampfmaschinen 71
Die Lokomobilen 79
III. Die Dampfturbinen 82
1. Allgemeines 82
2. Die Dampfturbinensysteme 83
3. Verschiedene Bauarten der Dampfturbinen 86
IV. Abdampfverwertung 92
Die Verbrennungsmaschinen 93
A. Einleitung 93
Allgemeines 94
B. Die Betriebsstoffe 98
Gasgeneratoren 100
Vergaser (Karburator) 105

Seite

C. Einzelheiten der Verbrennungsmaschinen 107
1. Mischvorrichtungen 107
2. Steuerung und Regelung 108
3. Zündvorrichtungen 113
4. Kühleinrichtungen 115
5. Anlaßvorrichtungen 119
6. Schalldämpfungsmittel 121
D. Die bauliche Gesamtanordnung der Verbrennungsmaschinen 122
I. Die Viertaktmaschinen 122
1. Ortfeste Maschinen 122
2. Fahrbare Maschinen 128
II. Die Zweitaktmaschinen 131
1. Ortfeste Maschinen 131
2. Fahrbare Maschinen 136
E. Die Gleichdruckmaschinen 138
F. Die Gasturbine 145
Elektrotechnik. I. 146
A. Einleitung 146
B. Elektrotechnische Grundbegriffe . . . 147
C. Anwendungen der Elektrizität 157
I. Maschinen 157
1. Generatoren 157
2. Motoren 172
3. Umformer 177
II. Transformatoren 179
III. Akkumulatoren 180
IV. Meßinstrumente 184
1. Strom-, Spannungs- und Leistungszeiger 184
2. Zähler 187
V. Apparate 188
1. Hilfsapparate 188
a) Widerstände 188
b) Schalter 189
c) Sicherungen 189
d) Blitzschutzvorrichtungen 190
2. Koch- und Heizapparate 191
3. Magnete 192
VI. Schaltanlagen 193
VII. Leitungen 194
1. Freileitungen 194
2. Kabel 195
3. Leitungen innerhalb von Gebäuden 195
VIII. Kraftstationen 196
IX. Kraftübertragung und Kraftverteilung 196
1. Kraftübertragung 196

Seite

2. Kraftverteilung 197
a) Gleichstromsysteme 197
b) Drehstromsystem 198
c) Kombiniertes System 198
X. Verwendungsgebiete der Elektromotoren 198

Elektrotechnik. II. 201
A. Elektrisches Licht 201
I. Bogenlampen 201
1. Regulierungsvorrichtungen 202
2. Lampen mit offenem Lichtbogen . 204
3. Lampen mit eingeschlossenem Lichtbogen 208
4. Wechselstrombogenlampen 209
5. Verwendung der Bogenlampen . . 211
6. Quecksilberdampflampen 212
II. Glühlampen 213
1. Kohlenfadenglühlampen 213
2. Metallfadenglühlampen 215
3. Nernstlampe 216
B. Elektrische Bahnen 216
I. Elektrische Straßenbahnen 217
1. Straßenbahnen mit oberirdischer Stromzuführung 217
2. Straßenbahnen mit unterirdischer Stromzuführung 219
3. Straßenbahnen mit Akkumulatorenwagen 220
II. Elektrische Fernbahnen 220
1. Vollbahnen mit Gleichstrom . . . 221
2. Vollbahnen mit Wechselstrom . . . 222
III. Elektrische Industriebahnen 226
IV. Elektrische Bahnen ohne Stromzuleitung. 226
1. Akkumulator-Triebwagen 226
2. Benzolelektrischer Triebwagen . . . 227
V. Gleislose elektrische Bahnen 228

Die Arbeitsmaschinen 230
Einleitung 230
A. Lasthebemaschinen 231
1. Krane 231
2. Hebeladen 235
3. Flaschenzüge 236
4. Winden (Windwerke) 238
B. Pumpen 242
1. Kolbenpumpen 242
2. Rotationspumpen 247
3. Zentrifugalpumpen 248
C. Gebläse 250
D. Kompressoren 253
E. Mühlen 255
I. Zerkleinerungsmaschinen für allgemeine Zwecke 255
1. Stampf- oder Pochwerke 255
2. Maul- oder Steinbrecher 256
3. Schlagstiftmaschinen (Desintegratoren) 256
4. Fliehkraftkugelmühlen 256

Seite

5. Trommelkugelmühlen 257
6. Brechwalzwerke 258
7. Kegelmühlen 258
8. Kollergänge 258
9. Pendelmühlen 259
10. Mahlgänge 259
II. Maschinen zum Vermahlen von Getreide zu Mehl 259
1. Vorbereitungsmaschinen 259
2. Steingänge 261
3. Walzenstühle 263
4. Auflösstühle (Detacheure) 263
5. Sicht- und Putzmaschinen 264
6. Mehlmischvorrichtungen 265
F. Maschinen zur Verarbeitung von Ton und zur Ziegelfabrikation 266
1. Tonschneider 266
2. Ziegelpressen 267
3. Abschneideapparate 268
4. Trockenpressen 268
G. Steinbearbeitung 268
1. Sägen 269
2. Bohren 270
3. Hobeln 271
4. Drehen 271
5. Schleifen und Polieren 272
H. Holzbearbeitung 273
1. Sägen 273
2. Hobeln 276
3. Stemmaschinen 279
4. Bohren 280
5. Fräsen 280
6. Drehen 282
J. Metallbearbeitungsmaschinen 282
1. Walzen 282
2. Ziehen 284
3. Hämmern 285
4. Schweißen 285
5. Pressen 286
6. Biegen 287
7. Scheren 288
8. Lochen 289
9. Drehen 291
10. Bohren 295
11. Sägen 296
12. Fräsen 297
13. Schleifen 300
14. Hobeln 300
K. Buchbindereimaschinen 301
1. Heftmaschinen 301
2. Falzmaschinen 304
3. Beschneidemaschinen 307
L. Buchdruckpressen 307
1. Schnellpressen 307
2. Rotationsmaschinen 311

Die landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen 313
A. Einleitung 313

Seite

B. Maschinen und Geräte zur Bodenbearbeitung 313
I. Pflüge 314
1. Gespannpflüge 314
a) Pflüge zum Wenden des Bodens 314
b) Pflüge zum Lockern des Bodens 318
2. Motorenpflüge 319
II. Kultivatoren 322
1. Grubber 322
2. Exstirpatoren 323
3. Skarifikatoren 323
4. Federzahnkultivatoren 323
III. Eggen 324
1. Krümmer 324
2. Eigentliche Eggen 324
IV. Schleifen und Hobel 326
1. Ackerschleifen 326
2. Wiesenhobel 327
V. Walzen 327
1. Glattwalzen 327
2. Gliederwalzen 327
3. Stachelwalzen oder Walzeneggen . 328
C. Die Sämaschinen 329
1. Breitsämaschinen 329
2. Drillmaschinen 330
3. Dibbelmaschinen 333
4. Kombinierte Maschinen 334
D. Geräte und Maschinen zur Aussaat von Kartoffeln 334
1. Legemaschinen 334
2. Pflanzlochgeräte 335
3. Zudeckgeräte 335
E. Geräte und Maschinen zur Düngung 336
1. Düngermühlen 336
2. Breitdüngerstreumaschinen 336
3. Reihendüngerstreuer 337
F. Geräte und Maschinen zur Pflege der Pflanzen 337
1. Hackgeräte 337
2. Jätemaschinen 339
G. Geräte und Maschinen zur Ernte . . . 340
I. Mähmaschinen 340
1. Grasmähmaschinen 340
2. Getreidemähmaschinen mit Selbstablage 341
3. Kombinierte Mähmaschinen 342
4. Garbenbinder (Mähmaschinen mit Garbenbindeapparaten) 343
II. Geräte und Maschinen zur Heuernte . . 344
1. Heuwender 344
2. Heurechen 346
3. Schwadenrechen 346
4. Heulader 347
III. Geräte und Maschinen zur Kartoffelernte 347
1. Rodepflüge 347
2. Kartoffelerntemaschinen 347
IV. Maschinen zur Rübenernte 349

Seite

H. Maschinen zur Körnergewinnung . . . 350
I. Dreschmaschinen 350
1. Handdreschmaschinen 350
2. Göpeldreschmaschinen 351
II. Reinigungs- und Sortiermaschinen . . 352
1. Getreidereinigungsmaschine 352
2. Windfege 353
3. Trieure 353
4. Schleudermaschinen 355
5. Kartoffelsortiermaschinen 355
J. Heu-, Stroh- und Grünfutterpressen 355
1. Heu- und Strohpressen 355
2. Grünfutterpressen 357
K. Maschinen für die Futterzubereitung 357
I. Futterschneidemaschinen 357
II. Körner-Zerkleinerungsmaschinen . . . 359
1. Mahlgänge 359
2. Schrotmühlen 359
3. Quetschmühlen 359
III. Kartoffel- und Rüben-Zubereitungsmaschinen 360
1. Waschmaschinen 360
2. Rübenschneider 360

Fahrräder, Motorräder und Motorwagen . 362
A. Fahrräder 362
I. Allgemeines 362
II. Einzelheiten des Zweirades 365
1. Die Räder 367
2. Der Rahmen 368
3. Die Lenkungsvorrichtung 369
4. Das Getriebe 369
5. Ausrüstungsteile 372
6. Leistung 373
III. Mehrsitzer und Dreiräder 374
B. Motorräder 374
I. Allgemeines 374
II. Einzelheiten des Motorrades 374
1. Die Räder 375
2. Der Rahmen 376
3. Der Motor 376
4. Die Kraftübertragung 379
5. Bremsvorrichtungen 380
6. Zubehörteile 380
7. Leistung 381
III. Das leichte Motorrad 381
C. Motorwagen 381
I. Allgemeines 381
II. Einzelheiten des Benzinwagens . . . 382
1. Die Räder 384
2. Der Rahmen 386
3. Der Motor 387
4. Die Kraftübertragung 388
5. Die Lenkungsvorrichtung 391
6. Bremsvorrichtungen 392
7. Zubehörteile 393
8. Karosserie 394
9. Leistung 395

Seite

III. Wagen für Sport- und andere Zwecke 395
IV. Die Verwendung anderer Brennstoffe . 397
V. Wagen mit Expansionsmotoren . . . 398
VI. Das Elektromobil 399

Das Eisenbahnwesen 401
A. Allgemeines 401
B. Bau der Eisenbahnstrecke 406
1. Vorarbeiten 407
2. Unterbau 408
3. Oberbau 409
4. Betriebseinrichtungen 413
C. Bahnhöfe, Betriebs- und Sicherungsanlagen 415
I. Bahnhöfe 415
II. Betriebs- und Sicherungsanlagen . . . 418
1. Mast- und Vorsignale 419
2. Signale am Zuge 419
3. Streckenblockung 419
D. Eisenbahnfahrzeuge 423
I. Lokomotiven 423
1. Einleitung 423
2. Lokomotivkessel 426
3. Dampfmaschine und Triebwerk . . 430
4. Rahmen und Laufwerk 435
5. Beschreibung einiger ausgeführter Lokomotiven für normalspurige Hauptbahnen 438
6. Besondere Lokomotiven 441
7. Tender 448
8. Wasserversorgung der Eisenbahnen . 448
II. Eisenbahnwagen 450
1. Allgemeines 450
2. Personenwagen 453
3. Güterwagen 454
4. Heizung und Lüftung der Eisenbahnwagen 455
5. Beleuchtung der Wagen 456
6. Eisenbahnbremsen 457

Schiffahrt 463
A. Boote und Küstenfahrzeuge 463
I. Allgemeines 463
II. Bootsbau 464
III. Küstenfahrzeuge 468
IV. Dampfbeiboote 469
V. Motorboote 470
B. Seeschiffe 472
I. Segelschiffe 472
II. Dampfschiffe 478
1. Schiffbau 478
2. Schiffsmaschinen 490
3. Schiffsausrüstung 498
4. Die wichtigsten Arten von Seehandelsdampfern 505
C. Flußdampfer 512
D. Kriegsschiffe 517
1. Linienschiffe 517

Seite

2. Panzerkreuzer 520
3. Schnellkreuzer 521
4. Torpedofahrzeuge 522
5. Unterseeboote 523
E. Schiffahrtsbehelfe 525
I. Schiffahrtsbehelfe an Bord 525
II. Schiffahrtsbehelfe am Lande und auf See 526

Luftfahrt 533
Einleitung 533
A. Luftschiffahrt 535
I. Grundbegriffe der Luftschiffahrt . . . 535
II. Ballone ohne Motor 537
1. Der Freiballon 537
2. Der Fesselballon 538
III. Ballone mit Motor (Luftschiffe) . . . 539
1. Einteilung der Luftschiffe 539
2. Luftschiffe mit Ballonet (Prallschiffe) 540
a) Unstarre Luftschiffe 540
b) Halbstarre Luftschiffe 545
3. Luftschiffe ohne Ballonet (Starrschiffe) 549
B. Flugtechnik 553
I. Allgemeines 553
1. Grundbegriffe der Flugtechnik . . 553
2. Einteilung der Drachenflugzeuge . 555
3. Allgemeine Konstruktionsprinzipien der Drachenflugzeuge 556
II. Drachenflugzeuge 557
1. Zweidecker 557
2. Eindecker 566
C. Antriebsorgane für Luftschiffe und Flugzeuge 572
I. Motoren 572
II. Propeller 573

Telegraphie, Telephonie und Radiotelegraphie 575
A. Telegraph 575
1. Allgemeines 575
2. Morseapparat 577
3. Wheatstonescher Maschinentelegraph 581
4. Hughes-Typendrucker 583
5. Vielfachtelegraphen 583
6. Schnelltelegraphen 586
B. Fernsprecher 591
I. Apparate 591
1. Telephon 591
2. Mikrophon 591
3. Fernsprechgehäuse 593
II. Fernsprechzentralen 595
1. Umschalteapparate 596
2. Zentralbatteriesystem 599
3. Selbstanschlußämter 604
C. Radiotelegraphie 610
1. Allgemeines 610
2. Radiotelegraphische Systeme . . . 614
D. Radiotelephonie 621

Einleitung.

Den Angelpunkt der modernen Technik bildet die *Maschine*. Im physikalischen Sinne versteht man unter einer Maschine jede Anordnung, die es ermöglicht, irgendeine Kraft nach Angriffspunkt, Richtung oder Größe umzuwandeln, wie dies gerade dem jeweiligen Arbeitszweck entspricht. Auch mehrere dieser drei Faktoren gleichzeitig können geändert werden, jedoch bleibt in allen Fällen die „goldene Regel" der Mechanik in Geltung, wonach das, was an Größe der Kraft gewonnen wird, auf der andern Seite an Hubhöhe oder Schnelligkeit der Leistung wieder verloren geht, und umgekehrt.

Als *einfache* Maschinen bezeichnet man *Hebel, Rolle, schiefe Ebene, Keil* und *Zahnrad*, denn sie lassen sich nicht in noch einfachere Maschinen zerlegen. Alle sonstigen Maschinen sind Verbindungen der einfachen Maschinen und werden demgemäß *zusammengesetzte* Maschinen genannt.

Die Technik versteht unter einer Maschine eine Verbindung widerstandsfähiger Körper, die so eingerichtet ist, daß mittels ihrer mechanische Naturkräfte gezwungen werden können, unter bestimmten Bewegungen zu wirken. Diese Begriffserklärung der Maschine, die von Reuleaux herrührt, ist von anderen Gelehrten angefochten und geändert worden; jedenfalls ist es schwer, eine präzise und für sämtliche Maschinen allgemeingültige Definition in wenige Worte zu fassen.

Was die Allgemeinheit „Kraft" nennt, bezeichnet die Technik als *Energie*, und sie versteht darunter die Fähigkeit, Arbeit zu leisten. Zieht man eine Gewichtsuhr auf, so bleibt das Uhrgewicht anscheinend in demselben Zustand, aber es hat die Fähigkeit gewonnen, beim Herabsinken Arbeit zu leisten, d. h. es ist in ihm Arbeitsfähigkeit aufgespeichert worden. Die Energie, die es beim Aufziehen, d. h. durch die Muskelarbeit der aufziehenden Person, gewonnen hat, nennt man *Energie der Lage*. Ein Wasserrad, das durch das Gewicht des in die Schaufeln einfließenden Wassers in Drehung versetzt wird und Arbeit leisten kann, verdankt dies der Energie der Lage, die in dem Wasser aufgespeichert ist. Befindet sich das Uhrgewicht am Boden, und langt das fließende Wasser im Meer an, so sind ihre Energien vernichtet, da ihre Lage mit der tiefsten, unter den gegebenen Verhältnissen möglichen Fläche zusammenfällt. Das Uhrgewicht könnte aber noch weiter Arbeit leisten, wenn man es in einen Schacht hineinsinken ließe, und ebenso verhält es sich mit dem Wasser am Meeresspiegel, das auch noch Energie der Lage wirksam werden lassen könnte, sobald man es etwa in ein tiefes Bergwerk hineinfließen ließe. Auch bei einer Federuhr schafft die Muskelarbeit des Aufziehens Energie, und zwar bezeichnet man die der Stahlfeder beim Spannen erteilte Energie als *Spannungsenergie*. Diese ist von der Energie der Lage nicht verschieden; man nennt beide *potentielle Energie*. Zur Messung von Energien bedient man sich der durch sie geleisteten Arbeit, und zwar ist die in der Technik benutzte Einheit der Arbeit das *Meterkilogramm*, ein Maß, das sich auf dem sogenannten „absoluten Maßsystem" aufbaut.

Die physikalische Einheit der Länge ist das Zentimeter (cm), die Einheit der Masse das Gramm (g) und die Einheit der Zeit die Sekunde (sek). Das Zentimeter bestimmt sich als der 1000millionste Teil des Erdquadranten, das Gramm als das Gewicht eines Kubikzentimeters Wasser bei einer Temperatur von 4 Grad C und die Sekunde als der 86400ste Teil des mittleren

Sonnentages. Diese Einheiten nennt man „absolute“ und das auf ihnen aufgebaute Maßsystem das „absolute Maßsystem“ oder auch „cm/g/sek-System“. Geleistete Arbeit mißt man als Produkt aus Kraft mal Weg, und zwar physikalisch in cm und g, technisch aber in Meterkilogramm (mkg). Um einen Körper vom Gewicht p Kilogramm auf s Meter Höhe zu heben, ist eine Arbeit von p.s Meterkilogramm (auch *Kilogrammeter* genannt) notwendig, und dementsprechend würde auch in einem so hoch gehobenen Körper des angegebenen Gewichtes eine potentielle Energie von p.s Kilogrammeter stecken. Es folgt daraus, daß in diesem Produkt jeder der beiden Faktoren ohne Änderung des Resultates geändert werden darf, wenn sich der andere Faktor in gleichem Maße entgegengesetzt ändert. Um z. B. einen Körper von 40 kg Gewicht 20 m hoch zu heben, ist theoretisch eine Arbeit von $40.20 = 800$ mkg notwendig. Mit derselben Arbeitsgröße kann man aber auch 5 kg um 160 m oder 100 kg um 8 m heben usw. — solange das Produkt aus Gewicht und Hubhöhe eben dasselbe bleibt.

Mit *Effekt* oder *Leistung* bezeichnet man die in 1 Sekunde geleistete Arbeit, d. h. die Leistung ist das Produkt aus Kraft mal Weg, bezogen auf die Zeiteinheit. Technisch mißt man die Leistungen nach Meterkilogrammen pro Sekunde (mkg/sek), d. h. man stellt fest, wieviel Kilogramm eine Kraft mit der Geschwindigkeit von 1 m pro Sekunde heben kann oder — was auf dasselbe hinauskommt — mit welcher Geschwindigkeit 1 kg gehoben werden könnte. Zur Messung größerer Leistungen ist das Kilogrammeter eine zu kleine Einheit, und man verwendet dann als Einheit die *Pferdestärke* (PS); dabei ist 1 PS = 75 mkg/sek. 1 PS entspricht also der Leistung, die man aufwenden muß, um 1 kg in 1 sek um 75 m zu heben (bzw. 75 kg in 1 sek um 1 m).

Im Gegensatz zur *potentiellen Energie* (Energie der Lage; ruhende Energie; Spannungsenergie; Spannung) steht die *kinetische Energie* (Energie der Bewegung), die jeder in Bewegung begriffene Körper hat, da er imstande ist, vermöge seiner Geschwindigkeit Arbeit zu leisten. Ein senkrecht in die Höhe geworfener Stein verliert, indem seine Geschwindigkeit während des Steigens durch die Erdanziehung abnimmt, fortwährend von der kinetischen Energie, die ihm zu Beginn seiner Bewegung mitgeteilt worden war; in demselben Maße gewinnt er aber dafür an potentieller Energie. Die Summe beider bleibt konstant, nur daß sich die eine Form in die andere verwandelt. Wenn der Körper, am höchsten Punkte seiner Bahn angelangt, die kinetische Energie vollständig verloren hat, so hat er dafür ebensoviel potentielle Energie gewonnen, und es kann nun bei seinem Fall eine Rückverwandlung eintreten. Die Energie des fallenden Körpers verschwindet auch nicht, wenn er beim Auftreffen auf einen festen Körper seine Geschwindigkeit verliert, sondern sie geht dabei nur in eine andere Form über, nämlich in *Wärme*, d. h. der Körper erwärmt beim Auftreffen den Boden. Eine Arbeit von 424 mkg vermag die Temperatur von 1 kg Wasser um 1^0 zu erhöhen.

Das Prinzip des ganzen geschilderten Vorganges ist nur ein Spezialfall des *Satzes von der Erhaltung der Energie*. Aus diesem folgert die Unmöglichkeit, ein *Perpetuum mobile* zu konstruieren, d. h. eine Vorrichtung, die nach einmaligem Kraftanstoß für immer in Bewegung bleiben und Arbeit verrichten könnte.

Auch die anderen Energieformen sind ineinander verwandelbar, so elastische, elektrische, magnetische, strahlende und chemische Energie.

In den Maschinen werden durch die eingeleitete Kraft Bewegungsvorgänge hervorgerufen; diesen Bewegungen stehen Widerstände entgegen, bei deren Überwindung eben durch die Maschine mechanische Arbeit geleistet wird. Diese mechanische Arbeit teilt sich in *Nutzarbeit* und *Nebenarbeit*. Die Nutzarbeit ist derjenige Teil, der die *Nutzwiderstände* zu überwinden hat, also die Widerstände, deren Natur eben den Zweck der Maschine kennzeichnet. Die Nebenarbeit dagegen hat die *schädlichen* oder *Nebenwiderstände* zu überwinden, ohne die kein Maschinenbetrieb durchzuführen ist. Es gehört hierher vor allem der *Reibungswiderstand* der Maschinenteile gegeneinander, ferner der Luftwiderstand, der Seilbiegungswiderstand usw. Hiernach muß die in die Maschine eingeleitete Energie immer größer sein als die von ihr geleistete Nutzarbeit. Je weniger dabei durch Nebenarbeit verloren geht, um so vollkommener ist die Maschine. Das Verhältnis

zwischen aufgewandter Energie und nutzbar gemachter Arbeitsleistung bezeichnet man als *Wirkungsgrad* oder *Nutzeffekt.*

Bei der Nebenarbeit zur Überwindung der Reibung wird die Bewegungsenergie in schädliche Wärmeenergie umgewandelt. Deshalb ist die Verringerung der Reibungswiderstände eine Hauptaufgabe des Maschinenbaues. Zwecks einer solchen Verringerung müssen alle sich berührenden beweglichen Maschinenteile eine möglichst glatte Oberfläche haben, was noch durch *Schmiermittel* unterstützt wird. Ferner spielt dabei die Art der Bewegung gegeneinander („gleitende" und „rollende" Reibung) eine große Rolle, außerdem das Verhältnis der Härte zwischen den sich berührenden Teilen u. a. m.

Die baulichen Bestandteile, aus denen sich eine Maschine zusammensetzt, nennt man *Maschinenteile* oder *Maschinenelemente.* Man teilt sie zweckmäßig in der folgenden Weise ein:

1. *Verbindende Maschinenteile.*
   a) Lösbar: Keile, Schrauben.
   b) Unlösbar: Niete.
2. *Maschinenteile zur Übertragung der drehenden Bewegung zwischen zwei Wellen.*
   Zahnräder, Reibungsräder, Riemen- und Seiltrieb.
3. *Maschinenteile zur Ausübung einer Drehbewegung.*
   Zapfen, Achsen und Wellen, Kuppelungen, Lager.
4. *Maschinenteile der geradlinigen Bewegung.*
   Seile und Seiltrommeln, Ketten und Kettentrommeln, Kolben und Kolbenstangen, Stopfbüchsen.
5. *Maschinenteile zur Änderung der geradlinigen Bewegung in drehende, und umgekehrt.*
   Kurbelgetriebe, Kurbeln und Exzenter, Schubstangen, Geradführungsteile.
6. *Maschinenteile zur Aufnahme und Fortleitung von Flüssigkeiten.*
   Rohre, Zylinder, Absperrvorrichtungen (Ventile, Schieber, Hähne).
7. *Regelnde Maschinenteile.*
   Schwungräder, Regulatoren.

Die Maschinen zerfallen in die beiden großen Gruppen: 1. *Kraftmaschinen* oder *Motoren* und 2. *Arbeitsmaschinen* oder *Werkmaschinen.*

Die *Kraftmaschinen* oder *Motoren* sind Vorrichtungen, um irgendwelche Naturkräfte aufzunehmen und in Form von Bewegung nutzbar zu machen. Im strengsten Sinne sind Menschen und Tiere selbst Kraftmaschinen („belebte Motoren"), sofern sie durch Muskelkraft mechanische Arbeit leisten. Vielseitig sind schon die Motoren zur Aufnahme der Muskelkräfte von Menschen und Tieren; dazu gehören Hebel, Kurbel, Treträder und Göpel. Viel wichtiger geworden sind die Motoren zur Aufnahme von Elementarkräften. Dazu gehören *Luftkraftmaschinen* (Windräder, Druckluftmotoren), *Wärmekraftmaschinen* (Dampfkraftmaschinen, Verbrennungsmaschinen, Heißluftmaschinen) und *elektrische Maschinen.*

Die *Arbeits-* oder *Werkmaschinen* dienen zur Verrichtung nützlicher Arbeiten und werden von Motoren angetrieben. Hierher gehören 1. Maschinen zur Ortsveränderung, wie Flaschenzüge, Winden, Krane, Aufzüge, Pumpen, Gebläse, Baggermaschinen, alle Arten von Land-, Wasser- und Luftfahrzeugen; 2. Maschinen zur Formveränderung, wie Hämmer, Walzwerke, Werkzeugmaschinen, Zerkleinerungsmaschinen, Dreschmaschinen, Spinn-, Webe- und Nähmaschinen, Buchdruckpressen usw.

Häufig faßt man unter der Bezeichnung *Zwischen-* oder *Transmissionsmaschinen* diejenigen Vorrichtungen zusammen, die zur Übermittelung mechanischer Arbeit von einer Maschine zur anderen dienen, und die wir bereits unter den *Maschinenteilen* aufgezählt haben.

Ferner sind die *Maschinen zum Messen, Zählen* und *Regulieren* zu nennen: Uhren, Tourenzähler (Tachometer), Wagen, Wasser- und Gasmesser und Regulatoren. Die letzteren können anderseits, wie oben geschehen, als regelnde *Maschinenteile* angesehen werden.

Endlich gibt es Maschinen, die gleichzeitig Motoren und Arbeitsmaschinen sind. Dazu gehören z. B. Lokomotive, Dampfpumpe, Drucklufthammer u. a. m.

Die gewaltige Bedeutung der Maschinen liegt darin, daß sie erstens Menschen- und Tierkräfte ersparen und vorteilhaft ersetzen können, daß sie zweitens dem Verkehr eine große Leichtigkeit, Leistungsfähigkeit und Schnelligkeit verschaffen, daß sie drittens die Menge, Güte und Wohlfeilheit der Arbeit erhöhen, endlich daß sie eine große Menge von Arbeiten (und damit von Erzeugnissen) erst ermöglichen, die ohne sie überhaupt nicht herstellbar wären. Die unübersehbare Menge der sogenannten „Massenartikel", die zu verblüffend niedrigen Preisen in den Handel kommen, werden, jeder einzelne für sich, auf besonderen Spezialmaschinen hergestellt, und dieses Gebiet der *Massenfabrikation* ist so recht geeignet, die „Maschine" in ihrer Leistungsfähigkeit zu zeigen. In 50—100 Beschäftigungsarbeiten teilt sich z. B. die Fabrikation einer Taschenuhr, und jede Nähnadel geht durch 90—120 Arbeitsstadien hindurch, bevor sie vollendet ist. Auch die leichte Auswechselbarkeit und Ersetzbarkeit zahlreicher Gebrauchsgegenstände ist nur darauf zurückzuführen, daß ihre Teile (z. B. Schrauben) genau „normalisiert" sind, d. h. durch Maschinen in absolut übereinstimmenden Größenverhältnissen erzeugt werden.

Freilich haben die Maschinen anderseits auf vielen Gebieten der menschlichen Arbeitskraft eine erdrückende Konkurrenz bereitet, aber es hat sich doch herausgestellt, daß sich dieser „Fluch der Maschine" nach einer gewissen Übergangszeit fast immer in Segen verwandelt, indem schließlich durch die Maschinen weit mehr Personen Beschäftigung erhielten, als vorher solche durch sie verloren hatten, und zwar Beschäftigung entweder unmittelbar zur Bedienung der Maschinen, oder mittelbar bei der Weiterverarbeitung, bei der Verpackung, beim Verkauf usw. der Maschinenerzeugnisse.

Die Wind- und Wassermotoren.

Von Ingenieur **H. Blücher**, Leipzig.

A. Die Windmotoren.

I. Einleitung.

Als Windmotoren bezeichnet man Vorrichtungen zur Ausnutzung der Windenergie, d. h. der wagerecht über die Erdoberfläche hinwegstreichenden Luftströmungen.

Der Wind ist eine Kraftquelle, die kostenlos ausnutzbar ist, aber den Nachteil hat, weder ununterbrochen noch in gleicher Stärke ständig zur Verfügung zu stehen. Deshalb wird die Windenergie — mindestens seit Erfindung der Dampfmaschine — bei weitem nicht so hoch geschätzt, wie sie es verdient. Erst in den letzten Jahrzehnten beginnt man wieder mehr Nachdruck auf die motorische Ausnutzung des Windes zu legen: man erforscht immer genauer die Zahl der durchschnittlichen Windtage; man macht genaue Aufzeichnungen über die Häufigkeit verschiedener Windstärken, und man hat endlich den Bau der Windmotoren wesentlich gefördert.

Die als *Wind* bezeichnete Luftbewegung wird durch ungleiche Erwärmung verschiedener Teile der Atmosphäre hervorgerufen. Wo die Luft sich erwärmt — also vor allem um den Äquator — wird sie spezifisch leichter und steigt auf, während sich zum Ausgleich des Luftdrucks dafür kältere Luftströme von den Polen aus dicht über der Erdoberfläche nach dem Äquator hin bewegen. Hoch über der Erdoberfläche muß zum Ausgleich dafür natürlich eine umgekehrte Strömung entstehen, die warme Luft zu den Polen hinführt, wo sie sich wieder abkühlt, zu Boden sinkt und aufs neue nach wärmeren Gegenden strömt. Diese Winde strömen nun aber in Wirklichkeit nicht andauernd von den Polen zum Äquator, sondern werden durch die west-östliche Achsendrehung der Erde aus ihrer Richtung abgelenkt. Die Luft nimmt an der Erddrehung teil, aber da diese an den Polen viel geringer ist als am Äquator, so muß der vom Pol kommende, mit geringer Umdrehungsgeschwindigkeit ausgestattete Wind bei seinem Vordringen zum Äquator immer mehr gegen die Erde zurückbleiben, also den Äquator erst an einem weiter westlich gelegenen Punkte erreichen. Umgekehrt werden die vom Äquator mit großer Umdrehungsgeschwindigkeit kommenden Winde gegen die Pole hin der Erde gegenüber voreilen, also von Südwest nach Nordost strömen. So erklärt es sich, daß die als *Passate* bekannten regelmäßigen Hauptwinde in der Richtung Nordost und Südwest von den Polen zum Äquator strömen und von ihm ausgehen. Auf der nördlichen Halbkugel bringt der vom Pol kommende Nordostwind schwere, kalte und trockene Luft, die auch während seiner weiteren Drehung nach Osten anhält. Beim Zusammentreffen mit dem von Süden kommenden Luftstrom entsteht eine südöstliche Richtung, die gewöhnlich feuchtes Wetter bringt. Allmählich dreht sich der Wind immer mehr nach Süden, bis endlich der vom Äquator kommende Südwest- und Westwind wieder warmes, nasses Wetter verursacht. Wird der vom Nordpol kommende Strom wieder stärker, so drückt er die Windrichtung nach Süden: es entsteht Nordwestwind, der dann in Nordwind übergeht und durch die Erddrehung zum Nordostwind wird. Diese Drehung des Windes wiederholt

sich in ständigem Wechsel. In Deutschland ist die Windrichtung vorherrschend westlich, wird aber im Frühjahr und Sommer mehr nach Norden, im Herbst mehr nach Süden abgelenkt.

Außer den genannten Hauptwinden gibt es noch lokale Winde. So weht an der Meeresküste der Wind am Tage meistens von der See, des Nachts vom Lande her. Im Gebirge strömen die Winde am Tage in den Tälern aufwärts, nachts dagegen abwärts. Alles dies wird bedingt durch die ungleiche Erwärmung und Abkühlung der Luft über Wasser, Land, Gebirge. Daher erhebt sich früh und abends beim Wechsel der Temperatur fast stets ein mehr oder weniger starker Luftzug.

Da die Temperaturen täglich schwanken, so sind auch ganz windstille Tage eine Seltenheit, namentlich in unseren gemäßigten Zonen. Aber trotzdem läßt sich nicht an jedem Tage ein Windmotor treiben. Hierzu muß der Wind eben eine gewisse Stärke haben, doch hat die Vervollkommnung der Windmotoren dahin geführt, daß man jetzt, moderne Motoren vorausgesetzt, schon Windstärken ausnutzen kann, die früher hierfür bei weitem zu gering gewesen wären. Nach langjährigen Beobachtungen genügt etwa an 270—300 Tagen jedes Jahres die Windstärke, um modern konstruierte Windmotoren in Betrieb zu setzen.

Die Kraft des Windes folgert direkt aus der zu messenden Windgeschwindigkeit. Man bezeichnet die Windgeschwindigkeit in Sekundenmetern, so daß ein Wind von 4 Sekundenmetern ein solcher ist, der in 1 Sekunde 4 m zurücklegt. Die Kraft des Windes zeigt sich in dem *Winddruck*, d. h. in dem Druck, mit dem der Wind gegen einen feststehenden Körper stößt. Der Winddruck (N) wächst im Quadrat zur Windgeschwindigkeit (v), und es gilt die Gleichung $N = v^2 \cdot 0{,}12248$ kg pro Quadratmeter.

Für die Schätzung des Windes bedient man sich noch immer meistens der *Beaufort-Skala*. Ihre Beziehungen zur Windgeschwindigkeit, zum Winddruck und zu den eine ungefähre Schätzung der Windstärke ermöglichenden Begleiterscheinungen enthält folgende Tabelle.

Windskala nach Beaufort	Windgeschwindigkeit pro Sekunde in Metern	Bezeichnung der Stärke	Wirkung	Winddruck in Kilogramm pro Quadratmeter $V^2 \cdot 0{,}12248$	Vergleich der Schnelligkeit
0	0—1	still	Kaum merkbar	—	Fussgänger
—	2	sehr schwach	Blätter flattern	0,49	
1	3	schwach		1,10	Reiter im Trab
	4	„	Zweige biegen	1,96	
—	5	mittel		3,06	Reiter im Galopp
2	6	lebhaft	Äste biegen	4,40	Strassenbahn
—	7	kräftig		6,00	Rennpferd
3	8	„	Bäume schwanken	7,84	Güterzug
4	10	stark		12,25	
5	13	sehr stark	Laub reisst ab	20,70	Personenzug
6	15	Sturmwind	Zweige brechen	27,50	
7	18	„		40	Eilzug
8	21	Sturm	Äste splittern	54	
9	25	„	„	76	Schnellzug
10	29	starker Sturm	Bäume brechen	103	
11	34	Orkan	Häuser stürzen	141	Brieftaube
12	40	„	Verheerend	196	—

Die lebendige Kraft des Windes (N), ausgeübt auf die sich drehende Flügelfläche (F), wächst, entsprechend dem Gesetze der Beschleunigung, in der dritten Potenz zur Windgeschwindigkeit (v), so daß die Gleichung besteht: $N = F \cdot v^3 \cdot k$, worin k ein Erfahrungskoeffizient ist.

Nach der Statistik ergibt sich, daß ein Wind

von mindestens 3—4 Sekundenmetern an ca. 250—300 Tagen
„ „ 5 „ „ „ 170—180 „
„ „ 6 „ „ „ 110—120 „
„ „ 7 „ „ „ 60— 70 „

jährlich im Binnenlande weht, und zwar je nach der örtlichen Lage durchschnittlich 6—10 Stunden täglich. An den Küsten und auf Höhen kann man mit etwas mehr Tagen für stärkeren Wind rechnen. Als mittlere Jahresgeschwindigkeit des Windes kann mindestens 4,6 m angesetzt werden, und diese Geschwindigkeit genügt, um einen modernen Windmotor zu treiben.

II. Arten von Windmotoren.

Fast ausschließlich benutzt man Windräder, die senkrecht stehen, also sich um eine wagerechte oder doch nur wenig von der Horizontalen verschiedene Achse drehen. Man kann unterscheiden die Windräder mit *offenen* und diejenigen mit *geschlossenen Windfängen.*

1. Windmotoren mit offenen Windfängen.

Bei diesen Windmotoren besteht das Windrad nur aus einer beschränkten Anzahl (meist 4—6) von Flügeln, zwischen denen sich weite freie Zwischenräume befinden.

a) Windmühlen. Die gewöhnlichen Windmühlen, wie sie meistens zum Mahlen von Getreide Verwendung finden, werden wegen ihrer Billigkeit noch auf lange hinaus einen typischen Faktor der Flachlandschaft bilden, obwohl die Windmühle einen ziemlich unvollkommenen Motor darstellt.

Man unterscheidet die *deutsche Windmühle* oder *Bockwindmühle* von der *holländischen Windmühle* oder *Turmwindmühle.* Diese Unterschiede beziehen sich auf die Art und Weise, wie die Flügel des Windrades gegen den Wind gestellt werden. Denn diese Einstellung der Flügel, derart, daß der Wind von vorn rechtwinklig zur Flügelfläche auf sie trifft, ist notwendig, um den Winddruck richtig auszunutzen.

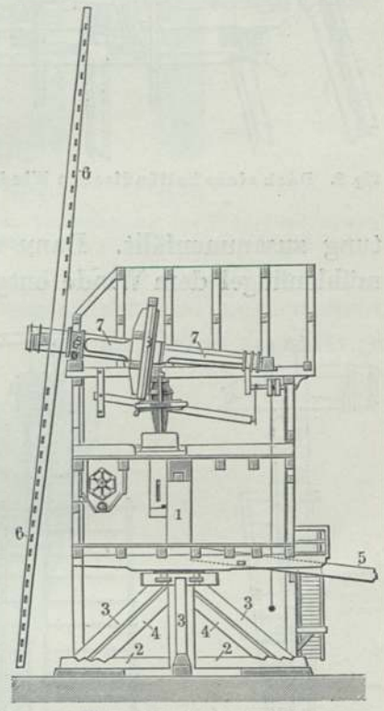


Fig. 1. Bockwindmühle.

Bei der *deutschen Windmühle* (Fig. 1) ruht das ganze, kastenförmige Mühlengebäude drehbar auf einem Balkenbock. Nach hinten ragt aus dem Gebäude ein langer Balken, der *Stert*, heraus, der von Hand oder (seltener) mit Zugtieren als Hebel bewegt wird und so die Drehung des Mühlengebäudes ermöglicht: Der Eichenholzständer 1 *(Hausbaum)*, der durch Balken 2, 3, 4 verstrebt ist und als Tragkörper des ganzen Gebäudes dient, endet in einem Zapfen, um den das Gebäude durch den Stert 5 (in der Figur abgebrochen gezeichnet) gedreht werden kann. Die Windmühlenflügel 6, von denen meist vier vorhanden sind (in dem Schnitt der Figur sind natürlich nur zwei sichtbar), wirken auf die Windradwelle 7; die weitere Energieübertragung geschieht mittels eines Kammrades auf die senkrechte Welle, die den Mühlstein direkt antreibt.

Bei der *holländischen Windmühle* ist der Bau turmartig, massiv und unbeweglich. Nur das Dach, die sogenannte *Haube*, läßt sich drehen. Bei den einfachen derartigen Mühlen wird die Drehung ebenfalls von Hand ausgeführt, mittels eines von der Haube ausgehenden Hebels, der entweder so weit nach unten reicht, daß er dort erfaßt werden kann, oder aber mit einem Strick verbunden ist, an dem man zieht, um die Drehung zu bewirken.

Vielfach trägt die holländische Windmühle aber auch Vorrichtungen, durch die ihre Flügel *selbsttätig* gegen den Wind gedreht werden. Die Haube einer holländischen Windmühle mit selbsttätiger Einstellung des Windrades zeigt Fig. 2: Die Windmühlenflügel 1 sind der Platzersparnis halber nur zum Teil dargestellt. Auf der entgegengesetzten Seite der drehbaren Haube 2 ist ein kleines Windrad 3 angeordnet, dessen Windflächen zu denen der großen Mühlenflügel senkrecht gerichtet sind. Windrad 3 ist lediglich dazu da, die drehbare Haube bzw. die großen Mühlenflügel selbsttätig in die richtige Stellung zu bringen. Nimmt nämlich der Wind

eine Richtung an, die nicht mit der Achse 4 des Windmühlenrades 1 zusammenfällt, so muß das kleine Windrad 3 in Drehung kommen. Durch Vermittelung von Kegelrädern dreht sich hierdurch wieder Welle 5 und setzt mittels der Räder 6 und 7 eine endlose Schraube in Bewegung, die Zahnrad 8 antreibt. Zahnrad 8 greift in einen Zahnkranz ein, der auf der Oberkante des massiven Mühlengebäudes unterhalb der beweglichen Haube liegt. Hierdurch muß bei eintretender Richtungsänderung des Windes Haube 2 durch Windrad 3 selbsttätig gedreht werden, und zwar so lange, bis der Wind das kleine Windrad 3 nicht mehr zu drehen vermag, d. h. bis die Richtung der Achse 4 mit der Windrichtung zusammenfällt. Dann sind aber auch die senkrecht auf der Achse 4 sitzenden Windmühlenflügel dem Winde entgegengerichtet.

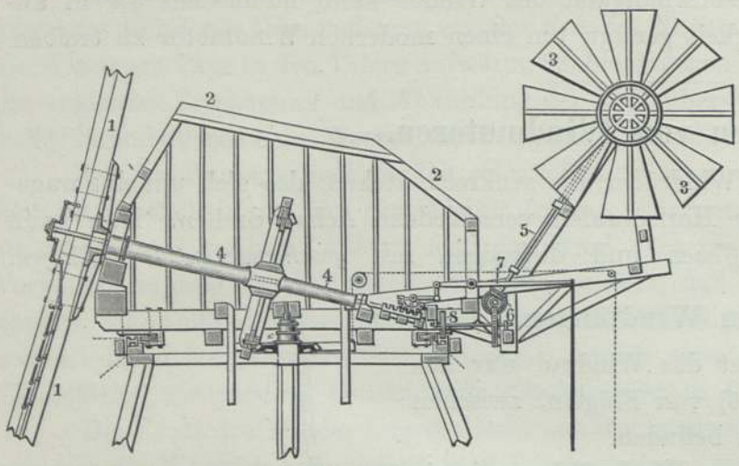


Fig. 2. Dach einer holländischen Windmühle mit selbsttätiger Einstellung.

Damit, daß man die Flügel der Windmühle immer möglichst genau dem Winde entgegenrichtet, um die Windenergie möglichst auszunutzen, ist keineswegs alles getan, was beim Betriebe der Windmühle zu beachten ist. Ja die selbsttätige Einstellung hier ist, wenn nicht noch andere Reguliervorrichtungen hinzukommen, bei starkem Winde sogar unzweckmäßig, weil eine übermäßige Umdrehungsgeschwindigkeit der Windmühle dann nur durch Bremsen verhindert werden kann, was starke Abnutzung und Erhitzung, bei Holzkonstruktionen sogar Feuersgefahr zur Folge hat.

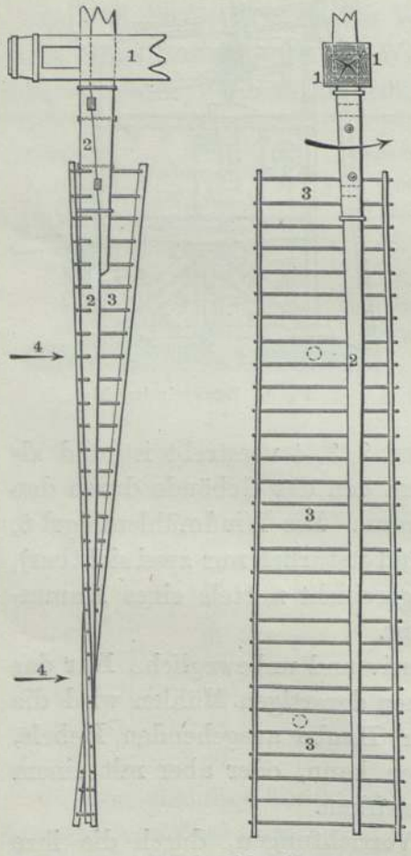


Fig. 3 und 4. Windmühlenflügel (Fig. 3 Seitenansicht, Fig. 4 Vorderansicht).

Die weitere Reguliervorrichtung, die unbedingt hinzukommen muß, besteht darin, daß die vom Winde getroffene Fläche des Windflügelrades in der Größe verändert wird.

Die Konstruktion der Windflügel ist aus den Figuren 3 und 4 ersichtlich. An der Flügelwelle 1, die in der Wand bzw. der Haube des Mühlengebäudes drehbar gelagert ist, sind die Flügel befestigt, und zwar, wie schon gesagt, meist vier, die also dann je 90° Abstand haben. Jeder Flügel besteht aus der *Rute* 2, die sich von der Welle zum Ende hin verjüngt; die Länge jeder Rute beträgt bis zu 25 m. Durch die Rute 2 sind die Sprossen 3 hindurchgesteckt, welche mit Segeltuch überspannt werden; die Segeltuchfläche nimmt dann den Winddruck auf, infolgedessen sich Welle 1 dreht. Wie Fig. 3 zeigt, sind die Sprossen 3 alle in verschiedenen Richtungen zu der Rute 2 angeordnet, so daß die Fläche des Segeltuchs nicht genau rechtwinklig von dem in der Richtung der Pfeile 4 wirkenden Winde getroffen wird.

Um die Flügelbedeckung der Windstärke anzupassen, kann man die Segeltuchfläche verändern, und zwar nach Fig. 5 durch Aufwickeln des Segeltuchs auf eine Walze 1, 2, die über den kurzen Enden der Sprossen vor dem Flügel gelagert ist. Der gegenüberliegende Saum des Segeltuchs wird durch Schnüre gehalten, die über die Saumlatte nach einer hinter dem Flügel gelagerten

Walze 3, 4 laufen, woran sie befestigt sind. Beide Walzen tragen an ihren der Hauptwelle zugekehrten Enden konische Getriebe; von diesen greift das der Welle 3, 4 in einen konischen Zahnkranz 5, der sich um einen an der Hauptwelle befestigten Ring 6 drehen läßt. Die Arme dieses Ringes tragen einen zweiten, kleineren Ring 7, um den ein Stirnradkranz 8 drehbar ist. In diesen greift ein Getriebe ein, das mittels seiner zur Hauptwelle parallelen Achse und eines darauf sitzenden konischen Getriebes die Walze 1, 2 umdreht. Während des regelmäßigen Ganges rotiert dieser ganze Mechanismus mit der Hauptwelle; wird aber 5 angehalten, so dreht sich Walze 3, 4 in ihren Lagern, wickelt die Schnüre auf und zieht das Segeltuch mehr über die Flügel, so daß sich die wirksame Fläche vergrößert. Wird anderseits 8 angehalten, so dreht sich Walze 1, 2 und wickelt mehr Segeltuch auf, so daß die wirksame Fläche verkleinert wird.

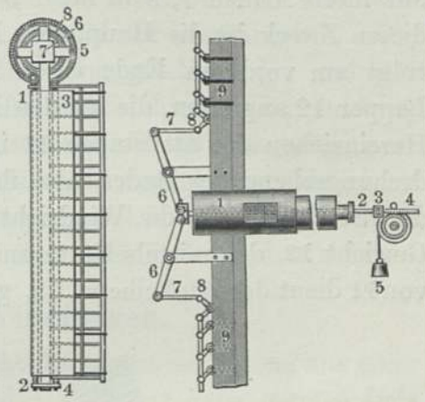


Fig. 5. Fig. 6.

Fig. 5. Veränderung der Flügelbedeckung.
Fig. 6. Regulierung mit Windtüren.

Außer der Bedeckung mit Segeltuch ist auch die Bedeckung mit Holzlatten üblich. Diese, die sogenannten *Windtüren*, werden bei den älteren Konstruktionen einfach nach Bedarf in mehr oder weniger großer Zahl in die Flügel eingesetzt oder entfernt, um die wirksame Fläche zu verändern. Bei den neueren Windmühlen sind die Windtüren jalousieartig angeordnet und werden mehr oder weniger geöffnet, je nachdem der Wind an Stärke zu- oder abnimmt. Eine selbsttätige Kraftregulierung mit Windtüren zeigt Fig. 6. Durch die hohle Hauptwelle 1 geht ein Eisenstab 2 hindurch, der bei 3 so mit einer Zahnstange 4 verkuppelt ist, daß beide sich gleichzeitig der Länge nach verschieben müssen, wobei aber die Drehung von 2 nicht auf 4 übertragen wird. Das Gewicht 5 sucht beide nach links zu schieben und mittels der Hebelwerke 6, 7, 8 die Windtüren 9 zu schließen, während der Wind sie naturgemäß aufzudrücken strebt. Wächst die Windgeschwindigkeit über das Normale hinaus, so öffnen sich die Windtüren je nach dem Übermaß des Windes mehr oder weniger, so daß die Wirkung des Windes auf das Rad nahezu gleich bleibt; der vom Rade zu überwindende Widerstand bestimmt die Geschwindigkeit der Drehbewegung.

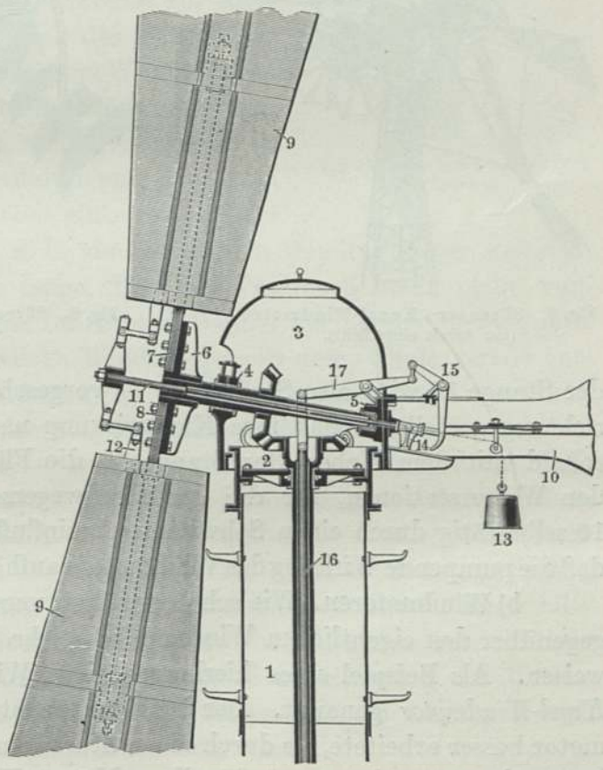


Fig. 7. Kirchwegersches Windrad.

Einen Übergang von den alten Windmühlen zu den vielflügeligen modernen Windrädern bildet das *Kirchwegersche Windrad*, das ganz aus Eisen konstruiert ist und neuerdings vielfach zur Wasserförderung benutzt wird. Die Konstruktion zeigt Fig. 7. Turm 1, auf den der Windmotor aufgesetzt ist, besteht aus Eisenblech; er endet in dem gußeisernen Kopf 2, auf den sich Haube 3 mittels konischer Rollen stützt. Damit die Haube nicht von Windstößen abgehoben werden kann, übergreift sie den Rand des Kopfes 2. Haube 3 trägt die Lager 4 und 5 für die Windradwelle. Auf dem Kopf der Welle sitzt eine Rosette 6 zur Aufnahme von fünf Armen 7, 8; um diese als Achsen sind die *fünf* ebenen Windflügel 9 drehbar gelagert. Auf dem entgegengesetzten Ende ist an der Haube der

Steuerflügel 10 angeordnet (in der Figur ebenso wie die Mühlenflügel abgebrochen gezeichnet), durch den die wie eine Drehscheibe mit Rollen auf Kopf 2 umlaufende Haube 3 so gedreht wird, daß die Hauptwelle des Windrades sich stets selbsttätig in die Windrichtung einstellt. Damit der Gang des Rades sich dem Kraftbedarf anpaßt, kann die Fläche der Flügel 9 durch Drehung auf ihren Armen 7, 8 in mehr oder weniger schräge Lage gegen den Wind gestellt werden. Für diesen Zweck ist die Hauptwelle hohl und eine Stellstange 11 durch sie hindurchgeführt. Diese trägt am vorderen Ende einen fünfarmigen Stern, dessen Arme mittels kurzer Gelenke an Lappen 12 angreifen, die an den Flügeln 9 seitlich von ihrer Drehachse angebracht sind. Beim Hereinziehen der Stellstange 11 in die hohle Hauptwelle stellen sich die Windflügel in die Umdrehungsebene des Rades, also flach; dagegen werden die Flügelflächen durch Hinausschieben der Stellstange in die Windrichtung eingestellt. Das Hereinziehen der Stellstange unterstützt Gewicht 13, das mittels Kette an der Hülse 14 eingehängt ist. Zur Begrenzung der Bewegung von 11 dient der Winkelhebel 15, gegen dessen längeren Arm Hülse 14 anstößt, sobald die Flügel in die zur besten Windausnutzung geeignete schräge Stellung gelangt sind. Es ist mithin nur nötig, den Winkelhebel 15 vom Arbeitsraum aus einstellbar zu machen, und dazu dient die mitten durch den Turm geführte Stange 16, die am einen Ende eines zweiarmigen Hebels 17 angreift, an dessen anderem Ende der Winkelhebel 15 gelenkig angehängt ist. Beim Niederziehen der Stange 16 wird also Stellstange 11 vorgeschoben, und die Flügel werden mehr in die Windrichtung gestellt, so daß ihre Kraftwirkung nachläßt. Umgekehrt wird ihre Wirkung verstärkt, sobald mit dem Heben der Stange 16 die Flügelfläche in die Radebene gebracht wird. Bei den Wasserstationen, für die der Kirchwegersche Windmotor gebaut wird, wird die Zugstange 16 selbsttätig durch einen Schwimmer beeinflußt, der in dem Wasserreservoir so angeordnet ist, daß die pumpende Wirkung des Windmotors aufhört, wenn der Wasserbehälter vollständig gefüllt ist.

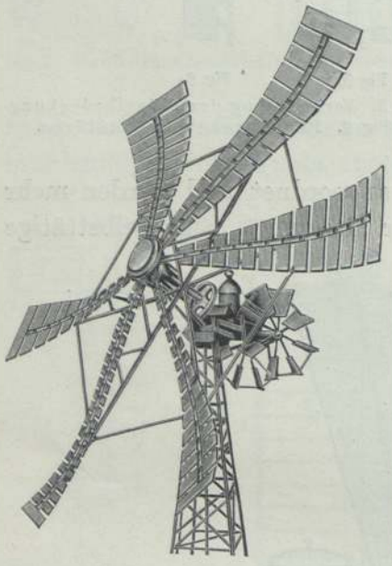


Fig. 8. Sörensens Kegel-Windmotor (zur Arbeit eingerückt).

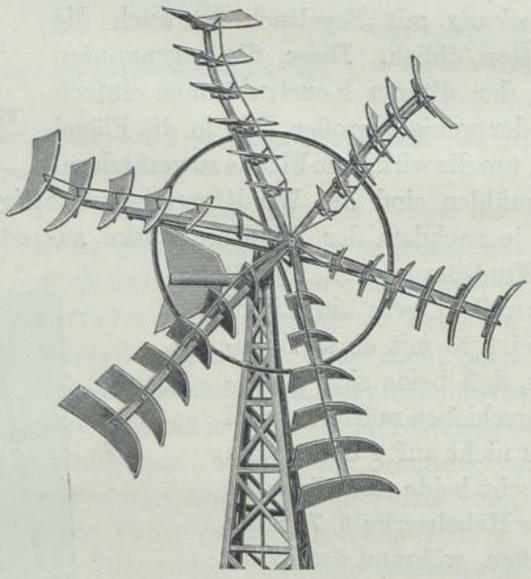


Fig. 9. Sörensens Kegel-Windmotor (ausgerückt).

b) Windmotoren. Wie schon erwähnt, versteht man unter „Windmotoren" im engeren Sinne gegenüber den eigentlichen Windmühlen solche Motoren, die eine größere Reihe von Flügeln aufweisen. Als Beispiel eines hierhergehörigen Windmotors mit offenen Windfängen sei *Sörensens Kegel-Windmotor* genannt. Der Erfinder machte die Beobachtung, daß ein zehnflügeliger Windmotor besser arbeitete, als durch einen Sturm einige Flügel davon abgebrochen wurden. Daraufhin konstruierte er seinen sechsflügeligen Motor (Fig. 8), der auch durch die Form der Flügel und ihre Stellung eigenartig ist. Die sechs Flügel laufen gewissermaßen wie ein Kegel nach der Spitze der Welle zusammen, sind dann nach rückwärts geneigt, um sich an ihren Enden wieder schwach nach vorn zu biegen. Diese Form soll es dem Winde ermöglichen, von der Mitte aus über die Flügel hinwegzugleiten und an den schaufelartigen Enden besser anzugreifen. Die großen Zwischenräume zwischen den Flügeln lassen den Wind ungehemmt hindurchstreichen, wodurch die Luft hinter den Flügeln mit fortgerissen, also verdünnt wird; dies unterstützt die direkte

Windwirkung auf die Oberfläche der Flügel. Um die wirksame Fläche der jeweiligen Windstärke anzupassen, bestehen die Flügel aus jalousieartigen Klappen, die für gewöhnlich, also bei mangelndem oder bei schwachem Winde, durch ein Gegengewicht geschlossen gehalten werden, sich aber bei stärkerem Winde mehr oder weniger öffnen. Fig. 9 zeigt einen solchen Windmotor mit vollständig geöffneten Klappen; man kann diese Stellung auch ohne überstarken Wind künstlich durch eine Stellvorrichtung von unten aus herbeiführen, um den Motor auszurücken. Die Steuerung des Windmotors, also seine Einstellung in die Windrichtung, geschieht bei geringen Größen selbsttätig durch eine Windfahne, dagegen bei den größeren Ausführungen durch kleine Windräder (Windrosen), wie in Fig. 8. Man rühmt dem Sörensenschen Windmotor einen ausgezeichneten Wirkungsgrad und sehr leichten Gang nach. Nachteile sind dagegen die sehr vielen Drehpunkte am Rade durch die zahlreichen beweglichen Klappen, welche sämtlich mit dem Gegengewicht in Verbindung stehen und ganz gleichmäßig von ihm beeinflußt werden müssen.

2. Windmotoren mit geschlossenen Windfängen.

Bei den Windrädern mit geschlossenen Windfängen besteht die wirksame Fläche aus einer großen Zahl von Flügeln, die sich jalousieartig überdecken oder aber nur ganz geringe freie Räume zwischen sich lassen. Diese Windmotoren bezeichnete man früher allgemein als *amerikanische Windräder*. Man kann diese Windräder wieder einteilen in solche mit festen (unbeweglichen) Flächen und in solche, bei denen die einzelnen Flügel beweglich sind.

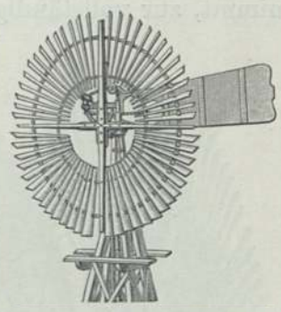


Fig. 10. Windrad mit festen Flächen.

Ein Windrad mit festen Flächen zeigt Fig. 10. Um das Rad gegen den Wind zu stellen, hat man dahinter und senkrecht zur Radfläche eine Windfahne angeordnet, die unter dem Druck des Windes das Rad immer wieder gegen die Windrichtung dreht. Größere Windmotoren dieser Art erhalten, wie schon bei den vorbeschriebenen Konstruktionen gesagt ist, zur Steuerung keine Windfahne mehr, weil diese dann zu groß werden müßte, um ihren Zweck zu erfüllen, sondern eine oder zwei Windrosen (vgl. Fig. 15, S. 13). Diese wirken mittels eines Schneckengetriebes auf die drehbar gelagerte Windradwelle, d. h. sie drehen den Windradkörper auf dem Turmgestell, und zwar dauert diese Drehung so lange, bis die Windrosen nicht mehr vom Winde getroffen werden. Da Windrad und Windrose im rechten Winkel zueinander stehen, hört also die Drehung immer dann auf, wenn das eigentliche Windrad jeweils dem Winde gerade entgegengerichtet ist. Bei den älteren derartigen Rädern (Fig. 10) bestehen die Flügel aus dicht nebeneinander in schräger Richtung gestellten hölzernen Brettchen, die durch einen eisernen Ring versteift sind. In der Mitte verbleibt ein freier Raum von etwa einem Drittel des Raddurchmessers, der dem Winde freien Abzug gestattet. Die Regulierung gegenüber der Windstärke ist sehr einfach, aber auch sehr unvollkommen; die Windfahne ist nämlich nicht starr mit der Radwelle verbunden, vielmehr selbst nach der einen Seite hin drehbar, und zwar derart, daß sie bei zu starkem Winde und zu raschem Gang des Motors das ganze Windrad mehr oder weniger aus der Windrichtung dreht. Zur Außerbetriebsetzung wird die Windfahne mittels einer Kette von unten so weit seitlich umgelegt, daß sich die Radfläche in die Richtung des Windes einstellt. Die jetzigen Konstruktionen der Windmotoren mit festen Flügeln begnügen sich nicht mehr mit einer Fahne, wie dies später zu besprechen sein wird.

Von den Windmotoren mit geschlossenen Windfängen, die bewegliche Flächen haben, ist das amerikanische Windrad von Halladay vorbildlich gewesen. Das *Halladayrad* (Fig. 11 und 12) besteht aus einer Reihe rahmenartiger Sektoren, und auf jedem dieser Rahmen sind zwölf Jalousiebrettchen fächerartig befestigt; die Sektoren können aus der Ebene des Windrades nach hinten umgelegt werden, wenn die Windstärke zunimmt. Bei diesem Rade bleibt also durch die Wirkung der starr mit der Radwelle verbundenen Windfahne die ursprüngliche Radfläche immer dem Winde entgegengerichtet. Die bei stärkerem Winde notwendige Verkleinerung der wirksamen

Fläche erfolgt durch Drehung der Sektoren; die Drehachse jedes Sektors liegt in der Radebene und ist in dem Radgerippe gelagert. Sind die Sektoren ganz geöffnet, wie in Fig. 12, so stehen die Brettchen, die in ihrer ursprünglichen Stellung den Wind auffingen, direkt in der Richtung des Windes, so daß keine Drehung des Rades erfolgen kann. Beide Figuren zeigen in der Mitte eines jeden Sektors eine kleine eiserne, radial zum Rad angeordnete Stange, auf der sich je ein kleines, also in radialer Richtung verstellbares Gewicht befindet. Dreht sich das Rad, so üben diese Gewichte infolge der Zentrifugalkraft eine Pressung aus, und die Sektoren erhalten das Bestreben, in die Stellung der Fig. 12 überzugehen. Dieses Bestreben wird zunächst nur zu einer geneigten Lage der Sektoren führen, dann aber, wenn die Windstärke und damit die Drehungsgeschwindigkeit des Rades (also auch die Zentrifugalkraft) immer weiter zunimmt, zur vollständigen Öffnung der Sektoren und damit zum Stillstand des Rades — bis der Wind wieder schwächer wird. Soll das Windrad unbeschadet der Windstärke ausgerückt werden, so wird es von unten mittels einer Zugvorrichtung in die Stellung der Fig. 12 gebracht.

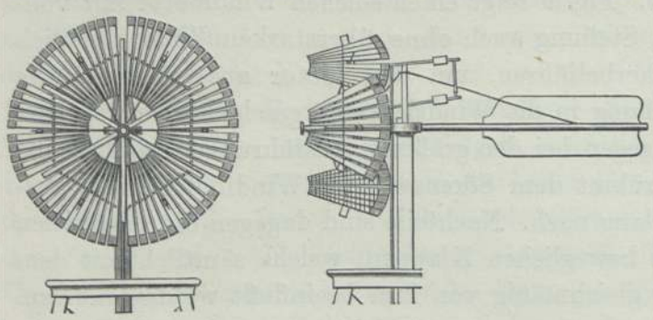


Fig. 11. Fig. 12.

Fig. 11. Windrad mit beweglichen Sektoren, Vorderansicht, im Betrieb. Fig. 12. Windrad mit beweglichen Sektoren, Seitenansicht, in Ruhestellung.

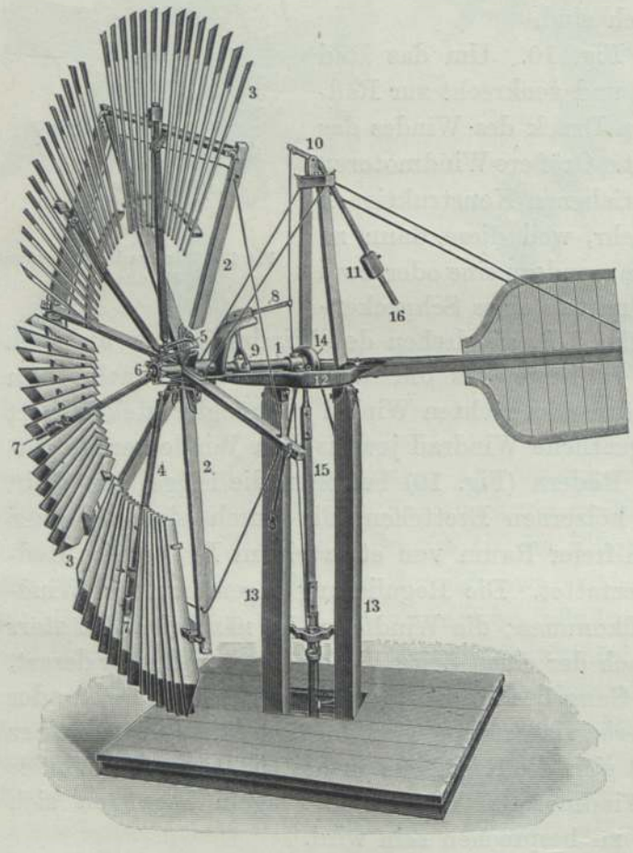


Fig. 13. Halladayrad von Adolf Pieper, Mörs a. Rh.

Die Konstruktion eines modernen *Halladayrades* von der Maschinenfabrik Adolf Pieper in Mörs a. Rh. zeigt Fig. 13. Darin sind nur einige Sektoren mit aufmontierten Windflügeln dargestellt, während von den übrigen Teilen des Rades allein das Gerippe wiedergegeben ist; von der Windfahne ist nur ein Teil dargestellt. Am Kopf der Hauptwelle 1 sitzt eine Rosette; diese trägt die Rutenstangen 2, deren Enden durch Spannstangen verbunden sind. Je vierzehn jalousieartige Brettchen bilden einen Fächer 3; sie sind unter bestimmtem Winkel an einer Holzachse befestigt, und alle diese Achsen lagern, in Zapfen schwingend, an den Enden der Rutenstangen 2. Je sieben Brettchen eines Fächers sind durch Querleisten abgesteift, und so zerfällt jeder Fächer nach der Mitte hin in zwei Gruppen, zwischen denen eine Lenkerstange 4 angreift. Diese Lenkerstangen dienen dazu, die Fächer bei stärkerem Winde nach rückwärts umzulegen. Hierzu ist jede Lenkerstange durch Vermittelung eines Winkelhebels 5 und einer Zugstange an der verschiebbaren Hülse 6 angehängt, an der also sämtliche Lenkerstangen gemeinsam angreifen. Wird Hülse 6 nach vorn geschoben, so macht Winkelhebel 5 einen Ausschlag, hebt die Lenkerstangen 4, und diese kippen die Fächer nach hinten. Ein Gegengewicht 7 am oberen Ende jeder Lenkerstange vermittelt die Einstellung der Sektoren entsprechend der jeweiligen Windstärke,

indem bei schnellerem Gange des Windrades die Gewichte 7 durch Zentrifugalkraft nach außen gedrängt werden und die Lenkerstangen mitnehmen, die ihrerseits die Sektoren umlegen. Hülse 6, welche die Verstellung der Lenkerstangen besorgt, sitzt auf dem Ende einer Hohlachse; diese wird vom Winkelhebel 8 regiert, dessen gabelförmiges Ende 9 die Achse umgreift. Ein nach unten führender Ausrückerdraht verbindet das Ende des Winkelhebels 8 mit dem Gewichtshebel 16, dessen Drehpunkt bei 10 liegt. Das Gegengewicht 11 des Gewichtshebels 16 hält die Stellvorrichtung für gewöhnlich in der Ruhelage; durch Anziehen des Ausrückerdrahtes von unten her läßt sich jedoch die Stellvorrichtung betätigen, d. h. das Windrad durch Umlegen der Sektoren ausrücken. Die Hauptwelle ist auf einem Drehtisch gelagert, auf dem der Ring 12 sich dreht, der an dem Gerüst 13 wagerecht angeordnet ist. Die Kraftübertragung vom Windrade erfolgt mittels der Kurbelscheibe 14 auf die Antriebsstange 15, die so bei rotierendem Rade eine auf und nieder gehende Bewegung erhält

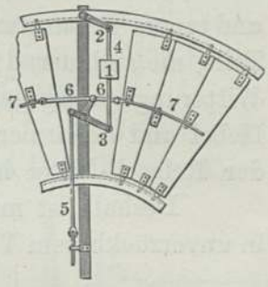


Fig. 14. Flügelbewegung der Reinsch-Windräder.

Während beim Halladayrad zwar die Sektoren des Rades beweglich sind, aber innerhalb jedes Sektors dessen Teile zueinander eine unverrückbare Lage haben, ist der *Reinsch-Windmotor* dadurch charakterisiert, daß jede einzelne Flügelfläche ihre Neigung zu ändern vermag, und zwar sind die Flügel um je zwei in einer radialen Achse liegende Stifte nach Art von Jalousien drehbar; diese Stifte sind auf zwei konzentrischen Ringen gelagert (Fig. 14). Die Stellung der Flügel gegen die Radfläche wird durch ein System von Gewichten 1 geregelt, die mittels der einarmigen Hebel 2, der dreiarmigen Hebel 3 und der Verbindungsstangen 4 an den Radarmen aufgehängt sind. Die gegenüberliegenden Arme der Hebel 3 sind durch Zugstangen 5, Winkelhebel und eine auf der Hauptwelle verschiebbare Muffe so miteinander verbunden, daß die Gewichte 1 im ruhenden Zustande einander das Gleichgewicht halten. Die dritten Arme der Hebel 3 bewegen mittels Gelenkstangen 6 eine über den Mitten der Flügel liegende und durch Scharniere mit deren vorderen Kanten verbundene gebogene Stange 7. Hält sich die Umdrehungszahl des Windrades in normalen Verhältnissen, so bleibt die auf der Hauptwelle verschiebbare Muffe unter der Wirkung eines mittels Winkelhebels an sie angreifenden Gegengewichtes in solcher Stellung, daß die mit ihr verbundenen Flügel die zur Aufnahme des Winddruckes vorteilhafteste Neigung zur Radfläche haben. Steigt jedoch die Umdrehungszahl des Windrades infolge stärkeren Windes oder aber geringeren Widerstandes (verminderter Beanspruchung), so überwindet die Zentrifugalkraft der Gewichte 1 das Gegengewicht; erstere bewegen sich nach dem Radumfange hin, und mit ihr die Hebel 2 und 3, wodurch die Windflügel mehr in die Windrichtung gestellt, d. h. die Jalousieklappen mehr geöffnet werden. Ein vollständiges *Reinsch-Windrad* mit beweglichen Flügeln ist in Fig. 15 dargestellt. Bei der bedeutenden Größe dieses Rades dient zur Steuerung, d. h. zur Einstellung gegen den Wind, keine Windfahne, sondern statt ihrer zwei Windrosen (vgl. S. 11).

Fig. 15. Windrad mit beweglichen Flügeln von Reinsch.

Derartige Reinsch-Motoren werden bis zu sehr bedeutenden Größen gebaut. Die ganz

Bibl. Pol. Wrocł.

großen Typen von 10 m Raddurchmesser und darüber erhalten ein doppeltes Flügelrad, d. h. die Flügel sind in ihrer Länge einmal geteilt. Räder von 17—20 m Durchmesser erhalten sogar zweimal geteilte Flügel, d. h. das Windrad ist dann ein dreifaches.

Haben sich die Windmotoren mit beweglichen Flügeln oder Flügelteilen auch leidlich bewährt, so wird doch, falls einmal solch ein Motor in Unordnung gerät, meistens eine umfangreiche und teuere Reparatur nötig. Denn diese Motoren enthalten eine bedeutende Anzahl beweglicher Teile, die andauernd tadellos funktionieren müssen, obwohl die ganze Anlage allen Einflüssen der Witterung preisgegeben ist. Der Halladaymotor enthält bereits 72 Drehpunkte, zahlreiche Hebel und Scharniere am Rade; Sörensens Motor weist mindestens 120 Drehpunkte auf, und der Reinsch-Motor hat sogar bis zu 240 Drehpunkte und darüber.

Deshalb ist man wieder auf die Windräder zurückgekommen, deren sämtliche Flügelteile in unverrückbarem Verbande stehen, also auf Motoren, wie ein solcher schon in Fig. 10, S. 11 dar-

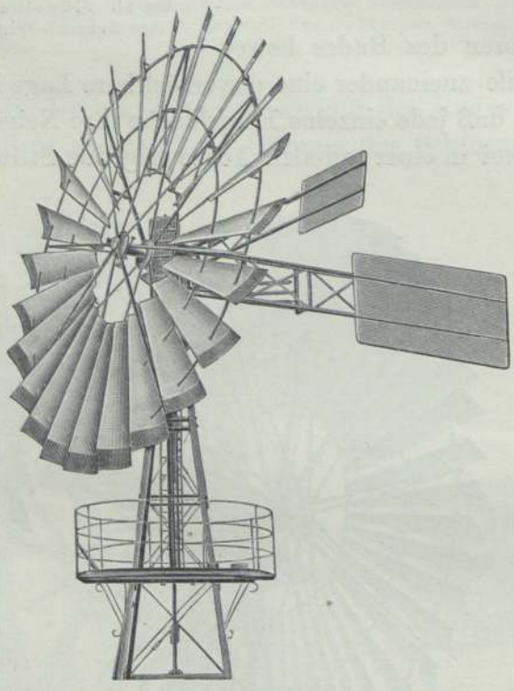


Fig. 16. Moderne Windturbine von Reinsch, Dresden.

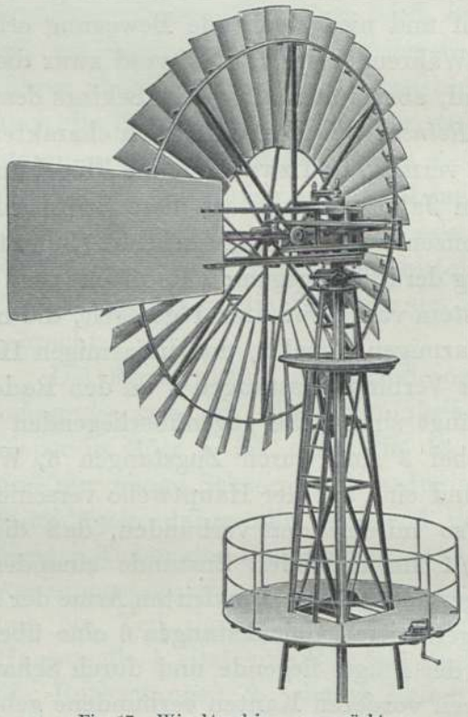


Fig. 17. Windturbine, ausgerückt.

gestellt ist. Aber es waren erst viele Verbesserungen nötig, um jenes Windrad allen berechtigten Ansprüchen anzupassen. Die wichtigste Verbesserung besteht darin, daß das Windrad nicht mehr eine, sondern zwei Windfahnen besitzt. Ferner bestehen sämtliche Teile aus Stahl und Eisen; Flügel und Windfahnen, um der Nässe widerstehen zu können, aus verzinktem Stahlblech.

Ein derartiges modernes Windrad, jetzt vielfach als *Windturbine* bezeichnet, stellt Fig. 16 dar. Die große Steuerfahne ist drehbar, die kleine Seitenfahne fest mit dem Körper des Rades verbunden. Die erstere hält das Windrad ständig vor dem Winde; in dieser Lage bietet die für gewöhnlich einen rechten Winkel mit der Steuerfahne bildende Seitenfahne dem Winde eine seitliche Angriffsfläche, durch die ein Überdruck bewirkt wird, zumal da die Hauptwelle etwas außer Mitte liegt. Bei stärker werdendem Winde dreht dieser Überdruck das Windrad je nach der Windstärke mehr oder weniger vom Winde ab, so daß die Flügelfläche dem Winde zum Teil entzogen wird. Die hierdurch in bezug auf den Wind gewissermaßen verkleinerte Flügelfläche sichert bei dem stärkeren Winde ungefähr dieselbe Umdrehungszahl, wie sie bei normalem Wind das zur Windrichtung genau einen rechten Winkel bildende Windrad zeigte. Bei starkem Winde verkleinert sich durch den Winddruck auf die Seitenfläche der Seitenfahne der Winkel zwischen dieser und der großen Steuerfahne, indem letztere, die mit dem Radkörper ja nicht fest, sondern drehbar verbunden ist, dem Seitendruck

des Windes (von der anderen Seite her) ausgesetzt wird und ihm nachgibt. Damit sich für gewöhnlich die Steuerfahne rechtwinklig zum Radkörper hält, ist ein Gegengewicht vorhanden, das bei seitlichem Außerwinddrehen des Flügelrades gehoben wird und so bei abnehmender Windstärke die Steuerfahne wieder rechtwinklig zum Flügelrad und die Fläche des letzteren dadurch wieder gegen den Wind richtet. Um Stöße abzuschwächen, sind zwischen Fahne und Motorkörper zwei bis drei starke Spiralfedern angeordnet. Vom Erdboden aus läßt sich die Steuerfahne vollständig umlegen (also mit der Radfläche in Berührung bringen); in diesem Falle wird die Fläche des Rades nicht vom Winde getroffen, d. h. der Windmotor ist ausgerückt (Fig. 17).

Solche Windturbinen werden von verschiedenen Firmen gebaut, so z. B. die Kontinental-Stahlwindmotoren von den Vereinigten Windturbinen-Werken in Dresden. Bei dieser Konstruktion

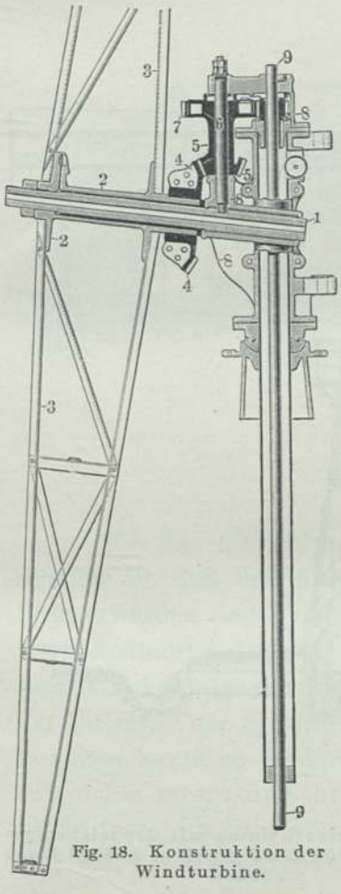


Fig. 18. Konstruktion der Windturbine.

Fig. 19. Motorkörper der Windturbine.

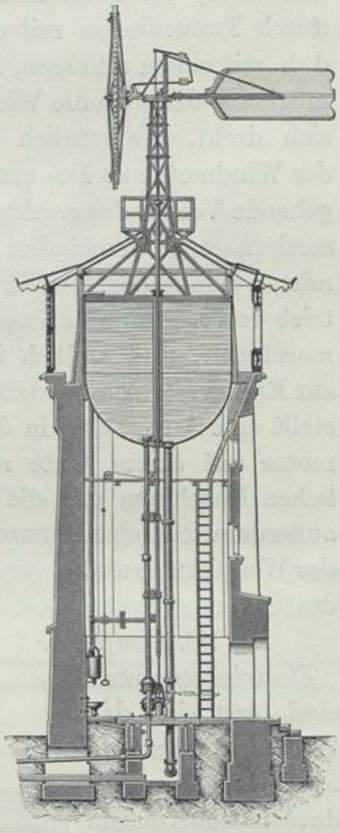


Fig. 19a. Bahnhofsreservoir mit Wasserförderung durch Windrad.

besteht das Flügelrad aus 6—8 Flügelsegmenten die zu einem starren Körper zusammengeschraubt und durch ebenso viele starke Arme mit der Nabe verbunden sind. Die einzelnen Flügel aus verzinktem Stahlblech haben eine gewölbte, schraubenförmig verdrehte Form, um den Winddruck aufs beste auszunutzen. Die *Bauart des Windrades* veranschaulicht Fig. 18. Darin ist 1 die Radachse; 2 die Radnabe; 3 sind die Arme des Windrades. Vom Windrade wird die Arbeitsenergie mittels des konischen Zahnrades 4 übertragen auf das kleine Zahnrad 5 und das mit ihm durch die Standwelle 6 verbundene Zahnrad 7. Dieses kämmt mit dem Zahnrad 8 und setzt so die Transmissionswelle 9 in Drehung. Den *Motorkörper* ohne Flügel und ohne Fahnen zeigt Fig. 19. Die Einschaltung des Zwischenvorgeleges (5, 6 und 7 der Fig. 18) ist notwendig, um in der Transmissionswelle eine genügend große Umdrehungsgeschwindigkeit für Maschinenantrieb zu erreichen. Daß selbsttätige Schmiervorrichtungen vorhanden sind, bedarf keiner Erwähnung. Das Triebwerk ist gegen Verschmutzung vollständig eingekapselt.

Sollen derartige Windräder nicht zum Antriebe von Arbeitsmaschinen usw. dienen, sondern nur zur Wasserversorgung durch unmittelbaren Pumpenantrieb, so fallen die Zahnräder zur

Energieübertragung ganz weg; mittels einer Kurbel wird die drehende Bewegung des Windrades in die auf und nieder gehende Bewegung des durch das ganze Motorgerüst nach unten hindurchgeführten Pumpengestänges umgesetzt. Windmotoren mit auf und ab gehendem Gestänge werden nur für kleinere Radgrößen gebaut.

Die Windräder werden meistens auf Gittertürmen montiert, wobei Höhen bis zu 30 m vorkommen. Sie können natürlich auch auf massive Gebäude (Dächer oder Türme) aufgesetzt werden, wenn die Baukonstruktion genügende Widerstandsfähigkeit in der fraglichen Höhe bietet. Windmotoren dienen vor allem zur Wasserversorgung (Fig. 19a), entweder direkt durch auf und ab gehendes Gestänge oder durch mittelbare Übertragung auf die Pumpe. Zwecks Förderung großer Wassermengen auf geringe Höhen (nicht über 3 m) verbindet man den Windmotor zweckmäßig durch Transmission mit einer *Wasserschnecke* (Fig. 20), d h. mit einem schrägen, festliegenden Trog, in dem eine möglichst dicht an die Wandung anschließende Schnecke sich dreht. Namentlich in der Landwirtschaft findet der Windmotor zu Be- und Entwässerungsarbeiten weitgehende Verwendung. Aber nicht nur einzelne Anwesen, sondern ganze Gemeinden fördern häufig ihr Trinkwasser mittels Windrades. Ferner dienen Windmotoren zum Antrieb von Dreschmaschinen, von Mühlen und Werkzeugmaschinen, und endlich ist neuerdings der Windmotor zur Erzeugung von Elektrizität wichtig geworden. Fig. 21 stellt eine Anlage dar, in der ein Kontinental-Stahlwindmotor auf einem Gute nicht nur alle landwirtschaftlichen Maschinen und die Wasserpumpe treibt, sondern außerdem noch eine Dynamo zur elektrischen Beleuchtung des Wohnhauses und des Stalles.

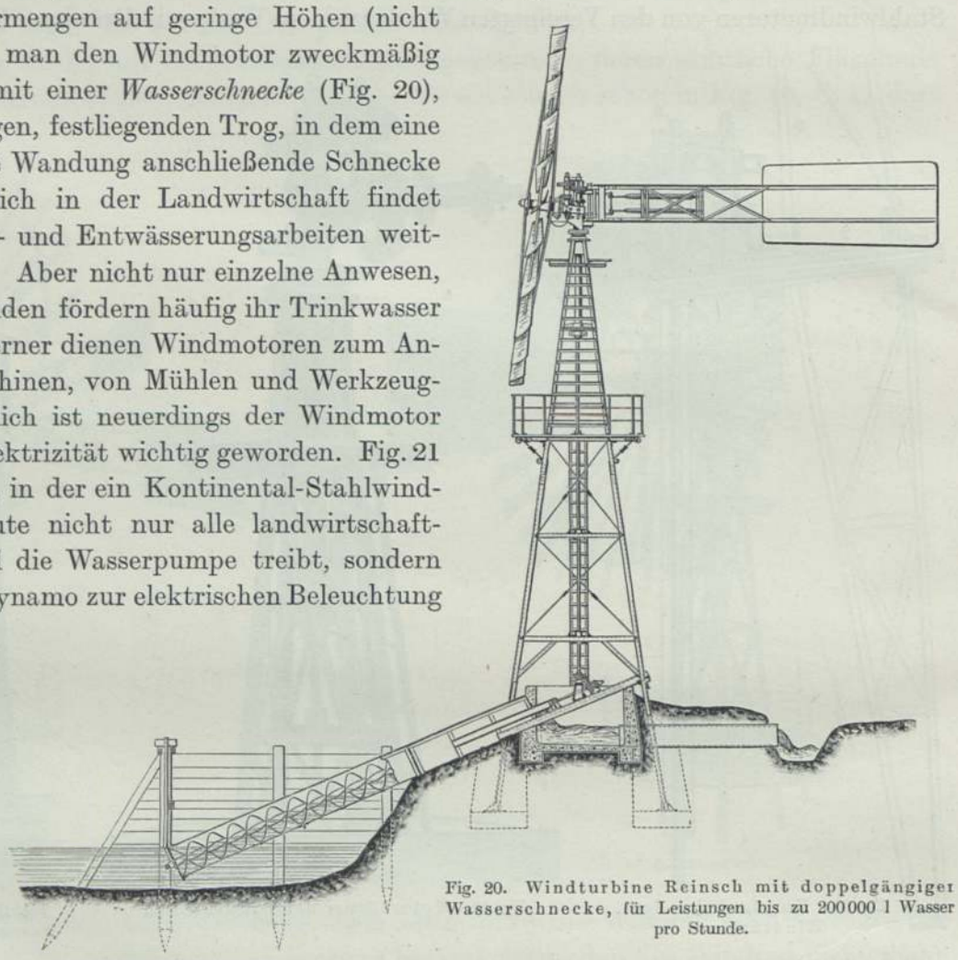


Fig. 20. Windturbine Reinsch mit doppelgängiger Wasserschnecke, für Leistungen bis zu 200000 l Wasser pro Stunde.

Die *Windkraft-Elektrizitätswerke* sind erst in den letzten Jahren zu nutzbringenden und dauerhaften Anlagen ausgestaltet worden. Die Drehung der senkrechten Welle des Windmotors überträgt sich auf ein Vorgelege, das die Dynamomaschine antreibt[1]. Infolge der unregelmäßigen Windkraft kann man keineswegs durch die Dynamo direkt das Leitungsnetz (Lampen und Elektromotoren) speisen lassen. Es würden sich sonst Spannungsschwankungen ergeben, die einen Lichtbetrieb unmöglich machten und sogar Elektromotoren vorübergehend stilllegen könnten. Man muß zwischen Dynamo und Netz eine Akkumulatorenbatterie einschalten, die zeitweilig vorhandene Energieüberschüsse aufnimmt und umgekehrt als Reserve dient, sobald die augenblickliche Windleistung den gleichzeitigen Verbrauch nicht deckt. Eine selbsttätige Ausrückvorrichtung muß die Dynamo von der Akkumulatorenbatterie trennen, sobald der Wind nachläßt; erfolgte diese Trennung nicht, so würde die Dynamo Rückstrom aus der Akkumulatorenbatterie erhalten, also als Motor laufen. Die Verbindung zwischen Dynamo und Batterie muß selbsttätig wiederhergestellt werden, sobald bei wachsender Windstärke die

[1] Die in der nachfolgenden Beschreibung enthaltenen elektrotechnischen Begriffe usw. sind in Abteilung „Elektrotechnik" des vorliegenden Werkes erläutert.

Energie der Dynamo zum Laden der Batterie wieder überwiegt. Endlich muß die Spannung der Dynamo nahezu konstant gehalten werden. Da sie aber im direkten Verhältnis zur Tourenzahl steht und diese andauernden Schwankungen unterliegt, so ist ein Ausgleich nur durch sogenannte variable Erregung möglich, d. h. die Erregung der Dynamo muß bei steigender Tourenzahl geschwächt und bei sinkender Tourenzahl verstärkt werden. Alle diese Forderungen erfüllt ein modernes Windkraft-Elektrizitätswerk selbsttätig, ohne Bedienung und Wartung (Fig. 22).

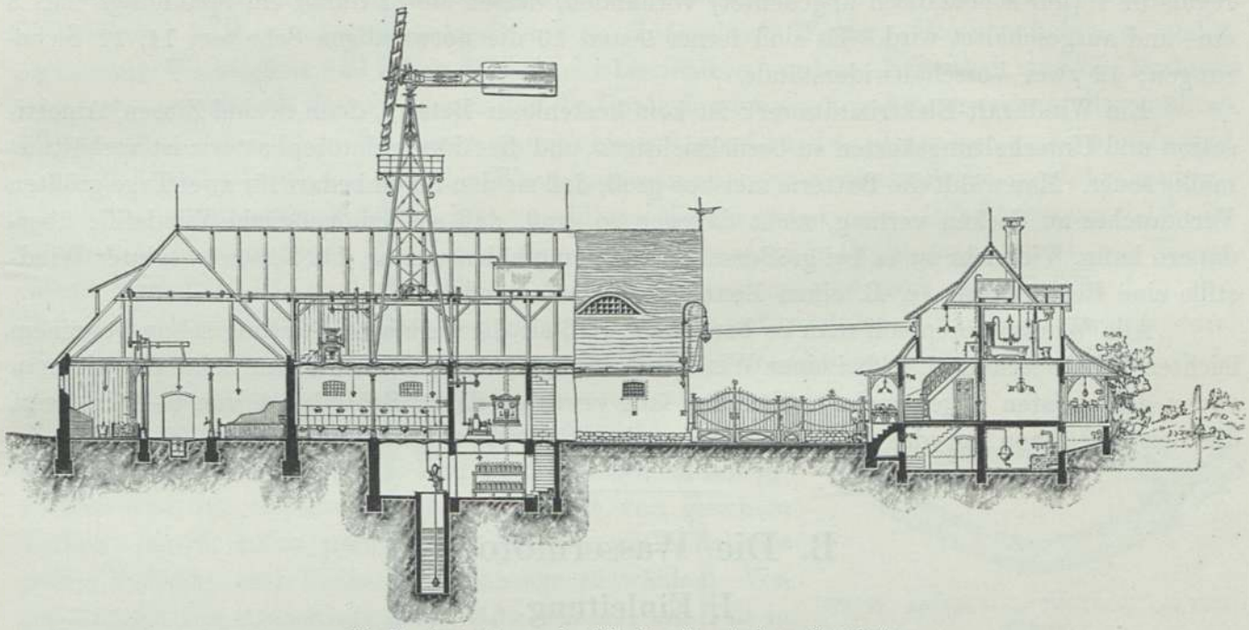


Fig. 21. Ausnutzung der Windkraft auf einem Gutshofe.

Mit der Hauptdynamo 1 ist eine kleinere Dynamo 2 direkt gekuppelt, wobei 2 so geschaltet ist, daß ihre Ankerspannung der Erregerspannung von 1 entgegenwirkt. Wächst durch Stärkerwerden des Windes die Tourenzahl, so steigt in den Ankern beider Maschinen die induzierte Spannung. Da aber im Erregerstromkreis von 1 infolge der Gegenschaltung nur die Differenz der Spannungen zur Geltung kommen kann, so wird die Hauptdynamo schwächer erregt, und ihre Ankerspannung bleibt trotz erhöhter Tourenzahl konstant. Der von der Hauptdynamo erzeugte Ladestrom nimmt allmählich in dem gleichen Maße ab, wie die Spannung der Akkumulatorenbatterie wächst. Der Ladestrom durchfließt einen Widerstand 3, der den zur Erregung der Hilfsdynamo nötigen Strom abzunehmen gestattet. Bei kleiner werdendem Ladestrom wird also die Erregung von 2 schwächer werden und dementsprechend auch die Spannung der Hilfsdynamo sinken. Dadurch wieder nimmt umgekehrt die Erregung von 1 allmählich zu — kurz, die Spannung der Hauptdynamo stellt sich automatisch auf die jeweils zum Aufladen der Akkumulatorenbatterie 4 erforderliche Spannung (Ladespannung) ein. Das Maschinenpaar ist so abgeglichen, daß die Ladespannung niemals über ein der Zellenzahl entsprechendes Maß hinaus wachsen kann. Beim Anlaufen des Maschinenpaares befindet sich der automatische Schalter 5 in der unteren Stellung: der Hauptstrom ist unterbrochen. Wächst die Spannung der großen Dynamo über die Batteriespannung hinaus, so legt Relais 6 seinen Anker nach links und schließt die Nebenschlußspule des automatischen Schalters 5; dieser wird angezogen und schließt

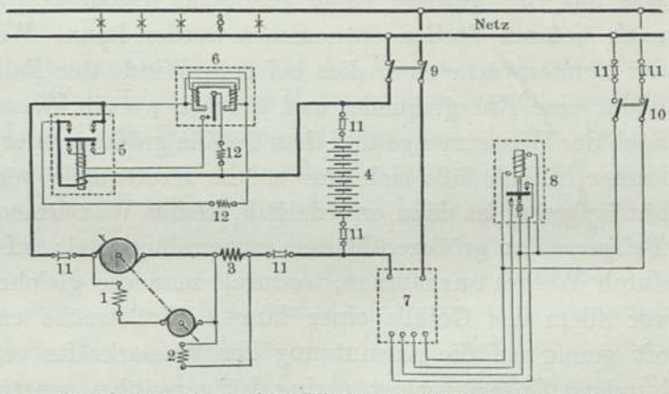


Fig. 22. Schaltung eines Windkraft-Elektrizitätswerkes.

den Ladestromkreis, während durch die gleichzeitige Betätigung der Hauptstromspule der Schalter in seiner Stellung festgehalten wird. Sinkt die Stromstärke bis auf fünf Prozent des normalen Stromes, so fällt der Schalter ab, so daß Rückstrom vermieden wird. Bei allmählicher Spannungsabnahme der Batterie infolge fortschreitender Entladung sucht Relais 6 die Dynamo wieder einzuschalten, doch wird dies erst möglich, sobald die Dynamospannung überwiegt. Um die Spannung auf der Verbrauchsseite konstant zu halten, ist ein selbsttätiger Hauptstromregulator 7 (nur schematisch angedeutet) vorhanden, dessen Motor durch ein Spannungsrelais 8 ein- und ausgeschaltet wird. Es sind ferner 9 und 10 die notwendigen Schalter; 11, 11 Sicherungen; 12 zwei Vorschaltwiderstände.

Ein Windkraft-Elektrizitätswerk ist kein kostenloser Betrieb, denn es sind Zinsen, Amortisation und Unterhaltungskosten zu berücksichtigen, und die Akkumulatorenbatterie ist verhältnismäßig teuer. Man wählt die Batterie meist so groß, daß sie den Strombedarf für zwei Tage größten Verbrauches zu decken vermag, nicht dagegen so groß, daß sie jede mögliche Windstille überdauern kann. Vielmehr ist es bei größeren Anlagen empfehlenswerter, für Zeiten absoluter Windstille eine Reservekraft (z. B. einen Benzinmotor) aufzustellen. —

Alle Windmotoren soll man so berechnen, daß sie die verlangte Leistung schon bei einem leichten Winde leisten, d. h. bei einer Windgeschwindigkeit von 4—5 m in der Sekunde, wie man sie an den meisten Tagen mehrere Stunden lang erwarten darf. Bei Winden von 6—7 m steigt die Leistung schon auf das Doppelte, entsprechend der S. 6 genannten Formel $N = F \cdot v^3 \cdot k$.

B. Die Wassermotoren.

I. Einleitung.

Der Sonnenwärme verdanken wir den großen „Kreislauf des Wassers". Dieser besteht darin, daß das Wasser in die Luft verdunstet, mit dieser fortgeführt wird und in Form von Niederschlägen auf die Erdoberfläche gelangt, wo die Niederschläge sich zu Bächen, Flüssen, Strömen vereinigen und ins Meer fließen, worauf von hier die Verdunstung wieder ihren Ausgang nimmt. Das auf eine gewisse Höhe gehobene Wasser besitzt einen Energievorrat, der beim Transport nach tieferen Stellen entnommen werden kann. Wir verdanken diese Energiequelle also ebenso der Sonnenwärme, wie dies bei dem Winde der Fall ist. Jedes Rinnsal, jeder murmelnde Bach bildet eine Energiequelle, und überall, wo ein Wasserlauf ungenutzt zu Tale fließt, ist ein — je nach der Wassermenge und dem Gefälle größerer oder kleinerer — Kraftverlust zu beklagen. Nicht immer freilich läßt sich eine solche Kraftquelle vorteilhaft in der gegebenen Form ausnutzen; häufig genug ist dazu erforderlich, kleine Wassermengen hinter Staumauern in den sogenannten *Talsperren* zu größeren Massen zu vereinigen, sie auf diese Weise (oder aber in kleinerem Umfange durch Wehre) anzustauen, wodurch man die gleichzeitig nutzbare Wassermasse vergrößert und vor allem das Gefälle einer langen Flußstrecke eng zusammendrängt. Anderseits muß man oft genug auf die Ausnutzung der Wasserkräfte verzichten, weil der mit diesem Verzicht verbundene Energieverlust gering ist gegenüber sonstigen Vorteilen, so namentlich gegenüber der Schiffahrt, die ja durch die Anlage von Stauwehren verhindert oder doch sehr erschwert wird. Freilich ist gerade da, wo die Schiffahrt den größten Umfang hat, also auf den breiten Flußteilen der Niederungen, sowieso an eine Ausnutzung der Wasserkräfte wenig zu denken, denn wenn auf der einen Seite die breiten schiffbaren Ströme gewaltige Wassermengen führen, so fließen diese Ströme doch sehr langsam dahin, d. h. das Gefälle ist so gering, daß man zwecks motorischer Ausnutzung übermäßig lange Flußstrecken reservieren müßte. Es könnte die Frage aufgeworfen werden, wo denn die Energie bleibt, wenn Flußläufe ohne motorische Ausnutzung zu Tale fließen. Ein Teil dieser Energie wird bei schnellen Wasserflächen häufig sichtbar, indem das Wasser Erde von den Böschungen spült, ja selbst kleine Steine mitreißt. Im übrigen wird die ganze Energie dazu verbraucht, das Wasser am Grunde des Flußlaufes und an den Ufern (also da, wo es sich

gegen sein Bett reibt) zu erwärmen, und diese Wärme ist auch die Ursache, weshalb schnell fließende Wasserläufe im Winter kaum zufrieren.

Die Vorrichtungen zur Ausnutzung der Energie des Wassers heißen *Wassermotoren*. Sollen sie dem Wasser seine Energie entziehen, so muß man den Kraftverlust durch Reibung zwischen strömendem Wasser und Flußbett möglichst aufheben, und dazu ist es nötig, daß das Wasser seine schnelle Bewegung verliert. Man erreicht dies eben durch Stauanlagen.

Die Wassermotoren oder *Wasserkraftmaschinen* kann man einteilen in 1. *Wasserräder*, 2. *Turbinen*, 3. *Wassersäulenmaschinen* und 4. *Hydraulische Widder*. Hiervon haben 3. und 4. nur geringe Wichtigkeit und sollen daher nicht besprochen werden. Eigentlich sind die Turbinen auch nichts anderes als Wasserräder, so daß die Unterabteilungen 1. und 2. zusammenfallen müßten. Aber man hat sich doch zu der Trennung entschlossen, aus Gründen, die später zu behandeln sind.

Das fließende Wasser wird den Wassermotoren an einer gewissen Stelle zugeführt und verläßt sie an einer anderen Stelle. Das zugeführte Wasser nennt man *Aufschlagwasser*. Die Zuleitung erfolgt durch einen Kanal oder eine Röhrenleitung. Die Größe der ausnutzbaren Wasserenergie bestimmt sich nach der *Menge* des Aufschlagwassers und nach dem *Gefälle*, d. h. dem Höhenunterschied. In den Motoren kann das Wasser auf zwei Arten wirken, entweder durch seine lebendige Kraft (Geschwindigkeit) oder durch sein Gewicht. Die lebendige Kraft des fließenden Wassers wird in den Wassermotoren mit einem geringeren Nutzeffekt ausgenutzt als sein Gewicht. Bei der Ausnutzung nach dem Gewicht sind die Menge des Aufschlagwassers und das Gefälle auf den Nutzeffekt von gleichem Einfluß, jedoch ist es praktischer, Anlagen mit möglichst großer Fallhöhe und kleiner Wassermenge zu wählen. Von der Energie des Aufschlagwassers läßt sich nur ein Teil in den Motoren nutzbar machen; unvermeidbare Verluste entstehen durch den Widerstand der Maschinenteile gegenüber dem einströmenden Wasser, durch die Reibung des Wassers im Motor und durch die Reibungswiderstände der Maschinenteile gegeneinander, endlich dadurch, daß das Wasser auch noch beim Verlassen des Motors eine gewisse lebendige Kraft haben muß, daß also nicht die ganze lebendige Kraft im Wassermotor verbraucht werden darf.

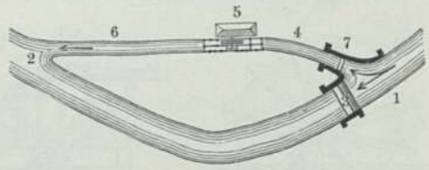


Fig. 23. Anlage einer Zuleitung aus einem Flusse.

Man kann Wasserkraftmaschinen nicht einfach in den Lauf des fließenden Wassers einbauen, denn der Wasserspiegel verändert sich, und die Leistung des Motors würde dementsprechend ganz ungleichmäßig werden. Vielmehr muß man den Wasserspiegel möglichst gleichmäßig auf derselben Höhe erhalten. Man leitet die motorisch auszunutzende Wassermenge durch einen Kanal von dem Flußlauf ab und führt sie nach der Ausnutzung ebenso durch einen Kanal an einer tieferen Stelle dem ursprünglichen Laufe wieder zu. Eine derartige Anlage zeigt Fig. 23. Der Höhenunterschied des Flußniveaus zwischen 1 und 2 ist das nutzbar gemachte Gefälle. 3 ist ein Stauwehr und 4 der Zuleitungsgraben *(Obergraben, Mühlgraben)*, der die auszunutzende Wassermenge der Wasserkraftanlage 5 zuführt. Hat das Wasser den Motor passiert, so fließt es durch den *Untergraben* 6 dem Flusse wieder zu. In 4 und 6 wird das Wasser möglichst horizontal geleitet, damit bei 5 das Gefälle, also die Fallhöhe, möglichst groß wird. Bei 7 befindet sich gewöhnlich eine Einlaßschleuse, um die Wasserzufuhr verändern zu können. Die Aufstellung des Wassermotors erfolgt an der Stelle, die nach praktischen Rücksichten die günstigste ist. Demnach überwiegt in Gebirgsgegenden in der Regel die Länge des Obergrabens, weil der meist felsige Boden die Herstellung eines langen Untergrabens (der ja tiefer gegraben werden muß) wesentlich verteuern würde. Im Flachlande dagegen macht man den Untergraben recht lang, denn der Obergraben erfordert in der Anlage größere Sorgfalt, um die Reibungsverluste des Wassers in engen Grenzen zu halten. Das Stauwehr 3 wird so hoch gemacht, daß die zum Betriebe des Motors erforderliche Wassermenge nach 5 gelangt, der Überschuß aber über 3 hinwegfließen kann.

Als Wassermenge bezeichnet man das Volumen, das durch den Querschnitt der Zuleitung

dem Wassermotor in 1 Sekunde zuströmt. Die mechanische Arbeitsmenge aus einer verfügbaren Wassermenge Q in Kubikmetern pro Sekunde und einer Gefällhöhe H in Metern beträgt $\frac{1000 . Q . H}{75}$ Pferdestärken oder $13{,}3 . Q . H$ Pferdestärken.

Dieser *absolute Nutzeffekt des fallenden Wassers* gilt in bezug auf die motorische Ausnutzung nur theoretisch, d. h. er muß noch mit dem Wirkungsgrad des Wassermotors multipliziert werden, um dessen effektive Leistung zu finden. Je nach der Art des Wassermotors schwankt der Wirkungsgrad zwischen 0,5 und 0,85.

Wo nicht das Gewicht des fallenden, sondern die lebendige Kraft des fließenden Wassers der Berechnung zugrunde zu legen ist, geht man von folgender Formel aus: Ist v die mittlere Geschwindigkeit eines Stromes, Q das Volumen der durch den Querschnitt fließenden Wassermenge und g die Beschleunigung durch die Schwerkraft, so berechnet sich der absolute Nutzeffekt (N) des fließenden Wassers zu $N = \frac{1000\ Q}{75} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{6{,}67\ Q\ v^2}{g}$.

II. Wasserräder.

Ein Wasserrad besteht aus einem Radkranz, der mit Schaufeln oder Zellen besetzt ist, und zwar erstrecken sich die Schaufeln oder Zellen in gleichen Abständen über den ganzen Umfang des Rades hin. Man unterscheidet hiernach *Schaufelräder* und *Zellenräder;* bei den ersteren sind die Schaufeln am Radkranz befestigt, und es ist nur ein Boden vorhanden: *Wasserräder mit offenem Schaufelraum.* Bei den Zellenrädern, die auch *Kübelräder* genannt werden, sind die Schaufeln noch durch Seitenwände eingeschlossen so daß Zellen (Kübel) zur Aufnahme des Wassers entstehen: *Wasserräder mit geschlossenem Schaufelraum.* Dieser konstruktive Unterschied zeigt, daß in den Schaufelrädern das Wasser nur durch seine lebendige Kraft wirken kann, indem es gegen die Schaufeln stößt, dagegen in den Zellenrädern durch sein Gewicht, indem es nach und nach die verschiedenen Zellen anfüllt und die so beschwerte Radseite niederdrückt.

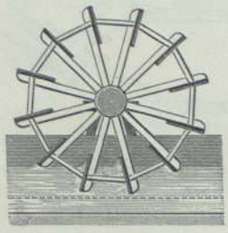


Fig. 24. Schiffmühlenrad.

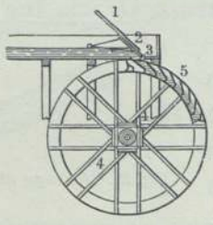


Fig. 25. Oberschlächtiges Wasserrad mit Spannschütze.

Das einfachste Wasserrad ist die *Schiffmühle*, ein uralter Wassermotor. Die Schiffmühlenräder (Fig. 24) hängen frei im Strome, und zwar lagern sie auf zwei durch Balken verbundenen, im Flußlauf verankerten Kähnen. Da diese sich mit dem Wasserspiegel heben und senken, bedarf es einer Stauanlage nicht. Dafür hat die Schiffmühle aber auch nur einen geringen Wirkungsgrad, weil sehr viel Wasser seitlich den Schaufeln ausweicht. Deshalb werden Schiffmühlenräder nur noch wenig benutzt.

Die üblichste Einteilung der Wasserräder ist die nach der Stelle (Höhe) des Wassereintrittes in das Rad. Man erhält so *oberschlächtige, rückenschlächtige, mittelschlächtige* und *unterschlächtige Wasserräder.* Von diesen baut man die oberschlächtigen und rückenschlächtigen Räder als Zellenräder, dagegen die mittelschlächtigen und unterschlächtigen als Schaufelräder.

Die Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers muß größer sein als die Umlaufgeschwindigkeit des Rades; daher läßt man es erst eine kleine Höhe, das *Stoßgefälle*, durchfallen, ehe es in das Rad eintritt. Der Einlauf des Wassers geschieht mittels einer am Ende der Zuleitung, des *Gerinnes*, eingebauten Vorrichtung, nämlich einer Quervorlage *(Schütze)*, über die das Wasser entweder hinwegfließt: *Überfallschütze*, oder unter der es hindurchfließt: *Spannschütze*, oder die es durch besondere Einlaufkanäle passiert: *Kulisseneinlauf.* Durch Hoch- oder Niederstellen der Schütze läßt sich die Wasserzufuhr regulieren.

Oberschlächtiges Wasserrad. Bei diesem (Fig. 25) tritt das Wasser unter einer Spannschütze 1, 2 hindurch in einem breiten, aber dünnen Strahle bei 3 in der unmittelbaren Nähe des Scheitels des Rades 4 ein, wobei der Strahl so weit über den Scheitel hinweg reicht, daß

die Drehungsrichtung des Rades dadurch gegeben ist. Die mit Wasser gefüllten Zellen 5 senken sich durch ihr Gewicht und steigen leer wieder auf. Je später das Wasser ausfließt, desto günstiger ist der Wirkungsgrad; daher müssen die Schaufeln entsprechend weit übereinander greifen, wie es Fig. 25 erkennen läßt. Die Vereinigung von zwei oberschlächtigen Wasserrädern mit entgegengesetzt gerichteten Schaufeln auf derselben Welle nebeneinander, um eine Umkehr der Drehungsrichtung nach Belieben zuzulassen, heißt *Kehrrad*. Oberschlächtige Räder dürfen auf keinen Fall ins Unterwasser eintauchen. Die Räder eignen sich für Gefälle von 4—10 m bei Wassermengen bis 0,7 cbm in der Sekunde und haben einen Wirkungsgrad von 0,7—0,8. Die Ansicht eines oberschlächtigen Wasserrades zeigt Fig. 26; an der einen Seite des Rades ist um den Umfang ein Zahnkranz gelegt, in den ein kleineres Getriebe eingreift, um die Energie in Form einer schnelleren Rotation zu übertragen.

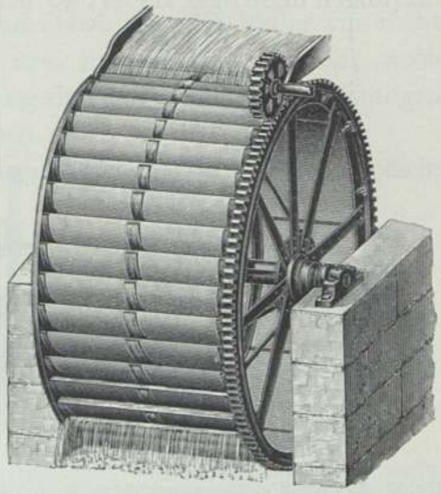


Fig 26. Oberschlächtiges Wasserrad (Ansicht).

Rückenschlächtige Wasserräder. Ein solches mit Kulisseneinlauf ist in Fig. 27 dargestellt. An die Stelle des Kulisseneinlaufs 1 tritt zuweilen eine Überfallschütze. Das Rad 2 ist stets größer als die Gefällhöhe, und der Wassereintritt geschieht unterhalb des Scheitels auf der oberen Hälfte des Radumfanges. Meist sind diese Räder als Schaufelräder gebaut, also mit Schaufeln 3 ohne seitlich geschlossene Zellen; dafür muß dann das Mauerwerk 4 des Gerinnes die Seiten und den Umfang des Rades eng umschließen. Wird ein derartiges Rad jedoch als Zellenrad gebaut, so ist eine kreisförmige Ausmauerung des Gerinnes nicht nötig. Die Wasserzufuhr durch den Kulisseneinlauf kann mittels eines Schiebers 5, 6 und des Rades 7 geregelt werden. Die rückenschlächtigen Wasserräder eignen sich für Gefälle zwischen 3 und 5 m und für Wassermengen von 0,4—1,3 cbm in der Sekunde; sie besitzen einen Wirkungsgrad von 0,65—0,75 und finden vorzugsweise Verwendung für einen veränderlichen Wasserstand im Ober- und Untergraben.

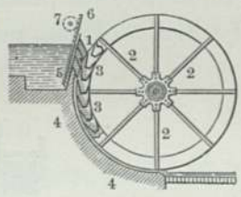


Fig. 27.

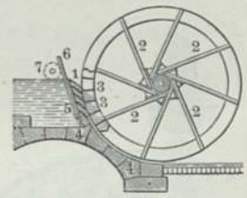


Fig. 28.

Fig. 27. Rückenschlächtiges, Fig. 28. Mittelschlächtiges Wasserrad mit Kulisseneinlauf.

Mittelschlächtige Wasserräder. Bei diesen (Fig. 28) erfolgt der Wassereintritt etwas unterhalb der Mitte des Rades 2 entweder durch einen Kulisseneinlauf 1 oder über eine Überfallschütze hinweg. Diese Räder haben Schaufeln 3 ohne Seitenwände; daher muß der untere Teil des gemauerten Gerinnes 4 an Umfang und Seiten des Rades eng anschließen. 5, 6 ist wieder der Zuflußschieber mit dem Rade 7. Die mittelschlächtigen Wasserräder eignen sich mit Kulisseneinlauf für Gefälle von 2,5—3,5 m und Wassermengen von 0,5—2 cbm in der Sekunde, bei einem Wirkungsgrade zwischen 0,65 und 0,7. Mit Überfallschütze sind sie geeignet für Gefälle von 1,5—2 m und Wassermengen von 0,5—2,5 cbm bei einem Wirkungsgrade von 0,6—0,65.

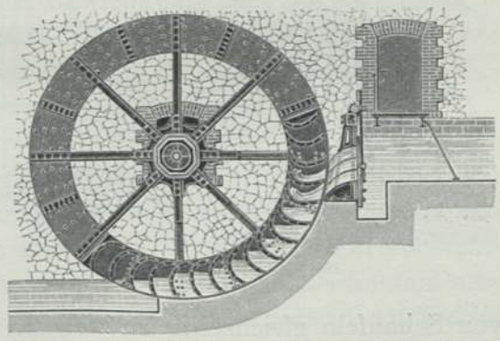


Fig. 29. Mittelschlächtiges Wasserrad der Merseburger Maschinenfabrik Herrich & Co.

In Fig. 29 ist ein mittelschlächtiges Rad der Merseburger Maschinenfabrik Herrich & Co. im Schnitt dargestellt (die Schaufeln sind nur zum Teil hineingezeichnet). Meistens besteht dieses Rad ganz aus Eisen; es wird in das Mauerwerk eingebaut. Das Wasser wird durch drei übereinanderliegende Kulissen zugeführt.

Ist das verfügbare Gefälle noch geringer als etwa 1,5 m, so läßt sich kaum noch eine

Gewichtswirkung des Wassers erzielen, und der Wirkungsgrad wird sehr klein. Das in Fig. 30 wiedergegebene *Kropfrad mit Spannschütze*, das man auch *halbmittelschlächtiges* Wasserrad nennt, ist für Gefälle von 0,5—1,5 m und Wassermengen von 0,6—4 cbm bestimmt; der Wirkungsgrad schwankt zwischen 0,5 und 0,6. Wesentlich höher ist der Wirkungsgrad bei den neueren Ausführungen derartiger Räder; so beträgt er z. B. beim *Sagebienrad* (Fig. 31) etwa 0,70—0,75. Die Umfanggeschwindigkeit dieses Rades ist sehr klein, ebenso auch die Umlaufzahl; daher erhalten diese Räder einen großen Durchmesser, eine große Kranzbreite und Schaufelzahl. Das Wasser tritt langsam in dickem Strahle ohne bedeutende Stoßwirkung ein, so daß das Gefälle als Druckgefälle günstig zur Wirkung kommt. Die Schaufeln sind entweder durchweg gekrümmt oder nur am äußeren Ende umgebogen; beide Formen sind in Fig. 31 gezeigt. Eine noch größere Kranzbreite besitzt das *Zuppingerrad* (Fig. 32), dessen Schaufeln so gekrümmt sind, daß sie senkrecht aus dem Unterwasser aufsteigen.

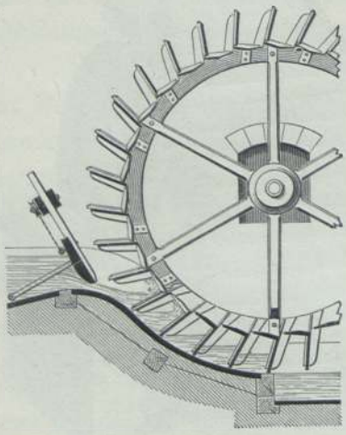


Fig. 30. Kropfrad mit Spannschütze.

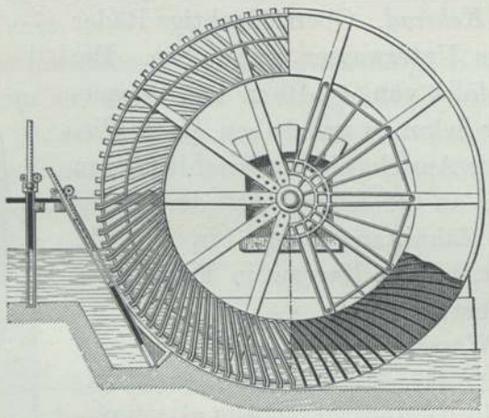


Fig. 31. Sagebienrad mit Überfallschütze.

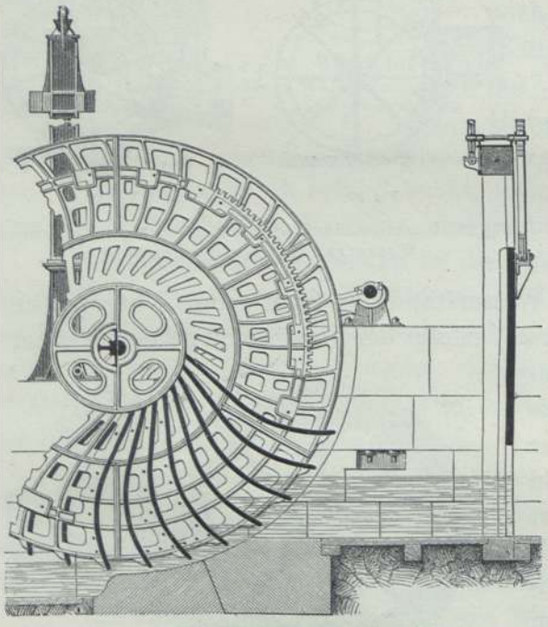


Fig. 32. Zuppingerrad.

Unterschlächtige Wasserräder. Hierher gehört bereits das alte, in Fig. 24 abgebildete Schiffmühlenrad, das einen sehr geringen Wirkungsgrad hat. Ihrer ganzen Natur nach, da das Wasser nur die jeweils untersten Schaufeln trifft, können die unterschlächtigen Räder nicht mehr das Gewicht des Wassers ausnutzen, sondern ausschließlich dessen lebendige Kraft, und dies erklärt den geringen Wirkungsgrad ohne weiteres. Etwas größer als bei den einfachen Schiffmühlen ist er immerhin bei den unterschlächtigen Rädern im sogenannten *geraden* oder *Schnurgerinne* (Fig. 33), bei denen das Wasser lediglich durch den Stoß wirkt und sehr viel Wasser unbenutzt vorbeifließt. Solche Räder eignen sich für Gefälle von 0,2—0,7 m und Wassermengen bis 5 cbm in der Sekunde und zeigen einen Wirkungsgrad bis zu 0,35. Der Wirkungsgrad steigt etwas, wenn das Gerinne kropfartig hergestellt ist *(Kropfgerinne)*, wie bei der Anordnung in Fig. 34, denn durch das Kropfgerinne befindet sich stets eine größere Zahl von Schaufeln gleichzeitig im Wasser. Zuweilen findet sich an diesen Rädern eine Vorrichtung *(Pansterung, Pansterwerk)*, um sie mit ihren Lagern heben und senken zu können, wie es der Stand des Unterwassers gerade erfordert.

Eine besondere Art der unterschlächtigen Räder verkörpert das *Ponceletrad* (Fig. 34); infolge der eigenartigen Schaufelkonstruktion hat es einen verhältnismäßig hohen Wirkungsgrad (etwa 0,7). Die Schaufeln sind so gekrümmt, daß das Wasser genau in der Richtung der Schaufelkrümmung eintritt, an den Schaufeln eine gewisse Strecke in die Höhe steigt und dann wieder zurückfällt. Der Stoß beim Wassereintritt wird dadurch ganz

vermieden, und das Wasser wirkt nur durch seine lebendige Kraft. Das Ponceletrad eignet sich für Gefälle von 0,5—1,5 m.

Bauart der Wasserräder. Die gewöhnlichen Wasserräder werden mit steifen Armen ausgeführt, jedoch findet man bei modernen Konstruktionen häufig das *Suspensionsprinzip* durchgeführt, wobei der Radkranz mit der Nabe durch dünne, nur auf Zug beanspruchte Rundeisenstangen verbunden ist, eine Konstruktion, wie sie beim Fahrrad üblich ist. Für Räder von nicht über 2,5 m Breite genügen zur Anbringung der Schaufeln zwei Systeme von Armen; noch breitere Räder erhalten drei Systeme von Armen. Zur Versteifung sind außerdem Diagonalstangen angeordnet, welche die seitlichen Beanspruchungen aufnehmen.

Die Kraftübertragung von dem Wasserrade nach den angeschlossenen Maschinen geschieht durch einen Zahnkranz, der entweder als besonderes Zahnrad ausgebildet und für sich auf der Nabe befestigt ist, oder aber direkt den Radkranz umschließt, wie dies schon Fig. 26 zeigte.

Das Material der Welle ist Schmiedeeisen oder Stahl. Steife Arme werden aus Schmiedeeisen, Gußeisen oder Holz hergestellt und an der Nabe durch Rosetten befestigt. Der Radkranz besteht aus Holz, Schmiedeeisen oder Gußeisen; die Schaufeln werden aus Holz oder Eisen fabriziert. Der Radboden (Zellenboden) besteht immer aus Holz, selbst bei eisernen Schaufeln.

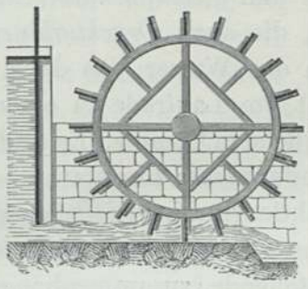


Fig. 33. Unterschlächtiges Wasserrad im Schnurgerinne.

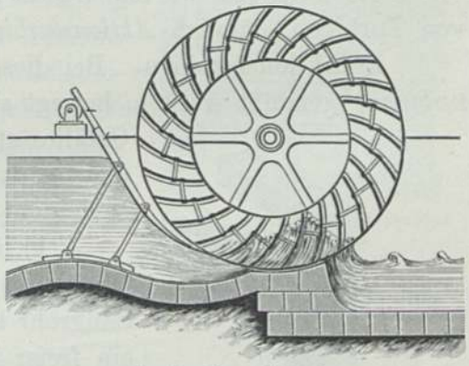


Fig. 34. Ponceletrad.

III. Turbinen.

Früher unterschied man *vertikale Wasserräder* (mit horizontaler Welle), wie sie im voranstehenden Abschnitt besprochen sind, von den *Turbinen*, die als *horizontale Wasserräder* (mit vertikaler Welle) bezeichnet wurden. Aber seitdem auch vertikale Turbinen nicht nur gebaut werden, sondern sogar sehr verbreitet sind, kann dieser Unterschied nicht mehr als bezeichnend gelten. Dagegen liegt der grundlegende Unterschied in der Art, wie das Wasser zur Wirkung gelangt.

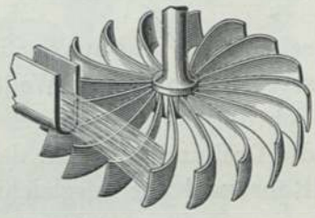


Fig. 35. Stoßrad.

In den Turbinen wirkt das Wasser weder durch sein Gewicht noch durch Stoß auf die Schaufeln, sondern *durch allmähliche Abgabe seines Arbeitsvermögens durch Geschwindigkeits- und Richtungsänderung.* Ein wesentliches Merkmal ist ferner, daß das Wasser den Turbinen durch einen besonderen Leitapparat zwangläufig zugeführt wird. Auch tritt das Wasser nicht an der gleichen Stelle in die Schaufeln ein und wieder aus, wie bei den gewöhnlichen Wasserrädern, sondern durchfließt die Schaufeln in ununterbrochenem Strahl und verläßt sie derart, daß Einströmung und Ausfluß getrennt sind. Die Schaufeln des Turbinenlaufrades sind eigenartig geformt, und der feststehende Leitapparat ist ebenfalls mit Schaufeln ausgestattet. Bei vielen Turbinen bildet der Leitapparat ein vollständiges Rad und verteilt das Wasser durch seine Schaufeln so, daß gleichzeitig sämtliche Schaufeln des Laufrades vom Wasser getroffen werden. Auch dies ist ein grundsätzlicher Unterschied von den Wasserrädern, bei denen ja immer nur ein kleiner Teil des Radumfanges und der Schaufeln unter den Einfluß des Wassers gelangt.

Die Grenzen zwischen den Wasserrädern und den Turbinen lassen sich nicht scharf ziehen. Rein äußerlich versteht man unter „Turbine“ die schnell laufende, in weiten Grenzen regulierbare oder aber sich automatisch regulierende Wasserkraftmaschine, während als Wasserrad das schwere, sich langsam drehende Schaufelrad bezeichnet wird.

Gewissermaßen den Übergang zwischen Wasserrad und Turbine bildet das sogenannte *Löffelrad* oder *Stoßrad* (Fig. 35), auch *Kufenrad* und *Bordasche Turbine* genannt. Es ist dies ein sehr schnell rotierendes Strahlrad, das man früher zur Ausnutzung großer Gefälle häufig verwendete, das aber einen sehr geringen Nutzeffekt, nämlich nur 0,30—0,35, hat.

Das Prinzip der Turbinen erfordert es, dem Wasser seine nutzbare Geschwindigkeit möglichst ohne Stoß zu entziehen. Deshalb müssen die Schaufeln so geformt werden, daß der auftreffende Wasserstrahl ganz allmählich und ohne Stoß aus seiner Richtung abgelenkt wird und trotzdem seine volle Wirkung auf die Schaufeln überträgt.

1. Einteilung der Turbinen.

Nach der Art, wie das Wasser zur Wirkung gelangt, unterscheidet man zwei große Gruppen von Turbinen, nämlich *Aktionsturbinen* und *Reaktionsturbinen*.

a) Aktionsturbinen. Bei diesen, die auch *Druckturbinen* und *Strahlturbinen (Freistrahlturbinen)* genannt werden, bewegt sich das Wasser, das dabei unter dem einfachen Druck des Gefälles steht, im Laufrade in einem freien, also die Laufradkanäle nicht ganz füllenden Strahle. Es findet somit auch ein freier Ausfluß nach dem Unterwasser hin statt.

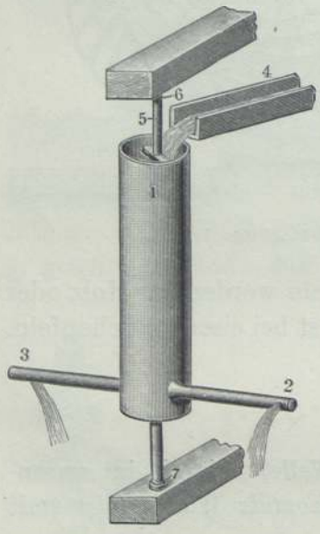


Fig. 36. Segners Reaktionsrad.

b) Reaktionsturbinen *(Überdruckturbinen)*. Bei ihnen ist zwischen Ober- und Unterwasser eine aus Druckrohr, Leitapparat, Laufrad und Saugrohr bestehende, zusammenhängende Leitung vorhanden, so daß ein freier Fall des Wassers nicht stattfindet. Die Laufradkanäle sind also vollständig gefüllt, und weil infolge der Verengerung der Laufradkanäle nach der Seite des Wasseraustrittes zu das Wasser sich nur mit einer geringeren Geschwindigkeit fortbewegen kann, steht es unter einer höheren *hydraulischen Pressung*. Dieser *Überdruck* leistet in dieser Art von Turbine die Arbeit, indem er erst innerhalb des Laufrades wieder in Bewegung umgewandelt wird. Die Wirkung ist dieselbe wie bei dem bekannten *Segnerschen Reaktionsrad* (Fig. 36). Dieses besteht aus dem senkrecht stehenden Hohlzylinder 1 mit zwei horizontalen, an den Enden geschlossenen Rohrschenkeln 2 und 3, die seitlich (und einander entgegengesetzt) mit Öffnungen versehen sind. Das aus der Rinne 4 in den Zylinder fließende Wasser strömt bei 2 und 3 aus und versetzt den mit seiner Welle 5 in 6 und 7 drehbar gelagerten Zylinder 1 in Umdrehung. Die Drehungsrichtung ist entgegengesetzt zur Richtung der ausfließenden Wasserstrahlen. Hervorgerufen wird die Drehung dadurch, daß dem Wasserdruck im Rohrinnern an der der Öffnung entgegengesetzten Rohrwand der ausgleichende Widerstand auf der gegenüberliegenden Seite fehlt.

c) Grenzturbinen. Unter dieser Bezeichnung versteht man Turbinen, die auf der Grenze zwischen Aktions- und Reaktionsturbinen liegen. Sie unterscheiden sich von den Aktionsturbinen dadurch, daß der Wasserstrahl die Laufradkanäle (deren Weite an der Austrittsseite entsprechend gewählt wird) ganz ausfüllt, ohne an seiner freien Entwickelung gehemmt zu werden. Von den Reaktionsturbinen unterscheiden sich die Grenzturbinen dadurch, daß sie ohne Überdruck arbeiten. Während die Aktionsturbinen nicht im Unterwasser laufen dürfen, ohne im Nutzeffekt stark beeinträchtigt zu werden, ist dies bei den Grenzturbinen gleichgültig. —

Eine andere Einteilung der Turbinen geht von dem Weg aus, den das Wasser in der Turbine zurückzulegen hat. Hiernach unterscheidet man *Axial-*, *Radial-* und *Diagonalturbinen*.

a) Axialturbinen. Das Wasser tritt durch einen Ringspalt ein und durchströmt die Schaufeln in der Richtung der Turbinenachse. Es verfolgt also, ein horizontales Rad vorausgesetzt, seinen natürlichen Weg von oben nach unten, in Ausnahmefällen auch von unten nach oben.

b) Radialturbinen. Das Wasser wird so zugeführt, daß es die Schaufeln radial durchfließen muß. Es tritt also in einer zur Turbinenachse senkrechten Ebene schräg radial durch einen

Zylinderspalt in das Rad ein und durchströmt dieses entweder von außen nach innen oder von innen nach außen. In beiden Fällen wird das Wasser um 90° von seinem Wege abgelenkt.

c) **Diagonalturbinen** *(Kegelturbinen)*. Diese, bei denen der Wasserweg schräg zwischen radial und axial liegt, haben keine Bedeutung erlangt.

Weiter kann man die Turbinen nach dem *Wasseraufschlage (Beaufschlagung)* einteilen in *Voll-* und *Partialturbinen*.

a) **Vollturbinen.** Das Laufrad ist ringsherum mit Leitschaufeln besetzt, so daß sämtliche Schaufeln des Laufrades gleichzeitig „beaufschlagt" (vom Wasser getroffen) werden.

b) **Partialturbinen.** Die Leitschaufeln nehmen nur einen Teil des Radumfangs ein, so daß die Laufradschaufeln auch nur zum Teil („partial") beaufschlagt werden. Die partielle Beaufschlagung ist nur bei Aktionsturbinen durchführbar; sie kann bei Voll-Aktionsturbinen durch Absperrung eines Teiles der Schaufeln ebenfalls erreicht werden, jedoch besteht bei den Partialturbinen meistens der Leitapparat überhaupt nicht aus einem vollen Rade, sondern nur aus einigen Leitkanälen. Bei sehr hohen Gefällen kann die partielle Beaufschlagung bis auf einen einzigen Leitkanal hinabgehen.

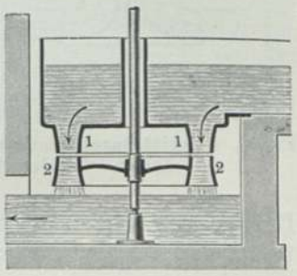


Fig. 37. Axiale Aktionsturbine (Schnitt).

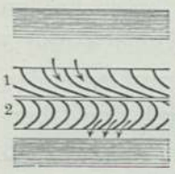


Fig. 38. Idealer Schnitt durch die Mitte der Wasserwege zur Erklärung der Schaufelkrümmungen im Leitrad und Laufrad.

Endlich ist noch eine Einteilung der Turbinen nach der Gefällhöhe möglich, und man unterscheidet

a) **Niederdruckturbinen,** für Gefälle bis 4 m, und

b) **Hochdruckturbinen,** für Gefälle über 4 m.

Um das Wasser sicherer zu leiten, kann man die Eintrittsbreite teilen und erhält auf diese Weise einerseits *mehrkränzige Axialturbinen* und anderseits *mehretagige Radialturbinen*.

2. Hauptteile der Turbinen.

Die wichtigsten Teile jeder Turbine sind *Leitapparat* und *Laufrad;* dazu kommen noch die *Welle*, die *Lager* und die *Reguliervorrichtungen*.

Der *Leitapparat*, durch den dem Wasser ein bestimmter Weg zum Laufrade hin vorgeschrieben wird, ist ein gußeiserner Körper, der entweder feste Schaufeln enthält oder mit beweglichen Leitschaufeln ausgestattet ist oder endlich einen oder mehrere Leitkanäle aufweist, die mittels eines Zungenschiebers oder Kniestückes geschlossen werden können.

Das *Laufrad* besteht aus Gußeisen oder Bronze und enthält entweder Schaufeln aus demselben Material oder aber eingegossene Stahlblechschaufeln.

Die *Welle* ist entweder massiv und besteht dann aus Gußstahl, oder sie ist hohl aus Gußeisen, mit Tragstange.

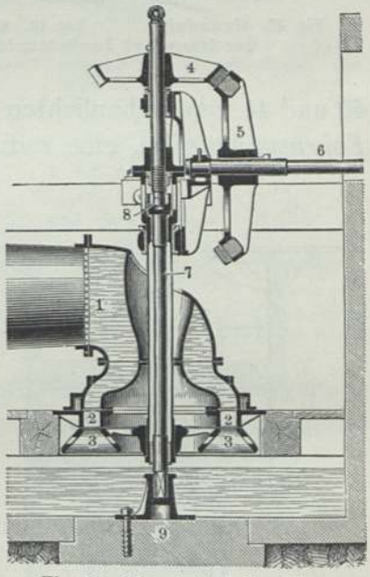


Fig. 39. Girard-Axialturbine.

An *Lagern* bedarf das Laufrad, falls es horizontale Lage hat, eines *Spurlagers (Fußlagers)*, das eine Vorrichtung besitzt, um den Spielraum zwischen Leitrad und Laufrad zu regeln. Vertikale Laufräder, also mit horizontaler Welle, bedürfen mindestens zweier Traglager; bei längeren Wellen sind gegen Durchbiegungen noch Zwischenlager anzuordnen.

3. Turbinensysteme.

Im folgenden seien die wichtigsten Turbinensysteme besprochen, unter Hervorhebung derjenigen Konstruktionen, die augenblicklich praktische Bedeutung haben.

Aktionsturbinen. Bei diesen (Fig. 37) gelangt das Wasser durch die kreisförmig angeordneten

Zellen des feststehenden Leitrades 1 in die entgegengesetzt gekrümmten Schaufelzellen des Laufrades 2 und versetzt dieses in Umdrehung. Fig. 38 läßt die entgegengesetzte Krümmung der *Schaufelzellen* im Leitrade 1 und Laufrade 2 erkennen. Aus dem Laufrade ergießt sich das Wasser in freien Strahlen ins Unterwasser. Die Aktionsturbine muß so hoch aufgestellt werden, daß ihr Laufrad nicht im Unterwasser schleift, weil sonst der Nutzeffekt erheblich sinkt. Deshalb sind derartige Turbinen nicht für einen wechselnden Unterwasserstand geeignet.

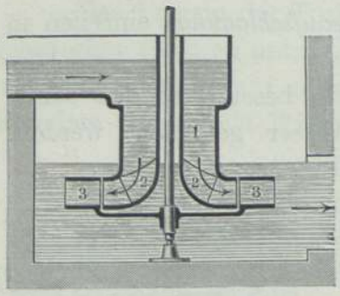


Fig. 40. Schnitt durch eine radiale Reaktionsturbine mit Innenaufschlag (Fourneyronturbine).

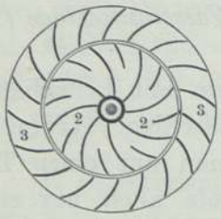


Fig. 41. Grundriß zu Fig. 40.

Girard-Vollturbine. Diese früher verbreitete, jetzt allerdings auch schon überwundene Konstruktion (Fig. 39) ist eine axiale Aktionsturbine. Das Wasser im Rohr 1 steht unter dem Druck des Gefälles und strömt durch die Zellen des Leitrades 2 gegen die gekrümmten Schaufeln 3 des Laufrades. Dieses sitzt auf einer hohlen Welle, die um eine freistehende Tragstange 7 rotiert und mittels der konischen Räder 4 und 5 die Welle 6 antreibt. Das Gewicht des Laufrades (mit dem darauf lastenden Wasser) sowie der Welle und des Zahnrades 4 wird in 8 durch den Oberwasserzapfen auf die Tragstange 7 übertragen, die in der gußeisernen Grundplatte 9 fest angeordnet ist. Das untere Ende der hohlen Turbinenwelle ist in einem die Tragstange umschließenden Lager geführt, während eine am oberen Ende angeordnete Schraubenspindel dazu dient, das Laufrad höher oder tiefer zu stellen, also die Weite des Spaltes zwischen Leit- und Laufrad zu regeln.

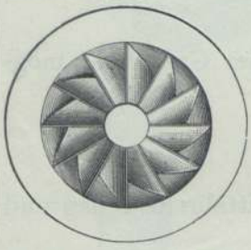


Fig. 42. Grundriß der Henschel Jonvalturbine. Fig. 43. Querschnitt

Reaktionsturbinen wirken in der durch die Figuren 40 und 41 veranschaulichten Weise, und zwar handelt es sich in dem gezeichneten Schema um die *Fourneyronturbine*, eine radiale Reaktionsturbine mit innerer Beaufschlagung. Zwischen Ober- und Unterwasser besteht durch das Druckrohr 1 eine geschlossene Leitung. 2 ist der Leitapparat; das Laufrad 3 rotiert im Unterwasser ohne Beeinträchtigung des Nutzeffekts, was ein besonderer Vorzug aller Reaktionsturbinen ist.

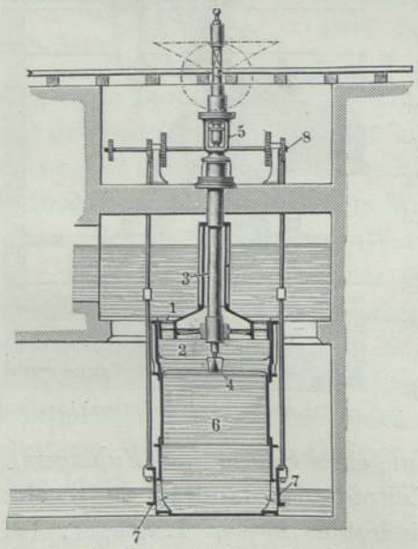


Fig. 44. Henschel-Jonvalturbine.

Henschel-Jonvalturbine. Bei dieser axialen Reaktionsturbine sind Leit- und Laufrad durch schraubenförmig gekrümmte Schaufeln in Zellen geteilt (Fig. 42 und 43), wobei natürlich wieder die Richtung der Schaufeln im Laufrad derjenigen im Leitrad entgegengesetzt ist. Fig. 44 zeigt einen Schnitt durch eine Henschel-Jonvalturbine für kleinere Gefälle. Das Leitrad 1 ist über dem Laufrade 2 angeordnet; letzteres sitzt auf der Turbinenwelle 3. Diese stützt sich mit ihrem Spurzapfen auf eine in das Abflußrohr 6 eingebaute Querstange 4 und hängt drehbar im Oberwasserzapfen 5. Das Wasser gelangt, nachdem es Leit- und Laufrad passiert hat, durch das Abflußrohr *(Saugrohr)* 6 in das Unterwasser. Das Saugrohr ist zur Abstellung und Regelung der Turbine unten mit einer sogenannten Ringschütze 7 versehen, d. h. einem den Umfang des Saugrohres umgebenden Ring, der durch Stangen 8 und Windewerk gehoben und gesenkt werden kann, wonach sich die Abflußmöglichkeit vom Saugrohr nach dem Unterwasser richtet.

Jonvalturbinen können ebenso wie Fourneyronturbinen auch so ausgeführt werden, daß das Wasser von unten zugeführt wird und oben abströmt. In diesem Falle liegt natürlich das

Leitrad unten und das Laufrad oben, und zwar letzteres gewöhnlich in der Höhe des Unterwasserspiegels, während das Zuführungsrohr weiter abwärts geführt werden muß.

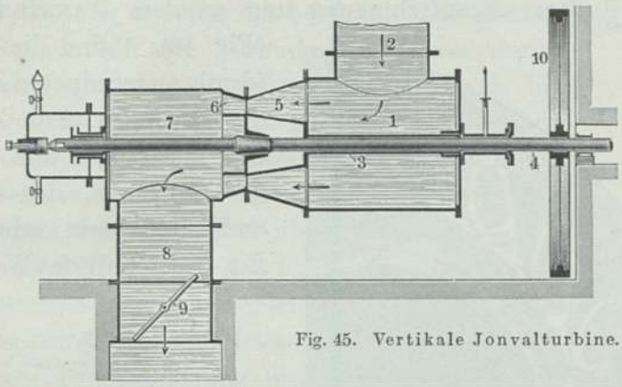


Fig. 45. Vertikale Jonvalturbine.

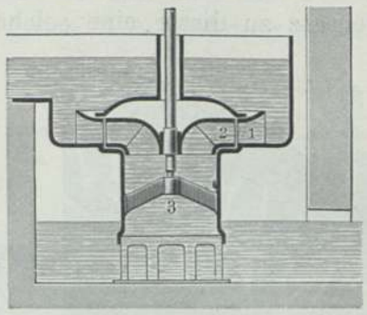


Fig. 46. Schnitt durch eine Francisturbine mit Saugrohr.

Weiter lassen sich Jonvalturbinen auch als vertikale Turbinen ausführen, also mit wagerecht gelagerter Welle (Fig. 45). Das Wasser fließt dem Turbinenkessel 1 durch Rohr 2 zu.

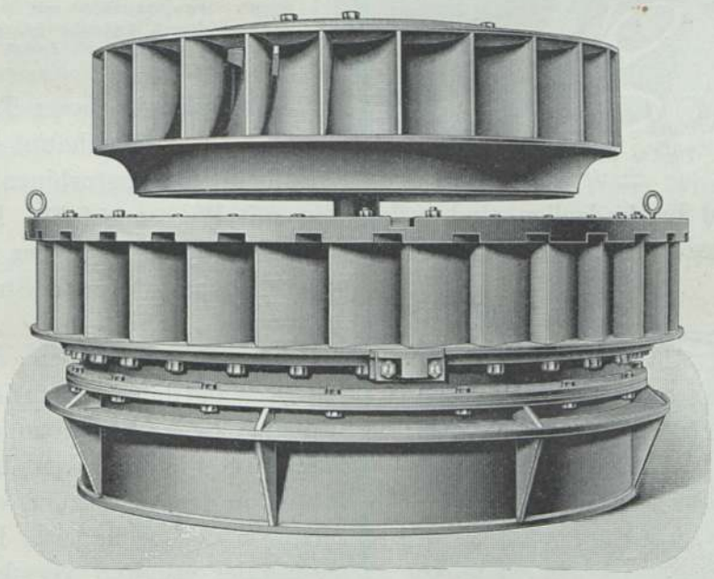


Fig. 47. Leitapparat und Laufrad einer Francisturbine von Ganz & Co., Budapest.

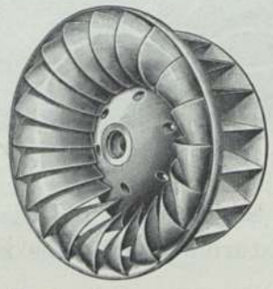


Fig. 48. Laufrad einer Francisturbine. Unterseite-Vorderansicht, Schnelläuferrad von Briegleb, Hansen & Co.

Fig. 49. Francisturbine mit Regulierung durch drehbare Leitschaufeln nach Fink.

1 ist nach außen mit einem Deckel abgeschlossen, durch dessen Stopfbüchse die Turbinenwelle 4 hindurchgeht. Das Wasser gelangt durch das Leitrad 5 in das Laufrad 6 und strömt durch den Kessel 7 und das Rohr 8 ab. Auch durch Kessel 7, der ebenfalls mittels Deckels abgeschlossen ist, reicht die Turbinenwelle 4 hindurch. Damit kein Wasser zwischen Kranz und Nabe des Leitrades 5 austreten kann, ist die Welle innerhalb des Kessels 1 von einer Schutzhülse 3 umgeben. Im Abflußrohr 8 ist eine Drosselklappe 9 angeordnet, durch deren Stellung der Wasserzufluß geregelt wird. Die auf die Turbinenwelle 4 aufgekeilte Riemenscheibe 10 dient zur Kraftübertragung. — Die große Einfachheit und leichte Zugänglichkeit

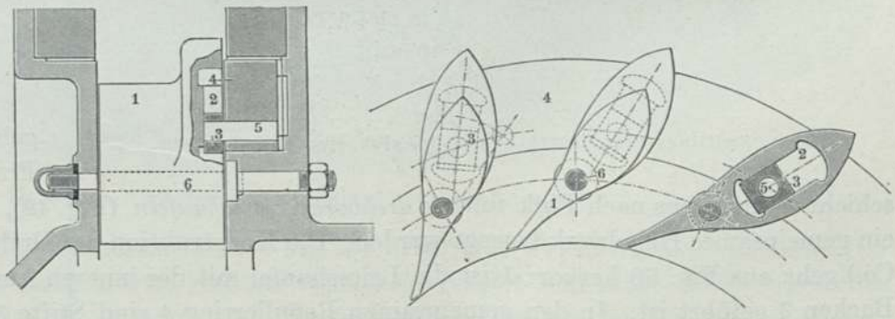


Fig. 50. Drehschaufelkonstruktion.

der Jonvalturbine hat dieser Konstruktion eine große Verbreitung verschafft; trotzdem ist sie neuerdings durch die Francisturbine zurückgedrängt worden.

Francisturbine. Diese ist, wie die Fourneyronturbine, eine radiale Reaktionsturbine, jedoch im Gegensatz zu dieser eine solche mit äußerer Beaufschlagung und axialem Wasseraustritt (Fig. 46): 1 sind die kreisförmig angeordneten Zellen des Leitrades, 2 die Zellen des Laufrades, und 3 ist das Saugrohr, das Ober- und Unterwasser verbindet. Ein freier Fall des Wassers findet also in dieser Turbine, wie überhaupt in allen Reaktionsturbinen, an keiner Stelle statt, und die Leit- und Laufradzellen sind vollständig mit Wasser gefüllt. Die Francisturbine wurde bis zu Ende des verflossenen Jahrhunderts wenig beachtet, ist aber inzwischen an die erste Stelle gerückt.

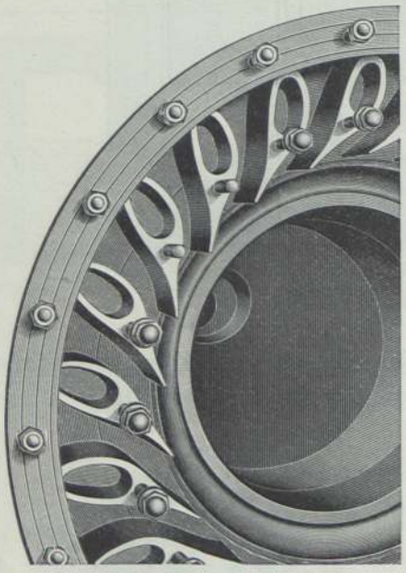


Fig. 51. Drehschaufeln, offen.

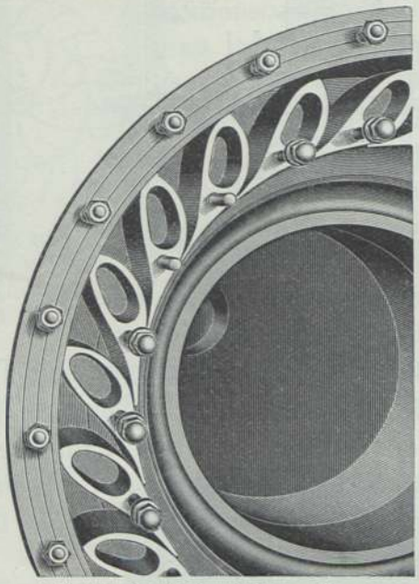


Fig. 52. Drehschaufeln, geschlossen.

Fig. 53. Francisturbine mit Regulierung durch zwischengelegten Schaufelring nach Zodel.

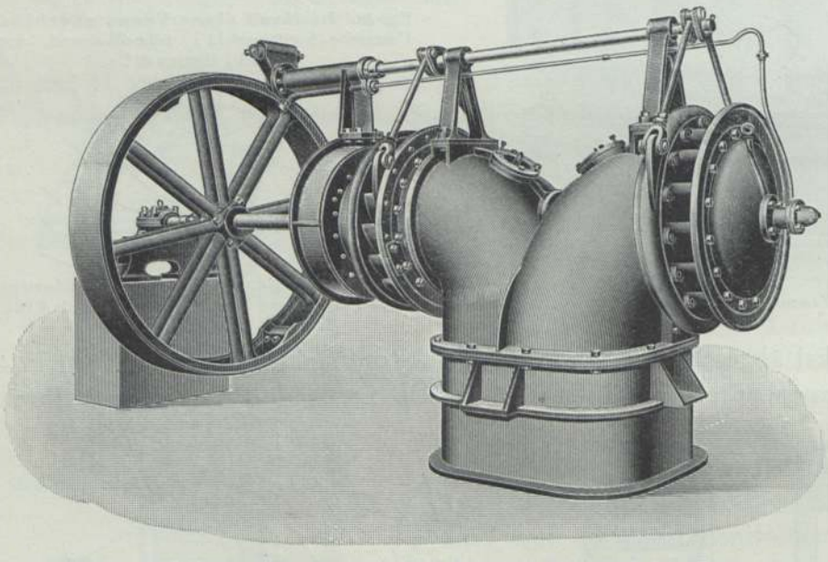


Fig. 54. Zwillings-Francisturbine von Briegleb, Hansen & Co., Gotha.

Fig. 47 zeigt oben das *Laufrad* und darunter den *Leitapparat einer Francisturbine* von 210 Pferdestärken Leistung, in der Ausführung von Ganz & Co., Budapest. Die Laufräder erhalten verschiedene Schaufelformen, je nach der gewünschten Umdrehungsgeschwindigkeit. So stellt Fig. 48 ein *Schnelläuferrad* (Bauart Briegleb, Hansen & Co., Gotha) dar.

Sehr wichtig ist die weitgehende Regulierbarkeit der Francisturbine, und zwar geschieht sie meistens nach Fink mittels *drehbarer Leitschaufeln* (Fig. 49), die alle gleichzeitig durch ein gemeinsames Hebelwerk bewegt werden. Die Konstruktion der Drehschaufeln (Bauart Ganz & Co.) geht aus Fig. 50 hervor: 1 ist die Leitschaufel mit der inneren Aushöhlung 2, in welcher der Backen 3 geführt ist. In den gemeinsamen Regulierring 4 sind Stifte 5 eingesetzt, auf denen die Leitschaufeln mit Hilfe der Backen 3 gelagert sind, während den Drehpunkt der Leitschaufeln der fixierte Bolzen 6 bildet. Durch die Bewegung des Regulierringes drehen sich sämtliche Leitschaufeln, bis sie in die Schlußstellung gelangen. Fig. 51 zeigt die Drehschaufeln des Leitrades einer Francisturbine offen, Fig. 52 geschlossen.

Eine andere Art der Regulierung bei Francisturbinen besteht in einer Anordnung von Zodel (Fig. 53): zwischen Leitrad und Laufrad ist ein mit feststehenden Schaufeln versehener Ring angeordnet, der je nach der Stellung seiner Schaufeln zu denen des Leitrades eine weitere oder engere Öffnung der Kanäle bewirkt. Zur Herstellung einer guten Wasserführung gehen dünne Stahlzungen von den Leitradschaufeln aus durch die Öffnungen des Regulierringes hindurch bis dicht an die Schaufeln des Laufrades. — Außerdem benutzt man zur Regelung der Reaktionsturbinen das Mittel, eine Reihe aufeinanderfolgender Leitkanäle durch Schieber abzusperren.

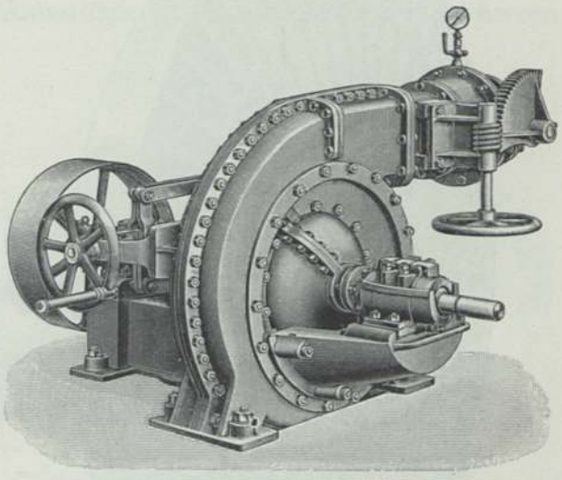


Fig. 55. Francisturbine mit Spiralgehäuse.

Der Nutzeffekt der Francisturbine beträgt mindestens 80 Proz. und reicht bis 86 Proz. hinauf. Von diesem günstigen Wirkungsgrad geht auch bei kleinerer Beaufschlagung nicht viel verloren; so sinkt der Nutzeffekt z. B. bei halber Wassermenge auf 79 Proz., beträgt bei 0,4 Beaufschlagung noch 75 Proz. und bei 0,3 noch 70 Proz. Die Francisturbine ist unempfindlicher als alle anderen Turbinenarten gegen Höhenänderungen des Wasserspiegels; gewöhnlich setzt man sie so hoch wie möglich über das Unterwasser, damit die Turbine jederzeit leicht nachgesehen werden kann.

Als Horizontalturbine, also mit stehender Welle, wird die Francisturbine für Gefälle von 0,75—5 m gebaut. Darüber hinaus konstruiert man sie als Vertikalturbine, und dies ist überhaupt

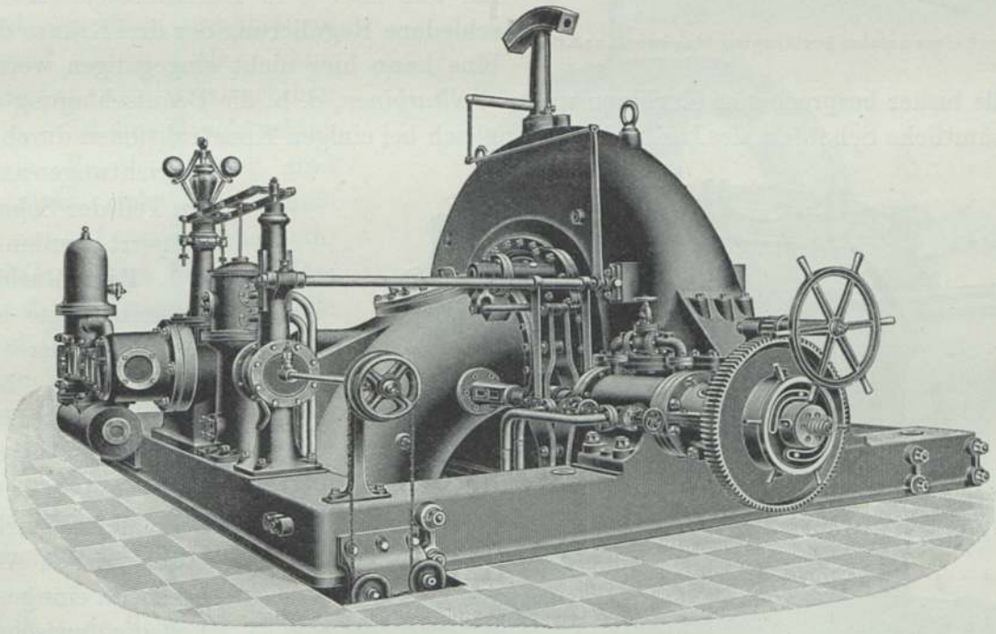


Fig. 56. 2200 PS-Spiral-Francisturbine von Ganz & Co.

die üblichste Anordnung für Francisturbinen. Fig. 54 zeigt eine Francisturbine in stehender Anordnung, wobei also das Saugrohr im rechten Winkel gekrümmt sein muß. Die dargestellte Turbine ist jedoch keine einfache, sondern eine *Zwillingsturbine*, die für den Einbau im offenen Schacht bestimmt ist; es sitzen dabei zwei Turbinen auf derselben Welle. Die sogenannten *Doppelturbinen* unterscheiden sich von den Zwillingsturbinen dadurch, daß sie zwar auch auf die gleiche Welle wirken, aber in zwei getrennten Schächten aufzustellen sind.

Spiralturbine. Wenn das Gefälle höher ist als 10 m und offene Turbinenschächte zu schwierig

in der Herstellung und zu teuer werden, umgibt man die Francisturbine mit einem Spiralgehäuse und macht sie dadurch zur *Spiralturbine*, die ebenfalls ein vertikales Laufrad hat. Fig. 55 zeigt eine kleinere derartige Turbine, Fig. 56 eine große für 2200 Pferdestärken Leistung, wie sie von der Firma Ganz & Co. in Budapest für die Zentrale Morbegno gebaut worden ist. Letztere Figur zeigt auch die automatischen Reguliervorrichtungen, auf die wir noch zurückkommen.

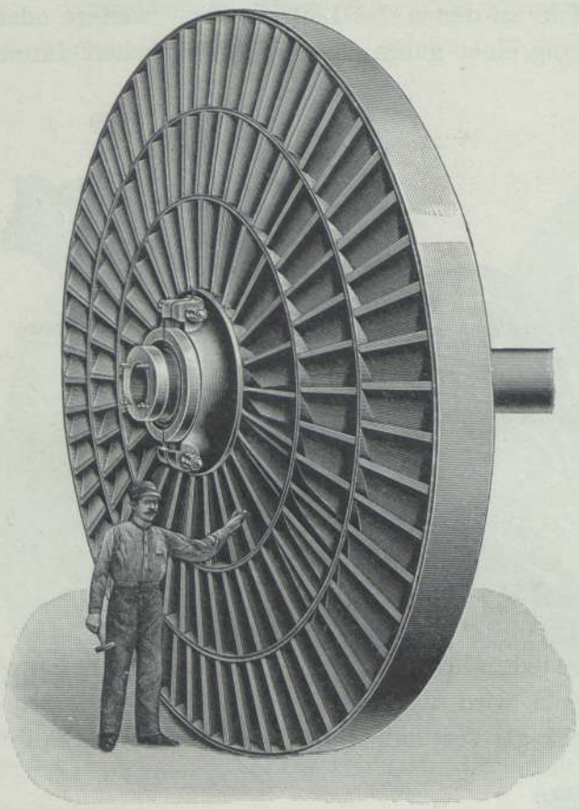


Fig. 57. Laufrad einer axialen Dreikranzturbine von Ganz & Co.

Derartigen Hochdruck-Spiralturbinen wird das Wasser nicht mehr durch offene Kanäle, sondern durch geschlossene eiserne Rohrleitungen (vgl. Fig. 71, S. 35) zugeführt. — Alle Turbinen mit Druck- oder Saugrohr bezeichnet man als *Rohrturbinen*.

Vielfach werden *mehrkränzige* Turbinen benutzt; so zeigt Fig. 57 das Laufrad und Fig. 58 das Leitrad einer axialen Dreikranzturbine von Ganz & Co. Derartige mehrkränzige Turbinen eignen sich zur Ausnutzung großer Wassermengen bei kleinem Gefälle. So leistet die dargestellte Turbine bei 1,5 m Gefälle und 20 cbm Wasser in der Sekunde 300 Pferdestärken, und zwar bei nur 27 Umdrehungen in der Minute. Das Laufrad hat über 4 m Durchmesser. Auf die verschiedene Regulierung der drei Kränze dieser Turbine kann hier nicht eingegangen werden.

Alle bisher besprochenen Turbinen waren *Vollturbinen*, d. h. die Beaufschlagung erstreckte sich auf sämtliche Schaufeln des Laufrades, wenngleich bei einigen Konstruktionen durch Reguliervorrichtungen nach Bedarf ein Teil der Schaufeln abgesperrt werden kann.

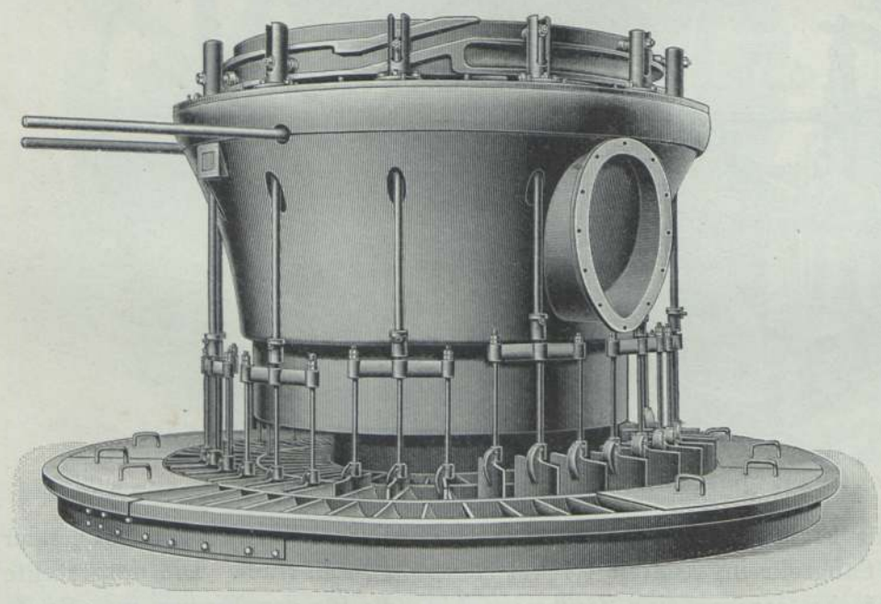


Fig. 58. Leitrad einer axialen Dreikranzturbine von Ganz & Co.

Partialturbinen im engeren Sinne sind horizontale oder vertikale Wasserräder, bei denen der Leitapparat überhaupt nur einen Teil des Laufrades beherrscht. Sämtliche Partialturbinen gehören zu den Aktionsturbinen, da eine geschlossene Leitung zwischen Ober- und Unterwasser nicht vorhanden ist.

Schwamkrugturbine. Diese ist eine Partialturbine (Fig. 59 und 60) mit großem vertikalem Rad; der ins Laufradinnere führende Leitapparat hat fünf Einlaßkanäle, die durch einen Schieber ganz oder teilweise abgesperrt werden können. Die Richtung des Wassers ist tangential zum Laufrade. Die Schaufeln des Laufrades erweitern sich nach der Austrittsseite

hin, und um einen möglichst schnellen Austritt des Wassers herbeizuführen, sind in den Seitenwandungen Luftöffnungen angeordnet. Die äußere Ansicht einer Schwamkrugturbine der Maschinenfabrik Germania in Chemnitz gibt Fig. 61 wieder.

Zuppinger-Tangentialrad (Fig. 62 und 63). Bei dieser Partialturbine erfolgt der Wassereintritt ähnlich wie bei der Francisturbine durch einen tangential gestellten Leitapparat, und zwar besteht dieser entweder aus einem weiten Leitkanal (wie gezeichnet) oder aus mehreren engeren Leitkanälen, die durch einen Schieber ganz oder teilweise verdeckt werden können.

Endlich wird auch die *Girardturbine* vielfach als Partialturbine gebaut und findet als solche für viele Verhältnisse sogar vorzugsweise Verwendung.

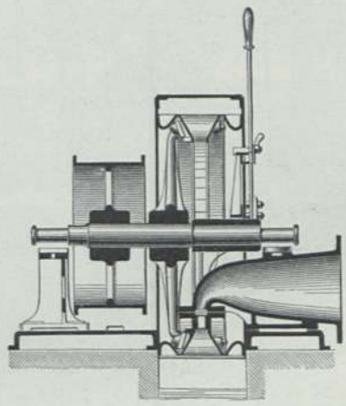


Fig. 59. Partialturbine nach Schwamkrug (Querschnitt).

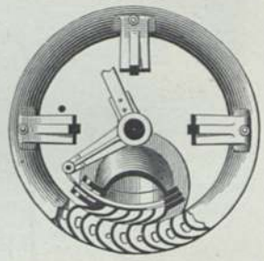


Fig. 60. Aufriß der Fig. 59.

Freistrahlturbinen. Eine eigenartige Stellung unter den Turbinen nimmt das *Peltonrad* ein, ja es gehört strenggenommen kaum vollständig zu den Turbinen, da es keine vom Wasser durchströmten Turbinenkanäle hat, sondern nur direkt beaufschlagte Schaufeln. Jedenfalls ist das Peltonrad, auch *Becherturbine* genannt, eine der wichtigsten Konstruktionen geworden und behauptet unter der Bezeichnung *Freistrahlturbine* neben der Francisturbine siegreich das Feld. Für sehr hohe Gefälle wird es fast ausschließlich verwendet.

Das Peltonrad eignet sich namentlich für kleine Wassermengen bei hohem Gefälle, also für Verhältnisse, unter denen alle sonstigen Turbinen einen ungünstigen Wirkungsgrad haben. Man kann das Peltonrad zu den Partialturbinen zählen, d. h. es ist eine Druckturbine mit äußerer Beaufschlagung, und zwar erstreckt sich die Beaufschlagung nur auf wenige Schaufeln. Die Anordnung zeigt Fig. 64: Der Radkörper, der eine wagerechte Welle hat, ist am Umfang mit eigenartig geformten Schaufeln besetzt, gegen die an der tiefsten Stelle des Radumfanges aus einer konischen Düse ein Wasserstrahl geleitet wird. Die Stärke des Wasserstrahls ist durch eine Regulierspindel verstellbar. Die Schaufelform ist aus Fig. 65 zu erkennen, d. h. jede Schaufel wird durch eine scharfe Mittelrippe in zwei Hohlräume („Becher") geteilt. Die Mittelrippe der Schaufeln teilt den Wasserstrahl und lenkt ihn um nahezu 180° nach beiden Schaufelseiten hin ab (Fig. 66). Hierbei versetzt der auf die Schaufelwandung ausgeübte Druck das Rad in Rotation. Man kann also jedes Peltonrad gewissermaßen als Turbine mit doppeltem Laufkranz ansehen, wenn man jede Schaufelhälfte, also jeden Becher (auch „Trog" genannt), für sich als annähernd kreisförmig verlaufende Laufradschaufel betrachtet. Die Schaufeln bestehen aus polierter Bronze, um die Reibung möglichst gering zu halten. Fig. 67 stellt ein doppeltes Peltonrad (Zwillingsturbine) der Firma Escher, Wyß & Co., Zürich, dar, und zwar geöffnet, so daß die Anordnung der Räder wie der Düsen gut erkennbar ist. Die abgebildete

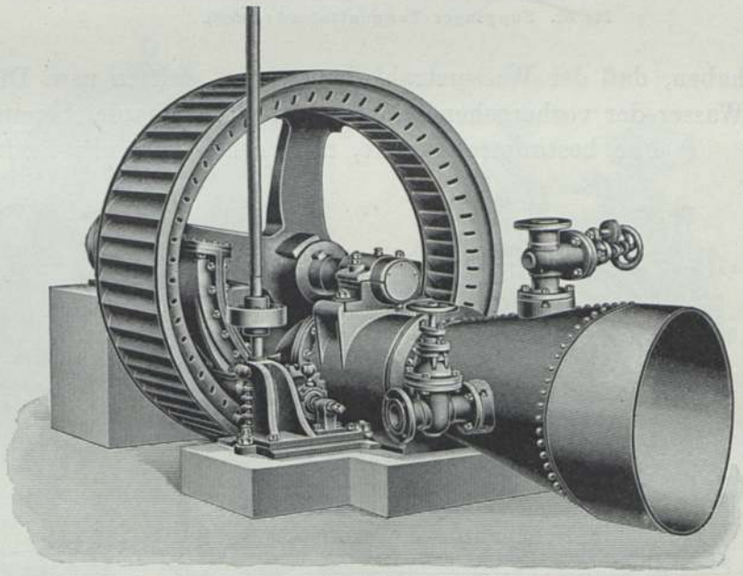


Fig. 61. Schwamkrugturbine der Maschinenfabrik Germania, Chemnitz.

Doppel-Freistrahlturbine leistet 4600 Pferdestärken bei 130 m Gefälle. Eine geschlossene Freistrahlturbine mit Druckregulierapparat derselben Firma ist in Fig. 68 dargestellt.

Das Peltonrad läßt sich mit mehreren Wasserstrahlen betreiben, wenn ein einziger nicht ausreicht. So zeigt Fig. 69 den Schnitt einer *Hochdruck-Freistrahlturbine* von Briegleb, Hansen & Co., die mit zwei von demselben Druckrohr ausgehenden Düsen ausgestattet ist. Auch drei oder vier Düsen läßt man bei Bedarf von einem Rohr ausgehen, nur müssen die einzelnen Düsen so viel Abstand voneinander

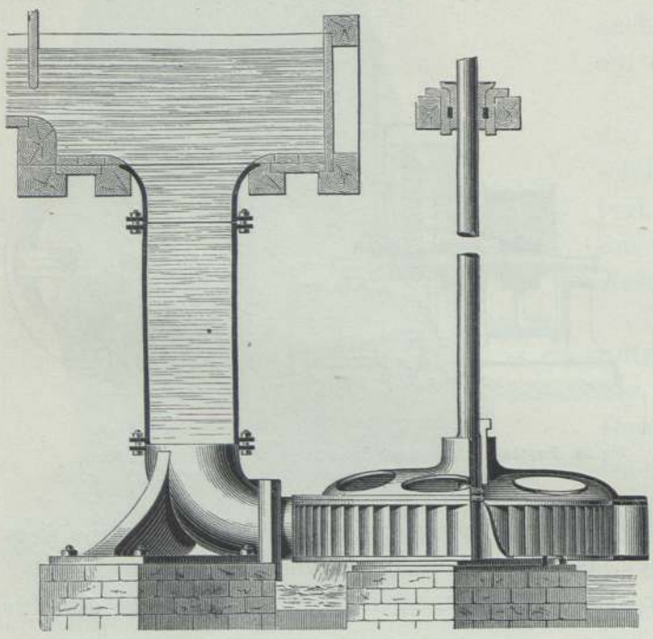


Fig. 62. Zuppinger-Tangentialrad (Aufriß).

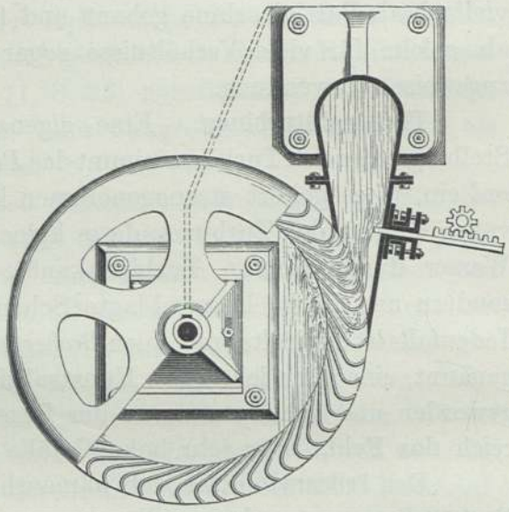


Fig. 63. Grundriß der Fig. 62.

haben, daß der Wasserstrahl der zweiten, dritten usw. Düse eine Schaufel erst trifft, wenn das Wasser der vorhergehenden Düse dieselbe Schaufel bereits wieder verlassen hat.

Für bestimmte Zwecke, namentlich für sehr niedrige Umdrehungszahlen, erhalten die Freistrahlturbinen sehr große Durchmesser. So zeigt Fig. 70 eine Becherturbine von Ganz & Co. für 1600 Pferdestärken mit abgenommener Schutzhaube. Bei dieser für ein Walzwerk bestimmten Turbine ist, um Rädervorgelege zu vermeiden, das Schwungrad am Umfang direkt mit Bechern versehen. Das Rad hat 9 m Durchmesser und wiegt 90000 kg; an Bechern sind 56 Stück auf dem äußeren Radkranze sattelartig befestigt. Die Rohrleitung hat 500 mm Durchmesser; von ihr gehen vier Düsen von 60 mm Durchmesser aus.

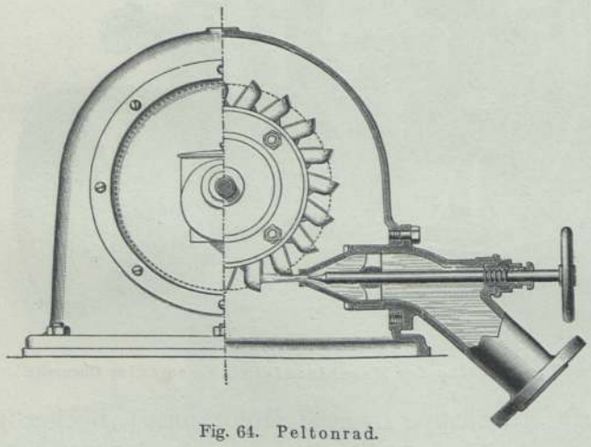


Fig. 64. Peltonrad.

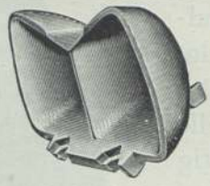


Fig. 65. Peltonbecher.

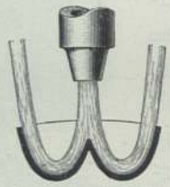


Fig. 66. Schaufel querschnitt.

Wie S. 30 erwähnt ist, muß man den Hochdruckturbinen das Wasser durch geschlossene Rohrleitungen zuführen. Derartige Rohre können oft eine gewaltige Länge erreichen. So zeigt Fig. 71 eine Ansicht der *Hochdruckleitungen*, welche Escher, Wyß & Co., Zürich, für die Kraftwerke Brusio in Campocologno (Graubünden) gebaut haben. Diese Kraftwerke entnehmen die Betriebskraft einem See und arbeiten mit 420 m Gefälle. Die Gesamtleistung beläuft sich auf 42000 Pferdestärken, die teilweise durch Girard-Partialturbinen, teilweise durch Freistrahlräder

gewonnen werden. Die Druckrohre verbinden zwischen Hochreservoir und Maschinenhaus eine Strecke von 1086 m. Der lichte Durchmesser der flußeisernen Rohre bewegt sich zwischen 790 und 870 mm; die Wandstärke steigt, proportional zum Wasserdruck, von 6 auf 23 mm an.

Reguliervorrichtungen haben den Zweck, bei geringeren abzugebenden Leistungen den Wasserzufluß so weit herabzusetzen, daß die Umlaufszahl ungeändert bleibt. Zur Regelung der Aktionsturbinen sperrt man den Wassereintritt in die Leitkanäle mehr oder weniger ab, und zwar dienen dazu je nach dem axialen oder radialen Wassereintritt entweder flache oder zylindrische Schieber, Klappen oder Rollwände. Dagegen sind Drosselklappe, Einlauf- oder Auslaufschütze weniger vorteilhaft, namentlich für Reaktionsturbinen, werden aber wegen ihrer Einfachheit bei reichlichem Betriebswasser dann angewendet, wenn es nicht auf äußerste Ausnutzung des Wassers ankommt. Für Reaktionsturbinen empfiehlt es sich, eine Reihe unmittelbar aufeinanderfolgender Leitkanäle durch Schieber abzusperren, die Schieberstangen dabei aus Gasrohr zu fertigen und durch dieses einen Luftzutritt zu ermöglichen.

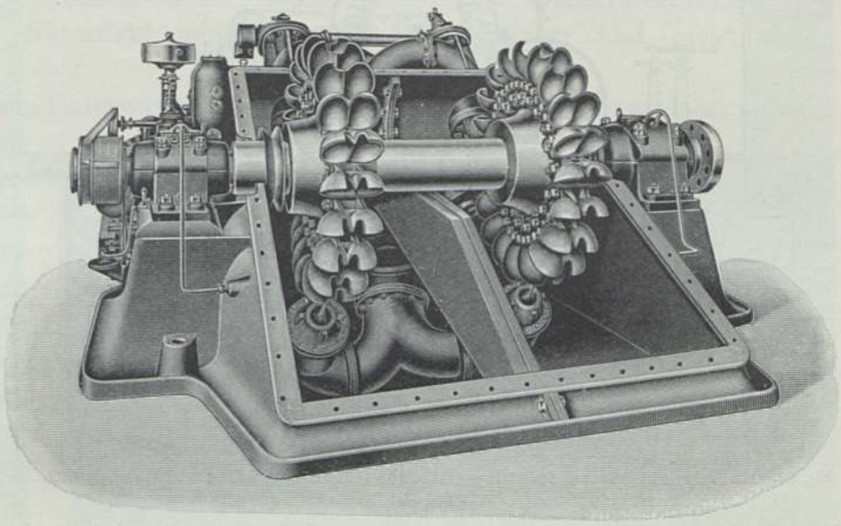


Fig. 67. Doppel-Freistrahlturbine von Escher, Wyß & Co., Zürich, geöffnet.

Durch gleichmäßige Verkleinerung sämtlicher Lauf- und Leitradkanäle lassen sich Reaktionsturbinen nicht vollkommen richtig regeln. Annähernd erreicht man den Zweck durch Anwendung mehrerer Schaufelkränze (vgl. S. 30, Fig. 57 und 58), von denen dann jeweils die unbenutzten durch ringförmige Deckel geschlossen werden. Die Regelung der Francisturbinen mittels drehbarer Leitschaufeln oder mittels zwischengelegten Ringes ist S. 28 und 29 behandelt.

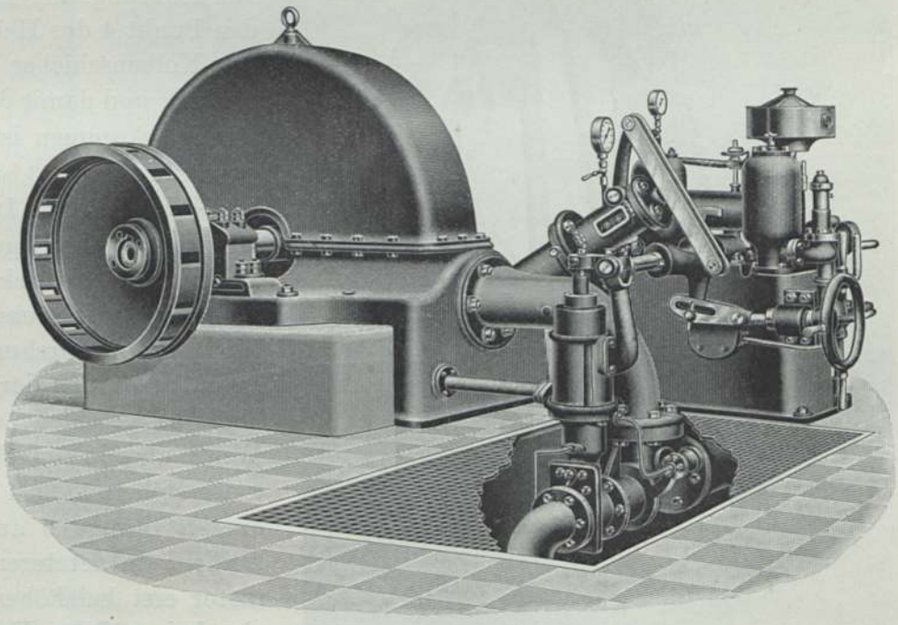


Fig. 68. Freistrahlturbine mit Druckregulierapparat von Escher, Wyß & Co., Zürich.

Sehr wichtig geworden ist neuerdings die *selbsttätige Regulierung* der Turbinen, die man durch Zentrifugalregulatoren (vgl. Abteilung „Dampfkraftmaschinen") besorgen läßt. Da aber das Verstellen von Schützen, Leitschaufeln usw. erhebliche Kraft erfordert, kann der Zentrifugalregulator nicht unmittelbar diese Verstellung besorgen. Dies geschieht vielmehr durch einen

sogenannten *Servomotor* (Hilfsmotor), als welcher eine kleine Wassersäulenmaschine dient. Der Zentrifugalregulator hat dann nur die Aufgabe, den Servomotor zu steuern, und zwar wird der durch den Regulator in Gang gesetzte Servomotor wieder abgestellt, sobald er die der Stellung des Regulators entsprechende Öffnung der Leitzellen oder Schützen bewirkt hat. Die Wirkungsweise eines hydraulisch-automatischen Turbinenreglers erklärt Fig. 72. Steigt die Umlaufszahl der Turbine über das ihrer Belastung entsprechende Maß, so hebt sich die Muffe 1 des Zentrifugalregulators 2 und dreht den Hebel 1, 3, 4 um 4. Der Hebel hebt den entlasteten Steuerkolbenschieber 5 des Servomotors (Druckwassermotors), so daß Druckflüssigkeit in den hinteren Raum 6 seines Zylinders gelangt, dessen Kolben vorschiebt und die Regelwelle 7 so dreht, daß die Ausflußöffnungen des Leitrades der Turbine verengt werden. Mit der Regelwelle 7 dreht sich der Arm 8 und bewirkt die sogenannte Nach- oder Rückführung, indem er mittels der Stange 9 den Punkt 4 des Hebels 1, 3, 4 herabzieht, bis der Kolbenschieber 5 wieder in seine Mittelstellung und damit der Hauptkolben zum Stillstande gekommen ist. Nun befinden sich die Gestängeteile 1, 3, 4 und 9, 8, 7 sowie die Drehschaufeln des Leitrades in derselben Stellung, als ob die Regelwelle 7 bei feststehendem Drehpunkte 3 direkt durch die Muffe 1 des Zentrifugalregulators 2 gedreht worden wäre. Sinkt die Umdrehungszahl der Turbine dagegen unter das der Belastung entsprechende Maß, so geschieht die Regelung in gleicher Weise, aber in umgekehrtem Sinne. Das Ende 4 des Hebels 1, 3, 4 kann durch ein Handrad an der Stange 9 auf- und niedergeschraubt werden; in letzterem Falle wird der Servomotor erst bei höherer Stellung der Muffe 1, also bei größerer Umdrehungszahl, abgestellt werden. Man kann mithin die Regelung auf bestimmte Umdrehungszahlen der Turbine einstellen. Ist bei größerem Durchmesser des Steuerkolbens dessen Reibung noch zu groß, um ihn direkt durch den Zentrifugalregulator bewegen zu lassen, so wird noch eine zweite, indirekte Steuerung eingeschaltet, indem man den Steuerschieber des Hauptkolbens durch einen zweiten Arbeitskolben bewegt und nur diesen

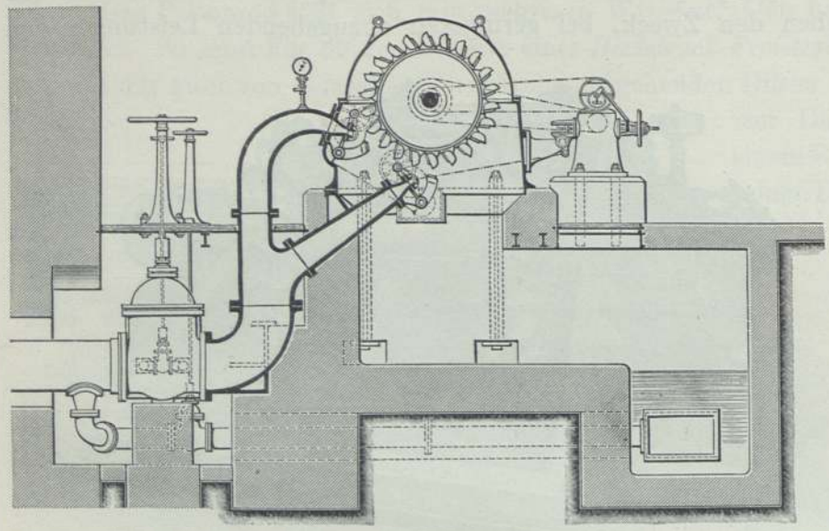


Fig. 69. Hochdruckfreistrahlturbine mit zwei Düsen von Briegleb, Hansen & Co.

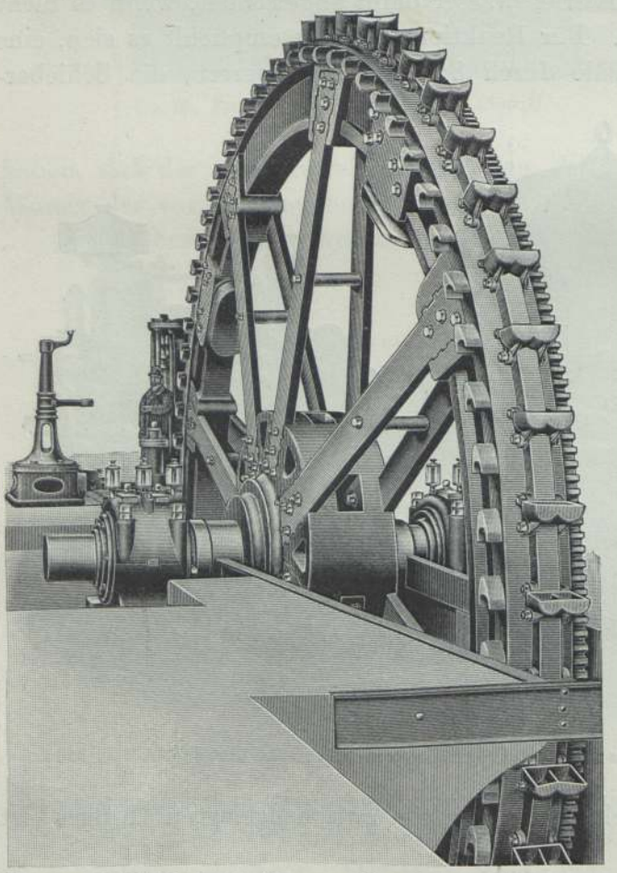


Fig. 70. 1600 PS-Becherturbine von Ganz & Co. bei abgenommener Schutzhaube.

kleinen sogenannten Zwischenkolben vom Zentrifugalregulator steuern läßt. Derartige Regulatoren werden in sehr verschiedenen Ausführungsformen gebaut, teilweise übrigens auch nach anderen Grundsätzen. Einen hydraulisch-automatischen Turbinenregler von Ganz & Co. gibt Fig. 73 wieder. —

Wie schon erwähnt ist, beherrschen Francisturbinen und Freistrahlturbinen fast allein das Feld, wobei der Nutzeffekt mindestens 80 Proz. beträgt und nicht selten bis auf 90 Proz. steigt.

Alle Turbinen, die über dem Unterwasser ausgießen, also sämtliche Aktionsturbinen, müssen, um eine möglichst große Wirkung mit der verfügbaren Wassermenge zu ergeben, am Fuße des Gefälles aufgestellt werden. Dagegen kann bei Rohrturbinen das Laufrad in beliebiger Höhe zwischen Ober- und Unterwasser liegen. Dabei macht man aus praktischen Gründen allerdings bei den Rohrturbinen die Saughöhe der unteren Rohrhälfte — vom Spalt zwischen Leit- und Laufrad aus gemessen — stets kleiner als die Druckhöhe der oberen Rohrhälfte, um das Nachsaugen sowie Wirbel- und Trichterbildung zu verhüten, die den Nutzeffekt herabsetzen.

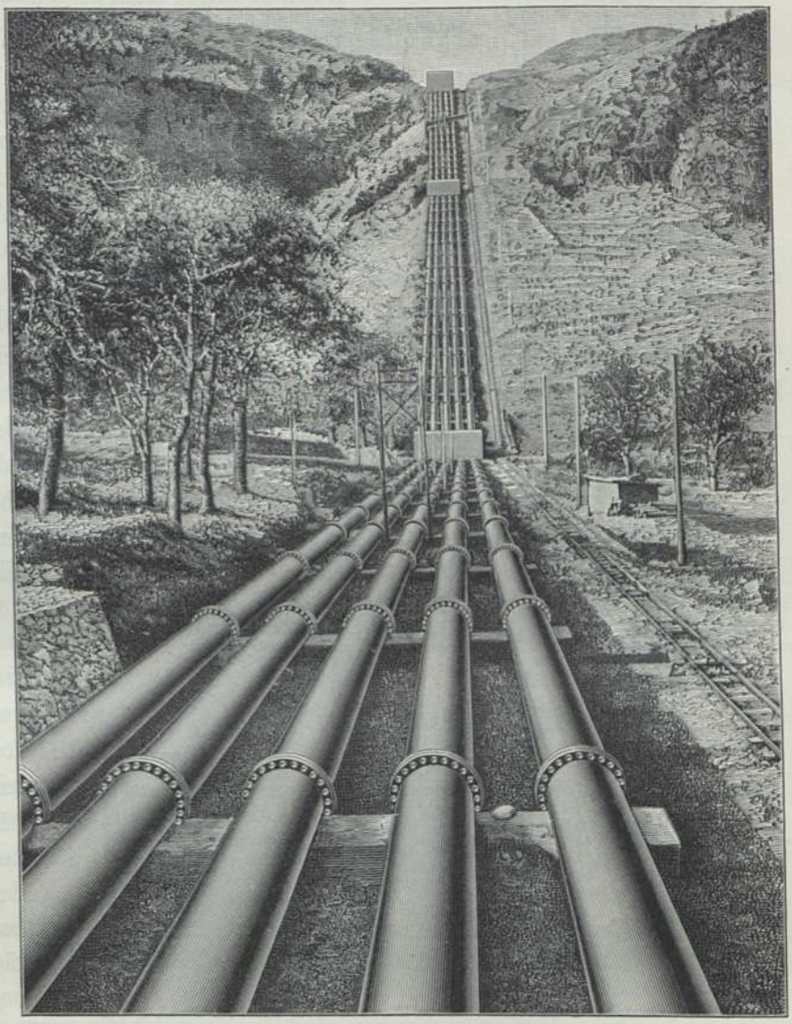


Fig. 71. Hochdruckrohrleitungen der Kraftwerke Brusio.

Turbinen eignen sich für Gefälle von 0,3 bis über 500 m und werden für Tausende von Pferdestärken gebaut. Ihnen ist die Möglichkeit zu danken, die gewaltigen Wasserkräfte auszunutzen. Allein an den Niagarafällen werden heute schon mehr als 300000 Pferdestärken durch Turbinen nutzbar gemacht, und doch ist dies noch nicht ein Zwanzigstel der ganzen in diesen gewaltigen Wasserfällen steckenden Energie. Seitdem die Anlage der *Talsperren* sich mehrt, gelangt man auch zur Ausnutzung von Wasserkräften, die eine solche früher nicht ermöglichten oder doch nicht lohnten.

Eine *Talsperre*, auch *Staudamm* genannt, ist ein widerstandsfähiger Absperrdamm, der die Wassermengen eines oder mehrerer kleinerer Wasserläufe am Fortfließen hindert, also aufstaut. Man sperrt so ganze Täler ab und bildet in ihnen *Stauseen (Staubecken)*. Nicht immer ist der Zweck dabei die motorische Ausnutzung der Wasserkraft, vielmehr ist diese Verwendungsart erst nach und nach wichtig geworden und wird es in Zukunft noch mehr werden. Man baut die meisten Talsperren zu dem Zwecke, die Wasserverhältnisse zu regulieren und Überschwemmungsgefahren seitens der Wildbäche usw. zu beseitigen. Das Niveau des angestauten Wassers ändert sich bei der großen Fläche, auf die es sich verteilt, unbeschadet des wechselnden Zuflusses nur wenig. So dienen die Staubecken vorzugsweise zur geregelten Bewässerung von

Ländereien. Zu diesen Verwendungsmöglichkeiten tritt nun, wie gesagt, die der motorischen Ausnutzung als sehr bedeutsam hinzu.

Die Staudämme können nur bei ganz kleinen Anlagen aus Erde bestehen, werden dagegen für größere Staumengen und Stauhöhen aus Steinen wasserdicht (mit Zement) gemauert. Die Stärke des Dammes muß dabei, entsprechend dem Wasserdruck, von oben nach unten zunehmen, so daß die Stärke des Dammes oben („Kronenbreite") am geringsten, unten an der Sohle am größten ist. Unsorgfältig hergestellte Sperrwerke können unter dem ungeheuren Wasserdruck bersten und durch die plötzliche Entleerung des ganzen Staubeckens furchtbare Verwüstungen anrichten. So zerstörte der Bruch des Staudammes oberhalb Johnstown in Pennsylvanien 1889 ganze Stadtteile, wobei 4000 Menschen umkamen.

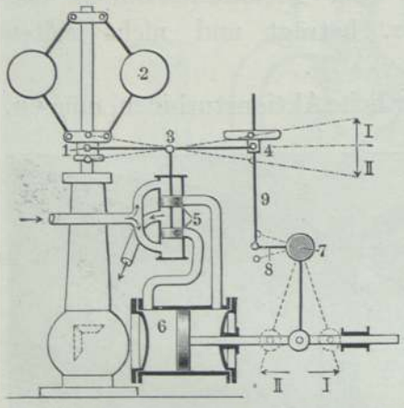


Fig. 72. Schema der hydraulischen Turbinenregulierung (I zu, II auf).

In neuester Zeit hat man, um die teueren Mauerwerksperren zu vermeiden, in Amerika Talsperren ganz aus Eisen hergestellt, und ferner solche aus Eisenbeton, jedoch bleiben die Erfahrungen abzuwarten.

In den letzten 20 Jahren sind in Deutschland etwa 25 Talsperren mit insgesamt 120 Millionen cbm Inhalt und einem Kostenaufwand von 30 Mill. Mark erbaut worden; weitere 15 Sperren mit 400 Millionen cbm Inhalt sind im Bau. Die größte Talsperre Europas wird die *Edertalsperre* in Waldeck, deren Staubecken bei 25 km Länge und 2 km Breite 300 Millionen cbm Wasser faßt. Übrigens hat das Ausland noch erheblich größere Sperren, namentlich Amerika sowie Afrika (Staudamm des Nils bei Assuan).

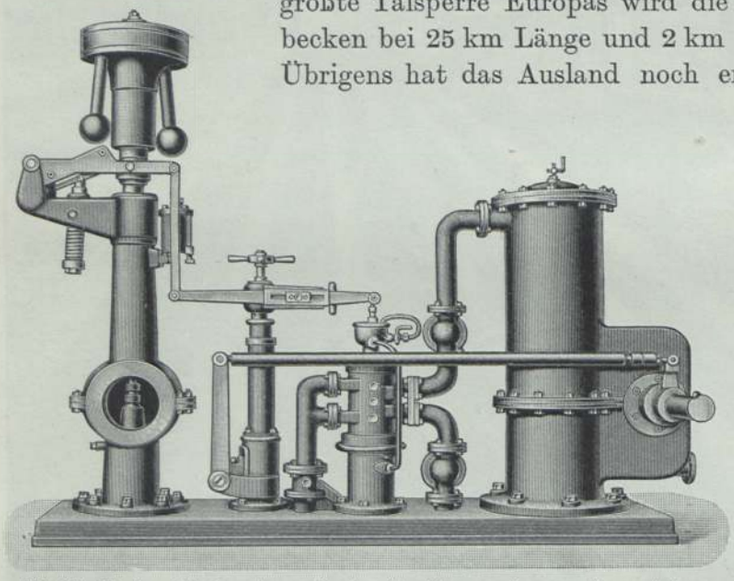


Fig. 73. Hydraulisch-automatischer Turbinenregler von Ganz & Co.

Die motorische Ausnutzung des in den Talsperren angestauten Wassers rückt gegenüber den sonstigen Verwendungszwecken immer mehr in den Vordergrund. Freilich ist die nutzbringende Verwertung der Wasserkräfte erst möglich geworden durch die Leichtigkeit der *elektrischen Kraftübertragung* (vgl. Abteilung „Elektrotechnik"). In erschreckender Weise wächst der Verbrauch an Kohle, und sorgenvoll muß man für eine nicht zu ferne Zukunft den Tag prophezeien, wo die Kohlenschätze der Erde, soweit sie dem Abbau zugänglich sind, versiegen. Dieser schweren Sorge gegenüber muß die möglichst weitgehende Ausnutzung der Wasserkräfte eine Hauptaufgabe der modernen Technik bilden, und ihr gegenüber verdienen die Stimmen, die des Natureindruckes wegen jeden Wasserfall ungebändigt sehen möchten, keine Beachtung.

Die Dampfkraftmaschinen.

Von Dr. **A. Witt**, Berlin-Friedenau.

A. Die Dampfkessel.

Die Dampfkessel haben den für die Dampfkraftmaschinen erforderlichen Dampf zu erzeugen. Es sind allseitig geschlossene Behälter, in denen die in den Brennmaterialien aufgespeicherte Wärme dazu verwendet wird, Wasser in Dampf von höherer als atmosphärischer Spannung umzuwandeln. Die hierzu erforderliche Wärmemenge setzt sich aus drei verschiedenen Teilen zusammen. Soll beispielsweise Dampf von 1 at (Atmosphäre) Spannung, das ist ein Druck, der dem Drucke von 1 kg auf das Quadratzentimeter Fläche gleichkommt, erzeugt werden, so muß das zu verdampfende Wasser von 0° C zunächst in seiner Temperatur auf annähernd 100° C erwärmt werden. Diese Wärmemenge, die *Flüssigkeitswärme* genannt wird, beträgt 99,58 WE, wobei unter 1 WE (Wärmeeinheit) oder Kalorie die Wärmemenge zu verstehen ist, die 1 kg Wasser von 0° C zugeführt werden muß, um seine Temperatur auf 1° C zu erhöhen. Eine weitere Wärmemenge, *innere Verdampfungswärme* genannt, ist nötig, um das Wasser von 100° C in Dampf von 100° C umzuwandeln, d. h. es aus dem flüssigen in den dampfförmigen Zustand überzuführen. Diese Wärmemenge beträgt 497,02 WE. Schließlich ist nicht außer acht zu lassen, daß der Dampf ein größeres Volumen einnimmt als das Wasser, aus dem er hervorgegangen ist. Da sich der Dampf den hierzu erforderlichen Raum erst entgegen dem auf der Wasseroberfläche lastenden Drucke schaffen muß, ist eine dritte Wärmemenge von 40,13 WE nötig, die *äußere Verdampfungswärme*. Je höher die Spannung des Dampfes ist, desto größer ist die zu seiner Erzeugung erforderliche Wärmemenge, jedoch wächst sie nicht in demselben Verhältnis wie die Dampfspannung, vielmehr nur ganz wenig mit der Spannung, so daß es für den Brennstoffverbrauch nicht sehr ins Gewicht fällt, ob Dampf von hoher oder niedriger Spannung erzeugt werden soll.

Folgende Tabelle nach Zeuner läßt den Dampfverbrauch im Verhältnis zur Spannung erkennen:

Druck in kg für 1 qcm	1	2	3	4	5	10	15	20
Gesamtwärme in WE	636,72	642,97	647,00	650,06	652,55	661,06	666,66	670,96

In der Hauptsache ist es die Flüssigkeitswärme, die den Mehrbedarf an Wärme hervorruft, denn die innere Verdampfungswärme nimmt sogar ab und die äußere nur unwesentlich zu. Da weiter der hochgespannte Dampf eine viel größere Arbeitsfähigkeit besitzt als der niedriggespannte, ist es von Vorteil, möglichst hohe Dampfspannungen zu wählen, wobei allerdings zu beachten ist, daß mit der Dampfspannung auch die Verluste durch Abkühlung wachsen.

Der im Kessel erzeugte Dampf heißt *gesättigter Dampf*. Seine Spannung hängt lediglich von der Temperatur ab, und er kehrt schon bei der geringsten Temperaturerniedrigung in den flüssigen Zustand zurück. Da er bei seiner Entwickelung meistens Wasser mit sich reißt, führt er auch den Namen *Naßdampf*. Um vollständig trockenen Dampf zu erzeugen, wird der gesättigte Wasserdampf, nachdem er den Kessel verlassen hat, nochmals beheizt, wodurch *überhitzter* oder

Heißdampf entsteht. Mit der Überhitzung, die in neuerer Zeit bis auf 400° C getrieben wird, ist bei gleichbleibender Spannung des Wasserdampfes eine Zunahme der Temperatur und des Volumens des Dampfes verbunden. Dem gesättigten Dampfe gleicher Spannung gegenüber besitzt der Heißdampf eine höhere Temperatur und ein größeres spezifisches Volumen (Rauminhalt von 1 kg Dampf). Der überhitzte Dampf beseitigt im Dampfmaschinenbetrieb, da er ein schlechterer Wärmeleiter als der gesättigte ist, die Kondensation in der Zuführungsleitung sowie die Eintrittskondensation im Zylinder; er kehrt auch nicht schon bei der geringsten Temperaturerniedrigung in den flüssigen Zustand zurück, sondern wird zunächst in den gesättigten übergeführt. Außerdem besitzt er eine etwas größere Arbeitsfähigkeit als gesättigter Dampf. Zum Betriebe der Dampfkraftmaschinen findet sowohl gesättigter als auch überhitzter Dampf Verwendung.

Die Hauptteile einer Dampfkesselanlage sind: 1. die Feuerungsanlage, 2. der Dampfkessel, 3. die Dampfkesselarmatur, 4. die Zubehörteile.

I. Die Feuerungsanlage.

Die Feuerungsanlage muß die Erzeugung einer möglichst großen Wärmemenge aus dem Brennmaterial und die möglichst vollkommene Abgabe dieser Wärme an das Wasser im Dampfkessel ermöglichen. Letzteres ist nur durch eine große Heizfläche zu erreichen. Unter der *gesamten* oder *feuerberührten Heizfläche* ist der von den Feuergasen bestrichene Teil der Kesseloberfläche (auf der Feuerseite gemessen) zu verstehen; die Gesamtheizfläche zerfällt in die unmittelbar von der strahlenden Wärme des Feuers getroffene *direkte Heizfläche*, und die ihre Wärme nur durch die Berührung mit den Feuergasen erhaltende *indirekte Heizfläche*. Die *wasserberührte Heizfläche* wird im Kesselinnern von Wasser bespült.

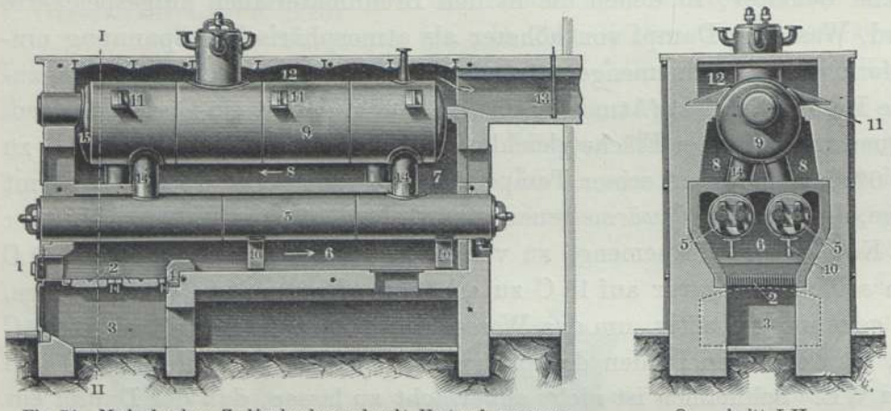


Fig. 74. Mehrfacher Zylinderkessel mit Unterfeuerung. Querschnitt I II.

Die Feuerungsanlage besteht aus dem Feuerraum, den Heizkanälen oder Feuerzügen, in denen die aus dem Feuerraum kommenden Verbrennungsgase um oder durch den Kessel ziehen, und schließlich der Vorrichtung zur Erzeugung des für die Bewegung der Verbrennungsgase nötigen Zuges.

Als Brennmaterial finden feste oder staubförmige, seltener flüssige und gasförmige Stoffe Verwendung. Nach der Lage des Feuerraumes zum Kessel unterscheidet man *Unter-, Innen- und Vorfeuerung*. Bei der *Unterfeuerung* (Fig. 74) liegt der Feuerraum unter, bei der Innenfeuerung (Fig. 75) in und bei der Vorfeuerung (Fig. 76) vor dem Kessel. Alle drei Figuren zeigen Rostfeuerungen, und zwar die beiden ersten solche für feste Brennstoffe. Das Brennmaterial wird durch die Feuertür 1 (Fig. 74) auf den Rost geworfen. Dieser besteht aus vielen nebeneinander gelegten Roststäben 2; die Spalten zwischen ihnen dienen zum Durchtritt der für die Verbrennung nötigen Luft. Der in Fig. 74 und 75 dargestellte wagerechte oder schwach nach hinten geneigte Rost heißt *Planrost*. Die gesamte vom Rost eingenommene Fläche wird als *totale Rostfläche*, die durch die Rostspalten gebildete als *freie* und die übrigbleibende, von den oberen Flächen der hochkant stehenden Roststäbe eingenommene als *tote Rostfläche* bezeichnet. Unter dem Rost 2 befindet sich der Aschenraum 3, der durch eine Aschentür zugänglich ist.

Die von dem Rost 2 kommenden heißen Verbrennungsgase strömen über die Feuerbrücke 4 in den Heizkanal 6 und umspülen die beiden Unterkessel 5, die mit dem Oberkessel 9 durch Stutzen 14

verbunden sind. Am Ende des Heizkanals 6 gelangen sie durch den Überströmkanal 7 in den Heizkanal oder Feuerzug 8, dessen obere Begrenzung durch den Oberkessel 9 und das sich gegen diesen legende Mauerwerk gebildet wird. Dieses Mauerwerk dient außerdem zum Tragen des Oberkessels, der sich, wie Querschnitt I II zeigt, mit seinen durch Nietung fest mit ihm verbundenen Pratzen 11 auf das Mauerwerk legt. Zur Unterstützung der Unterkessel sind die Kesselfüße 10 angeordnet. Nachdem die Verbrennungsgase die wasserberührte Heizfläche des Oberkessels 9 bestrichen haben, umströmen sie dessen vordere Stirnfläche 15 und ziehen durch den Abzug 12, in dem sie den Dampfraum des Kessels berühren und zur Trocknung des Dampfes beitragen, in den *Fuchs*, d. h. den Verbindungskanal zwischen den Feuerzügen und dem Schornstein. Zwischen Fuchs und Feuerzügen befindet sich der Rauchschieber 13.

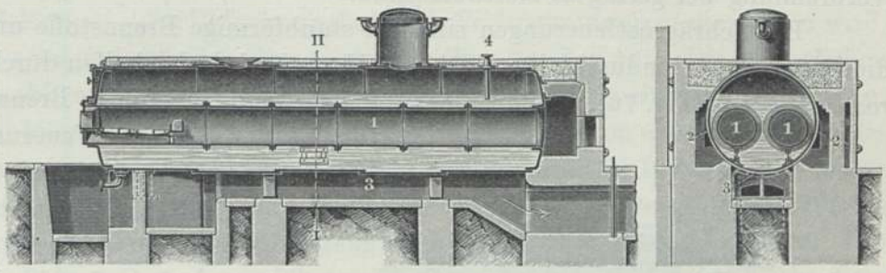


Fig. 75. Zweiflammrohrkessel. Querschnitt I II.

Fig. 75 und 79 zeigen das Beispiel einer *Innenfeuerung*. Der zylindrische Kessel ist in Fig. 75 der Länge nach von zwei weiten, unterhalb des Wasserspiegels liegenden Flammrohren 1 durchzogen, von denen jedes einen Rost enthält. Die Innenfeuerung gewährt eine gute Ausnutzung der Wärme und hat große Verbreitung gefunden. Die Heizgase umstreichen, nachdem sie die Flammrohre 1 verlassen haben, den Außenkessel meist in horizontalen Zügen, in der Figur zunächst den mittleren Teil 2 von hinten nach vorn und dann den unteren Teil 3.

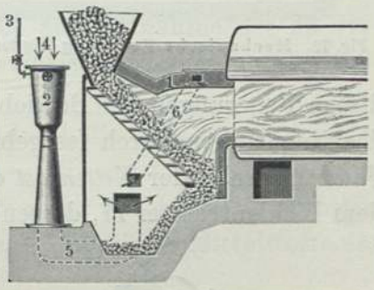


Fig. 76. Vorfeuerung (Treppenrost) mit Unterwindgebläse.

Die *Vorfeuerung* (Fig. 76) liegt vor dem Kessel. Der Feuerraum ist von Mauerwerk begrenzt, das innen mit feuerfesten Steinen 1 bekleidet ist und als Wärmespeicher dient. Steigt die Temperatur im Feuerraum, so nimmt das Mauerwerk Wärme auf, die bei sinkender Temperatur wieder abgegeben wird. Besonders geeignet für Vorfeuerung sind Brennstoffe mit niedrigem Heizwert, wie geringere und mittlere Braunkohlensorten, Torf, Kohlenstaub usw. Dem Vorteil einer sehr guten Verbrennung stehen als Nachteile gegenüber die größeren Ausstrahlungsverluste durch das vor dem Kessel liegende Mauerwerk der Feuerung und der größere Brennstoffaufwand beim Anheizen. Der Wirkungsgrad der Vorfeuerung ist daher kleiner als der der Innenfeuerung.

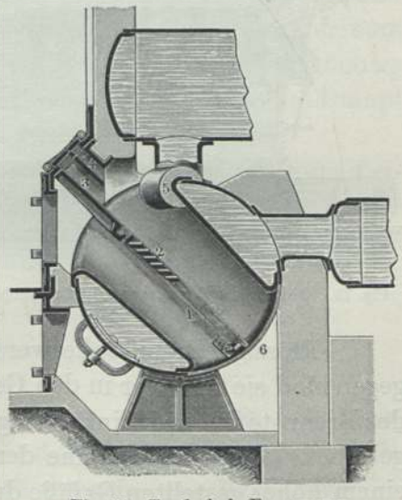


Fig. 77. Tenbrink-Feuerung.

Während bei den Planrostfeuerungen die Verteilung des Brennstoffes auf dem Roste durch den Heizer erfolgt, geschieht dieses bei den *Schrägrostfeuerungen* selbsttätig, denn bei ihnen sind die Roststäbe stark geneigt, so daß der von oben zugeführte Brennstoff in dem Maße selbsttätig nach unten nachsinkt, wie der Abbrand erfolgt. Die bekannteste Schrägrostfeuerung ist die als Innenfeuerung ausgebildete *Tenbrink-Feuerung* (Fig. 77). Die Planroststäbe 1, die zur Verhinderung des Durchfallens unverbrannten Brennstoffes auf der oberen Hälfte mit horizontalen Stufen 2 versehen sind, sind in einer Quervorlage 6 untergebracht. Das Brennmaterial wird durch den Kanal 3 eingebracht und sinkt selbsttätig auf dem Roste nach unten nach. Auf der oberen Hälfte des Rostes findet lediglich eine Entgasung des Brennstoffes statt. Die sich hierbei entwickelnden Gase werden durch die von der unteren Hälfte

des Rostes aufsteigenden heißen Verbrennungsgase entzündet und erhalten die zur Verbrennung nötige Luft in regelbarer Menge durch den Kanal 4. 5 ist ein Wulst aus feuerfestem Material, um die obere, den Verbrennungsgasen besonders ausgesetzte Begrenzung des Flammrohres zu schützen. Vorzüge der Tenbrink-Feuerung sind hohe Ausnutzung des Brennstoffes und rauchfreie Verbrennung bei geringem Luftüberschuß.

Die Schrägrostfeuerungen sind für staubförmige Brennstoffe unbrauchbar, da diese durch die Rostspalten hindurchfallen. Diesem Mangel wird abgeholfen durch die *Treppen- oder Stufenrostfeuerungen* (Fig. 76), bei denen ebenfalls der oben zugeführte Brennstoff selbsttätig nachsinkt. Bei dieser Feuerung sind einzelne Platten derart stufenförmig übereinander angeordnet, daß die Rostspalten wagerecht oder schwach geneigt verlaufen. Als Brennstoff finden besonders Staubkohle, Koksgries, Sägespäne und dergleichen Verwendung.

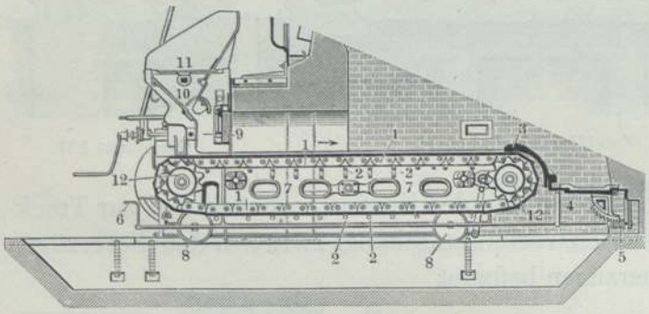


Fig. 78. Mechanische Feuerung (Kettenrost von Babcock & Wilcox).

In neuerer Zeit sind Feuerungen in Aufnahme gekommen, bei denen der Brennstoff nicht selbsttätig nachsinkt, sondern auf einem mechanisch bewegten Rost durch die Feuerung geführt wird. Es gestaltet sich bei diesen Feuerungen der Betrieb regelmäßiger als bei den Schrägrostfeuerungen, bei denen mitunter das Nachsinken durch festgebrannte Schlackenstücke gestört wird. Eine derartige mechanische Feuerung zeigt der *Kettenrost* der Firma Babcock & Wilcox (Fig. 78). Der Brennstoff gelangt aus dem Kohlentrichter 11, dessen Abflußöffnung mittels Drehschiebers 10 reguliert werden kann, auf den Rost; dieser wird von einer aus kleinen Roststäben 1 zusammengesetzten, über zwei Kettenräder 12 laufenden Kette ohne Ende gebildet, die ihre Unterstützung durch Walzen 2 erhält. Das vordere Kettenrad wird durch ein Schaltwerk langsam angetrieben und erteilt dem Kettenrost eine Bewegung in der Richtung des Pfeiles. Kettenräder und Rost sind in zwei Seitenrahmen 7 gelagert, die auf vier Rädern 8 ruhen, so daß die ganze Rostanlage aus dem Feuerraum herausgezogen werden kann. Am Ende des Rostes ist ein Abstreicher 3 vorgesehen, der sich festsetzende Aschen- und Schlackenbestandteile auf die drehbar gelagerte Klappe 4 bringt. Das Heben und Senken dieser Klappe erfolgt durch Drehen der Schnecke 5 mittels Kurbel 6. Die Höhe der Kohlenschicht kann durch den Schieber 9 geregelt werden. Den Einbau einer solchen Kettenrostfeuerung zeigt das aufklappbare Modell des Steinmüllerkessels.

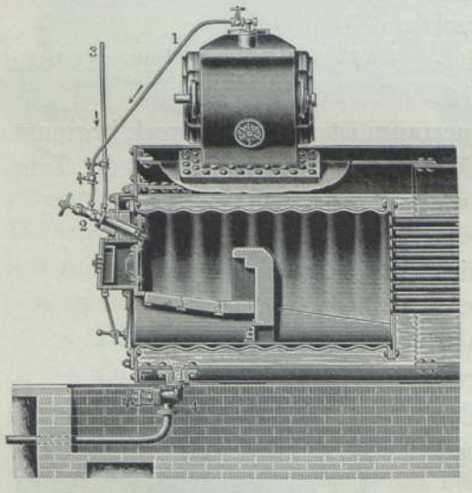


Fig. 79. Petroleumfeuerung (für Lokomobile).

Flüssige Brennstoffe werden in Deutschland wenig für Dampfkesselfeuerung benutzt; dagegen sind sie häufiger in den Gebieten, in denen Rohpetroleum gewonnen wird. Die Zerstäubung des Brennstoffes und Einführung in die Verbrennungskammer erfolgt meistens mittels Dampfstrahlgebläses. Fig. 79 zeigt eine derartige Feuerung für eine Lokomobile. Das Petroleum wird aus einem höher gestellten Gefäße durch Rohr 3 dem Düsenzerstäuber 2 zugeführt. Durch ein zweites Rohr 1 strömt vom Dom der Lokomobile aus Dampf direkt auf die Mündung der Petroleumdüse und bringt das austretende Petroleum zur Zerstäubung. Die Feuerbüchse ist teilweise mit Schamotteausmauerung versehen, die von der Flamme in glühenden Zustand versetzt wird. Durch mehrere Öffnungen in der Schamotteausmauerung wird die Verbrennungsluft von unten zugeführt und durch Berührung mit den glühenden Steinen hoch erhitzt, wodurch eine fast rauchlose Verbrennung entsteht. Da die Einführung des Dampfes in die Feuerung einen Wärmeverlust zur Folge

hat, haben auch Anordnungen Verwendung gefunden, bei denen das Strahlgebläse mit Preßluft betrieben wird oder durch eine Pumpe ersetzt ist.

Zum Ansaugen der zur Unterhaltung der Verbrennung nötigen Luft dient der *Schornstein (Esse)*, der, da er heiße, leichtere und infolgedessen nach oben steigende Gase enthält, eine lebhafte Luftzuströmung durch den Rost bewirkt. Wesentlich für die Zugkraft des Schornsteines ist seine Höhe, durch die auch eine Belästigung der Umgebung durch die Verbrennungsgase vermieden wird. Die Regulierung des Zuges erfolgt durch den Rauchschieber (Fig. 74, Teil 13). Die beweglichen Kessel (Lokomotiv-, Lokomobilkessel usw.), bei denen sich die Anordnung eines hohen Schornsteines verbietet, werden mit künstlichem Zuge betrieben, der durch Einblasen eines Dampfstrahles in das Abzugrohr der Feuergase oder mittels eines Ventilators erzeugt wird, der Luft vor oder hinter dem Rost einführt. Im ersteren Falle wirkt diese Luft drückend, im letzteren saugend auf die Verbrennungsluft. Eine derartige Vorrichtung zur Erzeugung künstlichen Zuges zeigt Fig. 76. Das Strahlgebläse 2, dem durch Rohr 3 Dampf zugeführt wird, saugt bei 4 Luft an und drückt diese durch den Kanal 5 unter den Rost. Ein Teil der Luft wird durch den Kanal 6 über den Rost geführt.

II. Die Kessel.

Die Dampfkessel sind allseitig geschlossene feste Gefäße, die zur Aufnahme des zu verdampfenden Wassers dienen. Als Material wird hauptsächlich Schweißeisen, Flußeisen und Flußstahl verwendet, seltener Kupfer, Messing, Gußeisen.

Die Leistungsfähigkeit eines Dampfkessels wird ausgedrückt durch die *Beanspruchung* oder die *Anstrengung* des Kessels, das ist die Dampfmenge in Kilogrammen, die auf 1 qm Heizfläche in der Stunde erzeugt wird. Die von einem Kessel erzeugte Dampfmenge ist gleich der zugeführten Speisewassermenge und wird durch Wiegen der letzteren gemessen. Ungefähre Mittelwerte für die Anstrengung der Kessel sind:

für ortfeste Kessel	12—30 kg	Dampf auf 1 qm Heizfläche in 1 Stunde.
- Lokomotivkessel	35—60 kg	
- Schiffskessel	20—30 kg	

Nach der Größe der Heizfläche wird auch die Größe des Rostes bemessen, die außerdem von dem Brennmaterial abhängig ist. Für mittlere Steinkohle ist die totale Rostfläche für ortfeste und Schiffskessel $= {}^1/_{25}$—$^1/_{35}$, für Lokomotivkessel $= {}^1/_{50}$—$^1/_{90}$ der Heizfläche, die sich aus der vom Kessel zu erzeugenden Dampfmenge ergibt. Soll beispielsweise der Kessel in der Stunde 1000 kg Dampf liefern und wird angenommen, daß auf 1 qm Heizfläche in der Stunde 20 kg Dampf erzeugt werden, so muß der Kessel eine Heizfläche von ${}^{1000}/_{20} = 50$ qm haben.

Die Güte eines Kessels richtet sich nach der Größe seiner *Verdampfungsfähigkeit* (kurz *Verdampfung*), das heißt nach der Dampfmenge in Kilogrammen, die in dem Kessel von 1 kg Brennmaterial erzeugt werden kann. Die Verdampfung ist abhängig von dem Brennmaterial und dem Kesselsystem. Es verdampft durchschnittlich:

1 kg Steinkohle	5,0—10 kg Wasser	(5,0—10fache Verdampfung)
1 kg Koks	4,5— 8 - -	(4,5— 8fache -)
1 kg Braunkohle	3,0— 5 - -	(3,0— 5fache -)

Von der im Brennmaterial enthaltenen Wärme werden bei Dampfkesseln ungefähr 60—80 Proz. nutzbar gemacht, in einzelnen Fällen noch mehr. Ein großer Teil der Wärme geht mit den abziehenden Verbrennungsgasen verloren, jedoch wird diese Wärme teilweise zur Erzeugung des Zuges nutzbar gemacht. Ein weiterer Verlust, dem durch Einmauern und Isolieren abgeholfen werden soll, entsteht durch Wärmeleitung und Wärmestrahlung.

Der von dem Kessel eingeschlossene Raum zerfällt in den *Dampfraum* und den *Wasserraum*. Die Trennung zwischen beiden erfolgt durch die *Verdampfungsoberfläche*, das ist der Wasserspiegel im Kessel. Der Raum zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstande des Kessels heißt der *Speiseraum*.

Nach der Größe des Wasserraumes können die Kessel eingeteilt werden in *Groß-* und *Kleinwasserraumkessel.* Erstere sind besonders geeignet als Dampferzeuger für unregelmäßigen Betrieb, z. B. für Fördermaschinen, Walzenzugmaschinen usw. Der große Wasserinhalt des Kessels dient hier als Wärmespeicher. Findet infolge Dampfentnahme ein Druckabfall statt, so liegt die dem nunmehr im Kessel herrschenden Drucke entsprechende Siedetemperatur unter der Temperatur, die das im Kessel befindliche Wasser besitzt. Es kann also ein Nachverdampfen stattfinden, ohne daß Wärme von außen zugeführt zu werden braucht. Für gleichmäßige Dampfentnahme sowie für rasche Dampferzeugung eignen sich die Kleinwasserraumkessel.

Von großer Bedeutung für alle Kesselarten ist eine gute Wasserbewegung im Kessel. Abgesehen davon, daß hierdurch die Wärmeübertragung auf das Wasser gefördert wird, findet eine Verminderung der Bildung des Kesselsteines statt, wodurch der Nutzeffekt der Heizfläche bedeutend vergrößert, ungleiche Beanspruchung des Kesselmaterials eingeschränkt und die Dauerhaftigkeit des Kessels gesteigert wird. Je nachdem, ob die Strömung des Wassers im Kessel gleich oder entgegengesetzt der der Verbrennungsgase verläuft, werden *Parallel-* und *Gegenstromkessel* unterschieden. Nach der Bauart unterscheidet man noch *horizontale (liegende)* und *vertikale (stehende)* sowie hinsichtlich des Verwendungszweckes *stationäre (ortfeste)* und *mobile (bewegliche) Kessel.*

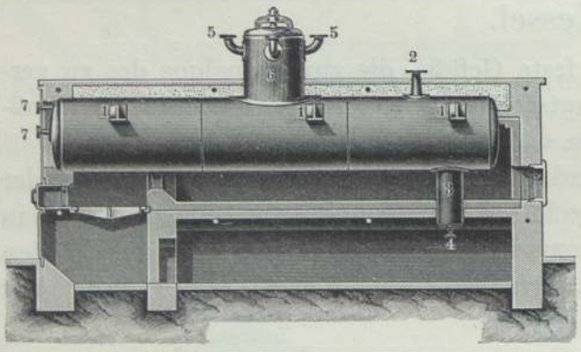
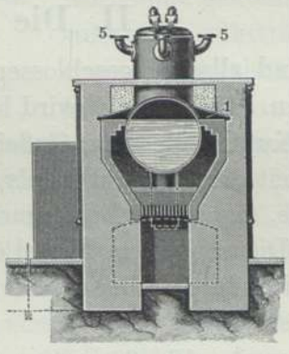


Fig. 80. Einfacher Zylinderkessel.



Querschnitt.

1. Der Walzenkessel.

Der Walzenkessel ist ein an den Enden durch ebene oder gewölbte Böden geschlossener, liegend oder stehend angeordneter Zylinder und stellt die einfachste Form aller Dampfkessel dar. Er wird nur noch in solchen Betrieben verwendet, in denen zur Heizung die abziehenden Gase anderer Feuerungen ausgenutzt werden. Bei eigener Feuerung befindet sich der Rost an einem Ende unter dem Kessel, der auf ungefähr zwei Drittel seines Umfanges in einem Zuge von den Heizgasen bestrichen wird. Der Kessel (Fig. 80) ist nach hinten schwach geneigt und legt sich mit Tragpratzen 1 auf das Mauerwerk. Die Speisung erfolgt bei 2 durch ein unter dem Wasserspiegel mündendes Eintauchrohr (s. hierzu auch Fig. 75, Teil 4). Infolge der stärkeren Erwärmung am vorderen Ende des Kessels erfolgt an dieser Stelle ein Emporsteigen des Wassers und ein Nachströmen des Frischwassers vom hinteren Ende des Kessels her. Heizgase und Wasser strömen also einander entgegen *(Gegenstromkessel).* An dem hinteren, tieferen Ende des Kessels ist ein Wasser- oder Schlammsack 3 angeordnet, der mit Abblasehahn oder Ventil 4 versehen ist. Die Dampfentnahme erfolgt durch die Stutzen 5 des Dampfdomes 6, die außerdem noch zur Anbringung der Sicherheitsventile dienen. In dem Dampfdom ist ferner das Mannloch vorgesehen, das zum Einsteigen bei Reinigungsarbeiten dient. 7 sind die Anschlußstutzen für das Wasserstandsglas (vgl. den Abschnitt über Dampfkesselarmatur).

Vorteile des Walzenkessels sind seine Einfachheit im Bau und in der Bedienung. Er gehört zu den Großwasserraumkesseln und eignet sich daher besonders für Betriebe mit stark wechselndem Dampfverbrauch. Nachteile sind infolge der kurzen Feuerzüge schlechte Wärmeausnutzung und geringe Dampferzeugung. Ferner sammeln sich infolge des Wasserumlaufes von hinten nach vorn über dem Rost, also gerade an der heißesten Stelle, Kesselstein und Schlamm an und hindern den guten Wärmeaustausch. Die mehrfachen Zylinderkessel bestehen aus einem größeren, oberen Haupt- oder Oberkessel und einem, zwei oder drei kleineren, darunterliegenden Unterkesseln, die mit dem ersteren durch Stutzen verbunden sind (vgl. Fig. 74).

2. Flammrohrkessel.

Walzenkessel, bei denen die Heizgase, ehe sie den Kesselmantel umspülen, zunächst durch weite, den Kessel der Länge nach durchziehende und die Böden verbindende Rohre gehen, heißen Flammrohrkessel. Sie werden entweder mit Innen- (Fig. 75 und 81) oder Vorfeuerung (Fig. 86) ausgebildet. Nach der Anzahl der Flammrohre werden Ein-, Zwei- und Dreiflammrohrkessel unterschieden. Bei Kesseln mit einem Flammrohr liegt dieses in der vertikalen Kesselmitte oder seitwärts davon (*Seitenrohrkessel;* Teil 1 in Fig. 81). Die Flammrohre erhalten, da sie von dem unter Kesseldruck stehenden Wasser umspült sind, äußeren Druck und müssen deshalb versteift werden. Gegenüber glatten Flammrohren bieten erhöhte Festigkeit und zugleich größere Heizfläche gewellte Flammrohre (s. Fig. 86, Unterkessel). Dasselbe wird erreicht durch den Einbau von *Quersiedern* oder *Gallowayrohren* (Teil 2 in Fig. 81), worunter das Flammrohr diametral durchdringende Rohre zu verstehen sind. Einen Zweiflammrohrkessel zeigt Fig. 75. Für kleine Anlagen mit beschränkten Raumverhältnissen finden stehende Flammrohrkessel ohne Einmauerung Verwendung.

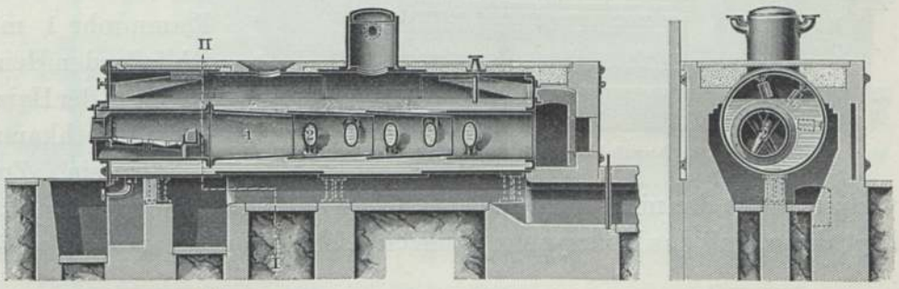


Fig. 81. Einflammrohrkessel mit Gallowayrohren. Querschnitt I II.

3. Heizrohrkessel.

Die Heizrohrkessel sind nicht wie die Flammrohrkessel von 1—3, sondern von einer großen Anzahl außen vom Wasser umspülter Heiz-, Feuer- oder Rauchrohre durchzogen, wodurch eine

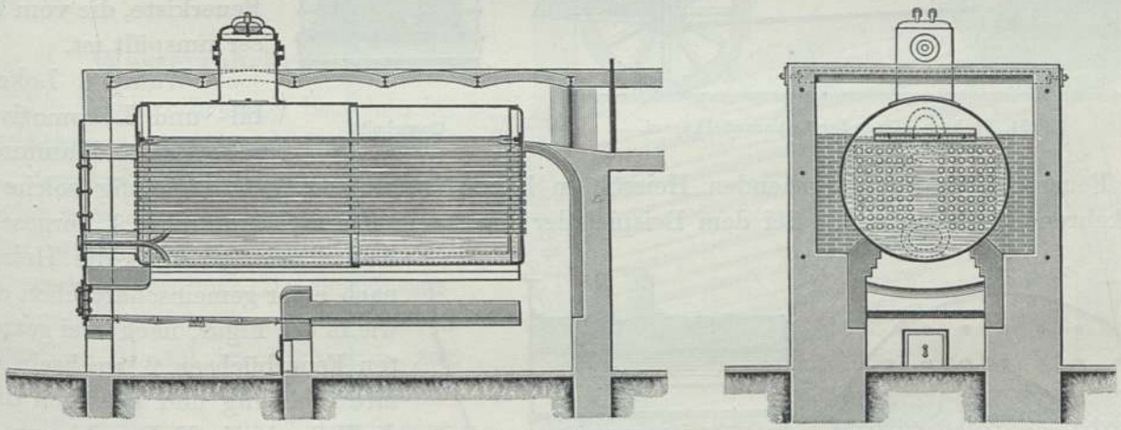


Fig. 82. Heizrohrkessel mit Unterfeuerung.

große Heizfläche bei geringem Kesselvolumen erzielt wird. Der Größe des Wasserraumes nach stehen die Heizrohrkessel zwischen den Großwasserraumkesseln (Walzen- und Flammrohrkessel) und den unten beschriebenen Wasserrohrkesseln mit meist nur verhältnismäßig kleinem Wasserraum. Wegen der großen Heizfläche entwickeln die Heizrohrkessel rasch Dampf, liefern aber infolge der kleinen Verdampfungsoberfläche nassen Dampf. Ferner sind Heizrohrkessel empfindlich gegen schlechtes Speisewasser, da die Reinigung der Heizrohre schwierig ist.

Einen Heizrohrkessel mit Unterfeuerung zeigt Fig. 82. Die Heizgase bestreichen zunächst die untere Hälfte des Kesselmantels, gehen an der hinteren Stirnseite nach oben und durchziehen dann die Rauchrohre. An der anderen Stirnseite des Kessels ändern sie ihre Richtung und verlassen den Kessel, nachdem sie in einem Oberzuge noch den Dampfraum bestrichen haben. Auch hier ist bezüglich der Unterfeuerung der Nachteil hervorzuheben, daß sich gerade an der Stelle

der größten Hitze Schlamm und Kesselstein ansammeln. Die Rauchrohre sind, wie die Querschnittsfigur zeigt, in zwei Bündeln angeordnet, um ein Befahren des Kessels zu ermöglichen. Die Speisung erfolgt am besten durch ein Einhängerohr, wie es in Fig. 75, Teil 4, zu sehen ist.

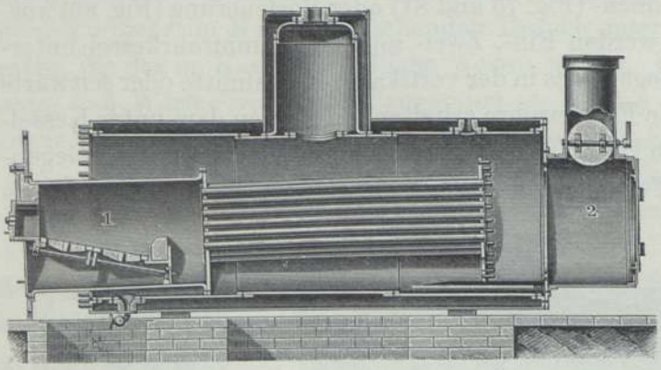


Fig. 83. Ausziehbarer Röhrenkessel.

Die vorstehend beschriebenen Kesselsysteme sind häufig miteinander kombiniert. Eine bekannte Kombination eines Flammrohrkessels mit einem Heizrohrkessel zeigt der in Fig. 83 dargestellte *Lokomobilkessel* mit ausziehbarem Rohrsystem. Der ausziehbare Teil besteht aus einem kurzen Flammrohr 1 mit den sich an dieses anschließenden Heizrohren. Nach dem Durchstreichen der Heizrohre gelangen die Heizgase in die Rauchkammer 2 und aus dieser in den Schornstein. Zum Schutze gegen Wärmeverluste trägt der nicht eingemauerte Kessel eine Blechummantelung. Der Vorteil dieses Kessels liegt darin, daß das Rohrsystem jederzeit leicht herausgenommen, gereinigt und wieder eingesetzt werden kann. Ähnlich ausgebildet ist der *Lokomotivkessel*, Fig. 84, nur befindet sich bei diesem der Rost nicht in einem Flammrohre, sondern in einer kastenartig ausgebildeten Feuerbüchse oder Feuerkiste, die vom Wasser umspült ist.

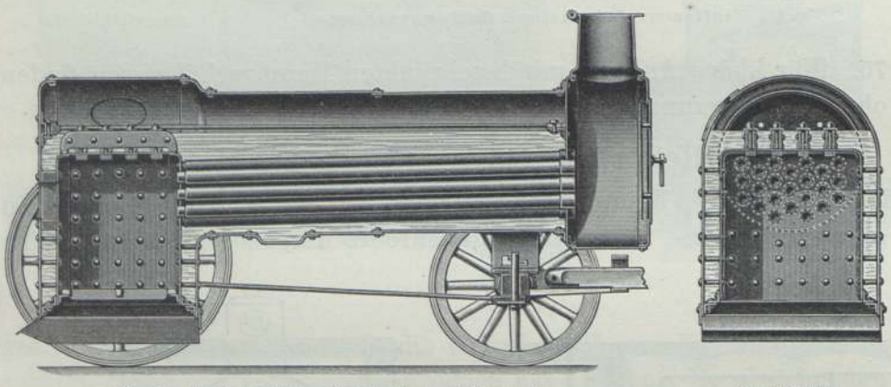


Fig. 84. Lokomotiv- oder Lokomobilkessel. Querschnitt.

Während Lokomobil- und Lokomotivkessel meistens Flammrohre bzw. Feuerbüchsen mit vorgehenden Heizrohren haben, zeigen *Schiffskessel* häufig solche mit rückkehrenden Heizrohren. Bei dem Beispiel der Fig. 85 sind drei Flammrohre 1 vorgesehen. Aus diesen gelangen die Heizgase nach einer gemeinschaftlichen oder, wie in der Figur, nach drei getrennten Feuerbüchsen 2, wechseln dort ihre Richtung und gelangen durch die Heizrohre in die Rauchkammer 3. Auch diese Kessel sind nicht eingemauert. Trotzdem und trotz der häufig geringen Länge der Heizrohre ist die Wärmeausnutzung bei diesen Kombinationen eine sehr gute, da bei ihnen Innenfeuerung und Innenzüge vereinigt zur Anwendung kommen.

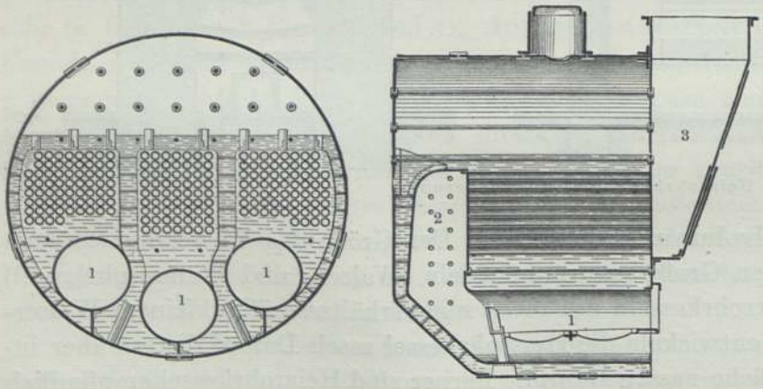


Fig. 85. Schiffskessel, Querschnitt. Längsschnitt.

Bei den vorstehend beschriebenen Kombinationen sind verschiedene Kesselsysteme an einem einzigen Kessel vereinigt. Daneben kommen auch Bauarten vor, bei denen die einzelnen Kessel für sich einem der genannten Systeme entsprechen und dann vereinigt werden. Hierbei wird gewöhnlich der Unterkessel als Walzen- oder Flammrohrkessel und der Oberkessel als Heizrohrkessel ausgebildet. Letztere Bauart, die auch als *Weinligkessel* bezeichnet wird, zeigt die Fig. 86.

Die aus den Flammrohren austretenden Heizgase bestreichen den Mantel des Unterkessels, gehen nach oben, durchziehen die Heizrohre des Oberkessels von vorn nach hinten, bespülen dessen Mantel und gelangen schließlich durch einen Oberzug nach dem Fuchs. Bemerkenswert ist das Vorhandensein von zwei getrennten Dampfräumen 1 und 2, wodurch eine große Verdampfungsoberfläche erreicht wird. Durch das Dampfrohr 3 steht der Dampfraum des Unterkessels mit dem des Oberkessels in Verbindung, während durch Überlaufrohr 4 das Wasser von dem Oberkessel in den Unterkessel gelangt. Allgemeiner sind jetzt Anordnungen, bei denen das Überlaufrohr in dem Dampfrohr liegt und erst kurz vor Erreichung des oberen Wasserspiegels aus diesem heraustritt. Die Speisung erfolgt in den Oberkessel.

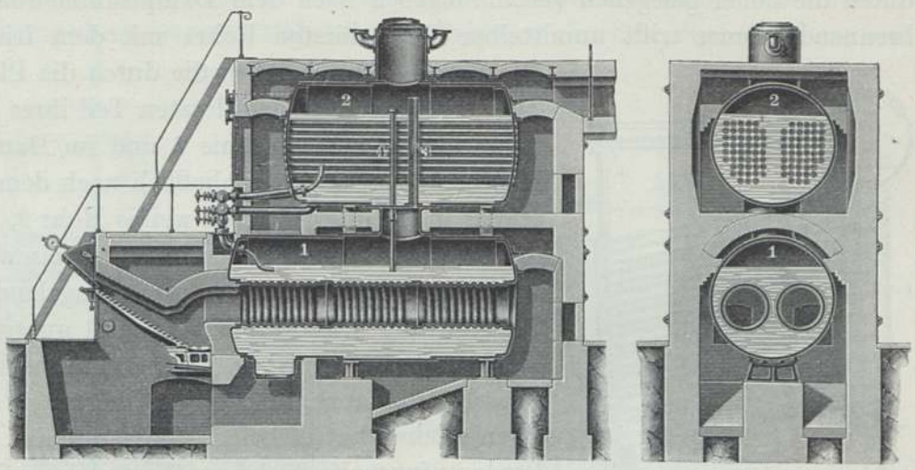


Fig. 86. Kombinierter Flamm- und Heizrohrkessel. Querschnitt.

Diese Kesselbauart, die auch mit Innenfeuerung ausgerüstet sein kann, bietet den Vorteil einer großen Heizfläche auf kleiner Grundfläche. Sie ist daher, gutes Speisewasser vorausgesetzt, besonders empfehlenswert bei großen Anlagen auf teuerer Bodenfläche und bei in der Hauptsache regelmäßigem Dampfverbrauch.

4. Wasserrohrkessel.

Die Wasserrohrkessel bestehen im wesentlichen aus einer großen Anzahl geneigt liegender Rohre (von ungefähr 80—122 mm Durchmesser), die mit Wasser gefüllt sind und von den Heizgasen umspült werden. Da der Wasser- und Dampfraum der nur aus Rohren bestehenden Kessel im Verhältnis zur Heizfläche klein ist, werden die Wasserrohrkessel meistens zur Vergrößerung dieser Räume mit zylindrischen Oberkesseln versehen. Die Wasserrohrkessel besitzen die Vor- und Nachteile der übrigen Kleinwasserraumkessel in mehr oder weniger hohem Maße. Einer ihrer Hauptnachteile besteht darin, daß sie im allgemeinen nasseren Dampf liefern als die Großwasserraumkessel. Ferner verlangen sie ein sehr reines Speisewasser. Wegen ihrer geringeren Explosionsgefahr gegenüber anderen Kesseln werden sie mitunter auch als *Sicherheitskessel* bezeichnet.

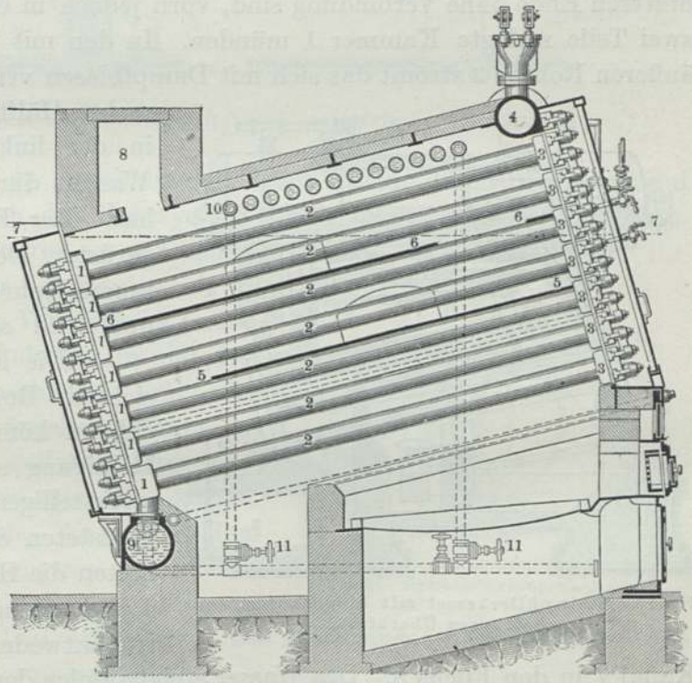


Fig. 87. Rootscher Wasserrohrkessel.

Die Wasserrohrkessel lassen sich einteilen in solche mit mäßig und in solche mit stark ansteigenden Rohren. Die erste Gruppe zerfällt, je nachdem ob die Rohre an ihren Enden durch einzelne Verbindungsstücke vereinigt sind oder in gemeinschaftliche Kammern münden, in Glieder- und Kammerkessel. Bei den letzteren kann man Ein- und Zweikammerkessel unterscheiden.

Das Beispiel eines Gliederkessels zeigt der *Rootsche Wasserrohrkessel* (Fig. 87), bei dem je zwei vertikale Rohrreihen ein Element bilden. Die Anfangspunkte 1 sämtlicher parallel liegender Rohre 2 eines Elementes einerseits und die sämtlichen Endpunkte 3 anderseits stehen miteinander durch Kopfstücke in Verbindung. Der in jedem Rohr entwickelte Dampf findet einen Weg durch die höher gelegenen Verbindungen 3 nach dem Dampfsammelrohr 4. Das auf dem Rost brennende Feuer trifft unmittelbar die untersten Rohre mit dem frisch zugespeisten Wasser. Die Heizgase durchziehen die durch die Platten 5 und 6 gebildeten Züge, trocknen auf dem letzten Teil ihres Weges den in den Rohrteilen über der Wasserlinie 7 und im Dampfsammler vorhandenen Dampf und gelangen schließlich nach dem Fuchs 8. Die Speisung erfolgt in ein querliegendes weites Rohr 9, das *Schlammsammler* genannt wird. Zum Vorwärmen des Speisewassers wird oft vor dem Fuchs eine Vorwärmschlange 10 eingebaut, die durch die in der Speiseleitung befindlichen Ventile 11 ausgeschaltet werden kann, in welchem Falle das Speisewasser unmittelbar nach 9 gelangt. Der Kessel kann auch mit einem Oberkessel versehen werden. Ohne einen solchen hat er keinen Wasserumlauf und nur eine sehr kleine Verdampfungsoberfläche. — Von anderen hierher gehörenden Bauarten sei der *Bellevillekessel* genannt, bei dem je zwei vertikale Rohrreihen eine zusammenhängende Rohrschlange bilden.

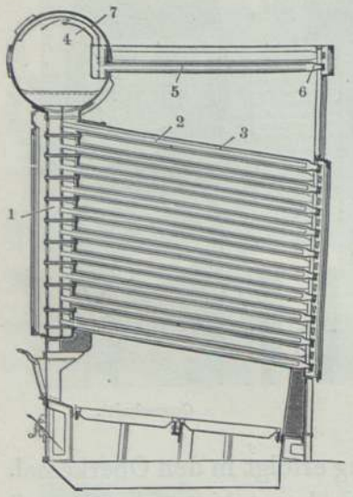


Fig. 88. Dürr-Kessel.

Zu den Einkammerkesseln gehört der *Dürrsche Schiffskessel* (Fig. 88), der aus einer Anzahl Doppelrohre 2, 3 besteht, die am hinteren Ende ohne Verbindung sind, vorn jedoch in eine durch eine senkrechte Scheidewand in zwei Teile zerlegte Kammer 1 münden. In den mit den Heizgasen in Berührung kommenden äußeren Rohren 3 strömt das sich mit Dampfblasen vermischende Wasser hoch und gelangt in die rechte Hälfte der Kammer 1, was ein Nachsinken des in der linken Hälfte dieser Kammer vorhandenen Wassers durch die Rohre 2 in die Rohre 3 zur Folge hat. Der Kessel ist mit einem Überhitzer 5, 6 ausgerüstet. Der Dampf gelangt durch den Kanal 4 in das innere Rohr 5, dann in das äußere 6 des Überhitzers und wird schließlich durch den Kanal 7 abgeführt.

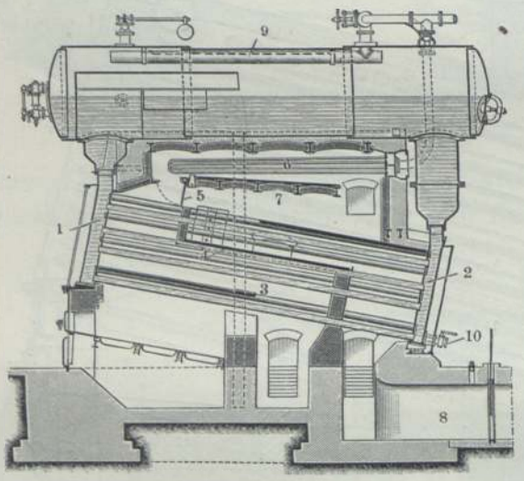


Fig. 89. Steinmüllerkessel mit eingebautem ausschaltbaren Überhitzer.

Die Einkammerkessel haben den Vorteil, daß sich die Rohre einzeln unabhängig voneinander ausdehnen können, dafür aber den Nachteil, daß die Reinigung schwierig ist. Besser läßt sich diese bewerkstelligen bei dem mit zwei Kammern 1 und 2 ausgerüsteten *Steinmüllerkessel* (Fig. 89). Bei diesem erhalten die Heizgase ihre Führung durch die Platten 3, 4 und gelangen, je nachdem wie die Klappe 5 gestellt ist, entweder über den Überhitzer 6 oder durch den Kanal 7 in den Fuchs 8. Das Wasser steigt infolge der stärkeren Beheizung der vorderen Rohrenden in der Kammer 1 hoch und sinkt in der Kammer 2 nach. Statt des Domes ist ein in seinem oberen Drittel mit Schlitzen versehenes Rohr 9 angeordnet, das den Dampf je nach Stellung der Ventile entweder dem Überhitzer oder unmittelbar der Verbrauchsstelle zuführt. *Die genauere Ausbildung dieses Kessels sowie im besonderen auch die Anordnung der Ventile zum Ein- und Ausschalten des Überhitzers ist aus dem aufklappbaren Modell ersichtlich.*

Mehr den Großwasserraumkesseln nähert sich der *Mac-Nicolkessel*, eine Kombination aus einem Wasserrohrkessel und einem mehrfachen Walzenkessel. Zu den Kesseln mit stark ansteigenden Rohren gehören der *Garbekessel* (Fig. 90) und der *Schulz-Wasserrohrkessel* (Fig. 91).

Das wesentliche Merkmal des ersteren besteht darin, daß er lediglich aus zylindrischen Kesselteilen und einem dazwischen vertikal oder etwas geneigt stehend angeordneten Rohrbündel zusammengesetzt ist, das seinerseits in die gleichzeitig wellen- und stufenförmig gepreßten Patent-Garbeplatten 1 eingewalzt ist. Die von dem Kettenrost (System Dürr) kommenden Verbrennungsgase bestreichen zunächst die schräg aufwärts gerichteten Rohre, umspülen dann den Überhitzer 2 und gelangen nach Beheizung des senkrecht stehenden Rohrsystems in den Fuchs. Ober- und

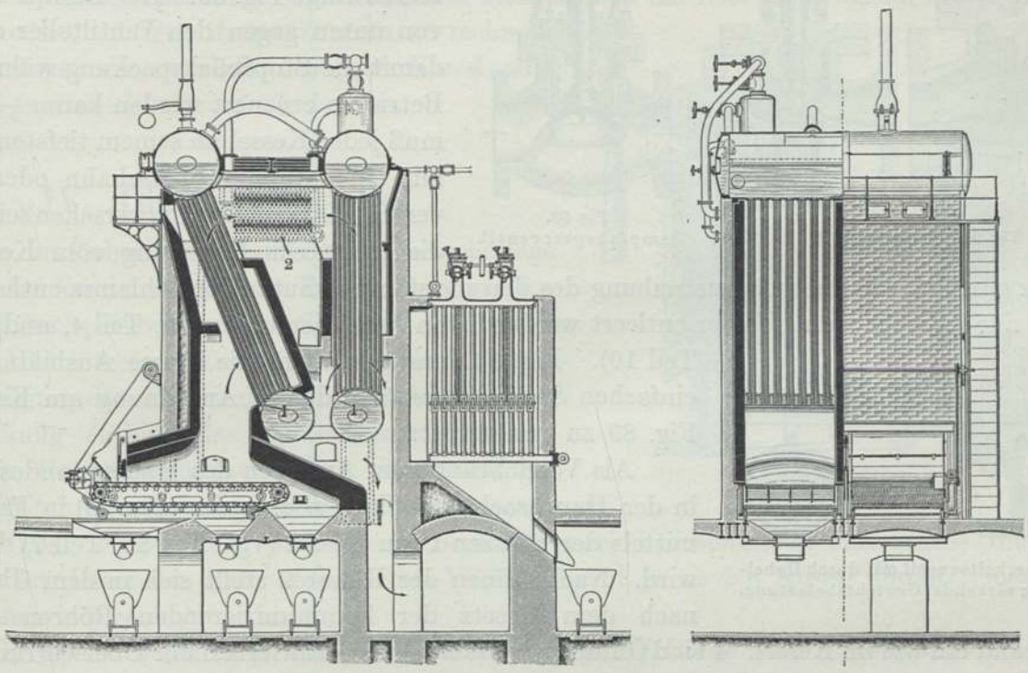


Fig. 90. Garbekessel der Düsseldorf-Ratinger Röhrenkesselfabrik.

Unterkessel stehen je durch Rohrstutzen in Verbindung. Neben einem guten Wasserumlauf hat der Garbekessel den Vorteil, daß sich die Rohrsysteme nach unten ausdehnen können.

Ein Kessel mit gebogenen Wasserrohren ist schließlich der Schulz-Wasserrohrkessel (Fig. 91) der Germaniawerft in Kiel, der hauptsächlich in der Kriegsmarine Verwendung findet. Er besteht aus dem Oberkessel 1, einem Rohrsystem und drei Unterkesseln 2, die von einem Mantel umschlossen sind. An einigen (in der Figur durch stärkere Linien gekennzeichneten) Stellen bilden die Rohre dichte Wände, wodurch Züge entstehen, durch die die Heizgase in Schlangen nach oben ziehen. Der Wasserumlauf entsteht dadurch, daß das Wasser aus dem Oberkessel durch die vom Feuer am wenigsten getroffenen Rohre in die Unterkessel sinkt und durch die am stärksten beheizten Rohre wieder in den Oberkessel zurückströmt. Die ausgezogenen Pfeile deuten den Weg der Heizgase, die anderen den Wasserumlauf an.

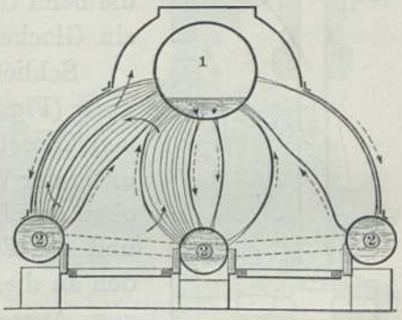


Fig. 91. Schulz-Wasserrohrkessel.

III. Die Dampfkesselarmatur.

Man unterscheidet *feine* und *grobe* Dampfkesselarmatur. Zu ersterer gehören die Abschlußorgane für die Wasser- und Dampfwege und die Vorrichtungen zum Anzeigen des Wasserstandes und des Dampfdruckes, zu letzterer die Mann-, Hand- und Fahrlochverschlüsse, die Armaturstutzen, das Feuergeschränk mit dem Rost und der Rauch- oder Essenschieber.

Durch das *Speiseventil* tritt das Speisewasser aus der Speiseleitung in den Kessel. Das

Speiseventil 1 (Fig. 92) ist als selbsttätiges Rückschlagventil ausgebildet, das dem bei 2 zuströmenden Wasser durch den Stutzen 3 den Eintritt in den Kessel gestattet, im übrigen aber ein Zurücktreten des Wassers aus dem Kessel verhindert, da es hierdurch auf seinen Sitz gepreßt wird. Zwischen Speiseventil und Kessel ist gewöhnlich noch ein Absperrventil 4 vorgesehen. Das Beispiel eines *Dampfabsperrventils* zeigt Fig. 93. Der Dampf soll stets von unten gegen den Ventilteller drücken, damit die Stopfbüchspackung während des Betriebes erneuert werden kann. — Ferner muß jeder Kessel an seinem tiefsten Punkte mit einer durch Abblasehahn oder -ventil verschließbaren Leitung versehen sein, durch die er zwecks Reinigung vom Kesselstein entweder gänzlich oder behufs Austreibung des den meisten Schmutz oder Schlamm enthaltenden Wassers nur teilweise vom Wasser entleert werden kann (vgl. hierzu Fig. 79, Teil 4, und Fig. 89, Teil 10). Fig. 94 veranschaulicht die innere Ausbildung eines einfachen *Sicherheitsventils*, dessen Anordnung am Kessel aus Fig. 89 zu ersehen ist.

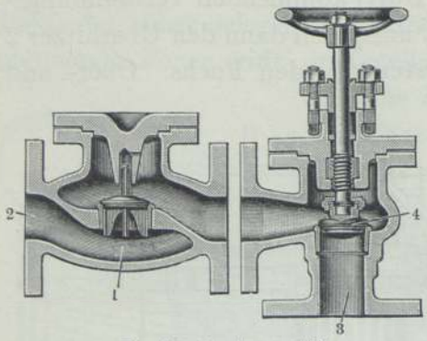


Fig. 92. Speiseventil.

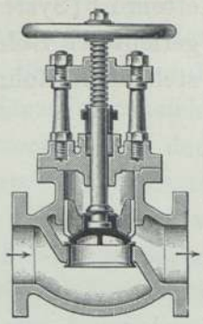


Fig. 93. Dampfabsperrventil.

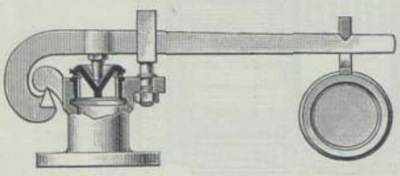


Fig. 94. Sicherheitsventil mit durch Hebelübertragung wirkender Gewichtsbelastung.

Als Vorrichtung zum Anzeigen des Wasserstandes kommt in der Hauptsache das *Wasserstandsglas* (Fig. 95) in Frage, das mittels der Stutzen 1 am Kessel (vgl. Fig. 80, Teil 7) befestigt wird. Nach Öffnen der Hähne 2 stellt sich in dem Glasrohr 3 nach dem Gesetz der kommunizierenden Röhren derselbe Wasserstand ein wie im Kessel. 4 sind Öffnungen, die nach dem Entfernen der Überwurfmuttern 5 von außen eine Reinigung der feinen nach dem Zylinder führenden Kanäle ermöglichen. 6 ist ein Abblasehahn. Zur annähernden Feststellung des Wasserstandes dienen außer dem Wasserstandsglas noch die in verschiedenen Höhen am Kessel angeordneten *Probierhähne*. Ferner sind mitunter noch Signalapparate vorhanden, die beim Über- bzw. Unterschreiten des höchsten bzw. tiefsten Wasserstandes ein Glockenzeichen oder Pfeifensignal geben.

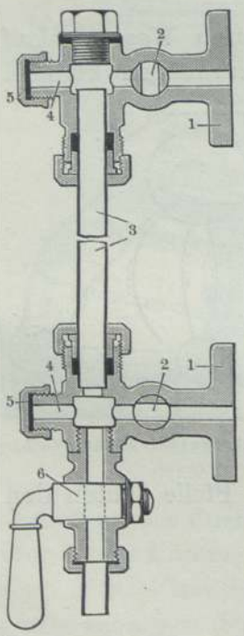


Fig. 95. Wasserstandsglas.

Schließlich ist noch das zum Anzeigen des Dampfdruckes dienende *Manometer* (Fig. 96) zu erwähnen. In einer geschlossenen Kapsel befindet sich die Plattenfeder 1, die sich unter der Wirkung des zu messenden Druckes nach oben durchbiegt und hierbei mittels der Stange 2 und des Zahnbogens 3 das kleine Zahnrad und den an diesem befestigten Zeiger 4 vor der Skala zum Ausschwingen bringt. Da die Manometerfedern eine zu starke Erwärmung nicht vertragen, werden die Manometer mit dem Kessel durch ein Rohr verbunden, das derart gebogen ist, daß ein Wassersack entsteht. Die Manometerfeder kommt also nicht mit dem Dampf, sondern mit dem im Wassersack kondensierten Wasser in Berührung.

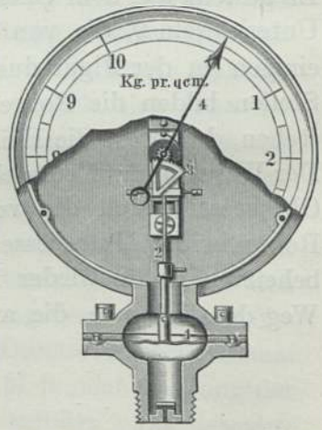


Fig. 96. Plattenfedermanometer.

Zu der *groben* Armatur gehören zunächst die verschiedenen Einrichtungen, durch die das Innere der Kesselanlage zwecks Reinigung, Reparatur und Revision zugänglich gemacht wird. An erster Stelle sind hier die Mannlochverschlüsse zu nennen. Das *Mannloch* ist eine ovale Öffnung, die während des Betriebes durch einen Deckel geschlossen ist und nach Entfernung des Deckels zum Befahren des Dampfkessels, d. h. zum

Einsteigen einer Person, dient. Kleiner ausgebildet sind die Handlochverschlüsse. Während die Mann- und Handlochverschlüsse den Zutritt zum Kesselinnern ermöglichen, sind die Fahrlochverschlüsse Einsteigöffnungen im Kesselmauerwerk, um die Züge, wie alle Teile, die zur Lagerung des Kessels im Mauerwerk und zur Verankerung des letzteren dienen, zugänglich zu machen. Ferner gehörten zur groben Armatur der *Rauch-* oder *Essenschieber* (Fig. 74, Teil 13), der zur Regulierung des Zuges dient, und das *Feuergeschränk*, das aus einem die Feuer- und Aschenfalltür aufnehmenden Rahmen besteht. Schließlich sind hierher noch der *Rost* sowie die zur Anbringung der feinen Armatur nötigen *Armaturstutzen* zu rechnen. *Die Anordnung der einzelnen Teile am Kessel zeigt das Klappmodell des Steinmüllerkessels.*

IV. Die Zubehörteile.

Zu den Zubehörteilen einer Dampfkesselanlage gehören die Vorrichtungen zur Reinigung und Vorwärmung des Speisewassers, zur Speisung des Kessels und zum Überhitzen des Dampfes, sowie die Apparate zur Reinigung der Kesselrohre.

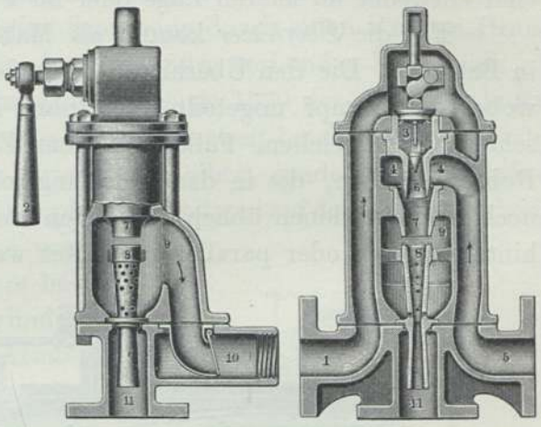


Fig. 97. Injektor.

Häufig enthält das Speisewasser Unreinigkeiten in Gestalt von mechanisch beigemengten, nicht gelösten Bestandteilen (z. B. Lehm), gelösten Salzen, Ölen, Fetten (bei mit Oberflächenkondensation arbeitenden Maschinen) und freien Säuren. Ist dieses der Fall, so wird das Wasser, bevor es in den Kessel eintritt, mechanisch oder chemisch gereinigt.

Als Speisevorrichtung für Dampfkessel dienen *Injektoren* und *Kolbenpumpen*. Dem in Fig. 97 dargestellten *Injektor* wird durch das Rohr 1 nach Öffnen des Ventils 3 mittels des Handgriffes 2 aus dem zu speisenden Kessel Dampf zugeführt, während bei 5 das Speisewasser eintritt. Der aus der Dampfdüse 6 austretende Dampfstrahl reißt aus Raum 4 das Wasser in die Mischdüse 7 hinein, mischt sich mit ihm und wird dadurch kondensiert. Er erlangt hierbei eine Geschwindigkeit, die erheblich größer ist als die eines unter Kesseldruck austretenden Wasserstrahles, so daß er den Zwischenraum (Übersprung) zwischen Mischdüse 7 und Druckdüse 8 überspringen und durch den Stutzen 11 in die Speiseleitung des Kessels treten kann. Der aus der Mischdüse austretende Strahl tritt beim Anlassen durch den Übersprung in den Schlabberraum 9 und aus diesem durch das Schlabberrohr 10 nach Überwindung eines Rückschlagventils ins Freie, bis der Dampfzutritt geöffnet und eine vollständige Kondensation erfolgt ist.

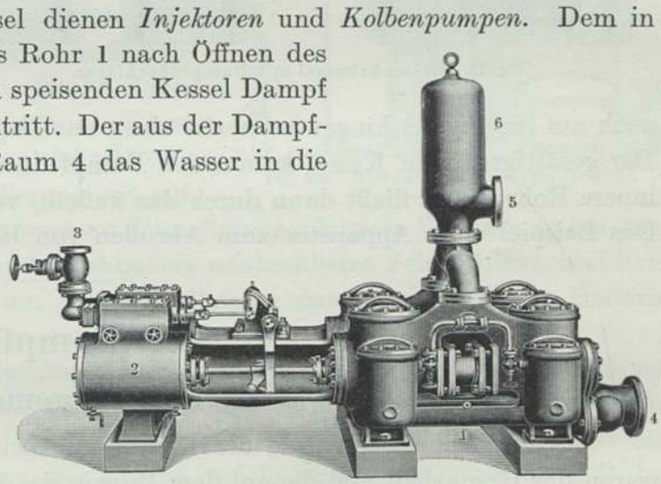


Fig. 98. Duplex-Dampfpumpe.

In Fig. 98 ist eine schwungradlose *Duplex-Dampfpumpe* zur Kesselspeisung dargestellt. Sie besteht aus zwei doppeltwirkenden Pumpen 1, von denen jede von einer mit Muschelschiebersteuerung (vgl. Fig. 106) versehenen Dampfmaschine 2 angetrieben wird, wobei die Kolbenstange des einen Dampfzylinders den Muschelschieber des anderen steuert. Der Dampfzutritt erfolgt durch das Absperrventil 3. Das Wasser strömt der Pumpe durch den Stutzen 4 zu und verläßt sie durch den Stutzen 5 des Druckwindkessels 6.

Zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers, die eine nicht unbeträchtliche Ersparnis zur Folge hat, wird entweder die Wärme des Frisch- oder Abdampfes oder die Wärme benutzt, die

den aus dem Kessel abziehenden Heizgasen noch innewohnt. Eine Nutzbarmachung der Wärme des Frischdampfes findet bei den mit Frischdampf betriebenen Injektoren zur Kesselspeisung statt. Findet Abdampf zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers Verwendung, so wird entweder die Speiseleitung des Kessels in die Abdampfleitung der Maschine verlegt (s. Fig. 160, Teil 44; Fig. 170, Teil 5), oder es findet eine direkte Mischung des Abdampfes mit dem Kesselspeisewasser statt, wobei gewöhnlich der Abdampf in einen Raum geleitet wird, von dessen Decke das Speisewasser, fein verteilt, niederrieselt. Die mit Abgasen des Kessels geheizten Vorwärmer *(Economiser)* sind entweder im letzten Zuge oder im Fuchs angeordnet (vgl. Fig. 87, Teil 10).

Für die *Überhitzer* kommt als Material nicht nur Schmiedeeisen, sondern auch Gußeisen in Betracht. Die den Überhitzer bildenden Rohre sind entweder alle hintereinander geschaltet, wobei der Dampf ungeteilt alle Rohre nacheinander durchströmt, oder sie sind parallel geschaltet, in welchem Falle von dem Zuleitungsrohr für den gesättigten Dampf zahlreiche Rohre ausgehen, die in das Ableitungsrohr für den überhitzten Dampf münden. Ferner sind noch Kombinationen üblich, bei denen einzelne Gruppen von Rohren gebildet werden, die dann hintereinander oder parallel geschaltet werden. Zur Beheizung des Überhitzers werden sowohl die aus dem Kessel abziehenden Heizgase als auch besondere Feuerungen verwendet. Bei den schmiedeeisernen Überhitzern finden einfache, gerade oder auch U-förmig gebogene Rohre (vgl. Fig. 89, Teil 6, sowie das Klappmodell des Steinmüllerkessels) Verwendung. Ferner sind auch Überhitzer mit gebogenen Rohren gebräuchlich. Einen solchen aus spiralförmig gebogenen Rohren bestehenden Überhitzer zeigt Fig. 99. Schließlich sei noch auf die Fig. 88 hingewiesen, die einen aus Doppelrohren 5, 6 bestehenden Überhitzer zeigt. Der gesättigte, vom Kessel kommende Dampf durchströmt bei diesem Überhitzer zunächst das innere Rohr 5 und fließt dann durch das äußere, von den Heizgasen bestrichene Rohr 6 zurück. Das Beispiel eines Apparates zum Abrußen von Heizrohren zeigt Fig. 167, Teil 9, 10.

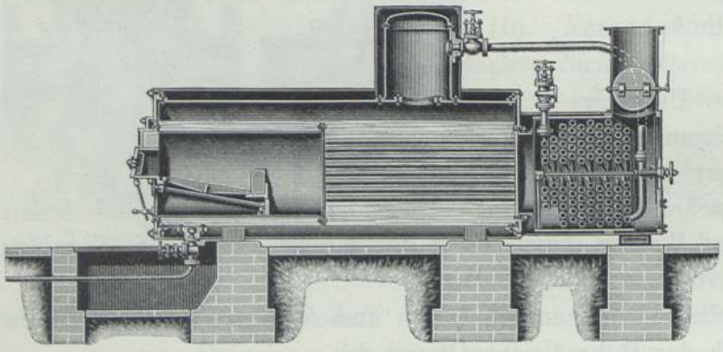


Fig. 99. Heizrohrkessel mit Dampfüberhitzer.

B. Die Dampfmaschinen.

I. Allgemeines.

Schon frühzeitig wurde der Dampf zur Leistung von Arbeit benutzt. Erste Versuche waren der Heronsball und die auf dem Prinzip des Segnerschen Rades beruhende Äolipile. Beide sind schon 120 v. Chr. beschrieben. Trotzdem sind in den folgenden Jahrhunderten auf dem Gebiete der Dampfbenutzung keine nennenswerten Erfolge bis zum Anfange des 18. Jahrhunderts zu verzeichnen. Auch dann war es bei den damaligen Dampfmaschinen nicht die Dampfkraft, sondern der Druck der Atmosphäre, der zum Antriebe der Maschinen benutzt wurde. Der Dampf war lediglich das Mittel zur Erzeugung des für diese sogenannten *atmosphärischen Maschinen* erforderlichen Vakuums. Wichtigste Vertreterin dieser Gattung ist die Dampfmaschine von Newcomen, die seit 1712 zum Fördern von Grubenwasser zu Griff in Warwickshire verwendet wurde.

Die Bewegungsübertragung erfolgt bei dieser Maschine (Fig. 100) durch einen drehbar gelagerten Balancier 5, der an einem Ende mittels Kette mit dem im Zylinder 2 gleitenden Kolben 4 und am anderen Ende, ebenfalls durch Kette, mit dem Pumpengestänge 7 und einem Gegengewicht 6 verbunden ist. Unter dem Arbeitszylinder befindet sich der kugelförmige Dampfkessel 1. Nach Öffnen des Hahnes 3 geht der Kolben 4, infolge des Übergewichtes des Pumpengestänges

und unterstützt durch den Dampfdruck, in die in der Figur veranschaulichte höchste Stellung. Hat er diese erreicht, so wird der Dampfzuleitungshahn 3 geschlossen und der Hahn 11 geöffnet, so daß Kühlwasser aus dem Behälter 10 in den Zylinder 2 eintreten kann. Hierdurch kondensiert sich der Dampf im Zylinder, wodurch wieder der von oben auf den Kolben 4 wirkende Luftdruck das Übergewicht erhält, den Kolben nach unten treibt und das Pumpengestänge 7 aufwärts zieht. Am Schlusse der Kolbenbewegung wird das mit dem Kondensat vermischte Kühlwasser durch Rohr 12 abgeleitet. 8 ist das Gestänge einer kleinen, nicht dargestellten Pumpe, die durch Rohr 9 Kühlwasser in den Behälter 10 drückt. Das Öffnen und Schließen der Hähne mußte durch einen Arbeiter geschehen, bis bald darauf die selbsttätige Steuerung durch einen Knaben Humphrey Potter erfunden wurde, der Balancier und Hähne durch Schnüre verbunden haben soll.

Auf diesem Standpunkt hielt sich die Dampfmaschine, bis sie 1770 der geniale Schotte James Watt durch die glänzendsten Erfindungen zu großer Vollkommenheit brachte. Er benutzte den Dampf nicht mehr zur Schaffung eines Vakuums unter dem Kolben, sondern erhöhte seine Spannkraft über den Druck der Außenluft und ließ den Dampf selbst treibend auf den Kolben wirken. Die Kondensation des Dampfes, die bei der Maschine von Newcomen im Zylinder vor sich ging, nahm er in einem besonderen Kondensator vor. Ferner umgab er den Zylinder mit einem Dampfmantel und schloß ihn gegen die Atmosphäre ab. Später (1782) bildete er die Maschine als doppeltwirkende Maschine aus, bei der der Dampf nicht mehr auf eine Seite des Kolbens, sondern abwechselnd auf beide treibend wirkte. Da Watt zögerte, sich die Anwendung des Kurbeltriebes durch ein Patent schützen zu lassen, kamen ihm andere zuvor, und er sah sich lange auf die von ihm erfundene Sonnen- und Planetenradanordnung beschränkt. Gleichzeitig (1778) hiermit wurde von ihm die erste Expansionsmaschine mit $^2/_3$-Füllung ausgeführt. Sechs Jahre später erfand er die als Wattsches Parallelogramm berühmt gewordene Lenkerführung und nahm in das gleiche Patent die Anwendung der Drosselklappe zur Regulierung mit auf, die er mit dem aus dem Mühlenbetrieb übernommenen Zentrifugalregulator in Verbindung brachte. Durch alle diese Verbesserungen war der Dampfmaschine ein unabsehbares Feld eröffnet, und bald bürgerte sie sich in einzelnen Fabriken ein, um sich schließlich zu einer unentbehrlichen Helferin für alle Zweige der Industrie und Technik zu entwickeln. —

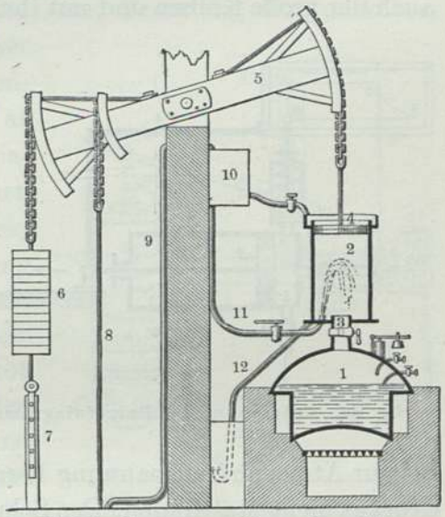


Fig. 100. Newcomens Dampfmaschine.

Die Dampfmaschinen zerfallen in *Kolbendampfmaschinen* und in *rotierende Dampfmaschinen* oder *Dampfturbinen*. Bei den letztgenannten wirkt der Dampf unmittelbar auf fest mit der zu drehenden Welle verbundene Teile; bei den erstgenannten wird in einem Zylinder ein dicht anschließender Kolben durch den Dampf hin und her bewegt, welche Bewegung entweder (z. B. bei Dampfpumpe und Dampfhammer) unmittelbar benutzt oder mittels Kurbelgetriebes (s. Fig. 104) in die drehende Bewegung einer Welle, der Kurbelwelle, umgewandelt wird.

II. Kolbendampfmaschinen.

Der Eintritt des Dampfes in die Zylinder wird durch Schieber, Hähne oder Ventile geregelt. Lassen diese den Dampf in den Zylinder ein, während sich der Kolben von einem Zylinderende bis zum anderen bewegt, d. h. während des ganzen Kolbenhubes, so heißt die Maschine *Volldruckmaschine*, bei der also der Dampf nach Beendigung des Hubes mit derselben Spannung entweicht, mit der er eingetreten ist (Eintrittsspannung, Admissionsspannung). Ein großer Teil der im Dampf enthaltenen Arbeit geht hierbei nutzlos verloren, weshalb Volldruckmaschinen nur selten gebaut werden. Viel vorteilhafter arbeiten die *Expansionsmaschinen*, bei denen der Dampfzutritt zum

Zylinder schon abgesperrt wird, wenn der Kolben erst einen Teil seines Hubes zurückgelegt hat, worauf der nun im Zylinder abgeschlossene Dampf bis zur Vollendung des Kolbenhubes expandiert, d. h. sich ausdehnt.

Ein Bild von den Vorgängen im Zylinder gibt das Dampfdiagramm, das entweder nach physikalischen Gesetzen aufgezeichnet oder bei ausgeführten Maschinen mit Hilfe des Indikators aufgenommen wird. Fig. 101 zeigt im Prinzip die Entstehung des Dampfdiagramms. 1 sei der Zylinder einer Dampfmaschine, in dem der Kolben 2 hin und her gleitet. Mit der Kolbenstange 3 sei mittels Bügels 4 eine Schreibtafel 5 starr verbunden, so daß die Tafel dieselbe Bewegung vollführen muß wie der Kolben. Ferner steht der Zylinder 1 noch mit einem Zylinder 13 in Verbindung, in dem sich ein Kolben 12 entgegen dem Druck einer Feder 14 bewegt. Die Kolbenstange dieses Kolbens trägt an ihrem Ende einen Schreibstift 6. Wird der Dampfeinlaß 10 geöffnet, so strömt der Dampf in das Zylinderinnere und wirkt auf beide Kolben. Der kleine Kolben 12 schnellt infolge des Dampfdruckes sofort nach oben, bis sich Dampf- und Federdruck das Gleichgewicht halten. Der Schreibstift 6 beschreibt hierbei die senkrechte Linie 6, 7. Gleichzeitig beginnt aber auch der große Kolben und mit ihm die Schreibtafel von links nach rechts zu gehen. Da der Dampf gleichmäßig zuströmt, beschreibt der Stift 6 die wagerechte Linie 7, 8, bis sich der Kolben an der Stelle 8′ befindet, in der der Dampfeinlaß abgesperrt werden möge. Das im Zylinderinnern eingeschlossene Dampfvolumen beginnt jetzt zu expandieren. Der Dampfdruck sinkt und mit ihm der kleine Kolben 12. Die vom Schreibstift verzeichnete Linie 8, 9 läßt erkennen, wie der Druck nach und nach abnimmt. Im Punkte 9′ hat der Kolben 2 seine Endstellung erreicht, es wird nunmehr der Dampfauslaß 11 geöffnet und das Zylinderinnere mit der äußeren Atmosphäre in Verbindung gebracht. Da der Dampf im Zylinderinnern bis zur Atmosphärenspannung herunterexpandiert sein soll, kann ein weiteres Sinken des Dampfdruckes nicht stattfinden. Der Schreibstift beschreibt daher, während sich der Kolben von der Endstellung 9′ in die Anfangsstellung 7′ zurückbewegt und den Dampf aus dem Zylinder hinausschiebt, eine wagerechte Linie 9, 6. Der geschlossene Linienzug 6, 7, 8, 9, 6 wird das *Dampfdiagramm* genannt.

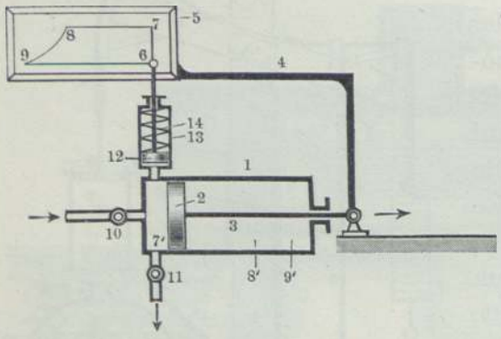


Fig. 101. Entstehung des Dampfdiagramms.

In Wirklichkeit wird das Dampfdiagramm mittels einer einfacheren Vorrichtung, des sogenannten *Indikators*, aufgenommen. Die Stelle der Schreibtafel nimmt hier eine kleine Trommel 1 (s. Fig. 102) ein, die mittels eines Schnurzuges 2 mit dem Kreuzkopfe (s. Fig. 104) der Maschine in Verbindung steht. Übt dieser auf Schnur 2 (Fig. 102) einen Zug aus, so wird die Trommel in der einen Richtung gedreht und spannt hierbei eine in ihrem Innern angeordnete Feder, die sich beim Zurückgehen des Kreuzkopfes wieder entspannt und die Trommel in die Anfangsstellung zurückdreht. Im Schnurzug sind geeignete Übersetzungsmechanismen eingeschaltet, so daß die Länge 6, 9 (Fig. 101) des Diagramms nur ein Bruchteil der Länge des Kolbenhubes ist. Ferner steht der Schreibstift nicht mehr unmittelbar mit dem kleinen Kolben 12 (s. Fig. 101) in Verbindung, sondern unter Vermittelung einer Gelenkgeradführung 3 (Fig. 102), die um den fest an dem Zylinder angeschraubten Teil 4 drehbar ist. Zur Aufnahme des Diagramms wird auf die Trommel ein Blatt Papier gespannt und der Schreibstift mit dem Handgriff 5 gegen die Trommel gedrückt.

Das Diagramm dient nicht nur zur Beobachtung der Druckverhältnisse im Zylinder, sondern auch zur Aufdeckung von Fehlern in der Dampfverteilung, von Undichtheiten usw. Sein Hauptzweck ist jedoch die Bestimmung der *Maschinenleistung*, d. h. der in der Sekunde geleisteten Arbeit. Als Arbeitseinheit dient (vgl. S. 2) das Meterkilogramm (mkg). Die Leistungseinheit ist hiernach die in der Sekunde geleistete Arbeitseinheit, nämlich das Sekundenmeterkilogramm, oder vielmehr, da sich diese Leistungseinheit für Kraftmaschinen als zu klein herausgestellt hat, die Pferdestärke (PS), das sind 75 sec/mkg.

Soll die Leistung (N) einer Dampfmaschine berechnet werden, so müssen bekannt sein die Größe des Dampfdruckes, die Größe der Kolbenfläche und die Größe des Kolbenhubes sowie die Anzahl der Umdrehungen, die die Kurbelwelle in der Minute macht. Ist die Größe des Dampfdruckes p at (Atmosphären), die Größe der Kolbenfläche F qcm, die Größe des Kolbenhubes l Meter und die Anzahl der Umdrehungen in der Minute n, so wirkt auf den Kolben ein Druck von F . p kg. Hat der Kolben seinen Hub von 1 Meter zurückgelegt, so ist die hierbei geleistete Arbeit F . p . l mkg. Dieser Weg wird aber in der Minute n-mal zurückgelegt, die minutliche Leistung ist also F . p . l . n mkg oder die sekundliche $N = \frac{F \cdot p \cdot l \cdot n}{60}$ mkg $= \frac{F \cdot p \cdot l \cdot n}{60 \cdot 75}$ PS. Dieses ist die Leistung, wenn der Dampf nur auf einer Seite des Kolbens wirkt. Die meisten Maschinen sind aber *doppeltwirkend*, d. h. der Dampf wirkt abwechselnd auf beide Seiten des Kolbens. Die Leistung ist daher: $N = 2 \cdot \frac{F \cdot p \cdot l \cdot n}{60 \cdot 75}$ PS. Die in dieser Gleichung stehenden Größen sind mit Ausnahme von p und n feststehend und direkt meßbar. Die Tourenzahl n ist mit Uhr oder Geschwindigkeitsmesser ablesbar, und die Spannung p wird aus dem Diagramm ermittelt. Wie oben erläutert, ist über dem kleinen Kolben 12 (Fig. 101) eine Feder 14, die Indikatorfeder, angeordnet. Von dieser Feder wird durch Versuche vorher festgestellt, um wieviel sie sich bei jeder Druckerhöhung zusammendrückt. Wird z. B. die Feder bei jeder Druckerhöhung von 1 at um 1 cm zusammengedrückt und beträgt die Höhe 6, 7 des Diagramms in Fig. 101 3 cm, so ist der Druckunterschied zwischen Eintritts- und Endspannung 3 at. Ist die Maschine eine Volldruckmaschine, wobei während des ganzen Kolbenhubes die Spannung im Zylinder unverändert bleibt, so würde im vorliegenden Beispiel in die obige Gleichung für p der Wert 3 einzusetzen sein. Anders verhält es sich, wenn die Maschine, wie das Diagramm in Fig. 101 zeigt, als Expansionsmaschine gedacht ist. Unter diesen Umständen bleibt die Spannung nur auf dem Kolbenwege 7′, 8′ unverändert und sinkt hierauf allmählich, bis der Kolben seine Endstellung erreicht hat. In diesem Falle wird eine sogenannte mittlere Spannung bestimmt, die während des ganzen Kolbenhubes in unveränderter Höhe wirkend gedacht ist. Ein Weg zur Bestimmung dieser mittleren Spannung ist folgender. Man denke sich das Diagramm in zahlreiche, zur Höhe 6, 7 parallel verlaufende schmale Streifen zerlegt, summiere die mittleren Höhen dieser Streifen und dividiere dann diese Summe durch die Anzahl der Streifen. Das Resultat ist die mittlere Spannung. Einfacher gestaltet sich deren Bestimmung mit Hilfe des *Planimeters*, das ist ein Instrument zur Messung des Flächeninhaltes des Diagramms. Mittels eines Stiftes wird der äußere Umriß des Diagramms umfahren und dann von einer Skala der Flächeninhalt abgelesen. Nachdem dieses geschehen ist, wird die Höhe eines Rechtecks bestimmt, dessen Fläche gleich dem soeben abgelesenen Flächeninhalte und dessen Länge gleich der Länge des Diagramms ist. Dieses Rechteck denke man sich dann so auf das Diagramm gelegt, daß Grundlinie des Diagramms und Grundlinie des Rechtecks zusammenfallen. Das Expansionsdiagramm ist damit in ein Volldruckdiagramm verwandelt, aus dem die mittlere Spannung des Expansionsdiagramms ohne weiteres ablesbar ist. Diese Spannung wird dann in die Gleichung für N eingetragen.

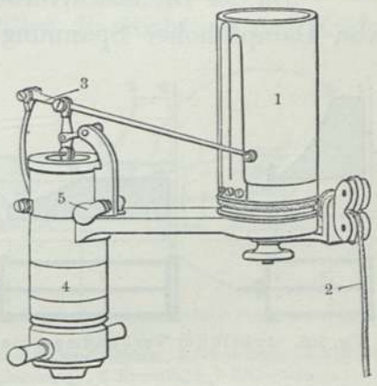


Fig. 102. Indikator.

Befindet sich der Kolben in der Endstellung, so ist zwischen ihm und den abschließenden Flächen des Steuerorgans noch ein Raum vorhanden, der von dem Raum zwischen Zylinderdeckel und Kolbenfläche und dem von diesem Raum zu den Steuerorganen führenden Kanälen gebildet wird (vgl. Fig. 105). Dieser Raum wird, da er den Dampfverbrauch der Maschine ungünstig beeinflußt, *schädlicher Raum* genannt. Seine Größe ist hauptsächlich abhängig von der Wahl der Steuerorgane und beträgt etwa 3—16 Proz. des Hubvolumens des Kolbens.

Die oben N genannte Leistung wird genauer N_i genannt; es ist die *indizierte* Leistung der Maschine. Von ihr ist scharf zu trennen die *effektive* oder *Nutzleistung* N_e. Diese wird mittels des

Bremsdynamometers an der Kurbelwelle gemessen. N_e ist wegen der in der Maschine auftretenden Reibungswiderstände kleiner als N_i. Das Verhältnis $N_e : N_i$ wird mit η bezeichnet und *mechanischer Wirkungsgrad* genannt. η schwankt zwischen 0,75 und 0,92 und ist um so günstiger, je größer die Maschine ist.

Unter der *Füllung* der Maschine ist die Strecke des Kolbenweges zu verstehen, auf der der Dampf eintritt. Ist diese Strecke ein Viertel des Kolbenweges, so heißt es, die Maschine arbeitet mit $^1/_4$-Füllung usw. Das umgekehrte Verhältnis wird *Expansionsgrad* genannt. Der Dampf, der in der Dampfmaschine Arbeit geleistet hat, entweicht entweder ins Freie *(Auspuffmaschine)* oder wird in einem besonderen Raume, dem Kondensationsraum, niedergeschlagen, wodurch ein Vakuum entsteht *(Kondensationsmaschine)* und eine Vergrößerung des Druckunterschiedes zwischen beiden Kolbenseiten herbeigeführt wird. Der aus dem Zylinder ausströmende Dampf hat bei Auspuffmaschinen eine Spannung von ungefähr 1,15 at (absolut), bei Kondensationsmaschinen von 0,2 at. Weiter soll der Dampf im Zylinder nicht expandieren. In der Auspuffmaschine kann die Expansion also nicht soweit getrieben werden wie in der Kondensationsmaschine, weshalb letztere eine bessere Ausnutzung des Dampfes gestattet als erstere.

Da der Brennstoffverbrauch, wie bei den Dampfkesseln erläutert ist, bei der Erzeugung von Dampf hoher Spannung nur unwesentlich höher ist als bei der Erzeugung von Dampf niedriger Spannung, so erscheint es zunächst besonders vorteilhaft, mit kleiner Füllung und Dampf von recht hoher Spannung zu arbeiten, der dann recht weit expandiert. Diesem Verfahren haften aber mancherlei Nachteile an. Der Dampf tritt mit hoher Spannung und dementsprechend hoher Temperatur in den Zylinder ein und verläßt ihn am Ende der Expansionsperiode nicht nur mit niedriger Spannung, sondern auch mit niedriger Temperatur. Die letztere teilt sich den Zylinderwandungen mit und wirkt bei der nächsten Füllungsperiode ungünstig auf den zuströmenden heißen Frischdampf. Ferner wird die Gleichförmigkeit des Ganges durch hohe Dampfspannungen bei kleinen Füllungen beeinträchtigt, da am Anfange des Kolbenhubes auf den Kolben ein sehr hoher, am Ende der Expansionsperiode dagegen ein sehr kleiner Druck treibend wirkt. Da weiter die Festigkeit des Kurbelgestänges den höchsten auf den Kolben wirkenden Drucken standhalten muß, ist dieses Gestänge bei mit hohen Drucken und kleinen Füllungen arbeitenden Expansionsmaschinen schwerer, also teurer als bei Maschinen gleicher Leistung für kleine Drucke und große Füllungen.

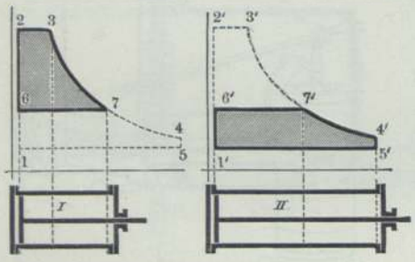


Fig. 103. Arbeit der Verbundmaschine.

Beseitigt werden diese Nachteile unter Beibehaltung der Vorteile der hohen Dampfspannungen und kleinen Füllungen durch die *Mehrfachexpansionsmaschinen*, bei denen die Expansion nicht in einem Zylinder, sondern hintereinander in mehreren stattfindet. Das Dampfdiagramm 1, 2, 3, 4, 5 (1′, 2′, 3′, 4′, 5′; Fig. 103) einer einzylindrigen Expansionsmaschine denkt man sich durch eine wagerechte Trennungslinie 6, 7 (6′, 7′) in zwei Teile zerlegt und läßt den Dampf nun nicht mehr einen geschlossenen Kreislauf 1, 2, 3, 4, 5, sondern zwei voneinander getrennte Kreisläufe 6, 2, 3, 7 und 1′, 6′, 7′, 4′, 5′ vollführen. Nachdem der Dampf in dem ersten Zylinder I, dem *Hochdruckzylinder*, einen Druckabfall 2, 6 erlitten hat, strömt er in einen Zwischenbehälter, den Aufnehmer *(Receiver)*, und aus diesem in den zweiten oder *Niederdruckzylinder II*.

Da nunmehr der Druckabfall in jedem der Zylinder nicht so groß ist wie bei einer mit gleicher Füllung und Anfangsspannung arbeitenden Einzylindermaschine, so ist der Gang der Maschine gleichmäßiger als bei einer solchen. Zweckmäßig wird die Trennungslinie 6, 7 (6′, 7′) so gelegt, daß beide Diagrammhälften flächengleich sind, so daß jeder der beiden Zylinder die Hälfte der Gesamtarbeit leistet. Die Gleichmäßigkeit des Ganges wird gegenüber den Einzylindermaschinen häufig noch dadurch verbessert, daß Hoch- und Niederdruckkolben auf zwei Kurbeln treibend einwirken, die um 90° gegeneinander versetzt sind.

Wie der Druckabfall, ist auch das Temperaturgefälle auf zwei Zylinder verteilt, so daß die

Zylinderwandungen nicht so starken Temperaturschwankungen ausgesetzt sind wie bei einer mit gleicher Anfangsspannung und Füllung arbeitenden Einzylindermaschine. Derartige Maschinen heißen *Verbund-* oder *Compoundmaschinen*. Nach Fig. 103 könnte es scheinen, als arbeite der Niederdruckzylinder mit größerem Kolbenhube als der Hochdruckzylinder. In Wirklichkeit sind aber beide Kolbenhübe gleich, und es wird, um dem in den Niederdruckzylinder überströmenden Dampfvolumen des Hochdruckzylinders die Möglichkeit zu geben, sich noch weiter auszudehnen, der Durchmesser des Niederdruckzylinders entsprechend vergrößert. Bei hohen Dampfspannungen (12 at) wird die Expansion auf drei und noch mehr Zylinder verteilt.

Fig. 104 zeigt schematisch das Kurbelgestänge einer einzylindrigen Dampfmaschine. Von dem hin und her gehenden Kolben wird durch die Kolbenstange die Bewegung auf den geradlinig geführten Kreuzkopf (Querhaupt) übertragen und dann dessen hin und her gehende Bewegung mittels der Schubstange (Bleuelstange) und der Kurbel in eine drehende umgewandelt. Dieses Getriebe wird *Schubkurbelgetriebe* genannt. Befindet sich der Kolben in der linken Endstellung, so bildet die Kurbel die geradlinige Verlängerung der Kolben- und Schubstange; befindet er sich in der rechten Endstellung, so deckt die Schubstange in der Zeichnung die Kurbel, beide liegen also ebenfalls in einer geraden Linie. In keiner dieser beiden Endstellungen vermag der Kolben die Kurbel in eine drehende Bewegung zu versetzen, da in beiden Fällen die Richtung der Kraft genau durch die Mitte der Kurbelwelle geht. Diese beiden Stellungen heißen die *Totpunkte* der Maschine. Um in ihnen ein Stehenbleiben der Maschine zu vermeiden, wird auf die Kurbelwelle ein schweres Rad, das *Schwungrad*, gesetzt, das nach dem Trägheitsgesetz, nach dem jeder Körper das Bestreben hat, in seinem augenblicklichen Bewegungszustand zu beharren, der Maschine über diese Punkte hinweghilft.

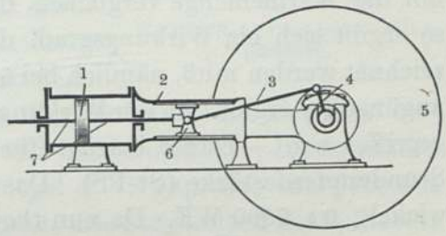


Fig. 104. Kurbelgestänge einer einzylindrigen Dampfmaschine.
(1 Kolben, 2 Geradführung, 3 Schubstange, 4 Kurbel, 5 Schwungrad, 6 Kreuzkopf, 7 Kolbenstange.)

Das Schwungrad hat außerdem die Bewegung der angetriebenen Kurbelwelle gleichmäßiger zu gestalten. Arbeitet die Maschine z. B. mit Vollfüllung, so ist die auf die Kolbenstange wirkende Kraft während des ganzen Kolbenhubes die gleiche, dagegen ändert sich die auf die Kurbelwelle wirkende Kraft mit dem Winkel, den Kurbel und Schubstange einschließen. Sie ist am größten, wenn dieser Winkel 90° beträgt, etwa in der Stellung der Fig. 104, und nimmt ab, je mehr sich die Maschine den Totpunktstellungen nähert, in denen sie gleich Null wird. In stärkerem Maße treten diese Schwankungen noch bei den mit Expansion arbeitenden Maschinen auf. Die Arbeitsweise des Schwungrades ist nun so zu denken, daß dieses in der Zeit, während der die auf den Kurbelzapfen wirkenden Kräfte am größten sind, Arbeit aufspeichert und diese während derselben Kurbelumdrehung an die anzutreibende Welle abgibt, wenn die auf den Kurbelzapfen wirkenden Kräfte klein sind. Je kleiner der Füllungsgrad und die Tourenzahl der Maschine ist, desto größer oder schwerer muß das Schwungrad sein. Auch bei den Mehrzylindermaschinen, bei denen die Antriebskurbeln gegeneinander versetzt auf der Kurbelwelle sitzen und infolgedessen keine Totpunktstellungen eintreten, finden Kraftschwankungen während eines Kolbenhin- und -herganges statt, so daß auch hier ein Schwungrad angeordnet werden muß, wenngleich es nicht so schwer zu sein braucht wie für eine gleichstarke Einzylindermaschine.

Trotz des Schwungrades dreht sich die Kurbelwelle nicht mit gleichbleibender Geschwindigkeit, sondern es finden immer noch Schwankungen während einer Kurbelumdrehung statt. Der Quotient, der aus der Differenz der während einer Kurbelumdrehung vorkommenden höchsten und niedrigsten Geschwindigkeit und der mittleren Geschwindigkeit gebildet wird, heißt *Ungleichförmigkeitsgrad* des Schwungrades. Er beträgt z. B. für Dampfmaschinen zum Antriebe von Pumpen $^1/_{20}$—$^1/_{30}$, von Spinnereimaschinen $^1/_{100}$, von Drehstrommaschinen $^1/_{300}$ usw.

Der *Dampfverbrauch* der Maschinen wird in Kilogrammen gemessen, und zwar wird als Einheit die Dampfmenge genommen, die zur Erzeugung einer indizierten oder effektiven Pferdestärke während einer Stunde gebraucht wird. Der Dampfverbrauch setzt sich aus drei Teilen zusammen,

dem nutzbaren Dampfverbrauch und den Abkühlungs- und Lässigkeitsverlusten. Ersterer besteht aus den Dampfmengen, die während jeder Füllungsperiode in den Zylinder einströmen, sowie aus den Dampfmengen, die hierbei zur Ausfüllung des schädlichen Raumes notwendig sind. Die Lässigkeitsverluste werden durch Undichtigkeiten des Kolbens und der Steuerungsorgane hervorgerufen. Die Abkühlungsverluste entstehen zunächst durch Kondensation beim Eintritt des Dampfes in den Zylinder und machen sich namentlich bemerkbar bei Maschinen mit hohen Dampfspannungen und sehr weit getriebener Expansion. Um sie zu verringern, werden die Dampfzylinder in schlecht wärmeleitende Stoffe eingehüllt, auch häufig mit einem *Dampfmantel* oder *Dampfhemd* versehen, d. h. einem den Zylinder umgebenden Hohlraum, durch den Kesseldampf geleitet wird. Besser liegen diese Verhältnisse bei den Mehrfachexpansionsmaschinen, weil bei diesen das Temperaturgefälle in den einzelnen Zylindern nicht so groß ist. Weiter entstehen Abkühlungsverluste durch Ableitung und Ausstrahlung der Wärme.

Der Dampfverbrauch richtet sich nach der Größe und Gattung der Maschine. Er ist am größten bei kleinen Einzylindermaschinen mit Auspuff und geringer Expansion und am kleinsten bei den großen Dreifachexpansionsmaschinen. Seine Höhe schwankt für die indizierte Pferdestärke und Stunde zwischen 6 und 20 kg für gesättigten Dampf und ist für überhitzten Dampf schon bis auf 4,2 kg heruntergegangen. Wird nun die zur Erzeugung dieses Dampfes erforderliche Wärmemenge mit der Wärmemenge verglichen, die theoretisch einer Stundenpferdestärke entspricht (637 WE), so ergibt sich ein Wirkungsgrad, der selbst für gute Dampfmaschinen als ein sehr schlechter bezeichnet werden muß, nämlich bei 5 kg Dampfverbrauch und 12 at Überdruck etwa 19 Proz. Noch ungünstiger ergibt sich der Wirkungsgrad, wenn auf den Brennstoffverbrauch der Maschine zurückgegriffen wird. Dieser beträgt für gute Dreifachexpansionsmaschinen 0,5 kg Steinkohle für die Stundenpferdestärke (St-PS). Das sind, da 1 kg Steinkohle bei der Verbrennung 7500 WE entwickelt, $0{,}5 \cdot 7500$ WE. Da nun theoretisch zur Erzeugung von 1 St-PS 637 WE nötig sind, ist der Wirkungsgrad $\frac{637}{0{,}5 \cdot 7500} = 0{,}169 = 16{,}9$ Proz. Selbst bei den besten Dampfmaschinen werden nur etwa 10—17 Proz. der im Brennmaterial aufgespeicherten Wärme in Arbeit umgesetzt, während der weitaus größere Teil durch Leitung und Strahlung des Kesselmauerwerkes und der Dampfleitungen, sowie durch den Abdampf der Maschine und die Rauchgase des Kessels verloren geht.

1. Die Steuerungen.

Die einzelnen Steuerungen zerfallen in *innere* und *äußere Steuerung*. Erstere besteht aus den Dampfabschlußorganen (in Fig. 106 der Schieber 1), die den Dampfein- und -auslaß regeln; letztere wird gebildet durch das zum Antriebe der Abschlußorgane dienende Gestänge (Fig. 106, Teil 6, 7, 9, 8), das von der Kurbelwelle oder der Kolbenstange angetrieben wird. Sind die Dampfabschlußorgane sowohl während des Öffnens als auch während des Schließens der Dampfkanäle mit dem äußeren Steuerungsmechanismus in Verbindung, so heißt die Steuerung *zwangläufig*. Wird diese Verbindung jedoch während des Öffnens der Einlaßkanäle aufgehoben, und schließen nun die Dampfabschlußorgane die Dampfkanäle ab unter der Einwirkung eines Gewichtes, einer Feder usw., so heißt die Steuerung *Ausklink-* oder *Auslössteuerung*. Nach der Art der Dampfabschlußorgane unterscheidet man *Schieber-*, *Hahn-* und *Ventilsteuerungen*.

Zur Bestimmung der Abmessungen der Steuerung sowie der Hauptabmessungen der Maschine überhaupt dient das Dampfdiagramm, das zunächst nach Wahl einer geeigneten Dampfspannung entworfen wird. Hierbei sei hervorgehoben, daß das Dampfdiagramm in Wirklichkeit nicht so aussieht, wie es beispielsweise die Fig. 103 zeigt. Zunächst fehlen beim wirklichen Dampfdiagramm die scharfen Ecken. Ferner findet in Wirklichkeit Dampfein- und -auslaß nicht in den Totpunkten statt, sondern kurz vorher *(Vorein-* und *Vorausströmung)*. Würde der Dampfeintritt erst im Totpunkt geöffnet werden, so würde, bevor der schädliche Raum (s. Fig. 105) vollständig mit Frischdampf ausgefüllt ist, der Kolben schon einen kleinen Teil seines neuen Arbeitsweges zurückgelegt haben, wobei, was vermieden werden soll, während dieses Teiles des Arbeitsweges des Kolbens nicht der volle Dampfdruck auf ihn wirkt. Desgleichen würde, wenn das Öffnen des

Auslasses erst im Totpunkte stattfände, die Spannung im Zylinder nicht sofort, sondern erst während des Kolbenrückganges auf die Auspuffspannung sinken, was ebenfalls einen Verlust bedeutet.

Ferner bleibt der Dampfauslaß nicht bis zum Ende des Kolbenhubes geöffnet, da dieses schwerwiegende Nachteile zur Folge hat. Zunächst würde sich dabei der einströmende Frischdampf mit dem noch im schädlichen Raum des Zylinders befindlichen Auspuffdampf von niedriger Spannung und Temperatur mischen, was Wärme- und infolgedessen Arbeitsverlust nach sich ziehen würde. Weiter würde, wenn der Kolben in die eine Endstellung gelangt ist, also die Expansion ihr Ende erreicht hat, die auf der anderen Kolbenseite erfolgende Frischdampfeinströmung einen jähen Druckwechsel zur Folge haben. Das ganze Gestänge, das vorher in der einen Richtung auf Zug beansprucht war, würde nunmehr in der entgegengesetzten Richtung auf Druck beansprucht werden, woraus sich ein heftiger Stoß in das Maschinengestänge ergäbe. Alles dieses wird dadurch vermieden, daß der Auspuff schon ein erhebliches Stück vor dem Hubende geschlossen wird. Der noch im Zylinder befindliche Auspuffdampf wird durch den weitergehenden Kolben komprimiert; hierdurch wird der schädliche Stoß im Hubwechsel vermieden, ferner aber durch die Kompression des Dampfes gleichzeitig seine Temperatur erhöht, so daß der zuströmende Frischdampf nicht mehr mit Dampf von erheblich niedrigerer Temperatur gemischt wird.

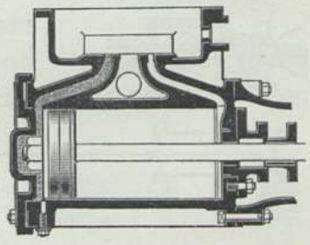


Fig. 105. Schädlicher Raum (fein punktiert).

Das Steuerungsschema für eine Schiebersteuerung einfachster Art zeigt Fig. 106. 1 ist der fest mit der Schieberstange 6 verbundene *Muschelschieber*, der von der Exzenterkurbel 8, 9, die mit der Kurbelwelle 8 der Maschine verbunden ist, unter Vermittelung der Exzenterstange 7 eine hin und her gehende Bewegung erhält. Schieber 1 wird durch den Dampfdruck gegen den Schieberspiegel 2—2 gepreßt, von dem aus Kanäle 14, 14 in das Innere des nicht dargestellten Zylinders führen. Die Stegbreite 3 des Schiebers hat mit der Einlaßöffnung 13 des Kanals gleiche Größe. In der dargestellten Stellung decken sich beide, und der Schieber befindet sich, was auch aus der senkrecht stehenden Exzenterkurbel 8, 9 hervorgeht, in der Mittelstellung. Die Punkte 15, 15′ deuten die Totpunktlagen der Maschine an, und die schematisch eingezeichnete Kurbel 8, 15, daß sich der Kolben in der linken Totpunktlage befindet. Beginnt sich die Maschine im Sinne des Pfeiles zu drehen, so öffnet der nach rechts gehende Schieber 1 den Einlaßkanal 13, 14 und läßt Dampf hinter den Kolben, der nun ebenfalls nach rechts geht. Ist die Exzenterkurbel in die Lage 8, 10 gelangt, so befindet sich der Schieber in der rechten Totpunktstellung, in der der Steg 3 des Schiebers den Steg 4 noch überdecken muß, um eine Verbindung zwischen dem linken Kanal 14 und dem Auspuffkanal 5 zu verhindern. Die Exzenterkurbel dreht sich weiter und bewegt den Schieber wieder nach links, bis er in der Exzenterstellung 8, 11 die gezeichnete Lage wieder erreicht hat. Wie die Exzenterkurbel, hat sich auch die Maschinenkurbel 8, 15 um 180° gedreht und befindet sich nunmehr in der rechten Totpunktstellung 15′. Da der Kanal 13, 14 erst bei der Exzenterstellung 8, 11 abgeschlossen wird, hat der Zylinder während des ganzen Kolbenweges Dampf bekommen. Die Maschine arbeitet also mit Vollfüllung. Die Exzenterkurbel nimmt bei ihrem Weitergange nacheinander die Lagen 11, 12, 9 ein, wobei der Schieber nunmehr nach links eine hin und her gehende Bewegung macht, während welcher der Kanal 13, 14 mit dem in den Auspuff führenden Kanal 5 in und außer Verbindung tritt. In der gleichen Zeit ist die Kurbel aus der Lage 8, 15′ in die Lage 8, 15 zurückgekehrt, und der Kolben befindet sich wieder in der linken Totpunktstellung, so daß sich das Spiel wiederholen kann. Die gleiche Arbeitsweise vollführt die rechte Seite des Steuerschiebers, nur mit dem Unterschiede, daß sie den Auslaß 5 steuert, wenn

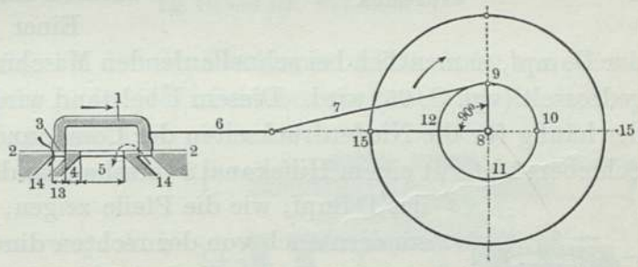


Fig. 106. Muschelschiebersteuerung für Vollfüllung.

die linke den Einlaß 13, 14 öffnet und umgekehrt. Wie das Steuerungsschema erkennen läßt, eilt die Exzenterkurbel 8, 9 der Arbeitskurbel 8, 15 um 90° vor.

Während Fig. 106 eine Steuerung zeigt, mit der der Zylinder volle Füllung erhält, veranschaulichen die Fig. 107, 108 eine solche, bei der die Dampfmaschine mit Expansion arbeitet. Der Steg des Muschelschiebers 3 ist hierbei größer als die Kanalöffnung 8. Der Teil, um den dieser Steg den Kanal 8 in der Mittelstellung des Schiebers nach links überschleift, wird *äußere Überdeckung;* der Teil, um den er ihn nach rechts überragt, *innere Überdeckung* genannt; der ganze Schieber, zum Unterschiede gegenüber dem Schieber in Fig. 106, *Schieber mit Überdeckung.* Da diese Steuerung mit Voreinströmung arbeitet, muß sich der Schieber 3, wenn sich der Arbeitskolben 5 in dem schematisch in bedeutend kleinerem Maßstabe angedeuteten Arbeitszylinder 6 in der linken Totpunktstellung befindet, schon etwas aus der Mittelstellung (in der Zeichnung um das Stück 11) entfernt haben. Um dieses zu erreichen, eilt die Exzenterkurbel 9, 10 der Arbeitskurbel 9, 7 nicht um 90°, sondern um $90^0 + \delta^0$ vor. δ heißt der *Voreilwinkel.* Wie weiter Fig. 108 zeigt, wird der Dampfeinlaß abgeschlossen, wenn der Kolben etwa 60 Proz. seines Weges zurückgelegt hat. Die Kante 1 des Schiebers steuert also sowohl den Dampfeinlaß als auch den Dampfabschluß. Eine Betrachtung der den Dampfauslaß steuernden Schieberkante 2 lehrt ferner, daß die Ausströmung in den Auslaßkanal 4 schon vor Erreichung der Totpunktlage des Kolbens begonnen hat (Fig. 107) und abgeschlossen sein wird, ehe der Kolben die rechte Totpunktlage erreicht (Fig. 108), so daß in dem Raume rechts vom Kolben eine Kompression des Dampfes stattfinden kann.

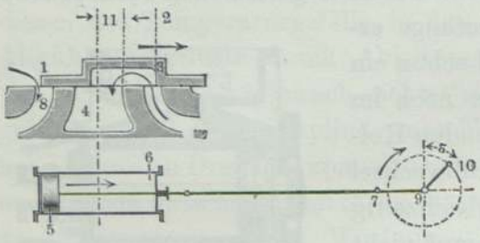


Fig. 107.

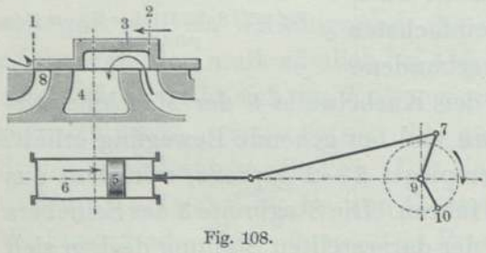


Fig. 108.

Fig. 107 und 108. Muschelschiebersteuerung mit Expansion.

Einer der Mängel des Muschelschiebers ist der, daß der Dampf, namentlich bei schnellaufenden Maschinen, beim Abschlusse der Füllungsperiode stark gedrosselt (vgl. S. 65) wird. Diesem Übelstand wird abgeholfen durch den *Trickschieber* (Fig. 109), der häufig für die Niederdruckseiten der Compoundmaschinen verwendet wird. Der Rücken des Schiebers 1 ist mit einem Hilfskanal 2 versehen, so daß, wenn sich der Schieber nach rechts bewegt, der Dampf, wie die Pfeile zeigen, nicht nur von der linken Seite des Schiebers, sondern auch von der rechten durch den Kanal 2 hindurch in den Einlaßkanal 3 eintreten kann. Es findet also eine Verdoppelung des Eintrittsquerschnittes statt. Die Verhältnisse beim Auspuff sind wie beim gewöhnlichen Muschelschieber: der Dampf tritt aus dem Kanal 3′ durch die Schieberhöhlung 5 hindurch in den Auslaßkanal 4. Ferner finden auch Flachschieber Verwendung, die bei einfacher Einströmung eine doppelte Ausströmung zulassen (siehe z. B. Fig. 160, Teil 51).

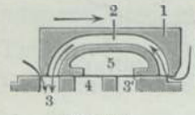


Fig. 109. Trickschieber.

Bei größeren Maschinen und hohen Dampfdrucken lassen sich die vorstehend beschriebenen *Flachschieber,* falls nicht besondere Entlastungsvorrichtungen angeordnet sind, nicht mehr verwenden, weil die Schieberreibungen infolge des auf den Schieber wirkenden Dampfdruckes zu groß werden, ein Übelstand, der bei dem *Kolbenschieber* (Fig. 110) nicht auftritt, denn bei diesem heben sich die allseitig auf die Kolbenwandung wirkenden Dampfdrucke auf. Der Kolbenschieber ist ein Rotationskörper, der dadurch entstanden gedacht werden kann, daß die Längsschnittfläche eines Flachschiebers (Fig. 107) um eine zu seiner Bewegungsrichtung parallele Achse rotiert. Die Wirkungsweise dieses Schiebers entspricht infolgedessen der des gewöhnlichen Muschelschiebers mit Überdeckung. Einen Kolbenschieber mit doppelter Einströmung zeigt die Fig. 153.

Zu der Ausbildung der äußeren Steuerung wird bemerkt, daß die Kurbel zum Antriebe des Schiebers wegen ihrer geringen Länge, die gleich der Hälfte des Schieberweges ist, nicht als Kurbel ausgebildet wird, sondern als *Exzenter,* das ist eine kreisförmige Scheibe, die auf der Kurbelwelle 1

(Fig. 111 u. 112) derart fest angeordnet ist, daß ihr Mittelpunkt 2 nicht mit dem Mittelpunkte 3 der Kurbelwelle zusammenfällt. Der Abstand 2, 3 beider Mittelpunkte ist gleich der Länge der Exzenterkurbel und heißt *Exzentrizität*. Gewöhnlich besteht die Exzenterscheibe aus zwei durch Bolzen 4 zusammengehaltenen Hälften 5 und 6. Auf der Exzenterscheibe sitzt drehbar der Exzenterbügel, der ebenfalls aus zwei durch Schrauben miteinander verbundenen Teilen 7 und 8 besteht; von diesen ist der erstere fest mit der Exzenterstange 9 verschraubt, die ihrerseits mit der gerade geführten Schieberstange 10 drehbar bei 11 verbunden ist.

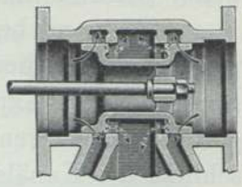


Fig. 110.
Kolbenschieber.

Zur Veränderung der Füllung wird häufig die Größe der Exzentrizität und des Voreilwinkels mit der Hand oder mittels eines Reglers (Regulators) dadurch verändert, daß das beweglich auf der Kurbelwelle sitzende Exzenter verschoben wird. Hierbei wird aber nicht nur die Stelle des Dampfabschlusses verschoben, sondern gleichzeitig in einer oft unerwünschten Weise auch die drei anderen Punkte des Diagramms: Voreinströmung, Vorausströmung und Kompression. Vermieden wird dies bei den *Doppelschiebersteuerungen*, bei denen auf dem Rücken eines *Grundschiebers*, der sich auf dem Schieberspiegel hin und her bewegt, ein *Expansionsschieber* gleitet. Der Grundschieber, dessen Bewegungsverhältnisse unverändert bleiben, welche Füllung auch erzielt werden soll, steuert Voreinströmung, Vorausströmung und Kompression und schließt den Dampfeintritt bei recht hoher Füllung ab. Der von der Hand oder vom Regulator beeinflußte Expansionsschieber dagegen bemißt lediglich die Dauer des Dampfeintrittes. Eine größere Füllung, als der Grundschieber zuläßt, kann mit dieser Steuerung nicht erzielt werden. Zu ihrem Antriebe ist für jeden Schieber ein Exzenter erforderlich, die nebeneinander auf der Kurbelwelle angeordnet sind. Die bekanntesten derartigen Steuerungen sind die *Meyer-* und die *Ridersteuerung*.

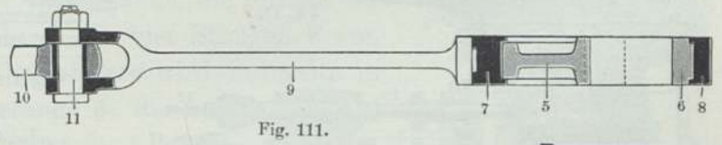


Fig. 111.

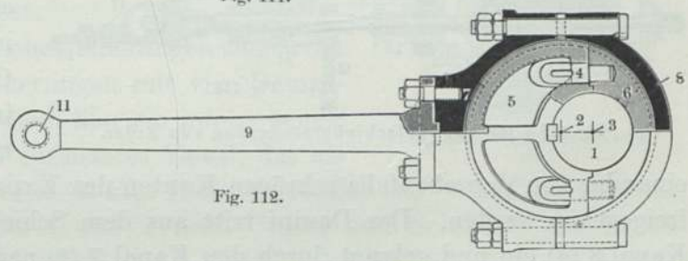


Fig. 112.

Fig. 111 und 112. Exzenter.

Die Fig. 113 und 114 zeigen eine *Meyersteuerung*. Auf dem Schieberspiegel mit den Dampfeinlaßkanälen 1 und dem Dampfauslaßkanal 2 gleitet der Grundschieber 3 mit den Durchlaßkanälen 4. 5 und 6 sind die steuernden Kanten des Grundschiebers, von denen die erstere die Voreinströmung, letztere Voraustritt und Kompression so wie beim gewöhnlichen Muschelschieber regelt. Diese drei Punkte des Diagramms liegen bei jeder Füllung fest, während der vierte, das Ende der Füllungsperiode, durch die Kanten 7 der Expansionsschieberplatten 8 und 9, die auf dem Rücken des Grundschiebers schleifen, gesteuert wird. Die Änderung der Füllung erfolgt durch Verstellen der beiden Platten 8, 9 gegeneinander, wobei die größte Füllung erzielt wird, wenn sie dicht zusammen (Fig. 113), und die kleinste, wenn sie weit auseinanderstehen (Fig. 114). Verstellt werden die Platten durch Verdrehen der mit Rechts- und Linksgewinde 11, 12 versehenen Expansionsschieberstange 10. Auf den Gewindeteilen dieser Stange sitzen die Muttern 13, 14, die an ihren Enden flanschartige Ansätze 15, 16 tragen, mit denen sie Ansätze 18, 19 der Schieberplatten umgreifen. Wird die Schieberstange in dem einen oder dem anderen Sinne gedreht, so bewegen sich die Muttern 13, 14, die am Mitdrehen verhindert

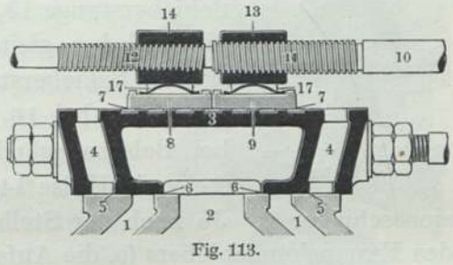


Fig. 113.

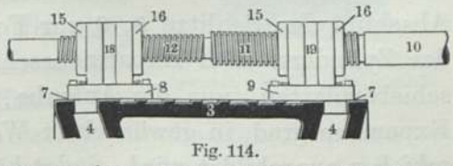


Fig. 114.

Fig. 113 und 114. Doppelschiebersteuerung von Meyer.

werden, auseinander oder gegeneinander und nehmen hierbei mit ihren Ansätzen 15, 16 die Schieberplatten mit. Durch Federn 17, die sich gegen die Muttern legen, werden die Expansionsplatten gegen den Rücken des Grundschiebers gepreßt. Diese Steuerung findet viel Anwendung für die Niederdruckzylinder von Mehrfachexpansionsmaschinen. Einen Meyerschieber mit doppelter Kanaleröffnung zeigt die Fig. 160.

Während bei der Meyersteuerung die Verstellung gewöhnlich mit der Hand vorgenommen wird, geschieht dieses bei der *Ridersteuerung* (Fig. 115—117) durch den Regulator, und zwar durch Verdrehen des Expansionsschiebers 2, der mit zylindrischer Gleitfläche auf dem hohlzylindrisch gestalteten Rücken des Grundschiebers 1 gleitet. Bei der Meyersteuerung laufen die Durchlaßschlitze der Kanäle 4 auf dem Rücken des Grundschiebers parallel den Zylinderkanälen 1 (siehe Fig. 113); bei der Ridersteuerung sind die Durchlaßkanäle des Grundschiebers 1 an der dem Expansionsschieber 2 zugekehrten Seite nicht parallel, sondern geneigt zu den Zylinderkanälen 7, 8 angeordnet (s. Teil 6 in Fig. 115). Der Expansionsschieber selbst ist als trapezförmige Platte ausgebildet (Teil 2 in Fig. 115). Die beiden Kanäle 3, 4 des Grundschiebers münden an dessen Rücken in die schrägen Schlitze 5, 6, die bei der relativen Bewegung der beiden Schieber gegeneinander von den ebenfalls schrägen Kanten des Expansionsschiebers abwechselnd verdeckt und freigegeben werden. Der Dampf tritt aus dem Schieberkasten 9 durch den Schlitz 5 (6) in den Kanal 3 (4) ein und gelangt durch den Kanal 7 (8) nach dem Zylinder. Mit dem Grundschieber, dessen Wirkungsweise sich mit dem des Meyerschiebers deckt, ist fest verbunden die in dem Bock 11 geradlinig geführte Schieberstange 10, die ihre Bewegung durch die Exzenterstange 12 von dem Grundexzenter erhält. Der Expansionsschieber 2 wird angetrieben von der Schieberstange 13, die in der unverschiebbar, aber drehbar gelagerten Hülse 14 hin und her gleitet, sich aber nicht gegen sie verdrehen kann. Ferner kann sich die Schieberstange 13 in dem gabelförmig gestalteten Kopfe 17 der Exzenterstange 18 bei 16 drehen. Am Hebel 15 greift der Regulator an und dreht bei Belastungsänderungen der Maschine die mit ihm aus einem Stück bestehende Hülse 14 und mit dieser die Expansionsschieberstange 13 mit Expansionsschieber 2. Je nach der Stellung des Regulators gelangt der breitere oder schmalere Teil des Expansionsschiebers (s. die Aufsicht, Fig. 115) zur Wirkung, was einen früheren oder späteren Abschluß der Schlitze 5, 6 zur Folge hat, entsprechend einer kleineren oder größeren Füllung des Zylinders. Der Expansionsschieber hat hiernach, wie beim Meyerschieber die Expansionsschieberplatten, nur die Aufgabe, das Ende des Dampfeintritts, also die Füllung oder den Expansionsgrad, in gewünschter Weise herbeizuführen. Der Riderschieber, der auch als Kolbenschieber ausgebildet wird, findet häufig Verwendung als Steuerorgan für die Hochdruckzylinder von Mehrfachexpansionsmaschinen.

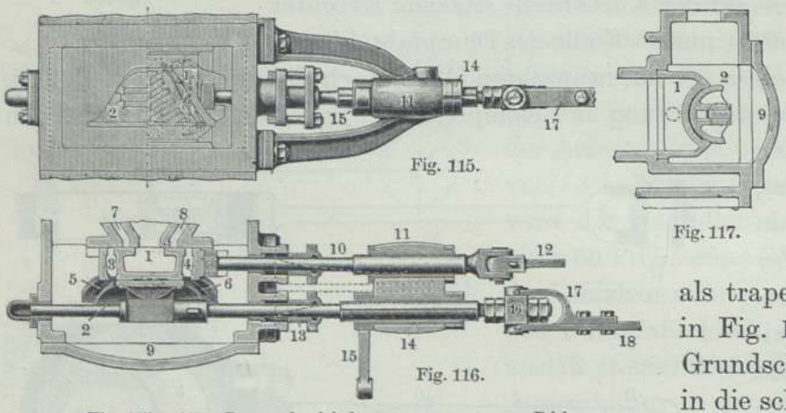


Fig. 115—117. Doppelschiebersteuerung von Rider.

Fig. 118. Drehschieber oder Hahn.

Während bei den vorstehend beschriebenen Steuerungen das Steuerorgan eine geradlinig hin und her gehende Bewegung macht, vollführt es eine Drehbewegung bei den *Hahn-* oder *Drehschiebersteuerungen*. Denkt man sich die Gleitfläche des einfachen Muschelschiebers und den zugehörigen Schieberspiegel zylindrisch gekrümmt um eine senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung und parallel zum Schieberspiegel gerichtete Achse, und läßt man den so gestalteten Schieber um diese seine Achse schwingen, dann hat man den Drehschieber oder Hahn (Fig. 118). Der dem Muschelschieber entsprechend ausgebildete Hahn steuert gleich diesem den Dampfein- und -auslaß

auf beiden Zylinderseiten. Meist verwendet man jedoch zwei oder vier Hähne, die an den Enden des Zylinders eingebaut sind. Bei vier Hähnen können Ein- und Auslaß unabhängig voneinander gesteuert werden. Die Verwendung getrennter Organe für den Ein- und Auslaß hat den Vorteil, daß die abwechselnd auftretende Erwärmung und Abkühlung der Wände der Steuerorgane vermieden und die mit der Eintrittskondensation zusammenhängenden Dampfverluste vermindert werden. Ferner werden die Dampfwege verkleinert, d. h. die schädlichen Räume vermindert, was eine weitere Dampfersparnis bedeutet. Die Bewegung der Hähne erfolgt wie bei der Schiebersteuerung von der Kurbelwelle aus durch Exzenter, wobei die äußere Steuerung sowohl zwangläufig als auch als Ausklinkmechanismus ausgeführt wird.

Bei einer der ältesten Hahnsteuerungen, der *Corlißsteuerung*, werden die Einlaßhähne durch einen Ausklinkmechanismus gesteuert, während die Auslaßhähne zwangläufig bewegt werden. Fig. 119 zeigt eine zwangläufige Hahnsteuerung einer stehenden Maschine, wie sie für die Niederdruckzylinder der Mehrfachexpansionsmaschinen benutzt wird. 1, 1 sind die Einlaßhähne, 2, 2 die Auslaßhähne, die mittels der auf ihren Achsen sitzenden Kurbeln 3 durch die vier Stangen 8 von der Schwingscheibe 4 aus bewegt werden; letztere wird ihrerseits in Schwingung versetzt von der Exzenterstange 5, die nach einem auf der Kurbelwelle 6 sitzenden Exzenter 7 führt.

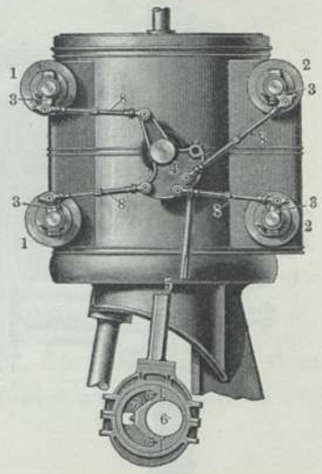


Fig. 119. Hahnsteuerung.

Die gleichen Vorteile wie die Drehschiebersteuerungen zeigen die *Ventilsteuerungen*, die ebenfalls zu den Steuerungen mit vier Dampfwegen gehören. Als Dampfabschlußorgan dient hier ein infolge seiner Bauart vom Dampfdruck zum größten Teil entlastetes Ventil, das als Doppel- (s. Fig. 120 u. 121) oder Viersitzventil (s. Fig. 122) ausgebildet ist. Wie Fig. 120 zeigt, bewegen sich die abdichtenden Flächen bei 1 und 2 beim Öffnen und Schließen des Ventils senkrecht zueinander; es findet also kein Schleifen dieser Flächen aufeinander statt wie bei den bisher beschriebenen Steuerungen, mithin geringere Reibung und Abnutzung. Ferner vertragen die Ventile von allen Abschlußorganen am besten hohe Dampfspannungen und Temperaturen (Überhitzung). Für Ein- und Auslaß müssen getrennte Ventile verwendet werden, so daß eine doppeltwirkende Maschine vier Ventile besitzt. Den Einbau dieser Ventile zeigt die Fig. 122. Auf der oberen Seite des Zylinders befinden sich die Einlaß- und auf der unteren die Auslaßventile. Zwischen den beiden Einlaßventilen sitzt das mittels Handrades zu öffnende Dampfeinlaßventil. Der Frischdampf wird bei 1 zugeführt, geht durch den Dampfmantel 2 des Zylinders, hierbei dessen Lauffläche heizend, und gelangt nach Öffnen des Dampfeinlaßventils in den Dampfraum 3 der Zylindereinlaßventile. Wie er aus diesem in den Zylinder gelangt, zeigt am besten Fig. 120. Nach der Arbeitsleistung entweicht der Dampf durch die unten am Zylinder angeordneten Dampfauslaßventile in den Auspuffkanal 4.

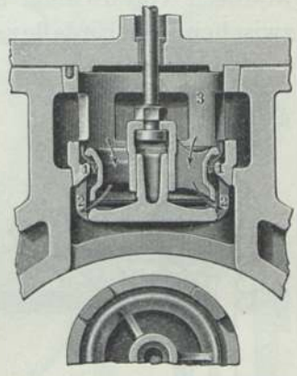


Fig. 120 und 121. Doppelsitzventil (Schnitt und Grundriß).

Bei den Ventilsteuerungen können nach der Art des Antriebes für die Einlaßventile zwei Hauptgruppen unterschieden werden, nämlich einerseits *zwangläufige* und anderseits *Ausklink-*, *Auslös-* oder *freifallende Ventilsteuerungen*. Bei den ersten bleibt stets der Zusammenhang zwischen der äußeren Steuerung und den Ventilen bestehen; bei den letztgenannten wird er kurz vor dem Ventilschluß unterbrochen, und die Ventile werden durch Feder oder Gewichtskraft beschleunigt auf ihren Sitz gedrückt. Die Auslaßventile werden bei beiden zwangläufig gesteuert. Von den zahlreichen Ventilsteuerungen seien als Beispiel einer zwangläufigen Ventilsteuerung die *Lentzsteuerung*, als Beispiel einer Ausklinksteuerung die *Sulzersteuerung* beschrieben.

Die Fig. 123 und 124 (s. auch Fig. 169) zeigen die Lentzsteuerung, und zwar stellt Fig. 123 einen an einem Ende des Dampfzylinders durch die Ventile gelegten Schnitt und Fig. 124 eine

Ansicht dar. Die Bewegung der Steuerung wird abgeleitet von der Steuerwelle 1, die, wie aus Fig. 124 ersichtlich ist, parallel der Zylinderachse verläuft. Die Bewegungsübertragung von der Kurbelwelle auf die Steuerwelle erfolgt durch Kegelräder derart, daß Kurbel- und Steuerwelle gleiche Umdrehungszahl haben. *Antrieb und Lagerung der Steuerwelle sind genauer aus dem Klappmodell der Zweizylindermaschine ersichtlich.* Auf der Steuerwelle sitzt fest der Gleitklotz oder Stein 2, auf dem das Exzenter 3 verschoben werden kann. Dieses Exzenter überträgt seine Bewegung durch Exzenterstange 4 auf einen drehbar gelagerten Winkelhebel 5, dessen einer Schenkel als Kurvenscheibe ausgebildet ist, gegen welche die an der Ventilspindel angeordnete Rolle 6 durch die nachstellbare Feder 7 gedrückt wird. Bei der Drehung des Winkelhebels im Sinne des Uhrzeigers wird die Rolle entgegen dem Federdruck angehoben und das Einlaßventil 8 geöffnet, so daß der durch Rohr 9 zugeleitete Frischdampf einströmen kann. Dreht sich der Winkelhebel in der anderen Richtung, so wird das Ventil durch den Federdruck 7 geschlossen. Die Ventilspindeln 10 werden nicht durch Packungsstopfbüchsen abgedichtet, sondern gleiten reibungsfrei in gußeisernen Dichtungsbüchsen und sind mit eingedrehten Rillen versehen, die wie eine Labyrinthdichtung wirken. Die Steuerung der Auslaßventile 11 erfolgt auf ähnliche Weise, nur ist hier das Exzenter nicht beweglich, sondern fest auf der Steuerwelle angeordnet und überträgt mittels Exzenterstange 12 und Hebel 13 die Bewegung auf das Ventil 11.

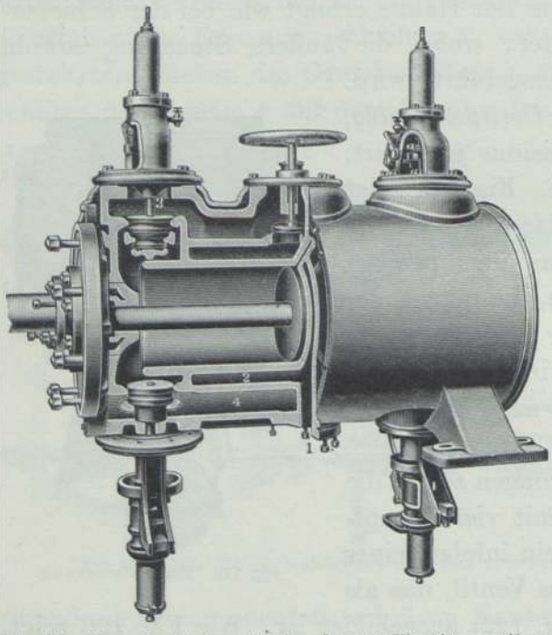


Fig. 122. Dampfzylinder mit eingebauten Viersitzventilen.

Die Regulierung erfolgt durch Verschiebung des Einlaßexzenters 3 auf dem Stein 2, wodurch Voreilwinkel und Exzentrizität geändert werden. Die Verschiebung wird durch einen zwischen den Einlaßexzentern des Hochdruckzylinders auf der Steuerwelle angeordneten Achsenregler bewirkt, der aus einem lose auf der Welle sitzenden Trägheitsringe 14 besteht, in dessen Innern Pendelgewichte sitzen. Erfolgt durch eine Mehrbelastung der Maschine eine kleine Geschwindigkeitsabnahme, so eilt der Trägheitsring infolge seines Beharrungsvermögens vor und unterstützt so die Wirkungsweise der Pendelgewichte, die sich zusammenziehen und durch geeignete Übertragungsmechanismen die Einlaßexzenter derart verstellen, daß die Exzentrizität und damit die Füllung vergrößert wird. Umgekehrte Wirkungsweise findet statt bei Entlastung der Maschine, die eine Vergrößerung der Umdrehungszahl zur Folge hat, der der Trägheitsring nicht so rasch zu folgen vermag. Da das Beharrungsvermögen des Trägheitsringes wesentlich zur raschen Verstellung der Steuerung beiträgt, heißt dieser Regler auch *Beharrungsregler*. Die Lentzsteuerung findet häufig auch für stehende Maschinen Verwendung (siehe z. B. Fig. 161—164).

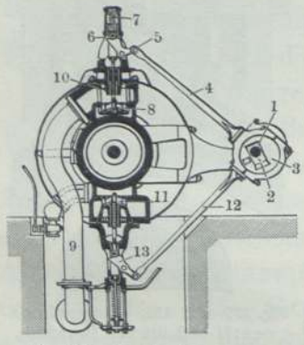


Fig. 123. Lentzsteuerung.

Fig. 125 zeigt das Beispiel einer *Sulzersteuerung* und zwar einen am Ende des Hochdruckzylinders durch die Ventile gelegten Schnitt. Auch hier liegt parallel zur Achse des Dampfzylinders die Steuerwelle 1, die von der Kurbelwelle durch Kegelräder angetrieben wird und das fest mit ihr verbundene Exzenter 2 trägt. Das gegabelte Ende der Exzenterstange 3 wird durch zwei auf der Außenseite der Gabel sitzende, um den fest am Gestell angeordneten Zapfen 4 schwingende Lenker 5 geführt. Innerhalb der Gabel, drehbar um den die Exzenterstange mit den Lenkern 5 verbindenden Bolzen 6, der um den Zapfen 4 eine Kreisbewegung beschreibt, sitzt der als Winkelhebel 7, 8

ausgebildete aktive Mitnehmer. Der passive Mitnehmer ist ein um den feststehenden Zapfen 4 schwingender Doppelhebel 9, 10. Sobald sich der Arm 7 des aktiven Mitnehmers auf den Arm 9 des passiven aufsetzt und ihn nach unten bewegt, wird durch den Arm 10, der sich gegen einen Bund der Ventilspindel 11 legt, das Einlaßventil 12 gehoben. Dem aktiven Mitnehmer wird vom Exzenter 2 durch die Stange 13, den Winkelhebel 14, der um den Zapfen 16 schwingt, und die Stange 15, die bei 8 angreift, eine Bewegung erteilt derart, daß 7 auf 9 während der Abwärtsbewegung von links nach rechts gleitet, bis eine Ausklinkung stattfindet, worauf das Ventil sich unter Einwirkung der Feder 32 freifallend schließt. Die Schlußgeschwindigkeit wird durch einen Luftpuffer geregelt, der von einem in dem Zylinder 17 gleitenden, an der Ventilspindel 11 befestigten Kolben 18 gebildet wird. Während der Aufwärtsbewegung des Kolbens 18 wird durch Ventil 19 Luft angesaugt, die beim Kolbenniedergang nur durch eine enge, mittels einer Regulierschraube einstellbare Öffnung ausströmen kann, also hemmend auf den Ventilschluß wirkt. Der Zeitpunkt der Ausklinkung und damit die Füllung des Zylinders wird bestimmt durch die Stellung des vom Regulator beeinflußten aktiven Mitnehmers. Der nicht dargestellte Regulator wirkt durch Stange 23 auf den Hebel 22 ein und verdreht bei einer Änderung des Arbeitswiderstandes der Maschine die Regulierwelle 20 und den fest auf ihr sitzenden Hebel 21, wodurch der Drehpunkt 16 des Winkelhebels 14 eine Verstellung erfährt. Je mehr hierdurch der Arm 7 des aktiven Mitnehmers nach rechts verschoben wird, desto früher erfolgt die Ausklinkung und der Schluß des Ventils, was einer Verkleinerung der Füllung der Maschine entspricht. Das Umgekehrte findet statt, wenn der Arm 7 des Mitnehmers durch den Regulator nach links verschoben wird. Der Dampfauslaß kann verschieden gesteuert werden. In der Figur geschieht es durch eine auf der Steuerwelle neben dem Exzenter sitzende unrunde Scheibe 24 *(Daumen, Daumensteuerung)*. Die durch den Lenker 26 geführte Stange 25 trägt am oberen gegabelten Ende eine Rolle 27 und ist mit ihrem unteren Ende mit dem Hebel 28 verbunden, der um einen festen Drehpunkt schwingt und an der Ventilspindel 29 des Auslaßventils 30 angreift. Sobald der Vorsprung der unrunden Scheibe auf die Rolle drückt, wird durch Vermittelung von 25, 28 und 29 das Auslaßventil 30 geöffnet. Sein Schluß wird bewirkt durch die Feder 31.

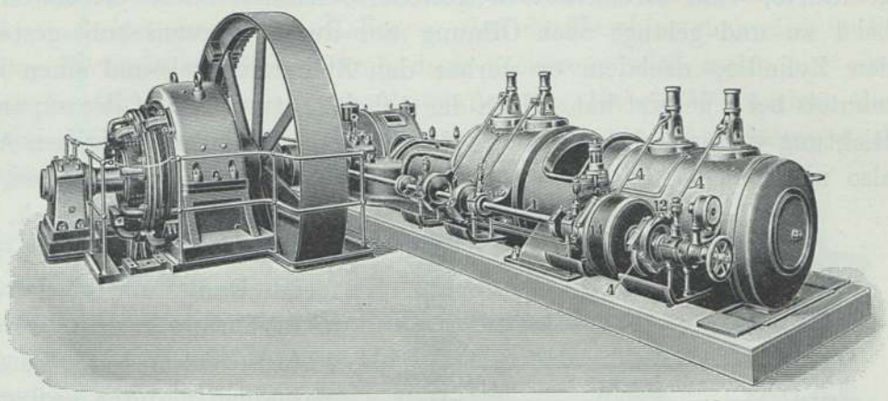


Fig. 124. 300 PS-Tandemdampfmaschine mit Lentzsteuerung der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg.

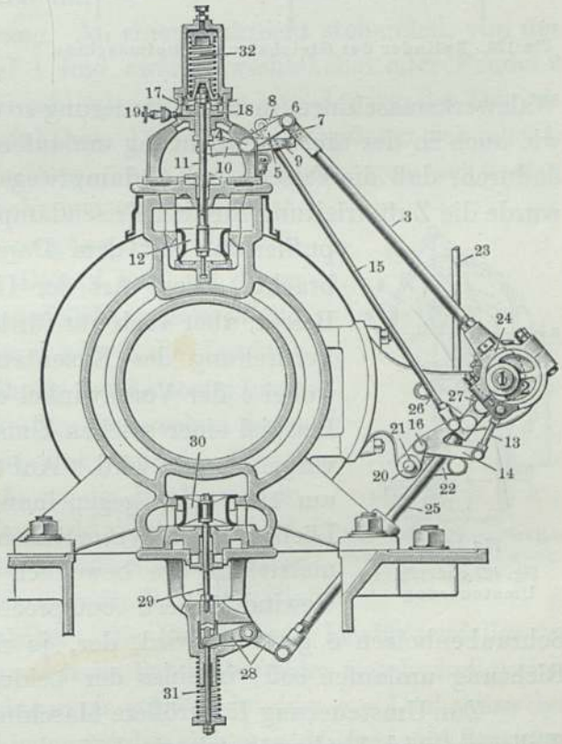


Fig. 125. Sulzersteuerung.

Wie oben ausgeführt ist, haben die mit getrennten Organen für Ein- und Auslaß arbeitenden

Hahn- und Ventilsteuerungen den mit einem einzigen Organ ausgerüsteten Steuerungen gegenüber den Vorteil eines geringen schädlichen Raumes und einer geringen Eintrittskondensation. Viel stärker treten diese Vorteile auf bei der *Gleichstromdampfmaschine* von Professor Stumpf, bei der, wie Fig. 126 zeigt, die Auslaßorgane durch in der Mitte des Dampfzylinders angeordnete, vom Arbeitskolben gesteuerte Auslaßschlitze ersetzt sind. Der Dampf strömt bei 1 zu und gelangt nach Öffnung der durch Kurvenschub gesteuerten Einlaßventile 2 in den Zylinder, nachdem er vorher den Zylinderdeckel und einen kleinen Teil des Zylindermantels bei 3 geheizt hat. Nach der Arbeitsleistung strömt der expandierte Dampf in derselben Richtung weiter und durch die in der Mitte des Zylinders gelegenen Auspuffschlitze 4 aus, kehrt also nicht wieder, wie bei allen vorstehend beschriebenen Maschinen, zu den vom Frischdampf beheizten Flächen zurück. Da somit der eintretende Frischdampf nur mit beheizten Wänden, der ausströmende Dampf nur mit den gekühlten Auspuffschlitzen in Berührung kommt, werden alle Wandabkühlungsverluste vermieden, die bei den anderen Dampfmaschinen dadurch auftreten, daß der expandierte Dampf am Ende des Arbeitshubes seine Richtung umkehrt und durch ein am Einlaßende gelegenes Auslaßorgan ausströmt. Ein Vorteil der Gleichstromdampfmaschine ist ihr günstiger Dampfverbrauch.

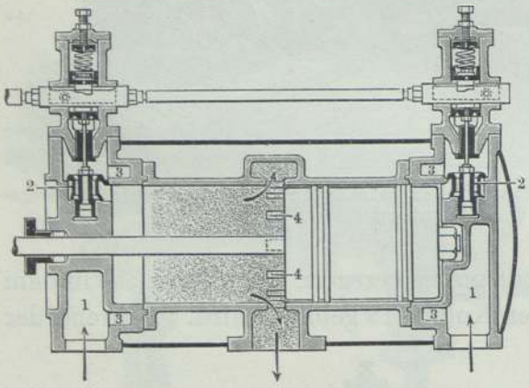


Fig. 126. Zylinder der Gleichstromdampfmaschine.

2. Die Umsteuerung der Dampfmaschine.

Häufig, z. B. bei Lokomotiven, Schiffs-, Förder-, Walzwerksmaschinen, muß die Steuerung so eingerichtet sein, daß die Dampfmaschine in der einen wie auch in der anderen Richtung umlaufen kann. Früher geschah dies bei kleineren Maschinen dadurch, daß die Frisch- und Abdampfwege vertauscht wurden. Durch einen Umsteuerschieber wurde die Zuführleitung für den Frischdampf mit der Auspuffleitung der Maschine, und die Auspuffleitung mit dem Dampfeintrittsstutzen der Maschine in Verbindung gebracht. Diese Art der Umsteuerung bedingt ungünstigen Dampfverbrauch. Besser, aber auch nur für kleine Maschinen geeignet, ist die Umsteuerung durch Verdrehung des Exzenters auf der Steuerwelle um den Winkel $180 - 2\delta^0$, wobei δ der Voreilwinkel der Exzenterkurbel ist. Fig. 127 u. 128 zeigen das Beispiel einer solchen Umsteuerung, die während des Stillstandes der Maschine vorgenommen wird. Auf Steuerwelle 1 sitzt fest eine Scheibe 2, die mit zwei um $180 - 2\delta^0$ gegeneinander versetzten Gewindelöchern versehen ist; diese Löcher liegen symmetrisch zur Antriebskurbel 3 der Maschine. Auf der Symmetrielinie des beweglich auf der Welle sitzenden Exzenters 4 ist eine den Gewindelöchern entsprechende Durchbohrung vorgesehen, durch die ein Schraubenbolzen 5 gesteckt wird, der, je nachdem die Maschine in der einen oder anderen Richtung umlaufen soll, in eines der beiden Gewindelöcher eingeschraubt wird.

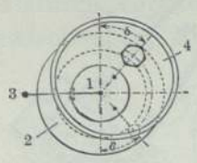


Fig. 127.

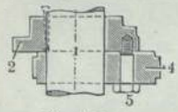


Fig. 128.

Fig. 127 und 128. Umsteuerung.

Zur Umsteuerung für größere Maschinen, wie Schiffsmaschinen, Lokomotiven usw., dienen Kulissen- und Lenkersteuerungen.

In Fig. 129 ist die *Kulissensteuerung* von Stephenson schematisch dargestellt, die häufig bei Fördermaschinen Verwendung findet. Fest auf der Kurbelwelle 1 sitzen die Antriebskurbel 1, 2 und neben dieser zwei Exzenter 1, 3 und 1, 4, von denen das erstere der Kurbel um den Winkel $90 + \delta^0$ voreilt, das zweite um $90 + \delta^0$ nacheilt. Diese Exzenter sind durch die Stangen 5, 6 gelenkig mit einer Kulisse 7 verbunden, deren Unterstützungspunkt 9 von dem einen Ende einer am Winkelhebel 11, 12 hängenden Stange 10 gebildet wird. Der Winkelhebel ist im Punkte 13 drehbar gelagert und wird in seiner jeweiligen Stellung durch den feststellbaren, um Punkt 15 schwingenden Hebel 17 gehalten, mit dem er durch Stange 14 in Verbindung steht. In der Kulisse 7

sitzt gleitbar ein Stein 8, der die Antriebsbewegung auf die Schieberstange 19 überträgt. Wird der Hebel 17 in die Lage 18 gebracht, so wird die Kulisse gesenkt, und es gelangt ihre obere Hälfte zur Einwirkung auf den Stein 8: die Maschine läuft vorwärts. Da hierbei der Antrieb hauptsächlich durch das Exzenter 1, 3 erfolgt, heißt dieses das *Vorwärtsexzenter*. Das Umgekehrte ist der Fall, wenn Hebel 17 in die Lage 16 ausgeschwungen wird. Hierbei wird die Kulisse 7 gehoben, und es arbeitet ihre untere Hälfte, so daß die Maschine rückwärts läuft. Das Exzenter 1, 4 heißt das *Rückwärtsexzenter*. Durch diese Steuerung wird nicht nur eine Umsteuerung der Maschine bewirkt, sondern durch Feststellen des Hebels 17 in einer der Zwischenstellungen auch eine Füllungsänderung. Bauliche Ausbildung und Anordnung einer derartigen Umsteuervorrichtung lassen die Fig. 159, 160 erkennen.

3. Die Reguliervorrichtungen der Dampfmaschine.

Jede Kolbendampfmaschine besitzt zwei Reguliervorrichtungen, nämlich das Schwungrad und den Regulator. Das schon oben erwähnte *Schwungrad* hat die Aufgabe, die während einer Umdrehung der Maschine auftretenden Ungleichförmigkeiten zu beseitigen. Im Gegensatz hierzu hat der *Regulator* die Aufgabe, die Geschwindigkeit der Maschine während mehrerer Umdrehungen zu regeln und dafür zu sorgen, daß die Umdrehungszahl der Maschine möglichst konstant bleibt.

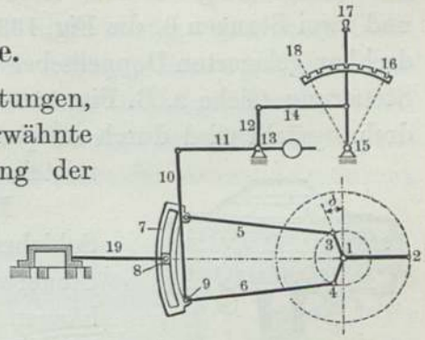


Fig. 129. Kulissensteuerung von Stephenson.

Die einfachste Regulierung ist die in Fig. 130 dargestellte, schon von Watt angewandte *Drosselregulierung*. An einer senkrecht stehenden, von der Kurbelwelle durch Kegelräder angetriebenen Spindel 1 sind zwei Gewichtshebel oder Pendel 2 gelenkig angeordnet, die sich bei Erhöhung der Tourenzahl, also bei Abnahme der von der Dampfmaschine zu leistenden Arbeit, durch die Zentrifugalkraft heben. Diese Bewegung pflanzt sich mittels der Stangen 3 auf die Muffe 4 fort und wird durch Gestänge 5 auf Hebel 6 übertragen, auf dessen Drehzapfen die Drosselklappe 7 im Dampfzuleitungsrohr fest angeordnet ist. Durch die Verdrehung der Drosselklappe findet eine Verengung des Durchflußquerschnittes des Dampfzuleitungsrohres statt. Der Dampf wird an dieser Stelle am Weiterströmen gehindert oder, technisch ausgedrückt, *gedrosselt* und hat hinter der Klappe eine geringere Spannung, mit der er nun in die Maschine eintritt und so deren Leistung verringert. Eine Erhöhung der Leistung kann durch diese Regulierungsart nicht stattfinden, es müßte denn schon beim normalen Betriebe mit abgedrosseltem Dampfe gearbeitet werden. Dieses Regelungsverfahren ist einfach, aber unwirtschaftlich, da die im Kessel erzeugte hohe Dampfspannung vor der Maschine künstlich verringert wird.

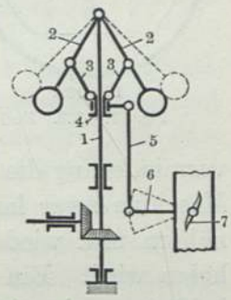


Fig. 130. Drosselregelung mittels Schwungkugelregulators.

Vorteilhafter sind die Regelungsverfahren, bei denen der Regulator auf die Steuerung einwirkt und die Füllung der Maschine verändert wird, die Eintrittsspannung des Dampfes also unverändert bleibt. Die Regulatoren hierfür zerfallen in *Kegel-* und *Flachregler*. Bei ersteren (Fig. 130) bewegen sich die Pendel bei jeder Geschwindigkeitsänderung in einer anderen Ebene; bei letzteren schwingen sie ständig in einer zur Drehachse des Regulators senkrechten Ebene. Ferner kann unterschieden werden zwischen *Muffen-* und *Exzenterreglern*, je nachdem die Pendel auf eine mit Stellzeug verbundene Muffe oder unmittelbar auf das steuernde Exzenter einwirken. Wird der Fliehkraft der Schwungmassen durch Gewichte das Gleichgewicht gehalten, so wird von *Gewichtsreglern* oder, wenn dazu Federn dienen, von *Federreglern* gesprochen. *Beharrungsregler* sind solche, bei denen die Kraft zur Verstellung des Stellzeuges hauptsächlich von der Trägheit sich drehender Massen ausgeübt wird (s. auch Fig. 124, Teil 14). Schließlich können die Regler noch in *unmittelbar* und *mittelbar wirkende* eingeteilt werden. Zu den ersteren gehören alle vorstehend genannten, zu den letzteren diejenigen, bei denen der Regler erst eine besondere Hilfskraft zur Verstellung der Steuerung einschaltet (*Servomotor*, s. Fig. 185).

Die Kegelregler sind auf die mannigfachste Weise und ähnlich wie in Fig. 130 ausgebildet worden. Die einzelnen Systeme unterscheiden sich durch die Art der Pendelaufhängung (s. auch Fig. 155) und der Bewegungsübertragung auf die Muffe. Da sich die Pendel infolge der großen Massen bei Belastungsänderungen der Maschine nicht gleich in die neue Gleichgewichtslage einstellen, sondern mehrere Male um diese schwingen, sind zur Verhinderung dieses Übelstandes Ölbremsen vorgesehen.

Das Beispiel eines *Federregulators* zeigen Fig. 131—133. Innerhalb zweier zylindrisch ausgebohrter Schwunggewichte 1, 1, die senkrecht zur Drehachse ausschlagen, befinden sich zwei Druckfedern, die der Fliehkraft entgegenwirken und durch eine Mutter 2 angespannt werden. Die Übertragung der Schwungmassenbewegung auf die Muffe 3 erfolgt durch Winkelhebel 4, 5 und zwei Stangen 6, die Fig. 133 veranschaulicht. Von der Muffe 3 wird die Bewegung auf einen drehbar gelagerten Doppelhebel 7 übertragen, dessen anderes Ende 8 durch eine Stange mit der Steuerung (siehe z. B. Fig. 115—117, Teil 15) in Verbindung steht. Eine Änderung der Umdrehungszahl wird durch Anspannen oder Lösen einer Zusatzfeder 9 bewirkt, deren Verstellung mittels einer Gewindespindel bewerkstelligt wird.

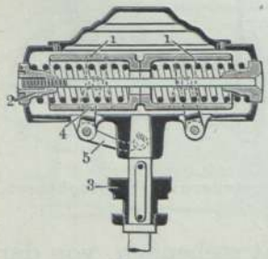


Fig. 131.

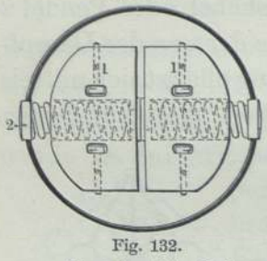


Fig. 132.

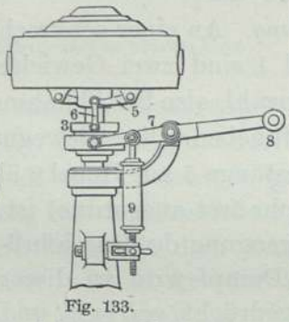


Fig. 133.

Fig. 131—133. Federregulator von Hartung.

Die zu den Exzenterreglern gehörenden *Achsenregler* sitzen bei den Schiebersteuerungen auf der Kurbel-, bei den Ventilsteuerungen auf der Steuerwelle. Innerhalb einer fest mit der Welle verbundenen Trommel hängen zwei durch Federn zusammengehaltene Schwunggewichte, deren bei Geschwindigkeitsänderungen pendelnde Bewegung auf das steuernde Exzenter übertragen wird, hierbei dessen Voreilwinkel und Hub verstellend. *Einbau und Antrieb eines Achsenreglers bei einer Ventilsteuerung zeigt das aufklappbare Modell der Zweizylinderdampfmaschine.*

Ein brauchbarer Regulator muß stabil sein, d. h. bei wachsender Umdrehungszahl der Maschine muß der Ausschlag der Schwungmassen zunehmen. Stabil sind die *statischen* Regulatoren, bei denen jeder Umdrehungszahl der Maschine eine bestimmte Kugelstellung entspricht. Diese Regulatoren sind aber nicht brauchbar, denn läuft z. B. infolge Widerstandsverminderung die Maschine rascher und stellt der Regulator auf kleinere Füllung ein, so wird die Maschine zwar langsamer laufen, aber die Regulatorgewichte werden sich auch wieder einander nähern und wieder eine größere Füllung einstellen, worauf sich das Spiel von neuem wiederholen wird. Ein Regulator, bei dem zu jeder Kugelstellung dieselbe Umdrehungszahl gehört, heißt nun ein nicht statischer oder *astatischer*. Auch diese Regulatoren sind für gewöhnliche Dampfmaschinen nicht brauchbar; denn wird diese Normalgeschwindigkeit nur im geringsten geändert, so geht der Regulator sofort in die höchste oder tiefste Lage. Derartige Regulatoren sind im indifferenten Gleichgewicht und nur als indirekt wirkende zu gebrauchen, die an den Hubgrenzen eine Hilfskraft, einen sogenannten Servomotor (s. Fig. 185), einschalten. Die gebräuchlichen Regulatoren stehen in der Mitte zwischen beiden Regulatorarten und werden als *pseudoastatische* bezeichnet. Sie sind nur in einer bestimmten Stellung astatisch, dürfen aber nicht bei jeder Änderung der Umdrehungszahl sofort in ihre äußersten Lagen gehen.

Die meisten Regulatoren sind *Geschwindigkeitsregulatoren*, d. h. sie halten bei wechselnder Belastung der Maschine eine nahezu bestimmte Umdrehungszahl fest, was z. B. bei Dampfmaschinen durch Änderung der Füllung geschieht. Bei Pumpen und Kompressoren ist nun infolge der unveränderlichen Druckhöhe der Widerstand für die einzelne Umdrehung konstant, also eine konstante Füllung des Dampfzylinders erforderlich. Die Umdrehungszahl hingegen soll je nach Bedarf an Wasser- oder Luftmenge in weiten Grenzen verändert werden können. Diese Aufgabe, Veränderung der Leistung durch Veränderung der Umdrehungszahl bei konstanter

Füllung, lösen die *statischen Leistungsregulatoren*, die sich von Hand oder selbsttätig auf kleinere oder größere Umlaufszahlen einstellen lassen. Die Einstellung erfolgt durch einfache Verlängerung oder Verkürzung der das Regulatorstellzeug mit dem Steuerhebel der Maschine verbindenden Stange.

4. Die Kondensation.

Die mit Auspuff arbeitenden Dampfmaschinen, bei denen der Dampf nach der Arbeitsleistung ins Freie entweicht, zeigen mancherlei Übelstände. Zunächst pufft der Dampf mit etwas über Atmosphärenspannung aus. Zur Erzeugung von 1 kg Dampf von 1 at Spannung sind aber 637 WE erforderlich, die auf diese Weise ungenutzt ins Freie gehen. Ferner muß bei Auspuffmaschinen dem Kessel ständig neues Speisewasser zugeführt werden, was oft ungünstig ist, denn gutes Kesselspeisewasser (frei von Kesselstein bildenden Salzen) ist nicht häufig. Um diesen Übelständen abzuhelfen, wird der Dampf, nachdem er in der Maschine Arbeit geleistet hat, in einem mit dem Dampfzylinder in Verbindung stehenden Raum, dem *Kondensator*, niedergeschlagen. Hierdurch wird, da Dampf von 1 at einen ungefähr 1700mal so großen Raum einnimmt wie Wasser, die Spannung des austretenden Dampfes vor dem Kolben bedeutend unter den Atmosphärendruck herabgebracht. Es wird ein Unterdruck (Vakuum) erzeugt, so daß der Überdruck des hinter dem Kolben wirkenden Dampfes erhöht und die Leistung der Dampfmaschine ohne Erhöhung des Dampfverbrauches vergrößert wird. Obwohl nicht die ganze durch Kondensation gewonnene Arbeit ausnutzbar ist, da ein Teil zum Betrieb des Kondensationsapparates verwendet werden muß, verbleibt doch ein so großer Arbeitsgewinn, daß für die gleiche Leistung der Dampfmaschine ein beträchtlich niedrigerer Dampfverbrauch und damit eine Brennmaterialersparnis von 25—33 Proz. erzielt wird. Wenn trotzdem nicht jede Dampfmaschine mit einer Kondensationseinrichtung ausgestattet wird, so liegt das teils daran, daß eine solche Einrichtung die Dampfmaschine komplizierter macht, ihre Wartung erschwert und ihre Anschaffungskosten erhöht, teils daran, daß die im Verhältnis zum Speisewasser bedeutende Kühlwassermenge (bei Einspritzkondensation das 20—25fache, bei Oberflächenkondensation das 30—50fache des von der Maschine verbrauchten Dampfgewichtes) sich häufig nicht beschaffen läßt, oder daß das Brennmaterial sehr billig ist, also eine Ersparnis daran nicht nötig erscheint. Man baut ohne Kondensation Lokomotiven, die meisten Lokomobilen und sonstige transportabele Dampfmaschinen (ausgenommen Schiffsmaschinen); ebenso kleine, billige Dampfmaschinen; ferner in vielen Fällen die Fördermaschinen der Bergwerke usw. Bei diesen Maschinen wird in neuerer Zeit statt des Kondensators häufig ein sog. *Wärmespeicher* (s. Niederdruckturbinen, S. 92) angeordnet.

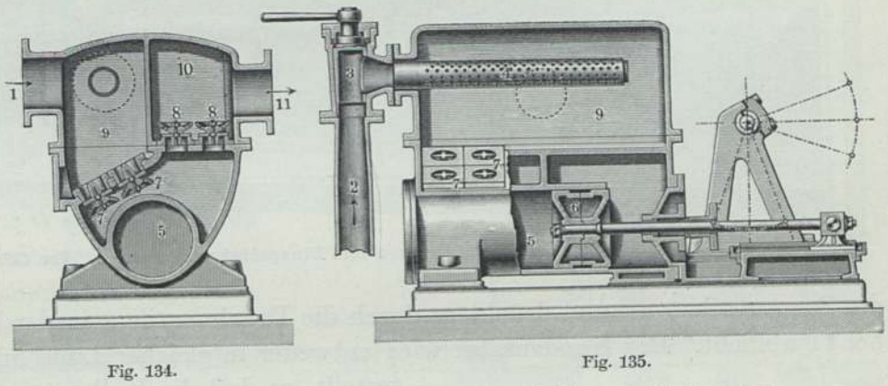


Fig. 134. Fig. 135.

Fig. 134 und 135. Einspritzkondensator mit liegender Luftpumpe.

Je nachdem der zu kondensierende Dampf mit dem Kühlwasser unmittelbar in Berührung gebracht wird oder durch Metallwände von ihm getrennt bleibt, unterscheidet man *Misch-* oder *Einspritzkondensation* und *Oberflächenkondensation*. Bei großen Anlagen mit mehreren Dampfmaschinen wird der Abdampf in einem gemeinsamen Kondensator verdichtet: *Zentralkondensation*.

Fig. 134 und 135 zeigen das Beispiel einer Mischkondensation. Bei 1 tritt der von der Maschine kommende Abdampf ein und mischt sich mit dem durch 2 zuströmenden Kühlwasser, das infolge des im Kondensator herrschenden Unterdruckes (bis auf etwa 7 m Saughöhe) angesaugt wird. Die Menge des Kühlwassers kann mittels des Hahnes 3 geregelt werden, während seine gute Verteilung durch das in den Kondensationsraum hineinragende gelochte Einspritzrohr 4 bewirkt

wird. Das Kühlwasser mit dem Kondensat (d. h. mit dem aus dem Dampf niedergeschlagenen Wasser) und die durch Undichtheiten sowie durch das Wasser in den Kondensationsraum 9 gelangende Luft werden durch die Luftpumpe 5, 6 entfernt, die, da sie Flüssigkeit und Luft fördert, *nasse Luftpumpe* genannt wird. Die Luftpumpe ist doppeltwirkend; sie saugt das Gemisch durch

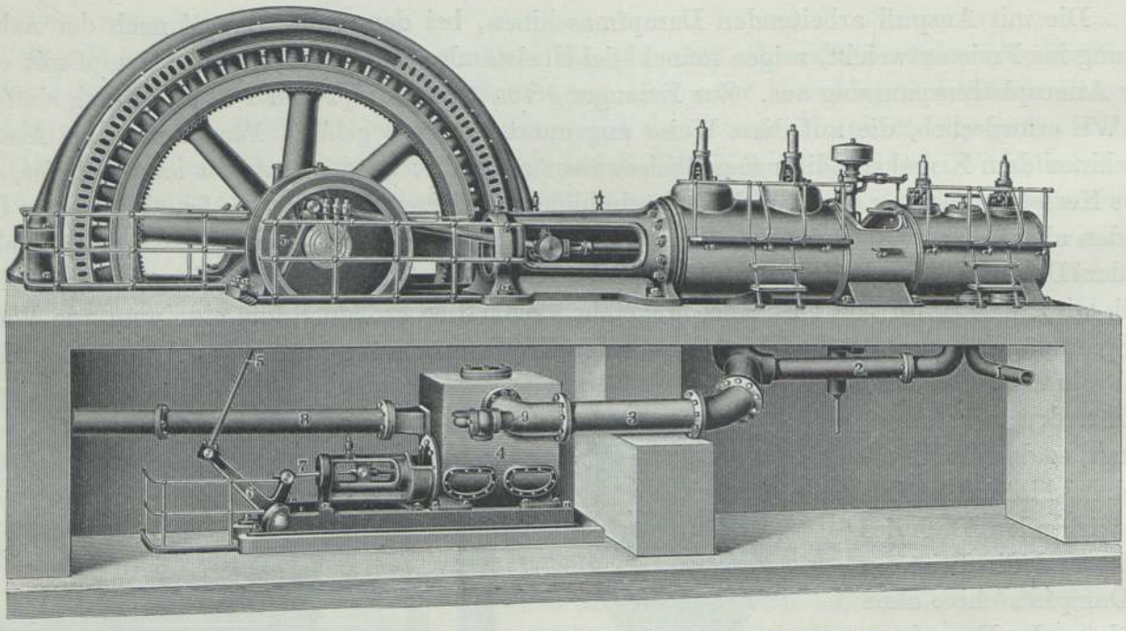


Fig. 136. Dampfdynamo mit Einspritzkondensation. Von Gebr. Sulzer.

die Saugventile 7 an und drückt es durch die Druckventile 8 in den Druckraum 10, aus dem es bei 11 abfließt. Der Kondensator wird entweder in gleicher Linie mit dem Dampfzylinder aufgestellt, so daß die Kolbenstange der Luftpumpe die Verlängerung der Kolbenstange des Dampfzylinders bildet, oder er wird, wie Fig. 136 veranschaulicht, tiefer als die Dampfmaschine angeordnet. Diese Figur zeigt eine mit Sulzersteuerung ausgerüstete *Dampfdynamo*, deren Anker als Schwungrad ausgebildet ist. 1 ist das Dampfzuleitungsrohr, 2 das Überströmrohr vom Hoch- zum Niederdruckzylinder und 3 das zur Luftpumpe 4 führende Abdampfrohr, in das bei 9 Kühlwasser eingespritzt wird. Die Luftpumpe wird von der Verlängerung des Kurbelzapfens der Maschine angetrieben, von der eine Stange 5 zum Schenkel 6 eines drehbar gelagerten Winkelhebels führt, dessen anderer Schenkel durch Stange 7 mit dem Kreuzkopf der Luftpumpe in Verbindung steht. 8 ist das Abflußrohr der Luftpumpe.

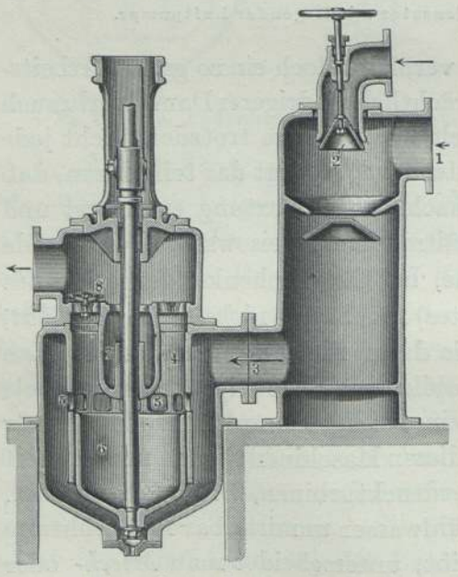


Fig. 137. Einspritzkondensator mit stehender Luftpumpe.

Eine Anordnung, bei der der Kondensator unabhängig von der Luftpumpe und letztere stehend ausgebildet ist, zeigt Fig. 137. Der Dampf tritt bei 1 ein und strömt gegen den durch den verstellbaren Einspritzkegel 2 gebildeten Kühlwasserkegel. Das Luft-, Dampf- und Wassergemenge fließt dann durch 3 der Pumpe zu, die statt der Saugventile in der Lauffläche des Zylinders 4 Schlitze 5 besitzt, die während eines Teiles des Nieder- und Aufganges des Kolbens 6 freigelegt werden und das Gemenge in den Pumpenraum einlassen. Sobald beim Aufgang des Kolbens die Schlitze 5 geschlossen sind, wird bei seiner Weiterbewegung durch den Verdränger 7 zuerst das Luftdampfgemenge und darauf ein

Teil des eingeschlossenen Wassers durch die Druckventile 8 gedrückt. Der Antrieb der Luftpumpe erfolgt bei liegenden Maschinen ähnlich wie in Fig. 136, bei stehenden Maschinen mittels Gelenkstangen und Balanciers (s. Fig. 165, Teil 17, 18) von dem Kreuzkopfzapfen aus. Eine andere Bauart einer stehenden Luftpumpe zeigt Fig. 170, Teil 10.

Die bisher beschriebenen Kondensatoren arbeiten nach dem *Parallelstromprinzip*, d. h. bei ihnen fließen Dampf und Kondensationserzeugnisse in gleicher Richtung und werden durch eine gemeinsame Naßluftpumpe abgesaugt. Bei der *Gegenstromkondensation* bewegen sich Wasser und Dampf im Kondensator entgegengesetzt, und das warme Wasser sowie die Luft werden getrennt durch gesonderte Pumpen abgeführt. Vorteile der Gegenstromkondensation sind: geringerer Kühlwasserbedarf bei besserem Vakuum, kleinere Abmessungen der Pumpen, von denen allerdings für Luft und Warmwasser je eine vorhanden sein muß, und niedrigerer Arbeitsbedarf der Pumpen.

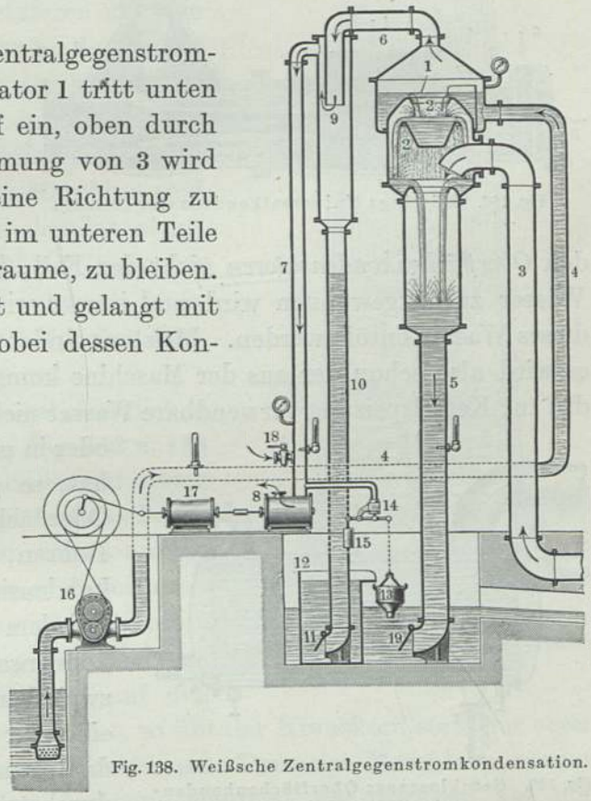


Fig. 138. Weißsche Zentralgegenstromkondensation.

Fig. 138 zeigt schematisch eine Weißsche Zentralgegenstromkondensation. In den hoch angeordneten Kondensator 1 tritt unten durch das Rohr 3 der zu kondensierende Abdampf ein, oben durch Rohr 4 das Kühlwasser. Durch die Abwärtskrümmung von 3 wird der Dampf gezwungen, erst im Kondensator seine Richtung zu ändern, und außerdem veranlaßt, möglichst lange im unteren Teile des Kondensators, dem eigentlichen Kondensationsraume, zu bleiben. Durch die Überfälle 2 wird das Kühlwasser verteilt und gelangt mit dem entgegenströmenden Dampf in Berührung, wobei dessen Kondensation erfolgt. Das warme Wasser wird unten in der Nähe des Dampfeintrittes, wo es am heißesten ist, aus dem Kondensator abgeführt, und zwar durch ein unter dem Wasserspiegel des Warmwasserbehälters ausmündendes, 10 m hohes, sogenanntes barometrisches Fallrohr 5, dessen Ende eine Rückschlagklappe 19 trägt, um den Rücktritt des Wassers in das Rohr zu verhindern. An Stelle des Fallrohres kann auch eine Warmwasserpumpe treten, in welchem Falle die hohe Lage des Kondensators nicht nötig ist. Die Luft wird oben an der Stelle, wo es wegen des dort eintretenden Kühlwassers am kühlsten ist, durch Rohrleitung 6, 7 mittels der trockenen Luftpumpe 8 abgesaugt. Um zu verhüten, daß bei zu starkem Absaugen der Luftpumpe Wasser aus dem Kondensator in diese gelangt, ist eine Sicherheitsvorrichtung vorgesehen, die aus Wasserabscheider 9 und Abfallrohr 10 mit Klappe 11 besteht. Gelangt zu viel Wasser in die Sicherheitsvorrichtung, so strömt es in den Behälter 12 aus und fließt durch eine Überlaufrinne in den Eimer 13, der nunmehr nach unten geht und ein Ventil 14 öffnet, wodurch Luft atmosphärischer Spannung in die Saugleitung eingelassen wird. Der Wasserübertritt in die Teile 9, 10 hört jetzt auf, der Eimer 13 entleert sich, und das Ventil wird durch das Gewicht 15 wieder geschlossen. Zur Regulierung der vom Kondensator angesaugten Luftmenge von Hand ist ein Hahn 18 vorgesehen. Die Zuführung des Kühlwassers erfolgt durch die als Kapselräder- oder Rotationspumpe ausgebildete Kaltwasserpumpe 16, die durch die Saugwirkung des Kondensators unterstützt wird. Kaltwasserpumpe 16 und Luftpumpe 8 erhalten ihren Antrieb durch eine kleine Dampfmaschine 17.

Eine besondere Gattung der Einspritzkondensatoren bilden die *Wasserstrahlkondensatoren*, bei denen der zu verdichtende Dampf gleichzeitig mit dem Kühlwasser in den luftleer gemachten Verdichtungsraum eintritt, wo er sich unmittelbar mit dem Wasser mischt. Eine besondere Pumpe zum Hinausschaffen des Kühlwassers und des Kondensates aus dem Kondensator ist

hier nicht nötig; diese Arbeit wird durch die lebendige Kraft des Einspritzwassers oder des Abdampfes verrichtet.

Fig. 139 zeigt einen Körtingschen Universalkondensator, bei dem eine besondere Förderpumpe für das Kühlwasser nicht nötig ist. Bei 1 wird der Abdampf zugeführt und gelangt durch zahlreiche schräge Löcher in die Mischdüse 2, wo er mit dem bei 3 eintretenden, die Düse 4 durchströmenden Kühlwasser zusammentrifft. Der Ausfluß des Gemisches erfolgt bei 5. Zur Inbetriebsetzung des Kondensators läßt man während kurzer Zeit bei 6 durch eine dritte Düse 7 Frischdampf in die Wasserdüse eintreten, wodurch das Kühlwasser angesaugt und durchgetrieben wird. Läßt man nun den Abdampf eintreten, dann arbeitet der Kondensator weiter, und der Frischdampf kann abgestellt werden. Die Mischdüse läßt sich der jeweils zu kondensierenden Abdampfmenge entsprechend regulieren durch Verschieben des Düsenrohres 8 mittels des von außen einstellbaren Hebels 9. Sehr geeignet sind diese das Kühlwasser selbst ansaugenden Kondensatoren für Flußdampfer.

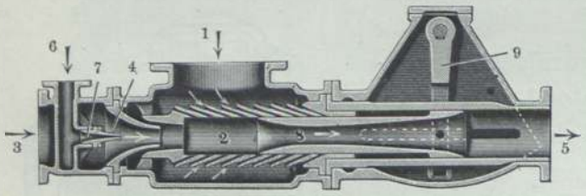


Fig. 139. Körtings Universalkondensator (Schnitt).

Während bei den vorstehend beschriebenen Kondensatoren eine Mischung des Kühlwassers mit dem Kondensat stattfindet, ist dieses bei den *Oberflächenkondensatoren* nicht der Fall, bei denen der kondensierte Dampf als destilliertes Wasser zurückgewonnen wird und immer wieder zur Kesselspeisung dient; vorher muß jedoch dieses Wasser entölt werden. Meistens findet diese Entölung schon vor dem Kondensator statt, es wird also schon der aus der Maschine kommende Dampf durch Ölabscheider geleitet. Kann das zur Kesselspeisung verwendbare Wasser nicht billig beschafft werden, wie z. B. auf Seedampfern oder in manchen Grubenbezirken, wo man nur saure Wasser hat, so greift man deshalb zur Oberflächenkondensation. Oberflächenkondensatoren bestehen aus einem System von Rohren, die von Kühlwasser durchflossen und von dem zu kondensierenden Dampf umspült werden, oder umgekehrt. Bei dem in Fig. 140 dargestellten *geschlossenen* Oberflächenkondensator sind in einem kesselartigen Zylinder zwischen zwei ebenen Rohrböden 1, 1 zahlreiche Rohre 2 dicht nebeneinander eingesetzt, die von dem bei 3 eintretenden Abdampf umspült werden. Das Kühlwasser wird bei 4 zugeführt, durchströmt die Rohre und verläßt den Kondensator bei 5. Das Kondensat wird bei 6 und die Luft bei 7 durch je eine Pumpe entfernt; beide können aber auch gemeinsam durch eine nasse Luftpumpe abgeführt werden. Bei den *offenen* Oberflächenkondensatoren ist ein Rohrbündel entweder liegend in einem offenen Wasserbehälter angeordnet (Bassinkondensator), wobei der Dampf durch die Rohre strömt, oder stehend, wobei das Kühlwasser in den vom Dampf umspülten Rohren aufsteigt. Bei den *Rieselkondensatoren* rieselt das Kühlwasser in fein verteiltem Zustande über die Oberfläche von Schlangenrohren, die vom Abdampf durchzogen werden. Diese Kondensatoren sind sehr wirksam und erfordern wenig Wasser, weil die Wärmeabgabe durch Verdunsten unterstützt wird.

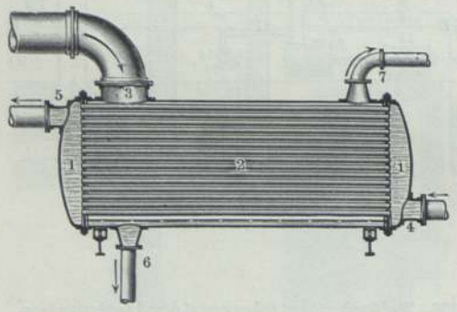


Fig. 140. Geschlossener Oberflächenkondensator (Längsschnitt).

Von der durch die Kondensation gewonnenen Arbeit muß ein Teil für den Betrieb der Kondensationsanlage abgerechnet werden. Häufig ist aber nicht nur diese Arbeit sehr erheblich, sondern es macht überhaupt die Beschaffung der nötigen Wassermenge Schwierigkeiten. So verbraucht z. B. eine Maschinenanlage von 10000 PS, wie sie bei elektrischen Zentralen nicht selten ist, bei einem Dampfverbrauch von 5,6 kg für die St-PS, in der Stunde $5{,}6 \cdot 10000 = 56000$ kg Dampf. Da der Kühlwasserverbrauch bei Oberflächenkondensation im Mittel das 40fache des verbrauchten Dampfgewichtes ist, wird er $56000 \cdot 40 = 2240000$ kg $= 2240$ cbm in der Stunde betragen, das sind 37,3 cbm in der Minute. Ist die ununterbrochene Neubeschaffung einer solchen

Wassermenge nicht möglich, so wird das aus dem Kondensator kommende warme Kühlwasser in einer Rückkühlanlage wieder abgekühlt. Hierzu dienen *Kühltürme* oder *Kaminkühler* (Fig. 141), in denen das Wasser fein verteilt über Rieselböden herabfließt. Durch die aus dem Wasser aufsteigende Wärme wird in dem Kamin ein Luftzug erzeugt, wodurch unten Luft nachgesaugt wird, die mit dem Wasserregen in Berührung kommt. Hierdurch verdunstet ein Teil des Wassers, und die hierbei entstehende Kälte dient zur Abkühlung des übrigen. Auch die Rückkühlanlage verursacht übrigens Kosten und verbraucht Arbeit.

5. Die verschiedenen Bauarten der Dampfmaschinen.

Nach der Bauart zerfallen die Dampfmaschinen in zwei Hauptgruppen: die *liegenden* und die *stehenden* Dampfmaschinen. Bei ersteren liegt die Zylinderachse wagerecht, bei letzteren steht sie senkrecht. Die Anlagekosten der liegenden Maschinen sind geringer, dafür braucht aber die stehende zu ihrer Aufstellung nur halb soviel Bodenfläche und einfachere Fundamente. Ferner sind bei der liegenden Maschine die Teile leichter zugänglich; daher ist die Wartung einfacher als bei der stehenden. Bei der liegenden Maschine sind die Zylindergleitflächen einseitig belastet, bei der stehenden nicht. Erstere eignet sich mehr für hochüberhitzten Dampf und geringere Tourenzahlen, letztere mehr für gesättigten und schwach überhitzten Dampf und hohe Tourenzahlen. In wirtschaftlicher Hinsicht sind beide bei guter Ausführung gleichwertig.

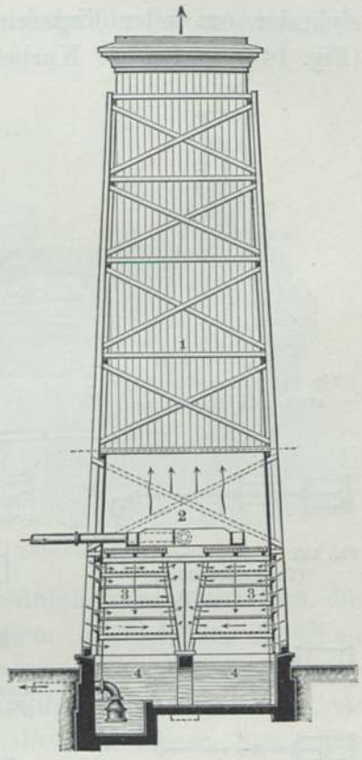


Fig. 141. Kaminkühler von Balcke & Co. (1 Kamin, 2 Wasserverteilung, 3 Rieselböden, 4 gekühltes Wasser.)

Im folgenden seien zunächst schematisch die gebräuchlichen Hauptanordnungen der Dampfmaschine dargestellt. Fig. 142 u. 143 zeigen eine einfache *Einzylindermaschine*, deren Zylinder auf einem Fuße ruht. Der die Gleitführung für den Kreuzkopf und das Lager für die Kurbelwelle tragende Rahmen wird wegen seines an ein Bajonett erinnernden Grundrisses als *Bajonettrahmen* bezeichnet. Die nach der Kurbel zu liegende Seite der Maschine wird die vordere und die andere die hintere genannt. Die Schubstange der Maschine (s. Fig. 104) wirkt abwechselnd drückend und ziehend auf den Kurbelzapfen. Ist sie im ersteren Falle nach oben gerichtet, so übt der Kreuzkopf stets nur einen gegen die untere Seite der Geradführung gerichteten Druck aus. Derartige Maschinen werden rechtsumlaufend genannt. Liegt die Schubstange dagegen, während sie drückend auf den Kurbelzapfen wirkt, in der unteren Hälfte des Kurbelkreises, so ist der Druck in der Geradführung stets nach oben gerichtet und die Maschine heißt linksumlaufend. Mit anderen Worten, *vorwärts-* oder *rechtsumlaufend* heißt eine Maschine, deren obere Schwungradhälfte sich von den Dampfzylindern wegdreht; umgekehrt heißt sie *rückwärts-* oder *linksumlaufend*. Die letztgenannte Bauart wird nach Möglichkeit vermieden, da die den Druck aufnehmende Fläche eine gute und regelmäßige Schmierung verlangt, die natürlich bei untenliegender Gleitfläche leichter zu erreichen ist. Einzylindermaschinen müssen stets angedreht werden, d. h. die Maschine muß in eine Lage gedreht werden, bei der die Steuerung so steht, daß dem Dampf der Zutritt in den Zylinder geöffnet ist. Kleinere Maschinen werden durch Drehen des Schwungrades angedreht; größere Maschinen haben hierzu ein besonderes Schaltwerk, das neben dem Schwungrad angeordnet ist, in das die Zähne eingegossen sind (s. Fig. 157, Schalthebel 19; Fig. 162, Zähne 25).

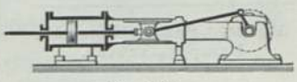


Fig. 142.

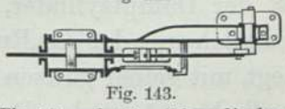


Fig. 143.

Fig. 142 und 143. Einzylindermaschine (Bajonettmaschine).

Eine einzylindrige *stehende* Maschine zeigt Fig. 144. Sehr häufig wird bei diesen Maschinen die Geradführung nicht, wie in der Figur dargestellt, doppel-, sondern einseitig (s. Fig. 154 u. 163) ausgebildet, da der Druck, wie oben ausgeführt, stets nur in einer Richtung gegen die Geradführung wirkt.

Von den Mehrzylindermaschinen sind zunächst die *Zwillingsmaschinen* zu nennen, die durch Kuppelung zweier gleichgroßer und gleichausgebildeter Einzylindermaschinen an eine Kurbelwelle entstehen (s. Fig. 155). Die Kurbeln sind gewöhnlich derart gegeneinander versetzt, daß die Maschine in jeder Lage angehen kann; deshalb ist diese Maschinengattung für Lokomotiven, Fördermaschinen usw. besonders geeignet. Bei den *Verbund-* oder *Compoundmaschinen* expandiert der Dampf zunächst arbeitverrichtend in einem Hochdruckzylinder und strömt aus diesem in den *Aufnehmer* oder *Receiver*, aus dem er in den Niederdruckzylinder gelangt. Hierbei sind die Zylinder entweder hintereinander angeordnet (*Tandemmaschine*, Fig. 145) oder nebeneinander (Fig. 146), wobei die Kurbeln um 90° oder 180° gegeneinander versetzt sind. Namentlich bei Raddampfern viel benutzt wird die *schräg-liegende* Maschine (Fig. 147), die gewöhnlich als Verbundmaschine mit mehreren nebeneinanderliegenden Zylindern ausgebildet ist.

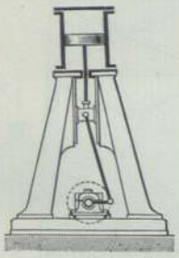


Fig. 144. Einzylindrige stehende Maschine.

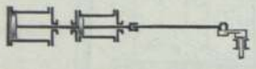


Fig. 145. Verbundmaschine (Tandemmaschine).

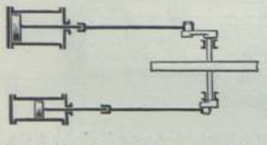


Fig. 146. Verbundmaschine.

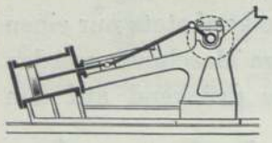


Fig. 147. Schrägliegende Dampfmaschine.

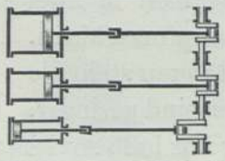


Fig. 148. Dreifach-Expansionsmaschine. (Drei um 120° gegeneinander versetzte Kurbeln.)

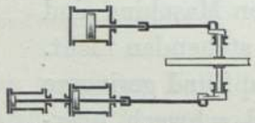


Fig. 149. Dreifach-Expansions-Tandemmaschine. (Zwei um 90° gegeneinander versetzte Kurbeln.)

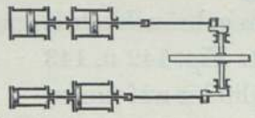


Fig. 150. Dreifach-Expansionsmaschine mit vier Zylindern. (Zwei um 90° gegeneinander versetzte Kurbeln.)

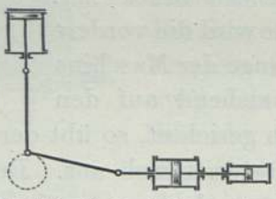


Fig. 151. Dreifach-Expansionsmaschine. (Hochdruck- und Mitteldruckzylinder liegend, Niederdruckzylinder stehend, sämtlich auf eine Kurbel arbeitend.)

Zahlreicher sind die Anordnungsmöglichkeiten bei den *Dreifach-Expansionsmaschinen*. Entweder liegen die drei Zylinder nebeneinander mit um 120° gegeneinander versetzten Kurbeln (Fig. 148), oder für Hoch- und Mitteldruckzylinder wird die Tandemanordnung gewählt, und der Niederdruckzylinder liegt daneben, wobei die Kurbeln um 90° gegeneinander versetzt liegen (Fig. 149); oder schließlich wird der Niederdruckzylinder bei sehr großen Maschinen geteilt, und es bildet jeder Teil mit dem Hoch- bzw. Mitteldruckzylinder eine Tandemmaschine (Fig. 150). Schließlich sei noch auf eine Kombination der stehenden mit der liegenden Anordnung hingewiesen, wie sie Fig. 151 für eine Dreifach-Expansionsmaschine veranschaulicht.

Das Beispiel einer schnellaufenden liegenden Einzylinderdampfmaschine zeigt Fig. 152. Die Maschine wird für normale Nutzleistungen von 16—100 PS. gebaut und soll diese erreichen bei einer minutlichen Umdrehungszahl von 150—200 und einem Eintrittsüberdruck von 5,5—11,5 at. Für die kleineren Leistungen ist der Dampfzylinder, wie bei der dargestellten Ausführungsform, freitragend angeordnet und lediglich mit der als Rundführung ausgebildeten Kreuzkopfgleitbahn verschraubt. Der Rahmen liegt mit seiner ganzen Länge auf dem Fundament auf und umschließt vollständig die Kurbellaufbahn. 1 ist das Dampfzuleitungsrohr und 2 das Dampfabsperrventil. Die Steuerung, deren Regelung durch einen bei 4 eingekapselten Achsregler erfolgt, wird durch einen vollkommen entlasteten Kolbenschieber (Fig. 153) bewirkt. Der Dampf wird bei 1 dem Raume 2 des Schieberkastens zugeführt und gelangt durch die Durchbrechungen 3 der Schieberführungsbüchse 4 in deren Innenraum. Wie die linke Seite der Fig. 153 erkennen läßt, arbeitet der Schieber mit doppelter Einströmung. Der Abdampf entweicht durch die Öffnungen 5, die durch ein Gußstück 6 (Fig. 152) miteinander verbunden sind, in das Abdampfrohr 3, das den Dampf je nach der Stellung eines nicht dargestellten Wechselventils ins Freie oder in einen Kondensator entläßt. Die Schmierung der einzelnen Teile erfolgt durch Tropföler. Den Dampfzylinder bedient eine von der Schieberstange angetriebene Schmierpumpe 5, die das Öl in den Schieberkasten preßt, wo es sich

mit dem Dampf innig mischt und durch diesen den Schieber- und Kolbengleitflächen zugeführt wird. Zylinder und Schieberkasten sind von einem gemeinsamen Mantel umgeben, der mit wärmeisolierenden Stoffen, wie Kieselgur, Filz usw., ausgefüllt ist, um die Wärmeverluste zu verringern. Die Übertragung der Bewegung auf die angetriebenen Maschinen erfolgt von dem als Riemenscheibe ausgebildeten Schwungrade.

Eine kleine Einzylindermaschine stehender Bauart zeigt Fig. 154. Auch diese Maschine ist für hohe Umdrehungszahlen (250—800 in der Minute) bestimmt und wird für kleine Leistungen (4—60 PS) gebaut. Der Dampfzylinder ruht mit einem die Kreuzkopfführung enthaltenden Ständer und zwei Säulen auf der Grundplatte. Zur Abführung des Niederschlagwassers ist der Zylinder mit Entwässerungshähnen und zum Schutze gegen Wasserschläge mit Sicherheitsventilen 2 versehen. 3 sind Stutzen zum Anschrauben des Indikators. Der Dampf wird der Maschine durch das Dampfabsperrventil 1 zugeleitet. Als Steuerung findet ein Kolbenschieber, ähnlich wie in Fig. 153 dargestellt, Verwendung. Die Schmierung erfolgt durch Tropföler, zum Teil aber auch durch Schmierleitungen, die von einem gemeinsamen, hoch angeordneten Schmierbehälter 4 ausgehen. Diese führen das Öl zu kleinen, an den bewegten Teilen (Kurbel- und Exzenterstange) vorgesehenen Auffangbehältern 5, von denen es durch an den Stangen entlang geführte Leitungen 6 den Verbrauchsstellen zugeführt wird.

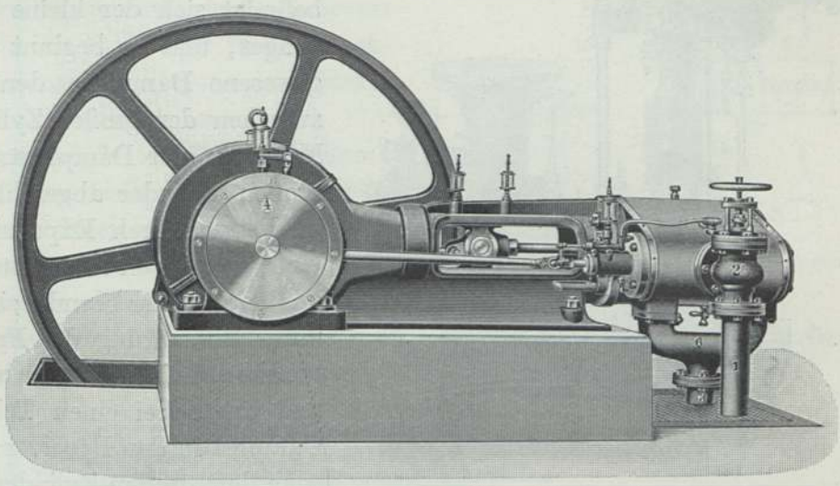


Fig. 152. Liegende Einzylinder-Dampfmaschine von A. Borsig.

Von den Mehrzylindermaschinen sind die einfachsten, die *Zwillingsmaschinen*, durch Zusammenbau zweier gleichartiger Einzylindermaschinen entstanden. Bei der in Fig. 155 dargestellten Maschine sind die Zylinder beider Maschinen dicht aneinandergelegt und die Antriebskurbeln um 90° gegeneinander versetzt. Die Schieberkasten 1 liegen auf den Außenseiten der Zylinder und erhalten den Dampf durch ein von oben kommendes Rohr, das sich hinter dem Absperrventil 2 gabelt und zu jedem Schieberkasten einen Zweig 3 entsendet. Als Steuerung dient eine Ridersteuerung (s. Fig. 115—117), die von dem zwischen beiden Maschinen angeordneten Regulator beeinflußt wird. Von dem durch die Regulatormuffe verstellbaren, um einen festen Punkt drehbar gelagerten Hebel 4 geht zu dem Expansionsschieber jeder Maschine eine Stange 5, die diesen Schieber bei jedem Heben und Senken der Muffe verstellt. 6 ist die Expansions- und 7 die Grundschieberstange.

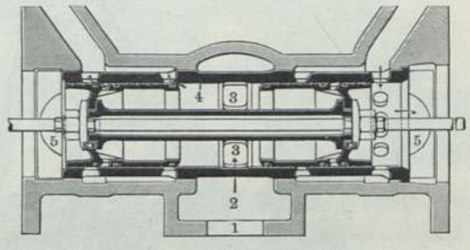


Fig. 153. Kolbenschieber mit doppelter Einströmung.

Ausführungsformen der *Tandemmaschine* sind schon in den Fig. 124 und 136 abgebildet.

Bei den Zweifach-Expansionsmaschinen, deren Kurbeln um 90° verstellt sind, ist zwischen beiden Zylindern der schon erwähnte Sammelraum (Aufnehmer, Receiver) nötig, in dem sich der Dampf aufhält, wenn er den kleinen Zylinder verläßt, jedoch wegen der eigentümlichen Kurbelstellung noch nicht in den großen Zylinder eintreten kann. Fig. 156 veranschaulicht die Wirkungsweise einer derartigen *Verbund-* oder *Compoundmaschine*. Die beiden rechtwinklig gegeneinander verstellten Kurbeln sitzen in Wirklichkeit auf *einer* Welle, sind aber der größeren Anschaulichkeit wegen so gezeichnet, als ob sie auf verschiedenen Wellen angebracht wären. Bei Kurbelstellung 1

befindet sich der kleine oder Hochdruckkolben in der Mitte seines Aufganges, der große oder Niederdruckkolben im oberen Totpunkte. Dabei drückt der Kesseldampf von unten gegen den kleinen Kolben, oder der Dampfeintritt zum Hochdruckzylinder ist schon abgesperrt, und die Expansion hat begonnen. Der während der ersten Hälfte des Aufganges des kleinen Kolbens ausgetretene Dampf wurde von dem zwischen beiden Zylindern befindlichen Receiver aufgenommen und beginnt in diesem Moment (Stellung 1) von oben gegen den großen Kolben zu wirken. Bei der Kurbelstellung 2 befindet sich der kleine Kolben am Ende seines Aufganges, und es beginnt jetzt der unter ihm wirksam gewesene Dampf in den Receiver zu treten, der inzwischen den großen Zylinder mit Dampf gespeist hat. Nachdem der Dampfzutritt aus dem Receiver in den großen Zylinder abgeschlossen ist, beginnt der Dampf in diesem durch Expansion zu wirken. Während des Überganges von 2 zur Stellung 3 ist die Expansion im großen Zylinder beendet; inzwischen ist der kleine Kolben unter Einwirkung des Frischdampfes oder dessen Expansion bis in die Mitte seines Niederganges gekommen und hat dabei einen Teil des unter ihm befindlichen Dampfes in den Receiver gedrängt, der sich nun wieder nach dem großen Zylinder hin öffnet. Dabei wirkt jetzt der Receiverdampf von unten gegen den großen Kolben, wobei dieser die unter 4 dargestellte Stellung erreicht. Von Stellung 4 gehen die Kolben und Kurbeln zurück in die Stellung 1 usw.

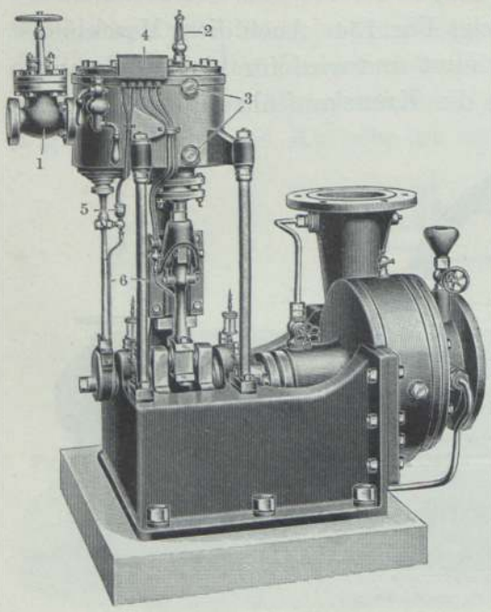


Fig. 154. Stehende Einzylinder-Dampfmaschine von A. Borsig, direkt gekuppelt mit einer Kreiselpumpe.

Eine liegende Verbundmaschine zeigt Fig. 157 im Grundriß. Hochdruckzylinder 1 und Niederdruckzylinder 2, beide mit Schiebersteuerung versehen, wirken auf die beiden auf der gemeinsamen Kurbelwelle 3 sitzenden, unter 90° gegeneinander verstellten Kurbeln 4, 5. Bevor der durch 6 zuströmende Arbeitsdampf in die Maschine gelangt, wird er durch den Wasserabscheider 7 geführt, in dem er von dem noch in feinverteiltem Zustande in ihm enthaltenen Wasser befreit wird, das teils durch Kondensation in der Rohrleitung entsteht, teils aus dem Kessel mitgeführt wird.

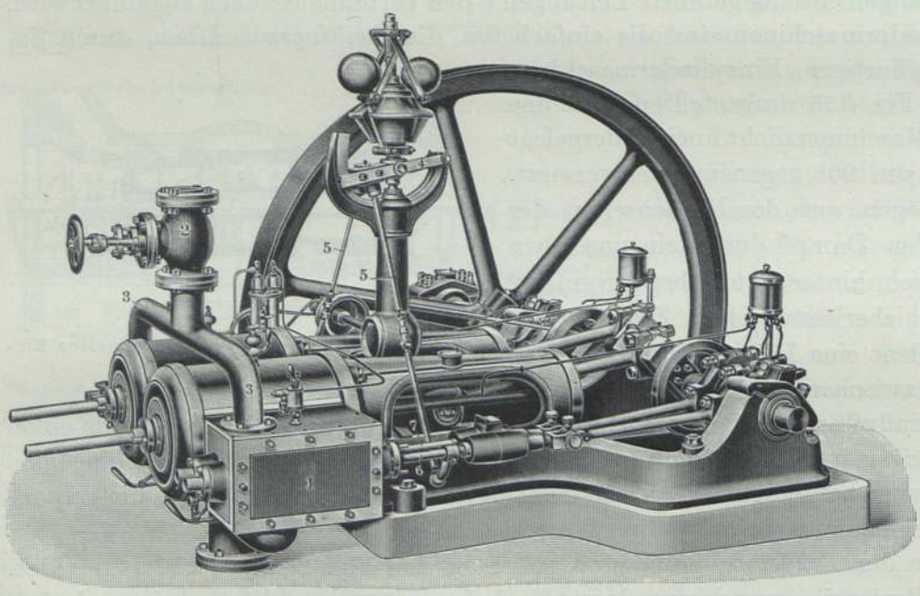


Fig. 155. Liegende Zwillings-Dampfmaschine von Wegelin & Hübner.

Einen solchen *Wasserabscheider* zeigt die Fig. 158. Der bei 1 eintretende Dampf muß sich um das in den Austrittsstutzen 3 eingesetzte, unten geschlossene Rohr 4 herumbewegen, da dieses nur auf der dem Eintrittsstutzen abgewandten Seite mit Löchern versehen ist. Hierbei trennt sich das Wasser vom Dampf, weil es von diesem, bei der geringeren im Wasserabscheider

herrschenden Geschwindigkeit, nicht mehr mitgerissen wird und niedersinkt, auch infolge seiner größeren Trägheit dem Dampf in seiner gekrümmten Bahn nicht mehr folgen kann, sondern abgeschleudert wird. Das abgeschiedene Wasser wird durch die Öffnung 2 abgeführt.

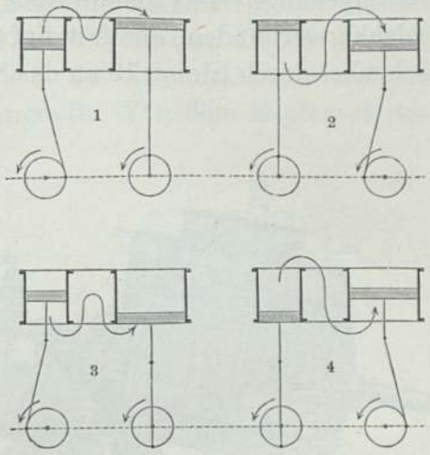


Fig. 156. Verschiedene Kolbenstellungen einer Verbundmaschine.

Nach dem Durchgange durch den Wasserabscheider und das Absperrventil 8 (Fig. 157) gelangt der Dampf in den Schieberkasten 9 des Hochdruckzylinders, der mit einer vom Regulator 10 beeinflußten Doppelschiebersteuerung ausgerüstet ist. Nach der Arbeitsleistung im Hochdruckzylinder 1 strömt der Dampf durch den Receiver 11 nach dem Niederdruckzylinder 2 über. Aus diesem gelangt der verbrauchte Dampf durch Rohr 12 und Wechselventil 13 (dessen Inneres Fig. 170, Teil 6 erkennen läßt) entweder durch 14 ins Freie oder durch 15 nach dem Kondensator 16, dessen Luftpumpe von der verlängerten Kolbenstange des Niederdruckzylinders angetrieben wird. Durch 17 wird dem Kondensator das Einspritzwasser zugeführt und durch 18 Kondensat und Kühlwasser abgeführt. Zum Andrehen der Maschine dient die Schaltvorrichtung 19. *Ein genaueres Bild von der Anordnung einer liegenden Verbundmaschine gibt das Klappmodell der Zweizylindermaschine.*

Eine schrägliegende Schiffsmaschine, wie sie vielfach für Flußraddampfer Verwendung findet, ist die in den Fig. 159 und 160 dargestellte, von Gebr. Sachsenberg in Roßlau gebaute Zweizylindermaschine, die bei 40 Proz. Füllung des Hochdruckzylinders und 45 Umdrehungen 1250 PS leistet. Die Maschine besteht aus dem Hochdruckzylinder 1 und dem daneben liegenden Niederdruckzylinder 2, von denen ersterer von einem Dampfmantel 3 umgeben ist. Der Frischdampf wird von den vor und hinter der Maschine liegenden Kesseln zu den Rundschiebern 6, 7 geführt, nach deren Öffnung mittels der Hebel 8, 9 der Dampf durch den Stutzen 12 in den Hochdruckschieberkasten tritt. Außerdem sitzt an der gleichen Stelle noch ein Anlaßschieber 10, der durch Hebel 11 so eingestellt werden kann, daß der Dampf entweder unmittelbar in den Hochdruckzylinder oder vor oder hinter den Niederdruckzylinderkolben geführt wird. Der Hochdruckzylinder hat Meyersteuerung (s. Fig. 113 und 114). Die von dem Exzenter 14 angetriebenen Expansionsschieberlappen 50 gestatten eine doppelte Kanaleröffnung und werden durch Drehen des Handrades 13 zwecks Füllungsänderung einander genähert oder voneinander entfernt. Nach der Arbeitsleistung im Hochdruckzylinder wird der Dampf durch einen um den Hochdruckzylinder führenden Kanal 4 in den Schieberkasten 5 des Niederdruckzylinders geleitet. Der Niederdruckzylinder wird durch einen Flachschieber 51 gesteuert, der einfache Einströmung, aber doppelte Ausströmung zuläßt, die in das an der Unterseite des Niederdruckzylinders angeschlossene Abdampfrohr 43 erfolgt.

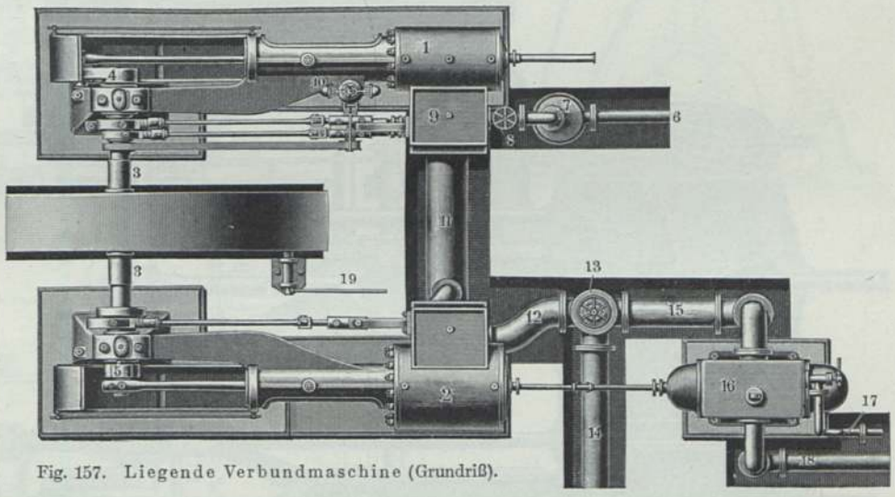


Fig. 157. Liegende Verbundmaschine (Grundriß).

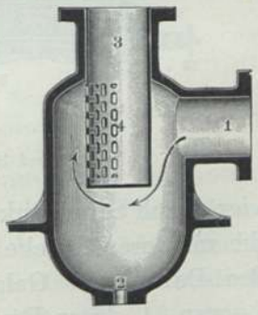


Fig. 158. Wasserabscheider.

Die Umsteuerung geschieht durch eine Stephensonsche Kulisse (vgl. Fig. 129). Diese (15 in Fig. 159/160) wird von dem Vorwärtsexzenter 23 und dem Rückwärtsexzenter 24 angetrieben und ist an der Stange 16 aufgehängt. Das andere Ende dieser Stange ist mit dem einen Schenkel des Winkelhebels 17 gelenkig verbunden, der fest auf der drehbar gelagerten Welle 18 sitzt und mit seinem anderen Schenkel durch Stange 19 an das Schneckenrad 21 angelenkt ist. In das Schneckenrad greift eine auf der Spindel des Handrades 22 sitzende Schnecke ein. Das Heben und Senken der Kulisse erfolgt durch Drehen des Winkelhebels 17, indem die Schnecke von Hand oder mittels einer kleinen Dampfmaschine 20 gedreht wird. Gleichzeitig wird auch die zu dem Niederdruckzylinder gehörige Kulisse verstellt, denn wie ersichtlich (Fig. 160), ist die Welle 18 unter der Maschine nach der Niederdruckseite hin verlängert und steht am dortigen Ende ebenfalls mit der Kulisse 15 in Verbindung. Die Bewegung der Kolben wird auf die Kreuzköpfe 29 übertragen, an deren seitliche Zapfen 30 die an einem Ende gabelförmigen Schubstangen 31 angreifen, die mit ihren anderen Enden auf die Kurbeln 32 treibend wirken. Die Kurbelwelle ist aus vier durch Scheibenkuppelungen 35 fest miteinander verbundenen Stücken zusammengesetzt. An die mittleren Stücke greifen die Schubstangen 31 an; auf den äußeren sitzen die Schaufelräder des Dampfers. Gelagert ist die Kurbelwelle in vier von den Stahlgußböcken 26 getragenen Lagern 34, deren Deckel mit Wasserkühlung versehen sind. Mit den Zylindern sind die Böcke 26 durch die Gleitbahnen 25 der Kreuzköpfe und die Säulen 33 verbunden. Außerdem werden sie unter sich durch Anker 27 zusammengehalten und stehen mit dem Schiffskörper durch die Träger 28 in Verbindung. Der durch das Rohr 43 abziehende Abdampf gelangt zunächst in den Vorwärmer 44 für das Kesselspeisewasser und aus diesem in den Einspritzkondensator 45, der sein Betriebswasser

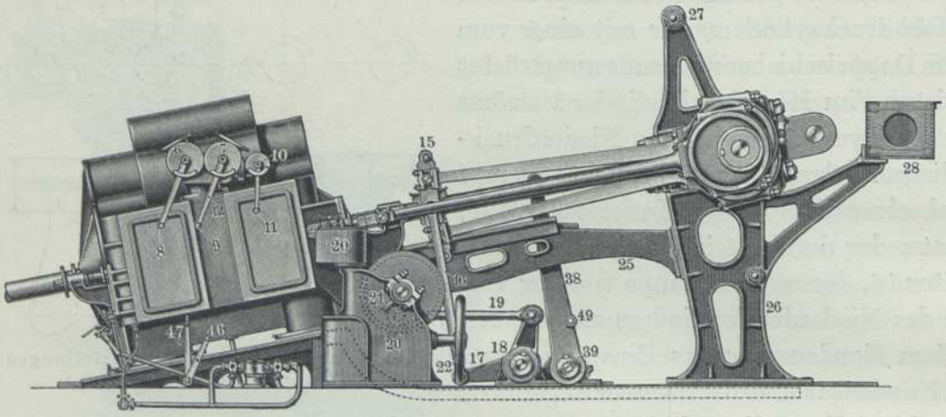


Fig 159.

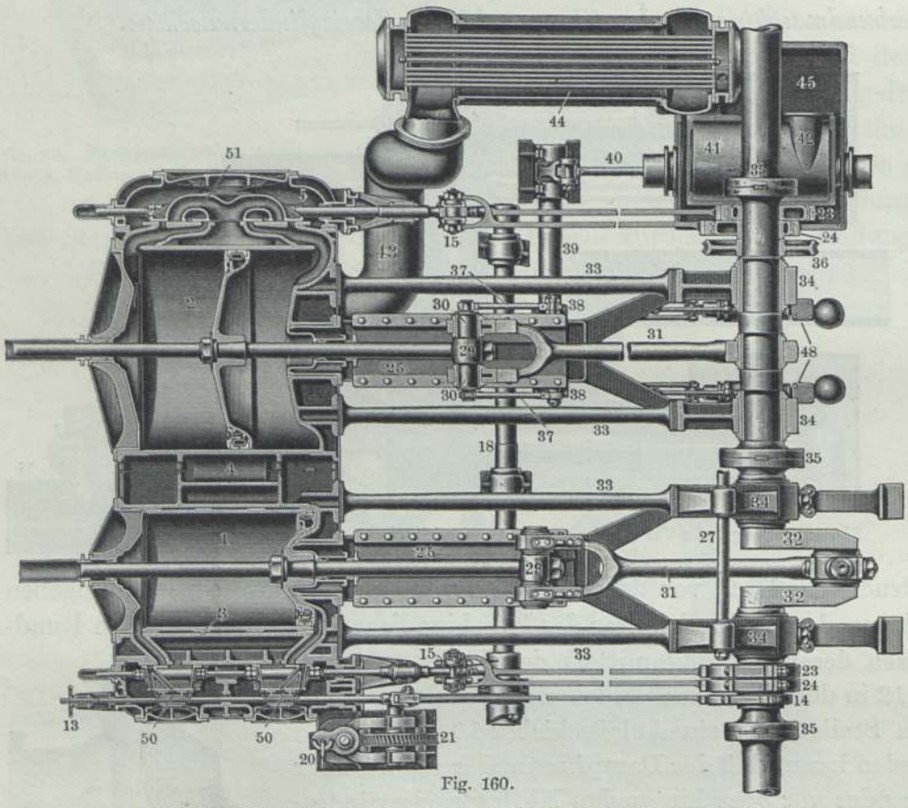


Fig. 160.

Fig. 159 und 160. Schrägliegende Schiffsmaschine (Verbundmaschine).

dem Fluß entnimmt. Kühlwasser und Kondensat werden von der Naßluftpumpe 41 abgesaugt und durch ein sich an den Stutzen 42 anschließendes Rohr nach außen in den Fluß abgeführt. Der Antrieb der Luftpumpe erfolgt von dem Kreuzkopf des Niederdruckzylinders aus, dessen Zapfen 30 in kleinere Zapfen auslaufen, die durch Stangen 37 mit drehbaren Hebeln 38 verbunden sind; letztere übertragen ihre Bewegung durch die Welle 39 auf einen anderen Hebel, an den die Kurbelstange 40 der doppeltwirkenden Luftpumpe angreift. Von dem Zapfen 49 des

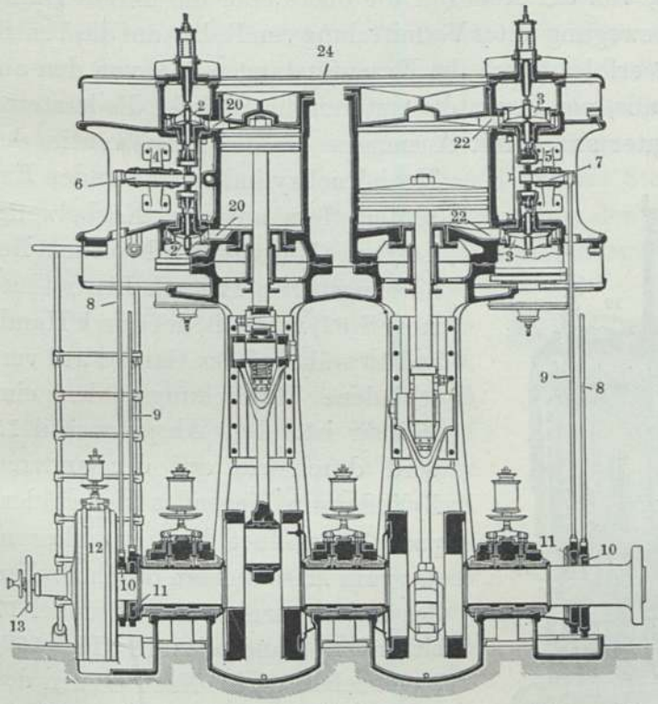


Fig. 161.

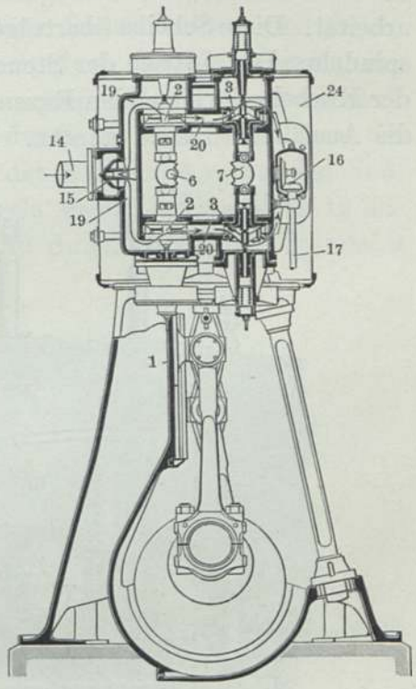


Fig. 163.

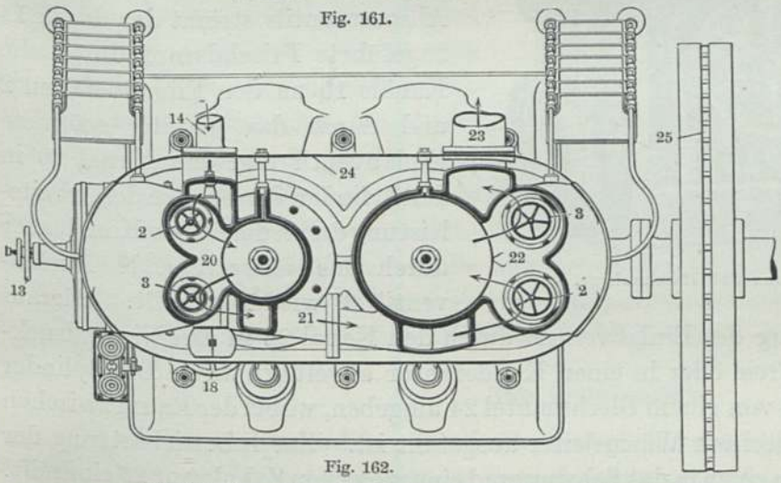


Fig. 162.

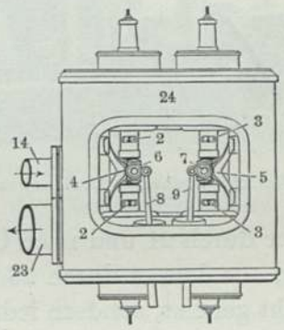


Fig. 164.

Fig. 161—164. Stehende Verbundmaschine mit Lentzsteuerung von Gebr. Meer, München-Gladbach.

Hebels 38 wird ferner noch der Antrieb der Hilfspumpen, Speise- und Lenzpumpen 48 abgeleitet. Zum Drehen der Maschine in kaltem Zustande dient das auf der Kurbelwelle sitzende Schneckenrad 36, das von einem Schaltwerk angetrieben wird. Am Maschinistenstand befindet sich ferner neben der Umsteuermaschine 20 noch ein Hebel 46 für das Einspritzventil des Kondensators sowie ein Hebel 47 zum Öffnen und Schließen der Zylinderentwässerungshähne.

Als Steuerorgane finden bei den stehenden Maschinen vorzugsweise Kolben- und Flachschieber Verwendung, nicht selten auch Ventilsteuerungen. Eine mit Ventilsteuerung (System Lentz) ausgerüstete stehende Verbundmaschine von Gebr. Meer in München-Gladbach zeigen die Fig. 161—164. Die Maschine leistet bei 200 minutlichen Umdrehungen 200 PS. Hoch- und

Niederdruckzylinder ruhen auf einem die Gleitbahnen 1 für die Kreuzköpfe tragenden Ständer, der mit der Grundplatte zusammengegossen und an seiner Vorderseite durch zwei Säulen unterstützt ist. Jeder Zylinder ist seitlich mit vier in einer Ebene liegenden Ventilen versehen, von denen die beiden Einlaßventile 2, 2 und die beiden Auslaßventile 3, 3 untereinander liegen. Zwischen den Ein- und Auslaßventilen befindet sich je ein Bock 4, 5, der das Lager für die die Steuernocken tragenden Wellen 6, 7 bildet. Zur Steuerung der beiden Ein- und Auslaßventilpaare dient je eine aus zwei Nocken zusammengesetzte Scheibe, von der stets nur die obere oder die untere Hälfte arbeitet. Diese Scheibe überträgt die Steuerbewegung unter Vermittelung von Rollen auf die Ventilspindeln. Der Antrieb der Steuerwellen 6, 7 erfolgt durch die Exzenterstangen 8, 9 von den auf der Kurbelwelle sitzenden Exzentern 10, 11 aus, von denen die ersteren die Einlaß-, die letzteren die Auslaßventilpaare steuern. Diese Exzenter sitzen mit Ausnahme des die Einlaßventile des Hochdruckzylinders steuernden Exzenters fest auf der Kurbelwelle. Letzteres Exzenter wird von dem Beharrungsregler 12 (vgl. Lentzsteuerung S. 62) verstellt, der durch Handrad 13 während des Ganges auf verschiedene Umdrehungszahlen einstellbar ist. Das Absperrventil 15 wird durch ein auf der anderen Zylinderseite liegendes Kegelräderpaar 16 geöffnet bzw. geschlossen, das vom Maschinisten durch Drehen des auf der senkrechten Spindel 17 sitzenden Handrades 18 (Fig. 162) angetrieben wird. Nach Öffnen des Absperrventils strömt der durch 14 zugeführte Frischdampf durch die Kanäle 19 zu den Einlaßventilen 2 und durch das jeweilig geöffnete Einlaßventil und den Kanal 20 in den Zylinder, den er nach der Arbeitsleistung durch denselben Kanal, aber durch das entsprechende Auslaßventil 3 wieder verläßt. Hierauf strömt er durch 21 und nach Öffnung des Einlaßventils durch den Kanal 22 in den Niederdruckzylinder, aus dem er durch 23 ins Freie oder in einen Kondensator abgeführt wird. Die Zylinder sind nicht geheizt, sondern lediglich von einem Blechmantel 24 umgeben, wobei der Raum zwischen Mantel und Zylinder mit einem schlechten Wärmeleiter ausgefüllt ist. Zur Inbetriebsetzung der Maschine dient ein Schaltwerk, das in einen in das Schwungrad eingegossenen Zahnkranz 25 eingreift.

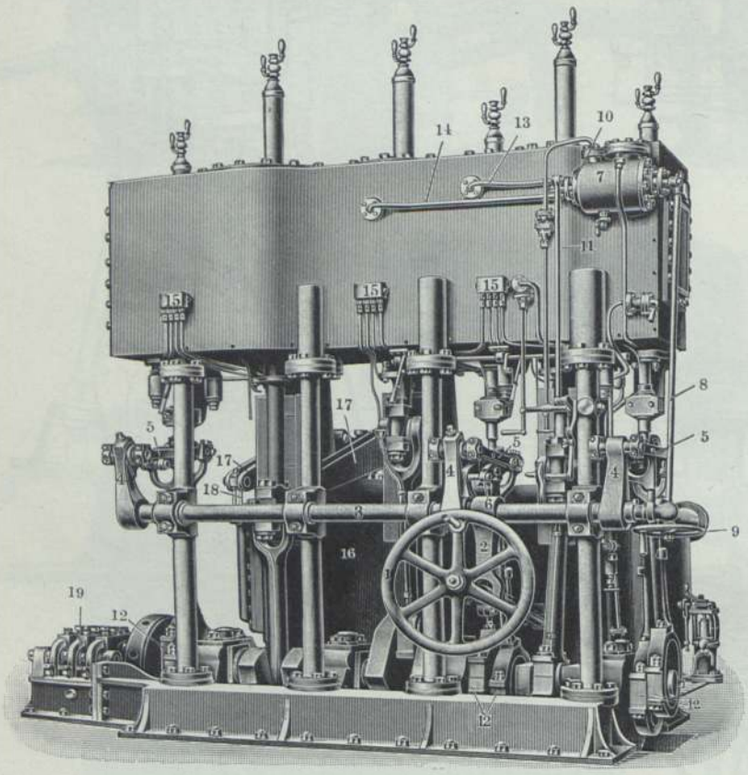


Fig. 165. Stehende Dreifachexpansions-Schiffsmaschine.

Bei hochgespanntem Dampf (10 at und darüber) und großen Leistungen finden vorteilhaft die *Dreifach-Expansionsmaschinen* Verwendung, die bis zu den größten Abmessungen gebaut werden. Sie empfehlen sich namentlich für wenig veränderliche Kraftleistungen, bei denen es auf größtmögliche Dampfersparnis ankommt. Ohne Kondensation werden sie selten ausgeführt. Bei den liegenden Dampfmaschinen wird die Anordnung der Firma Gebr. Sulzer in Ludwigshafen a. Rh., bei der auf einer Seite der Maschine Hoch- und Mitteldruckzylinder hintereinander liegen (Tandemanordnung) und auf der anderen Seite der Niederdruckzylinder, bevorzugt (s. Fig. 149). Die Antriebskurbeln sind hierbei um 90° gegeneinander versetzt. Das Dampfabsperrventil befindet sich, wie aus Fig. 122 zu ersehen ist, in der Mitte auf der oberen Hälfte des Hochdruckzylinders; dessen Steuerung wird vom Regulator beeinflußt, der seinen Antrieb von der Steuerwelle aus

mittels Schraubenräder erhält. Nur die Steuerung des Hochdruckzylinders ist als Ausklinksteuerung ausgebildet. Die Einlaßventile des Mittel- und Niederdruckzylinders erhalten eine ähnliche Steuerung wie die Auslaßventile, die nur von Hand einstellbar ist.

Während sich bei den liegenden Dreifach-Expansionsmaschinen die Zweikurbelmaschinen einer gewissen Beliebtheit erfreuen, werden bei der stehenden Bauart die Zylinder gewöhnlich nebeneinander angeordnet und die Kurbeln um 120° gegeneinander versetzt. Eine derartige Maschine zeigt die in Fig. 165 dargestellte Schiffsmaschine von 300 indizierten Pferdestärken der Firma Gebr. Sachsenberg in Roßlau a. d. Elbe. Als Steuerorgan finden Kolben- und Flachschieber Verwendung, die von Stephensonschen Kulissen bewegt werden. Die Umsteuerung der Maschine erfolgt durch Drehen des an ihrer Vorderseite angeordneten großen Handrades 1, wodurch der Hebel 2 eine hin und her schwingende Bewegung erhält, die durch die Steuerwelle 3 auf die Hebel 4 übertragen wird, deren Enden durch die Stangen 5 mit den Kulissen 6 verbunden sind. Die Enden der Kulissen werden von den neben den Antriebskurbeln sitzenden Exzentern 12 angetrieben. Der im Gehäuse 7 sitzende Dampfabsperrschieber wird durch Drehen der Spindel 8 mittels des Handrades 9 geöffnet bzw. geschlossen. Neben dem Hauptabsperrschieber sitzt noch ein Hilfsschieber 10, der durch ein Gestänge 11 geöffnet wird und durch die Leitungen 13, 14 Dampf in den Mittel- bzw. Niederdruckreceiver einläßt, um das für Schiffsmaschinen erforderliche rasche Anspringen zu sichern. Zur Schmierung der einzelnen Teile dienen neben den üblichen Schmierpumpen und Schmiergefäßen noch drei Ölbehälter 15, von denen Ölleitungen nach den verschiedenen Teilen führen. Der Abdampf wird in den hinter der Maschine liegenden Kondensator 16 geleitet, hinter dem eine Luftpumpe stehender Bauart angeordnet ist; der Antrieb dieser Luftpumpe erfolgt durch die Doppelhebel 17, die ihre Bewegung mittels der Gelenkstangen 18 vom Kreuzkopfe des Niederdruckzylinders erhalten. Da die Welle von dem auf ihr sitzenden Propeller einen axialen Schub erhält, ist ein Teil von ihr als Druckwelle ausgebildet und mit angeschmiedeten Ringen versehen, die sich gegen ein Drucklager 19 stützen.

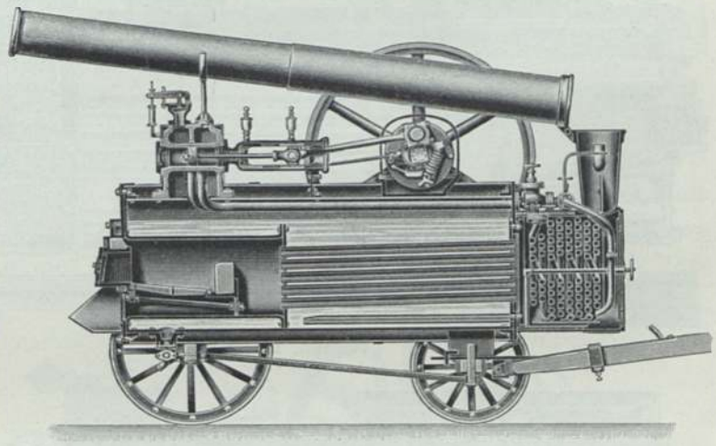


Fig. 166. Fahrbare Heißdampflokomobile von R. Wolf.

Eine der beiden gewaltigen *Vierfach-Expansionsmaschinen* des Schnelldampfers *Kaiser Wilhelm II.* ist in der Abteilung „Schiffbau" dargestellt.

Die Lokomobilen.

Die Lokomobilen sind von der Stelle bewegliche, mit allen Betriebsteilen, einschließlich des Kessels, auf einem Wagen angeordnete Dampfmaschinen. Sie werden benutzt, wo es sich um eine vorübergehende Arbeitsleistung handelt, wie bei Dreschmaschinen, Dampfpflügen usw., aber auch in Betrieben, die eine häufige Ortsveränderung der Maschine bedingen, wie Betrieb von Sägen im Walde, Trockenlegen von Baugruben usw. Eine derartige Lokomobile zeigt Fig. 166. Der auf dem Wagengestell ruhende Röhrenkessel mit in der Rauchkammer angeordnetem Überhitzer dient als Unterlage für die liegende Dampfmaschine, deren Zylinder in dem Dampfdom eingelagert ist. Da die Zylinder und Lager unmittelbar auf der Kesselwandung ruhen, müssen Einrichtungen vorgesehen sein, die die Ausdehnungen beim Warmwerden des Kessels unschädlich machen.

Als Brennmaterial dienen Stein- und Braunkohle, Holz, Torf, Sägespäne, häufig auch, namentlich in Rußland und Rumänien, Stroh, Rohpetroleum und Naphtha (vgl. Fig. 79). Zur Vermeidung von Feuersgefahr müssen die Lokomobilen Funkenfänger tragen und dürfen nur

in feuersicher bedachten Gebäuden aufgestellt werden. Bei Lokomobilen, die einen in der Rauchkammer angeordneten Überhitzer besitzen, ist ein Funkenfänger überflüssig, da die glühenden Kohleteilchen der Rauchgase auf den kälteren Wandungen der Überhitzerschlange zum Verlöschen gebracht werden und infolge der fortwährenden Richtungsänderung in der Rauchkammer zu Boden fallen. Da es für die Haltbarkeit des Kessels und für gute Ausnutzung des Brennmaterials wichtig ist, die Kesselwand möglichst rein zu halten und Kesselstein schnell entfernen zu können, werden für die Lokomobilen meist ausziehbare Röhrenkessel (s. Fig. 83) benutzt.

Die einfachen Lokomobilen, etwa bis zu 30 Pferdestärken, werden in der Regel mit nur einem Zylinder und die kleineren nur mit einfacher Expansionssteuerung versehen, die von Hand auf verschiedene Füllungen eingestellt werden kann. Der Regulator wirkt hier auf eine Drosselklappe, die den Dampfzutritt und damit die Leistung und Umdrehungszahl der Maschine selbsttätig regelt (s. Fig. 130). Die größeren haben eine vom Regulator beeinflußte Ridersteuerung. Für größere Leistungen sind außerdem die Maschinen mehrzylindrig ausgebildet.

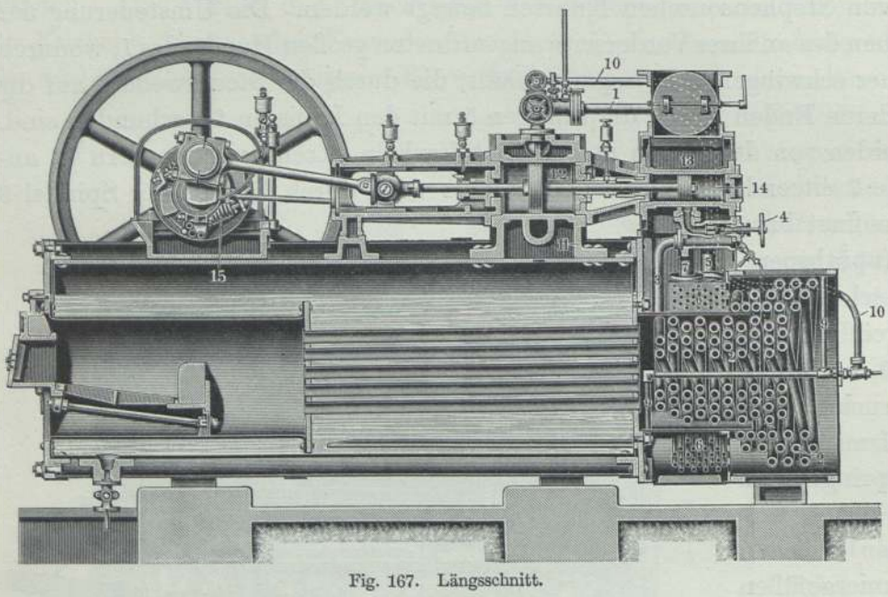


Fig. 167. Längsschnitt.

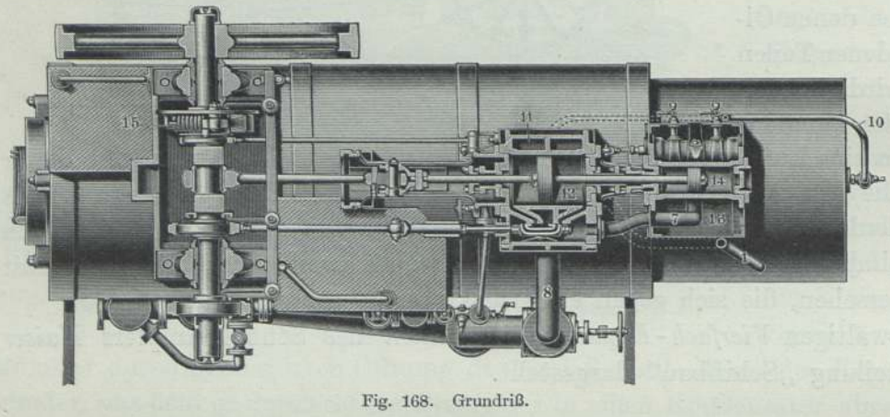


Fig. 168. Grundriß.

Fig. 167 und 168. Heißdampf-Tandemlokomobile von R. Wolf.

Die Betriebskraft der Lokomobile kann in mannigfaltiger Weise auf die Arbeitsmaschine übertragen werden. Zumeist erfolgt der Antrieb von dem als Riemen- oder Seilscheibe ausgebildeten Schwungrade. Durch Anbringen einer Pumpe auf dem Wagen kann die Lokomobile zu einer fahrbaren Pumpmaschine, durch Vereinigung mit einer Dynamomaschine zu einer provisorischen Beleuchtungsanlage benutzt werden.

Während früher unter Lokomobile allgemein eine fahrbare Dampfmaschine verstanden wurde, hat R. Wolf die sogenannte *Halb-* oder *Industrielokomobile*, die auf Tragfüßen gelagert ist, geschaffen, die in allen Industriezweigen große Verbreitung gefunden und zum Bau von Lokomobilen von sehr großen Leistungen, bis zu 1000 PS, geführt hat. Für diese großen Leistungen werden Verbundlokomobilen mit Kondensationseinrichtung benutzt. Gegenüber Maschinenanlagen mit getrenntem Dampfkessel nehmen diese Halblokomobilen nur wenig Raum ein und bedürfen keines großen Maschinenhauses und schweren Fundaments mit Verankerung. Sie sind rasch aufzustellen, die Bedienung ist einfacher, Reinigung und Revision sind bequemer, die Anschaffungs-, Aufstellungs- und Betriebskosten geringer als bei einer gewöhnlichen Dampfmaschine gleicher Leistung. Auch fällt der bei getrenntem Dampfkessel durch lange Leitungen

unvermeidliche Dampfverlust fort. Ein weiterer wichtiger Fortschritt war die Einführung der *Heißdampflokomobile* von R. Wolf, dem die Lokomobile mit zweifacher Überhitzung gefolgt ist. Nach Versuchen haben derartige Lokomobilen einen Dampf- und Wärmeverbrauch, der dem der besten ortfesten Maschinen gleichkommt. Fig. 167 und 168 zeigen die Anordnung einer *Heißdampf-Tandemlokomobile*. Der im Kessel erzeugte Dampf tritt, nachdem er den im Dampfdom 11 liegenden Niederdruckzylinder 12 beheizt hat, durch 1 in die größeren Windungen des Vorüberhitzers 2 und strömt aus diesen durch die kleineren, unmittelbar vor den Heizrohren liegenden Windungen und durch das Rohr 3 nach Öffnung des Absperrventils 4 zu dem in der Rauchkammer 13 angeordneten Hochdruckzylinder 14. Hat er in diesem expandierend gewirkt, so tritt er durch Rohr 5 in den als Aufnehmer dienenden Zwischenüberhitzer 6 und wird aus diesem durch 7 in den Niederdruckzylinder 12 geleitet, von dem aus er durch 8 in den Einspritzkondensator abströmt. Die aus den Heizrohren kommenden Verbrennungsgase bespülen also zunächst die in einem Blechmantel eingeschlossenen inneren Windungen des Vorüberhitzers, kehren dann ihre Bewegung um, umströmen dessen äußere Windungen, hierauf den als Nachüberhitzer ausgebildeten Aufnehmer 6 und gelangen nach Heizung des Hochdruckzylinders ins Freie. Zum Abrußen (Rußentfernung) der Heizrohre und Spirale dient die drehbare Vorrichtung 9, der durch Rohr 10 Dampf zugeführt wird. Dieser Dampf strömt durch kleine Öffnungen der senkrechten Rohre 9 aus und bestreicht die zu reinigenden Rohre. Als Steuerung dient für den Hochdruckzylinder ein entlasteter, von einem auf der Kurbelwelle sitzenden Achsenregler 15 beeinflußter Kolbenschieber, für den Niederdruckzylinder ein Trickschieber.

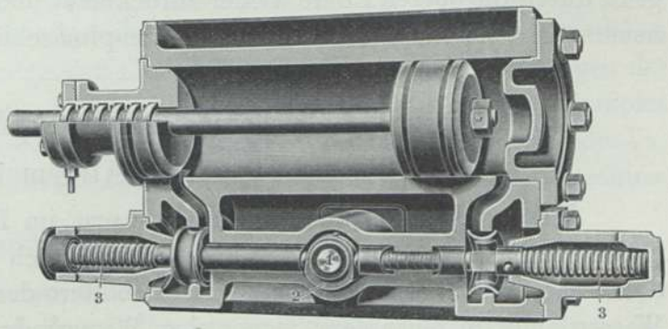


Fig. 169. Lokomobil-Ventilsteuerung System Lentz.

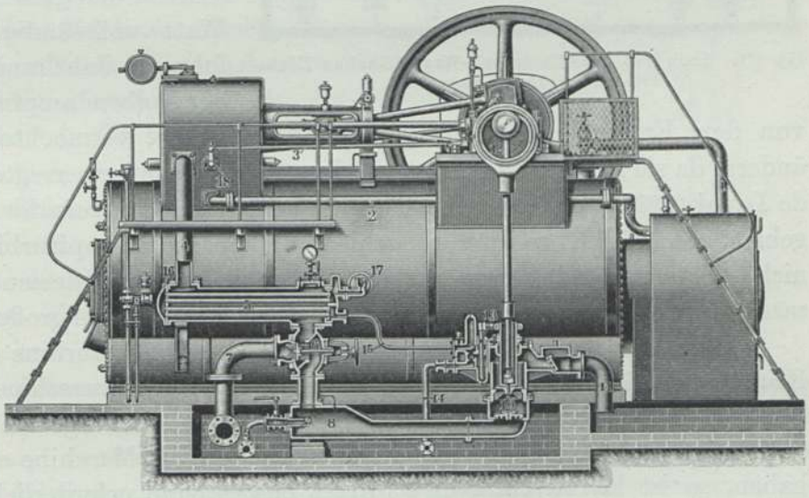


Fig. 170. Schnitt durch die Kondensations- und Speisewassereinrichtung einer Lanzschen Verbundlokomobile.

Abweichend hiervon rüstet die Firma Heinrich Lanz in Mannheim ihre Lokomobilen mit Ventilsteuerung System Lentz (Fig. 169) aus. Die Ventile sind unterhalb der Zylinder, und zwar in dem sonst ungenutzt bleibenden Zwischenraum zwischen Kessel und Zylinder, eingebaut. Quer zur Zylinderachse sitzt unter dem Zylinder die den Steuernocken 2 tragende Steuerwelle 1, die durch ein auf der Maschinenwelle sitzendes Exzenter in schwingende Bewegung versetzt wird und die Ventile entgegen dem Druck der Federn 3 öffnet. Fig. 170 zeigt die Seitenansicht einer Lanzschen Verbundlokomobile mit Schnitt durch die Kondensations- und Speisewassereinrichtung. Der Dampf fließt durch 1 aus dem Kessel nach dem Überhitzer und von diesem durch 2 nach dem Hochdruckzylinder. Der Antrieb der die Steuernocken tragenden Welle 18 erfolgt durch die Exzenterstange 3. Damit die im Abdampf enthaltene Wärme nicht mit dem Kühlwasser nutzlos verloren geht, sitzt zwischen Arbeitszylinder und Kondensator 8 noch ein Speisewasservorwärmer 5, dem der Abdampf durch 4 zuströmt und dann je nach Stellung des Wechselventils 6 entweder durch 7 ins Freie oder in den

Kondensator 8 entweicht, der das Einspritzwasser durch 9 erhält. Kondensat und Kühlwasser werden durch die Pumpe 10, deren Kolben mit einem Ventil versehen ist, das beim Niedergehen des Kolbens dem Kondensat den Durchtritt nach dem Raum oberhalb des Kolbens gestattet, in das ins Freie führende Rohr 11 geleitet. Angetrieben wird die Pumpe vom Exzenter 12, das gleichzeitig die mit dem Pumpenkolben der Luftpumpe verbundene Speisewasserpumpe 13 antreibt. Diese saugt das Speisewasser durch 14 an und drückt es durch 15 in den Vorwärmer 5, von dem es zunächst die unteren Rohre durchströmt, hierauf an der hinteren Stirnwand bei 16 emporgeht, durch die oberen Rohre wieder zurückfließt und durch das Rohr 17 in den Kessel tritt. — In neuerer Zeit hat auch die Gleichstromdampfmaschine im Lokomobilbau Verwendung gefunden.

III. Die Dampfturbinen.

1. Allgemeines.

Wenn sich auch die Dampfturbine erst im Laufe der letzten 20 Jahre zu einer brauchbaren Kraftmaschine entwickelt hat, ist sie doch eigentlich die älteste Dampfkraftmaschine, denn schon vor über 2000 Jahren beschrieb Hero der Ältere Vorrichtungen, bei denen strömender Wasserdampf in einer dem Segnerschen Wasserrade (vgl. S. 24) ähnlichen Vorrichtung treibend wirkte. Obwohl im Laufe der beiden nächsten Jahrtausende viele Konstruktionen auftauchten und von dem italienischen Mathematiker G. Branca 1628 sogar schon eine Freistrahlturbine beschrieben wurde, machte die Entwickelung doch keine weiteren Fortschritte und geriet nach den Erfindungen von James Watt vollständig ins Hintertreffen. Das hierauf folgende Jahrhundert wurde fast ausschließlich von der Kolbendampfmaschine beherrscht. Auch die 1884 von dem Engländer Parsons gebaute Axialturbine vermochte hieran zunächst noch nichts zu ändern, da sie zu wenig bekannt wurde. Aufmerksamkeit erregte erst die Erfindung des Schweden de Laval (1889); da aber seine Turbine sehr hohe Umlaufzahlen aufwies, blieb ihr Verwendungsgebiet beschränkt, so daß es schien, als ob die Dampfturbine eine weittragende Bedeutung nicht erlangen würde. Hier trat nun wieder Parsons ein, dessen Bemühungen und Erfolgen der so rasch vor sich gegangene Umschwung der Verhältnisse zum großen Teil zugeschrieben werden muß.

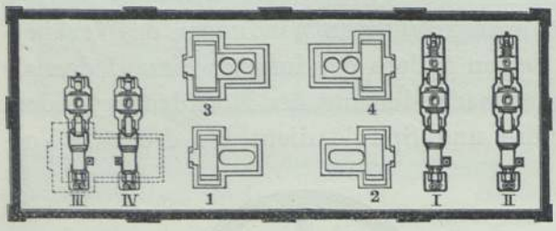


Fig. 171. Grundriß des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes, Essen-Ruhr.

Vor der Kolbendampfmaschine hat die Dampfturbine den Vorteil, daß sie lediglich im Kreise umlaufende Teile besitzt, während die Kolbenmaschine hin und her gehende Teile hat. Bei großen Maschinen erreichen diese Gestänge gewaltige Gewichte, die bei jedem Hube beschleunigt und verzögert werden müssen. Soll die Maschine einen einigermaßen ruhigen Gang haben, so ist hierzu ein sehr schweres Schwungrad erforderlich, ein Maschinenteil, der bei den Dampfturbinen ganz fortfällt. Desgleichen fehlt bei den Dampfturbinen die Steuerung, durch die Bau und Wartung großer mehrzylindriger Kolbenmaschinen kompliziert werden. Während Kolbenmaschinen meistens erst von Hand oder mit einer besonderen Maschine in die zum Anspringen geeignete Stellung gedreht werden müssen, gehen die Dampfturbinen sofort von jeder Stellung aus an. In bezug auf Wartung und Ölverbrauch (letzterer ist eigentlich nur bei den Lagern vorhanden) stellt die Dampfturbine geringe Anforderungen. Da der Dampf mit dem Öl nicht in Berührung kommt, fällt auch bei den mit Kondensation arbeitenden Turbinen der Ölabscheider fort, der bei Kolbenmaschinen unbedingt erforderlich ist, wenn das Kondensat als Kesselspeisewasser Verwendung finden soll. Schließlich ist noch ein großer Vorteil der Dampfturbinen ihr geringer Raumbedarf. Wie groß dieser, verglichen mit dem der Kolbenmaschinen, ist, zeigt der in Fig. 171 dargestellte Grundriß des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes A.-G. in Essen-Ruhr. Die mit arabischen Ziffern bezeichneten Maschinen bedeuten Kolbendampfmaschinen, 1 und 2 solche zu je 600 PS und 3 und 4 solche zu je 1200 PS. Mit römischen Ziffern

sind die Dampfturbinen (System Brown, Boveri-Parsons) bezeichnet, und zwar I und II solche zu je 10000 PS und III und IV solche zu je 7500 PS. An der Stelle, an der die Dampfturbinen III und IV von insgesamt 15000 PS stehen, stand ursprünglich eine einzige Kolbendampfmaschine von 3500 PS. Die Figur zeigt ohne weiteres die bedeutende Platzersparnis, wobei nicht unberücksichtigt bleiben darf, daß die Kolbendampfmaschinen solche stehender Bauart waren, die außerdem in der Höhe bedeutend mehr Platz beanspruchten als die erheblich stärkeren Dampfturbinen.

Auch hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit steht die Dampfturbine der Kolbendampfmaschine nicht nach. Überhitzter Dampf ist bei Dampfturbinen ebenfalls von Vorteil, nicht nur in wärmetechnischer Hinsicht, sondern auch, weil hierdurch wirksam das Eindringen kleiner Wasserteilchen in die Maschine verhindert wird, die wegen der großen Geschwindigkeiten starke Abnutzungen der Schaufeln zur Folge haben; solche Abnutzungen machen sich bei Verwendung überhitzten Dampfes so gut wie gar nicht bemerkbar. Von großem Einfluß auf den Dampfverbrauch ist die Höhe des Vakuums, da die Dampfturbine eine viel weitergehende Expansion zuläßt als die Kolbendampfmaschine.

2. Die Dampfturbinensysteme.

In der Dampfturbine leistet der Dampf durch Verminderung seiner Strömungsenergie Arbeit, in der Kolbenmaschine dagegen durch Verminderung seiner Spannungsenergie. Die zahlreichen Dampfturbinensysteme unterscheiden sich durch die Art, wie der Dampf durch die Leit- und Laufkanäle geführt wird und seinen Zustand dabei ändert. Nach der Wirkungsweise des Dampfes wird unterschieden zwischen *Druck-* oder *Aktionsturbinen* und *Überdruck-* oder *Reaktionsturbinen*. Bei den ersteren soll die Spannung oder der Druck des Dampfes beim Durchströmen der Laufradkanäle vom Eintritt bis zum Austritt gleichbleiben (daher *Gleichdruckturbine*). Der Dampf hat also vor und hinter dem Laufrade dieselbe Spannung und soll auf seinem Wege durch dieses lediglich seine Geschwindigkeit einbüßen, weshalb man diese Turbinen auch *Geschwindigkeitsturbinen* nennt. Bei den Überdruckturbinen ist die Dampfspannung beim Eintritt in die Laufkanäle höher als beim Austritt; daher heißen diese Turbinen auch *Spannungsturbinen*. Im Gegensatz zu den Druckturbinen werden sie stets voll beaufschlagt, d. h. der Dampf tritt ringsum am ganzen Umfange des Laufrades ein.

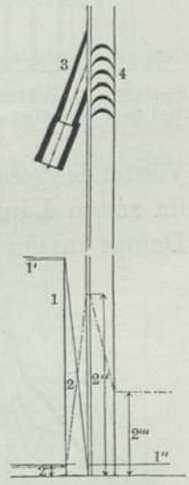


Fig. 172. Einstufige Druckturbine.

Fig. 172 zeigt schematisch die Druck- und Geschwindigkeitsverhältnisse bei einer einstufigen Druckturbine. Hier wie im folgenden seien stets die Spannungslinien mit 1 und die Geschwindigkeitslinien mit 2 bezeichnet. Beim Durchströmen durch die Düse (Einströmungsrohr) 3 sinkt die Spannung des einströmenden Frischdampfes nach Kurve 1 von 1′ auf 1″, während gleichzeitig die Geschwindigkeit nach Kurve 2 von 2′ auf 2″ steigt. Der Dampf beaufschlagt sodann die Schaufeln des Laufrades 4, wobei seine Geschwindigkeitsenergie in Arbeitsenergie umgesetzt wird, was ein Sinken der Geschwindigkeit auf 2‴ zur Folge hat. Würde die Geschwindigkeit Null werden können, so würde dem Dampf die gesamte Energie entzogen sein. Da der hydraulische Wirkungsgrad am besten ist, wenn die Umfangsgeschwindigkeit gleich der halben Dampfeintrittsgeschwindigkeit wird, so muß, da diese den Betrag von 1200 m in der Sekunde erreicht, also sehr hoch ist, das Laufrad sehr rasch laufen und bis 30000 Umläufe in der Minute machen.

Mit derartig hohen Umdrehungszahlen laufende Kraftmaschinen lassen sich praktisch nicht verwerten; es sind daher die verschiedensten Mittel zu ihrer Herabsetzung vorgeschlagen worden. Das nächstliegende Mittel war die Einschaltung einer Übersetzung ins Langsame; ein anderes, von Riedler und Stumpf vorgeschlagenes, bestand in der Vergrößerung des Laufraddurchmessers, die bei gleichbleibender Umfangsgeschwindigkeit eine Verminderung der Umdrehungszahl zur Folge hat. Besser als diese beiden Mittel ist die Ausnutzung des Dampfes in mehreren aufeinanderfolgenden, verhältnismäßig langsam laufenden Turbinenrädern. Hier wird unterschieden zwischen *Druckturbinen mit Geschwindigkeits-* und solchen *mit Spannungsstufen*.

Bei ersteren (Fig. 173) erreicht der mit der Geschwindigkeit 2′ zuströmende Dampf in den Leitraddüsen 3 zunächst wieder seine Höchstgeschwindigkeit 2″, wobei seine Spannung von 1′ bis auf Auspuff- bzw. Kondensatorspannung 1″ sinkt. Die Gesamtgeschwindigkeit wird aber nicht wie bei der einstufigen Druckturbine in einem einzigen Laufrade ausgenutzt, sondern in drei aufeinanderfolgenden Rädern 4, 4′, 4″. In dem ersten büßt der Dampf ein Drittel seiner Geschwindigkeit ein und strömt hierauf in den zweiten Leitradkranz 3′, in dem lediglich seine Richtung geändert wird. Seine Geschwindigkeit bleibt hierbei, wie aus der wagerechten Linie im Geschwindigkeitsdiagramm hervorgeht, unverändert. Der Dampf verliert dann im zweiten Laufrade 4′ das zweite Drittel seiner Geschwindigkeit, wird im Leitrade 3″ wieder gewendet und verläßt schließlich das letzte Laufrad mit der kleinsten Geschwindigkeit 2‴. Bei den nach diesem Verfahren arbeitenden Turbinen sind sämtliche Laufräder ständig von Dampf gleicher Spannung umgeben, jedoch führt die hohe Anfangsgeschwindigkeit des Dampfes zu empfindlichen Stoß- und Reibungsverlusten.

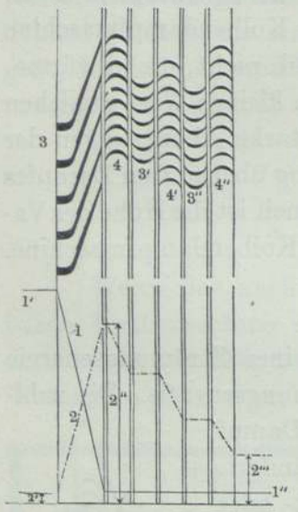


Fig. 173. Druckturbine mit drei Geschwindigkeitsstufen.

Während bei den bisher beschriebenen Turbinen das ganze Druckgefälle vor dem Eintritt in das erste Laufrad in Geschwindigkeit umgesetzt wurde, findet bei den Turbinen mit Spannungsstufen eine Unterteilung des Spannungsgefälles statt, ähnlich wie bei den Expansionsmaschinen. So läßt es sich erreichen, daß der Dampf in sämtlichen Laufrädern die gleichen Geschwindigkeiten besitzt. In den ersten Düsen oder Leitradschaufeln 3 sinkt seine Spannung in dem Beispiele gemäß Fig. 174 um ein Viertel des gesamten Druckgefälles. Der Dampf erreicht hierbei eine gewisse Geschwindigkeit 2′, die im ersten Laufrade 4 in Arbeit umgesetzt wird. Im zweiten Leitschaufelsatze 3′ dehnt sich der Dampf um ein weiteres Viertel aus und erreicht hierbei dieselbe Geschwindigkeit wie vor dem ersten Laufrade usw. Die Zahl der Druckstufen kann beliebig groß gewählt werden, so daß wenigstens theoretisch eine beliebig geringe Dampfgeschwindigkeit erzielt werden kann. Wie die wagerecht verlaufenden Spannungslinien des Dampfes unter den Laufrädern 4, 4′, 4″, 4‴ zeigen, findet innerhalb der Laufräder kein Spannungsabfall statt, es herrscht also unmittelbar vor und hinter jedem Laufrade derselbe Druck. In jedem der einzelnen Laufräder herrscht aber, wie aus der treppenförmig verlaufenden Spannungslinie 1 hervorgeht, ein niedrigerer Druck als in dem vorhergehenden. Die einzelnen Räder müssen also hier in tunlichst dampfdicht voneinander getrennten Räumen laufen. Ferner müssen sich allmählich die Durchtrittsquerschnitte der einzelnen Schaufelräder vergrößern, denn in jeder Zeiteinheit strömt, da die Geschwindigkeitsverhältnisse in allen Rädern die gleichen sind, durch die Schaufelräder wohl die gleiche Gewichtsmenge Dampf, keineswegs aber dasselbe Volumen, denn dieses hat sich durch die fortgesetzten Expansionen in den einzelnen Leiträdern 3, 3′, 3″, 3‴ erheblich vergrößert. Diesem wird Rechnung getragen durch eine Ausbildung der Leiträder, bei der nicht nur der Umfang der Räder immer größer wird, sondern auch jedesmal größere Teile des Umfanges für den Dampfdurchgang freigelegt werden. Wenn man das verfügbare Spannungsgefälle so teilt, daß das Spannungsverhältnis zwischen einer höheren Spannungsstufe und der anschließenden niedrigeren Spannungsstufe den Wert von etwa 1,7 (kritisches Verhältnis) nicht überschreitet, so bedarf man der sich erweiternden Düsen nicht, sondern es genügen zur Erreichung des Zweckes einfache Überströmkanäle.

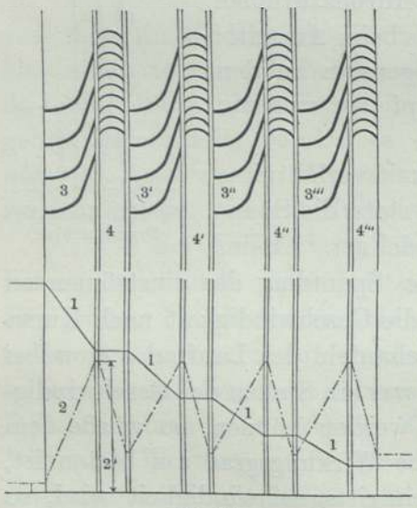


Fig. 174.
Druckturbine mit vier Spannungsstufen.

Durch die Vereinigung der beiden letztgenannten Bauweisen ist die *Turbine mit*

Spannungs- und Geschwindigkeitsstufen (Fig. 175 u. 176) entstanden. Zunächst wird, wie in Fig. 174, das Spannungsgefälle unterteilt und dann die bei jedem Spannungsabfall entstehende Geschwindigkeit nicht in einem, sondern in mehreren Laufrädern ausgenutzt. Der Linienzug 1 versinnbildlicht wieder die Änderungen der Spannungen und der Linienzug 2 die der Geschwindigkeiten. Im ersten Leitradkranze 3 sinkt die Spannung auf 1′ und in dem zweiten 3′ auf 1″. Die beiden mit je zwei Laufradkränzen ausgerüsteten Laufräder 5, 6 drehen sich in zwei dampfdicht voneinander getrennten Abteilungen 7, 8, in denen die Spannungen 1′ und 1″ herrschen. Im ersten Laufradkranze 4 wird nur ein Teil der Dampfgeschwindigkeit in Arbeit umgesetzt. Der Dampf strömt aus diesem durch den Leitradkranz 9, in dem Geschwindigkeit und Spannung unverändert bleiben, der also nur dazu dient, die Richtung des Dampfes zu ändern (vgl. Fig. 173, Teil 3′, 3″), in den zweiten Laufkranz 4′, in dem der Rest der Dampfgeschwindigkeit nutzbar gemacht wird. In dem sich an diesen anschließenden Leitradkranze 3′ findet wieder ein Spannungsabfall unter gleichzeitiger Geschwindigkeitserhöhung statt. Die Arbeitsweise im Raum 8 vollzieht sich hierauf genau so wie in 7.

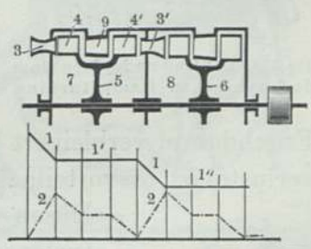


Fig. 175 und 176. Druckturbine mit Spannungs- und Geschwindigkeitsstufen.

Bei den *Überdruckturbinen* erfolgt im Gegensatz zu den Druckturbinen, wie schon oben bemerkt ist, die Umsetzung der Dampfspannung in Geschwindigkeit auch auf dem Wege durch die Laufkanäle, so daß der aus den Kanälen des Laufrades austretende Dampf auch durch Rückdruck wirkt, weshalb diese Turbinen auch *Reaktionsturbinen* genannt werden. Der bei 7 zugeführte Dampf expandiert, wie der Linienzug 1 in Fig. 177 zeigt, fortlaufend durch sämtliche Radkränze. Die in den Leitradkränzen 3 erzeugte Geschwindigkeit wird in den Laufradkränzen in Arbeit umgesetzt. Hierbei kann die Geschwindigkeit nicht so tief sinken wie bei den Druckturbinen, da gleichzeitig in den Laufradkränzen 4 ein weiterer Teil des Spannungsgefälles in Geschwindigkeit umgesetzt wird. Die Geschwindigkeit wird also, wie der Linienzug 2 zeigt, abwechselnd steigen und sinken, im ganzen aber allmählich steigen. Diese Steigerung der Geschwindigkeit geht jedoch nicht in demselben Maße vor sich wie die infolge der Expansion stattfindende Volumenvergrößerung des Dampfes, so daß die Durchflußquerschnitte der einzelnen Räder eine allmähliche Vergrößerung erfahren müssen. Da die Überdruckturbinen mit voller Beaufschlagung arbeiten, ist dieses nur möglich durch Vergrößerung der Raddurchmesser. Theoretisch müßte also jedes Rad größer sein als das vorhergehende. Mit Rücksicht darauf, daß dieses die Herstellung erheblich verteuern würde — denn eine derartige Turbine hat etwa 100 Druckstufen, also noch einmal soviel Räder —, hat man sich damit geholfen, daß man immer eine Anzahl Räder gleichgroß ausbildet, die Durchmesser also nicht allmählich, sondern sprungweise steigert. Da der Druck vor und hinter den Laufrädern 4 verschieden hoch ist, tritt eine in Richtung der Achse wirkende Schubkraft auf, die bestrebt ist, die Laufradachse zu verschieben. Zur Aufnahme dieses Druckes dienen die Ausgleichkolben 5, von denen so viele vorgesehen sind, wie die Turbine Abstufungen enthält. Die entsprechenden Räume stehen durch Rohrleitungen 6 miteinander in Verbindung, so daß derselbe Druck bestrebt ist, die Turbinenwelle einmal nach rechts, ein andermal nach links zu drücken; beide Drucke heben sich also auf. Weiter entsteht infolge der Druckunterschiede zwischen den einzelnen Rädern ein Spaltüberdruck, der eine Abdichtung zwischen den ruhenden und bewegten Teilen notwendig macht, da sonst der Dampf statt durch die Räder durch die Zwischenräume zwischen ihnen überströmt. Diese Abdichtung wird durch möglichste Annäherung der

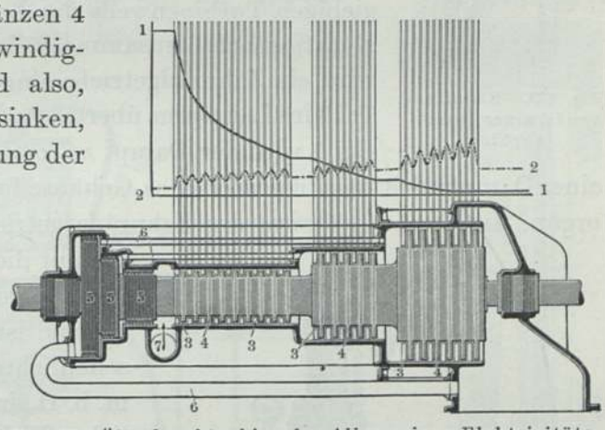


Fig. 177. Überdruckturbine der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft.

bewegten Teile an die unbewegten erreicht, und zwar werden nicht die Stirn-, sondern die Mantelflächen der Räder möglichst dicht aneinander gebracht.

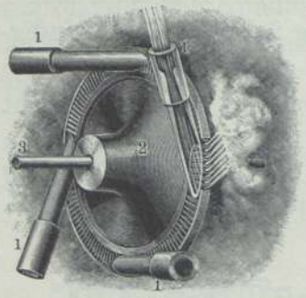


Fig. 178. Laufrad und Düsen einer de Lavalschen Dampfturbine.

3. Verschiedene Bauarten der Dampfturbinen.

Die Hauptvertreterin der einstufigen Druckturbine ist die *Lavalturbine*, eine Axialturbine, weil die Hauptströmungsrichtung des Dampfes der Umdrehungsachse 3 des Rades annähernd gleichgerichtet ist (s. Fig. 178). Am Umfange des Laufrades 2 sind die Dampfzuleitungsdüsen 1 verteilt. Der aus ihnen austretende Dampf durchströmt die Laufradschaufeln, wobei seine Geschwindigkeitsenergie in Arbeitsenergie umgewandelt wird. Die Regulierung der Turbine kann dadurch bewirkt werden, daß durch Verstellen des Ventilkegels 1 (Fig. 179) mittels des Handrades 2 die Zuströmöffnung für den Frischdampf verkleinert bzw. vergrößert wird. Zur Vermeidung der hierbei auftretenden Drosselverluste ist es vorteilhafter, je nach der Größe der gewünschten Leistung mehr oder weniger Düsen gänzlich abzuschließen. Bei den hohen Umdrehungszahlen der Lavalturbine von 9000—30000 in der Minute ist es von großer Wichtigkeit, daß der Schwerpunkt des Turbinenrades genau in die geometrische Rotationsachse fällt, da schon die geringsten Abweichungen gewaltige Fliehkräfte entstehen lassen. Ein derartig genaues Ausbalancieren ist aber praktisch nicht zu erreichen. De Laval half sich dadurch, daß er die Welle, statt sie zur Erhöhung ihrer Widerstandskraft besonders stark zu nehmen, im Gegenteil auffallend schwach und lang ausbildete. Der Erfolg ist der, daß sich infolge der nachgiebigen Turbinenwelle das Laufrad so einstellt, daß seine Schwerachse mit der Rotationsachse zusammenfällt. Zur Herabsetzung der hohen Umdrehungszahlen wird ein Zahnradgetriebe eingeschaltet, das die Bewegung im Verhältnis 1 : 10 bis 1 : 13 ins Langsame überträgt. Eine kleinere Lavalturbine zeigt Fig. 180 in Ansicht. Bei 1 wird der Dampf zu- und bei 2 abgeführt. 3 ist ein Handrad zum Verstellen einer Dampfzuleitungsdüse und 4 das Gehäuse für ein von einem Achsenregler verstellbares Drosselorgan. Im Gehäuse 5 sitzt das Zahnrädergetriebe, das die Bewegung auf die Vorgelegewelle und die auf dieser sitzende Riemenscheibe 6 überträgt.

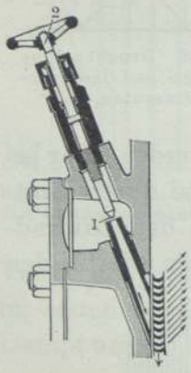


Fig. 179. Regulierventil einer Druckturbine.

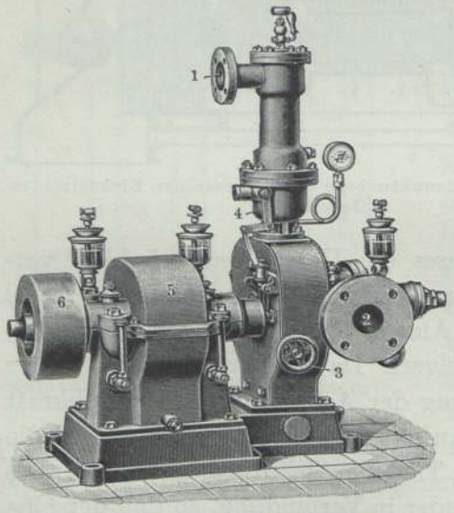


Fig. 180. Dampfturbine von de Laval.

Eine mit Geschwindigkeitsstufen arbeitende Dampfturbine ist die in den Fig. 181 und 182 schematisch veranschaulichte Turbine der Elektra-Dampfturbinen-Gesellschaft m. b. H. in Karlsruhe i. B. Die in den Figuren veranschaulichte *Elektraturbine* ist mit einer Druck- und vier Geschwindigkeitsstufen versehen. Auf der Welle sitzt fest der Laufradkörper 1, aus dem seitlich die Schaufeln 2 hervorragen. Durch Stutzen 3 tritt der Dampf in einen ringförmig um das Turbinengehäuse herumlaufenden Kanal 4, aus dem er in die einander gegenüberliegenden Düsen 5 gelangt. In diesen setzt er seine ganze Spannungsenergie in Geschwindigkeit um, durchströmt die Laufradschaufeln in radialer Richtung und gelangt in einen Kanal 6, der so gekrümmt ist, daß er den Dampfstrahl dem Laufrade zum zweiten Male zuführt. Dieses wiederholt sich, wie Fig. 182 zeigt, mehrmals, wobei beim jedesmaligen Durchströmen des Dampfes durch die Laufradschaufeln ein Teil seiner Geschwindigkeit in Arbeit umgesetzt wird. Der stufenweisen Abnahme der Geschwindigkeit im Laufrade wird dadurch Rechnung getragen, daß die Querschnitte der Überströmkanäle ebenfalls entsprechend vergrößert werden. Schließlich gelangt der Dampf nach seinem letzten Durchgang durch das

Laufrad in den Abdampfkanal 7, aus dem er ins Freie auspufft oder in den Kondensator strömt. Große Elektraturbinen werden als Verbundturbinen ausgeführt, d. h. das Druckgefälle wird in zwei Stufen zerlegt, von denen jede mehrere Geschwindigkeitsstufen erhält.

Eine andere mit Geschwindigkeitsstufen arbeitende Turbine ist die *Kienast-Turbine.* Bei dieser wird im Gegensatz zur Elektraturbine der Dampf nicht radial, sondern axial durch die Schaufeln geführt. *Die bauliche Ausbildung und Wirkungsweise einer solchen Turbine zeigt deren Klappmodell nebst Beschreibung.*

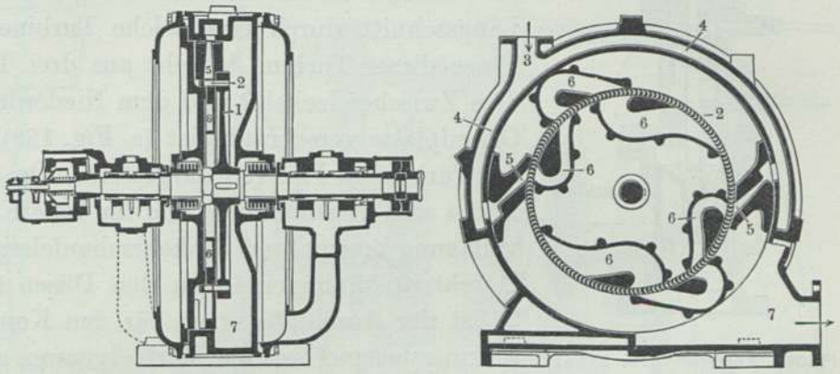


Fig. 181 und 182. Elektra-Dampfturbine mit einer Druck- und vier Geschwindigkeitsstufen.

Zu den Turbinen mit Spannungsstufen gehört die in den Fig. 183 und 184 dargestellte *Zoellyturbine* der Firma Escher Wyß & Cie. in Zürich und Ravensburg. Wie bei Fig. 174 ausführlich auseinandergesetzt ist, ist das ganze Spannungsgefälle in zahlreiche Untergefälle zerlegt, die jedes für sich in den Leitradschaufeln in Geschwindigkeit umgesetzt werden, und zwar derart, daß jedesmal, wenn eine solche Umsetzung stattgefunden hat, die erzeugte Geschwindigkeit zunächst in dem folgenden Laufrade durch Arbeitsabgabe vernichtet wird, worauf dann erst wieder durch den folgenden Spannungsabfall eine Steigerung der Geschwindigkeit hervorgerufen wird. Die Abdichtung zwischen den einzelnen Spannungsstufen erfolgt durch die aus Fig. 184 ersichtlichen Labyrinthdichtungen. Die Regelung ist bei diesen Turbinen eine indirekte (Fig. 185), d. h. der Zentrifugalregulator wirkt nicht unmittelbar auf das Dampfeinlaßorgan ein, sondern auf den Steuerschieber eines mit Drucköl betriebenen Hilfsmotors *(Servomotors)*, dessen Kolben 1 mit dem Dampfeinlaßorgan 2 in Verbindung steht. Sinkt die Belastung der Turbine, so wird durch den Regulator die Steuerung so beeinflußt, daß das Drucköl oberhalb des Kolbens 1 zu- und unterhalb des Kolbens abfließt, so daß der Kolben mit dem Drosselschieber 2 nach unten bewegt wird. Diese Bewegung geht so lange vor sich, bis der zum Servomotor gehörige Steuerschieber, der sich gegenläufig zu dem Kolben 1 bewegt, wieder in seine Mittelstellung gelangt ist. Wie aus der dreieckigen Ausbildung der Durchlaßschlitze 3 ersichtlich ist, wird hierbei der Querschnitt für den Dampfzutritt verengt. Das Umgekehrte ist der Fall, wenn die Belastung der Turbine steigt, und Kolben und Schieber nach oben gehen.

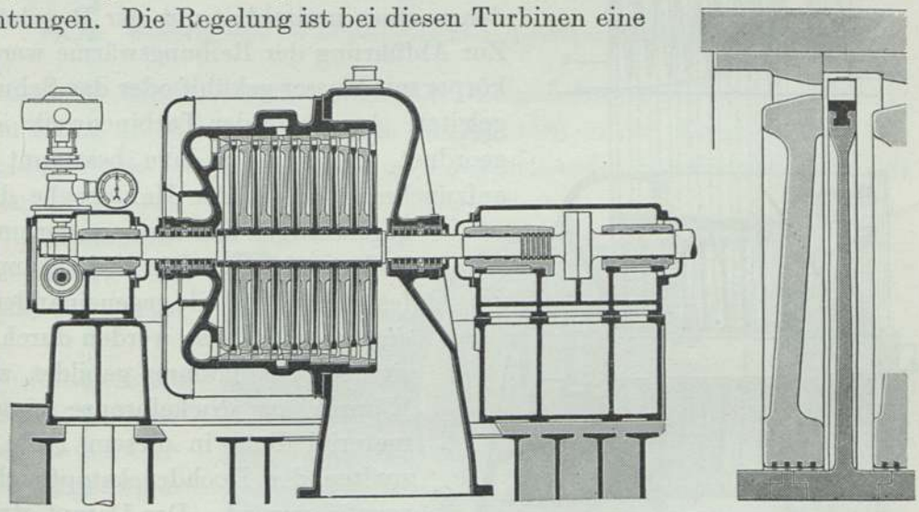


Fig. 183 und 184. Zoelly-Dampfturbine von Escher Wyß & Cie.

Während die Elektra- und die Zoellyturbinen nach dem Prinzip der Geschwindigkeits- bzw. Spannungsstufen arbeiten, werden von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft Kombinationen gebaut, die, wie aus dem im oberen Teile der Fig. 186 dargestellten Diagramm ersichtlich ist, in

ihrem Hochdruckteile mit Geschwindigkeits- und in ihrem Niederdruckteile mit Spannungsstufen ausgerüstet sind.

Die hauptsächliche Vertreterin des Systems, bei dem mehrere Druckstufen vorgesehen sind, von denen jede wieder mehrere Geschwindigkeitsstufen (s. Fig. 176) besitzt, ist die *Curtisturbine*.

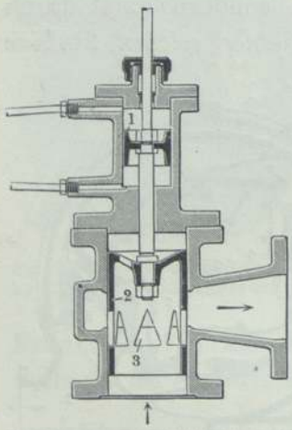


Fig. 185. Reguliervorrichtung der Zoellyturbine.

Während in Amerika ihre stehende Anordnung mit oberhalb der Turbine angeordneter Dynamomaschine gebräuchlich ist, baut die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft sie in liegender Anordnung; Fig. 187 zeigt den Längsschnitt durch eine solche Turbine kleinerer Leistung. Das Gehäuse dieser Turbine besteht aus drei Teilen, dem vorderen Deckel 1, dem Zwischendeckel 2 und dem Niederdruckgehäuse 3, das fest mit der Grundplatte verschraubt ist (s. Fig. 188). Schaubildlich ist das Innere der Turbine in Fig. 188 dargestellt. Der vordere Deckel sowie das erste Rad 4 sind abgenommen, und im Innern sind die der Länge der Beaufschlagung angepaßten Umkehrschaufelsegmente 5 und die kreisförmigen Durchtrittsöffnungen 10 zu den Düsen 11 der zweiten Stufe sichtbar. 26 ist der Anschlußstutzen für den Kondensator (Fig. 188). Das Ausführungsbeispiel ist als Turbodynamo gedacht; die Welle ist an drei Stellen gelagert, von denen zwei auf die Dynamomaschine entfallen. Die Schmierung der Lagerschalen erfolgt mit Drucköl, das mit einer Ölpumpe 12, wie in Fig. 189 veranschaulicht, den Lagerstellen zugeführt wird. Der Antrieb der Ölpumpe erfolgt von der Regulatorspindel aus, die ihrerseits ihren Antrieb durch Schraubenräder 13 (Fig. 187) von der Turbinenwelle erhält. Die Pumpe besteht aus zwei ineinander kämmenden Zahnrädern, die an ihren Stirn- und Kopfflächen genau in ein Gehäuse eingepaßt sind, und von denen eines undrehbar mit der Regulatorspindel verbunden ist. Zur Abführung der Reibungswärme werden entweder die Lagerkörper mit Wasser gekühlt oder das Schmieröl durch einen Kühler geleitet. Am Ende der Turbinenwelle ist ein Spurzapfen 27 angeordnet, der weniger dazu bestimmt ist, große axiale Kräfte aufzunehmen, als in der Hauptsache dazu, die Einstellung der gegenseitigen axialen Lage der umlaufenden und ruhenden Teile zu sichern. Die Abdichtung der sich drehenden und feststehenden Teile gegeneinander erfolgt durch *Labyrinthdichtungen*. Diese werden durch auf der Welle bei 18, 19 sitzende Stahlkämme gebildet, zwischen die feststehende Kämme aus Nickelbronze eingreifen. Als Dichtungsmaterial dient in diesem Falle Dampf, der den Ringspalten der Hochdruckstopfbüchse durch den Kanal 20 zugeführt wird. Der Dampf strömt durch die Dichtung von außen nach innen und gelangt hierbei in den inneren Ringraum 21, der durch eine Rohrleitung mit dem Ringkanal 22 der Niederdruckstopfbüchse 19 in Verbindung steht, aus der der Dampf durch das Vakuum in der Niederdruckstufe der Turbine angesaugt wird. Gerade an dieser Stelle ist die Dichtung besonders wichtig, um das Eindringen von Luft zu vermeiden, die das Vakuum verschlechtern würde, was durch den eindringenden Dichtungsdampf nicht in dem Maße der Fall ist, da dieser niedergeschlagen wird. Durch die kurzen äußeren Labyrinthe 23, 24 wird das Austreten von Dampf in den Maschinenraum mit solcher Vollkommenheit verhindert, daß nur ein leichter Dampfhauch sichtbar wird, der auf der Hochdruckseite durch den kleinen Kamin 25 abgeführt wird.

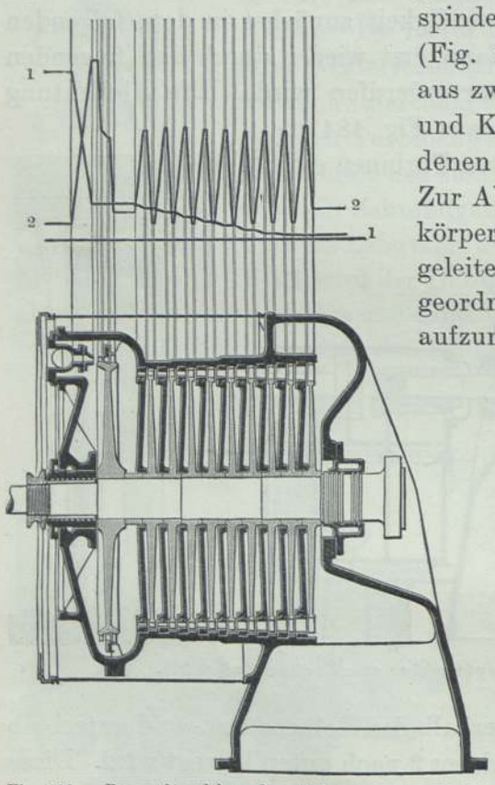


Fig. 186. Dampfturbine der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (schematisch).

Der Frischdampf gelangt durch in Fig. 187 nicht dargestellte Anschlußstutzen in die Leitraddüsen 6, in denen ein Teil seiner Spannung in Geschwindigkeit umgesetzt wird. Von dieser wird die Hälfte in den Laufradschaufeln 7 durch Arbeitsabgabe vernichtet. Nach Durchströmung der Umkehrschaufeln 8, in denen Spannung und Geschwindigkeit unverändert bleiben, gelangt der Dampf in die Laufradschaufeln 9, in denen eine weitere Umsetzung der Geschwindigkeit in Arbeit erfolgt. Die Laufräder sind zweikränzig ausgebildet; sie bestehen aus Stahl und besitzen am Umfang einen starken Wulst, der, was aus der Figur nicht ersichtlich ist, schwalbenschwanzförmige Eindrehungen erhält, in die die aus Nickelstahl angefertigten Schaufeln eingesetzt werden. Aus dem Druckraum 14 strömt der Dampf durch die Öffnungen 10 zu den Leitradschaufeln 11. Der Arbeitsvorgang im zweiten Laufrade ist derselbe wie im ersten. Nach der Arbeitsleistung strömt der niedriggespannte Dampf aus dem Raum 15 durch den Stutzen 26 (Fig. 188) in den Kondensator. Die Räume 14 und 15 werden durch eine Labyrinthdichtung 16 gegeneinander abgedichtet. Wie aus den Segmenten 5 und den am ganzen Umfang vorhandenen Durchströmöffnungen 10 (Fig. 188) hervorgeht, wird das erste Laufrad 4 partiell, das zweite vollständig beaufschlagt.

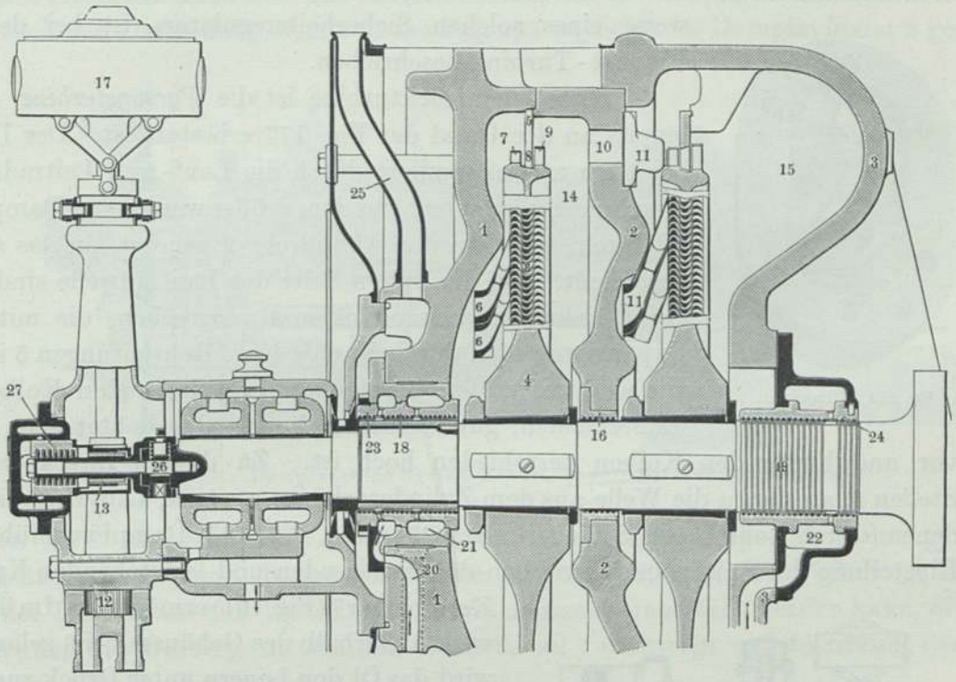


Fig. 187. Dampfturbine der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (Längsschnitt).

Die Regelung der Turbine erfolgt durch den Fliehkraftregler 17; dieser verstellt bei Schwankungen in den Umdrehungszahlen ein kleines Steuerorgan für den Zufluß des Drucköls zum Servomotor, der im Prinzip ebenso wirkt, wie bei Fig. 185 beschrieben. Das Drucköl für den Motor liefert die für die Lagerschmierung vorgesehene Räderpumpe.

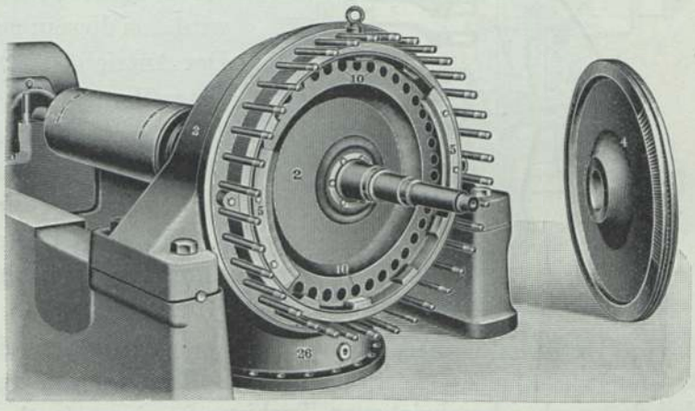


Fig. 188. Dampfturbine der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (geöffnet).

Durch das vom Servomotor verstellte Drosselventil wird nicht nur die Menge, sondern auch die Spannung des der Turbine zugeführten Dampfes verringert. Da jede Drosselung einem Verluste gleichkommt, baut die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft ihre Turbinen so, daß neben der Drosselregulierung noch eine besondere Regulierung für die Dampfmenge vorgesehen ist. Dieses läßt sich ermöglichen, da das erste Laufrad partiell beaufschlagt wird. In Fig. 190 ist 1 der Zylinder für den Servomotor und 2 das von diesem verstellte Drosselventil. 3 sind die zu den Leitraddüsen führenden Dampfkanäle, die je nach Bedarf durch die kleinen Ventile 4 geschlossen

oder geöffnet werden. Diese Ventile werden entweder mit der Hand durch die Hebel 5 gesteuert, oder automatisch von dem Druckkolben. Auf diese Weise läßt sich eine Regulierung der Turbine ohne wesentliche Drosselverluste ermöglichen. Neben der Reguliervorrichtung ist noch ein Sicherheitsregulator (s. Fig. 187, Teil 26) vorgesehen, der lediglich dazu dient, ein Durchgehen der Maschine dadurch zu verhindern, daß er bei einer bestimmten Überschreitung der Umdrehungszahl eine Schnellschlußvorrichtung für das Dampfeinlaßventil auslöst. Die Wirkungsweise eines solchen Sicherheitsregulators ist bei dem Klappmodell der Kienast-Turbine beschrieben.

Fig. 189. Ölpumpe.

Eine Überdruckturbine ist die *Parsonsturbine*, deren Wirkungsweise bereits an der Hand der Fig. 177 erläutert ist. Der Dampf (Fig. 191) tritt bei 1 ein und expandiert durch die Lauf- und Leitradschaufelkränze, deren Durchmesser entsprechend dem größer werdenden Dampfvolumen zunehmen, hindurch, bis er in das Abflußrohr 2 gelangt, an das sich der Kondensator anschließt. Auf der linken Seite der Laufradwelle sind von 1 bis 3 die Ausgleich- oder Gegendruckkolben 4 vorgesehen, die mit den entsprechenden Expansionsstufen durch Kanäle bzw. Rohrleitungen 5 in Verbindung stehen. Die sich mit großer Geschwindigkeit drehenden Kolben müssen gegen den feststehenden, gußeisernen Zylinder abgedichtet sein, da der Dampfdruck vor und hinter den Kolben verschieden hoch ist. Zu diesem Zwecke sind hier wie an den Stellen 8, an denen die Welle aus dem Zylindergehäuse austritt, Labyrinthdichtungen vorgesehen, denen (durch Rohr 11 aus Schieberkasten 23 in Fig. 192, 193) Dampf zugeführt wird. Eine genaue Einstellung des Spielraumes zwischen den rotierenden und feststehenden Kränzen wird durch das Kammlager 7 (Fig. 191) ermöglicht. Im übrigen ist die Laufradwelle außerhalb des Gehäuses bei 6 gelagert. Für Schmierung wird das Öl den Lagern unter Druck zugeführt. Mittels einer ventillosen Ölpumpe 9 wird das Öl aus einem im Turbinenfundament vorgesehenen Behälter angesaugt, auf einen Druck von etwa 1½ at gebracht und durch die Rohrleitungen in den Raum zwischen Welle und Lagerschale gepreßt. Das verbrauchte Öl fließt durch 10 in den Behälter zurück und wird aus diesem zu einem neuen Kreislaufe wieder angesaugt. Der Antrieb der Ölpumpe erfolgt von der Turbinenwelle aus unter Vermittelung der Regulatorspindel und eines im Ölbad arbeitenden Schneckengetriebes 13 durch die Welle 14. Der Druck des Öles wird so gewählt, daß er ungefähr dem spezifischen Drucke der Welle auf die Lagerschalen gleichkommt, so daß die Welle eigentlich durch das Öl getragen und hierdurch die Abnutzung der Lagerschalen sehr verringert wird. (Über Teil 12, 15, 16 siehe Erklärung zu Fig. 192.)

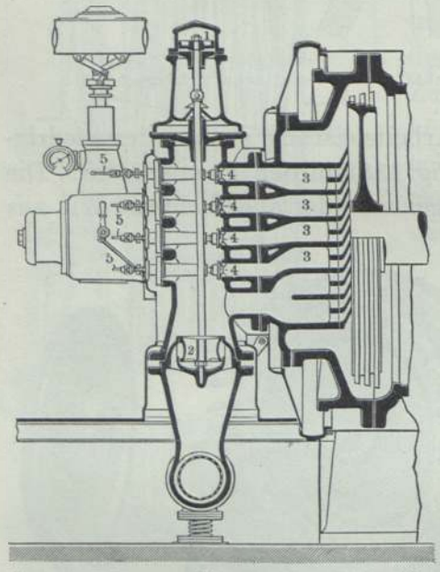


Fig. 190. Düsenregulierung, System Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.

Besonders eigenartig ist bei dieser Turbine die Dampfzuführung und deren Regelung. Der Dampf wird nicht wie bei den vorher beschriebenen Turbinen in einem fortlaufenden Strahle zugeführt, sondern in einzelnen regelmäßig aufeinanderfolgenden Stößen, deren Zeitdauer von dem Regulator beeinflußt wird. Ist die Turbine nur gering belastet, so bleibt das Dampfzuführungsventil nur während eines kleinen Bruchteils eines solchen Zeitabschnittes zwischen zwei Stößen geöffnet; ist sie stark belastet, so füllt die Ventileröffnung fast den ganzen Zeitraum aus.

Der durch die Frischdampfleitung 1 (Fig. 192 und 193) zuströmende Dampf gelangt nach Öffnung des Hauptabsperrventils 29 mittels Handrades 17 zu dem Doppelsitzventil 28, das sich in der Minute etwa 150—250mal öffnet und schließt. Nach jedesmaliger Öffnung des Ventils strömt der Dampf in die Kammer 26 und aus dieser bei 2 zur Turbine (s. Fig. 191, Ringraum 1).

Unabhängig hiervon strömt der Dampf durch das Innere des Ventils 28 (Fig. 192, 193) in den Dampfvorraum 27 und aus diesem durch die Kanäle 21 unter den im Zylinder 3 des Servomotors spielenden Kolben 30, der mit dem Ventil 28 durch die Spindel 19 fest verbunden ist. Eine oberhalb des Kolbens angeordnete Feder 20 drückt den Kolben nach unten und wirkt auf Schluß des Ventils. Dieses bleibt in der Offenstellung, solange der Dampfdruck auf den Kolben 30 wirkt, schließt sich aber nach Freigabe des Auslasses 22 durch den Kolbenschieber 24 des Servomotors. Schieberkasten 23 ist der deutlicheren Darstellung wegen in der Fig. 193 seitlich vom Dampfzylinder 3 gezeichnet, während er sich in Wirklichkeit hinter diesem befindet. Seine Bewegung erhält Kolbenschieber 24 von Welle 14 unter Vermittelung des Exzentergetriebes 4. Dieses erteilt dem bei 5 drehbar gelagerten Doppelhebel 6 eine hin und herschwingende Bewegung, die durch den bei 25 angelenkten Winkelhebel 7 auf den Kolbenschieber 24 übertragen wird. Bei Belastungsänderungen verstellt der Fliehkraftregler 15, der durch die Federwage 16 während des Ganges der Turbine auf eine bestimmte Umdrehungszahl eingestellt werden kann, die Muffe 8, welche Bewegung das Gestänge 12 auf den Winkelhebel 7 überträgt und hierdurch den Kolbenschieber 24 gegenüber dem Doppelhebel 6 tiefer bzw. höher stellt. Nunmehr dringt der Schieber mehr oder weniger tief in den Schieberkasten ein, wodurch die Öffnungsdauer des Dampfaustrittskanals 22 verändert wird. Bei größer werdender Öffnungsdauer wird das Ventil 28 durch die Feder 20 längere Zeit in der Schlußstellung gehalten; bei kleiner werdender tritt das Umgekehrte ein. Im ersten Falle gelangen bei jedem Ventilhub kleinere, im letzten größere Dampfmengen in die Turbine. Zur Inbetriebsetzung der Turbine wird das Doppelsitzventil 28 zunächst einmal mit dem Handhebel 18 angehoben.

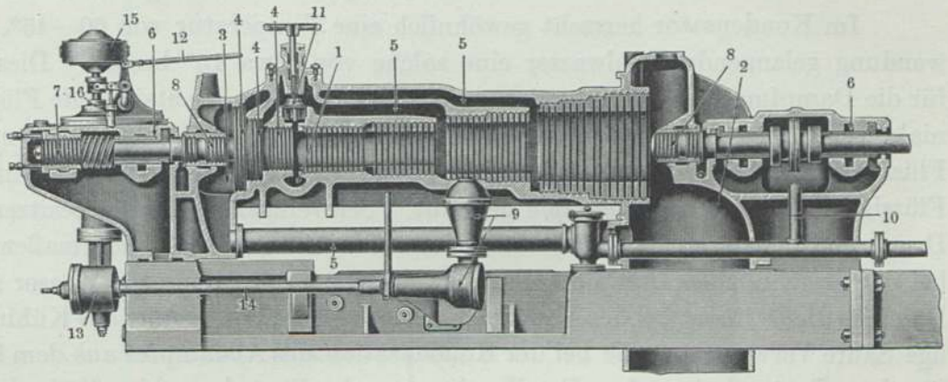


Fig. 191. Dampfturbine System Brown, Boveri-Parsons (Längsschnitt).

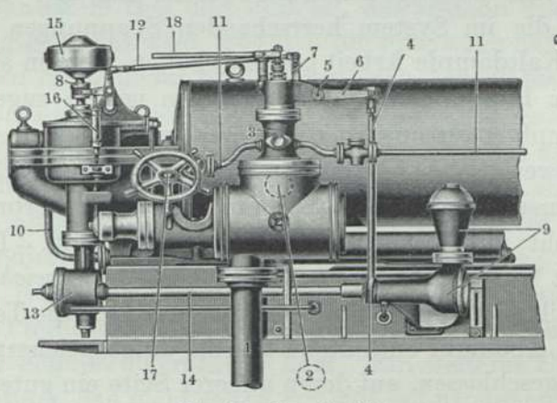


Fig. 192. Gesamtansicht.

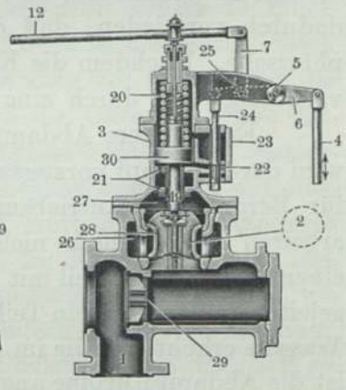


Fig. 193. Schnitt durch das Dampfeintrittsventilgehäuse.

Fig. 192 und 193. Dampfeinlaßapparat und Steuerungsmechanismus der Dampfturbine Brown, Boveri-Parsons.

Das über der Dampfeinlaßkammer 1 (Fig. 191) angeordnete Umlaufventil 11 gibt nach seiner Öffnung einen nach der zweiten Expansionsstufe führenden Kanal frei, durch den ein Teil des Frischdampfes unter Umgehung der ersten Expansionsstufe unmittelbar in die zweite gelangt, wodurch sofort eine bedeutende Steigerung der Turbinenleistung erzielt werden kann.

Für mehrere Verwendungsgebiete, wie z. B. für den Antrieb von Schiffen, ist es unbedingt erforderlich, daß die anzutreibende Welle in beiden Richtungen umlaufen kann, was der Dampfturbine unmöglich ist. Kleine Fahrzeuge erhalten zu diesem Zwecke ein Wendegetriebe, das zwischen Turbinenwelle und anzutreibender Welle eingeschaltet wird. Bei Turbinendampfern

ist meist in der Mitte eine Hochdruckturbine und zu beiden Seiten je eine Niederdruckturbine angeordnet, wobei die Wellen der letzteren verlängert sind und Rückwärtsturbinen tragen, die bei der Vorwärtsfahrt leer mitlaufen. Soll mit dem Dampfer manövriert werden, so wird zu diesem Zwecke die Hochdruckturbine ausgeschaltet und der Dampf entweder in die Vorwärts- oder in die Rückwärtsturbine geschickt.

IV. Abdampfverwertung.

Im Kondensator herrscht gewöhnlich eine Temperatur von 60—45°, während das zur Verwendung gelangende Kühlwasser eine solche von etwa 15° besitzt. Dieses Wärmegefälle, das für die Dampfmaschine verloren ist, wird ausgenutzt, um leichtsiedende Flüssigkeiten, wie Ammoniak, schweflige Säure usw., zu verdampfen. Besonders die Versuche mit der letztgenannten Flüssigkeit, die schon bei —10° siedet, haben günstige Resultate ergeben. Die Dämpfe dieser Flüssigkeiten werden *Kaltdämpfe* genannt. Schwefligsäuredämpfe besitzen bei 60° bereits 11 at Druck und bei 15° einen Druck von 2,8 at. Die Anlage ist folgendermaßen zu denken. Während bei der gewöhnlichen Dampfmaschine im Oberflächenkondensator Wasser zum Kondensieren des Dampfes dient, findet bei der Abwärmekraftmaschinenanlage statt des Kühlwassers flüssige schweflige Säure Verwendung, die bei der Kondensation des Abdampfes aus dem flüssigen in den dampfförmigen Zustand übergeht. Der Kondensator der Dampfmaschine ist in diesem Falle gleichzeitig Verdampfer für die *Abwärmekraftmaschine.* Als Kraftmaschine wird eine Kolbenmaschine verwendet, für die eine Zylinderschmierung wegen der schmierenden Eigenschaft der schwefligen Säure entbehrlich ist. Bei dieser Maschine ist besondere Sorgfalt auf die Dichtungen zu legen, sowohl wegen der durch Undichtheiten auftretenden Verluste und des sich hierbei bemerkbar machenden lästigen Geruches, als auch um Vermischung der Schwefligsäuredämpfe mit Luft und Wasser zu vermeiden, da eine derartige Mischung Metalle angreift. Letztere Gefahr wird schon dadurch vermieden, daß die im System herrschenden Spannungen höher sind als die atmosphärische. Nachdem die Kaltdämpfe Arbeit geleistet haben, werden sie wieder durch Abkühlung verflüssigt und durch eine Pumpe dem Verdampfer von neuem zugeführt.

Eine andere Abdampfverwertung ist die in *Niederdruck-* oder *Abdampfturbinen:* In diesen wird der Abdampf vorzugsweise solcher Dampfmaschinen ausgenutzt, die wie die Fördermaschinen für Bergwerke, Antriebsmaschinen für Walzwerke nicht ununterbrochen, sondern stoßweise arbeiten und deshalb nicht mit Kondensation ausgerüstet sind. Der Auspuffdampf wird in einen großen, zum Teil mit Wasser gefüllten Behälter, den *Wärmespeicher* oder *Dampfakkumulator*, geleitet, in dem sich ein Teil des Dampfes niederschlägt, wodurch die Temperatur des vorhandenen Wassers erhöht und die im Abdampf enthaltene Wärme aufgespeichert wird. An diesen Behälter ist die Abdampfturbine angeschlossen, auf deren anderer Seite ein gutes Vakuum aufrechterhalten werden muß. Verbraucht die Abdampfturbine mehr Dampf, als die Hauptmaschine liefert, so entsteht im Wärmespeicher ein Spannungsabfall, der ein Nachverdampfen des erhitzten Wassers und Wiederansteigen der Spannung zur Folge hat. Hierdurch wird ein großer Teil der im Abdampf enthaltenen Wärme nutzbar gemacht.

Neben den vorstehend beschriebenen Verfahren, bei denen die Abwärme zum Betriebe nachgeschalteter Kraftmaschinen dient, findet sie auch für Heizungszwecke Verwendung, einerseits zum Heizen von Räumen, anderseits zum Anwärmen von Flüssigkeiten (Vorwärmer für Kesselspeisewasser u. a. m.).

Die Verbrennungsmaschinen.

Von Dr. **A. Witt**, Berlin-Friedenau.

A. Einleitung.

Schon am Ende des 18. und besonders in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden Versuche gemacht, die bei der Verbrennung von Gasluftgemischen in einem Zylinder entstehenden hochgespannten heißen Verbrennungsgase zum Antriebe von Maschinen zu verwenden. Erst 1860 gelang es Lenoir, eine brauchbare *Gasmaschine* zu konstruieren. Seine Maschine ist der doppeltwirkenden Dampfmaschine nachgebildet. Während des ersten Teiles eines jeden Hubes wirkt die in dem Schwungrade aufgespeicherte lebendige Kraft treibend auf den Kolben und saugt durch diesen ein Gemisch aus brennbarem Gas und Luft an, das alsdann durch eine elektrische Zündvorrichtung zur Entzündung gebracht wird, wodurch die Spannung auf 5—6 Atmosphären steigt. Die heißen Druckgase leisten im Zylinder durch Expansion Arbeit, bis kurz vor Beendigung des Hubes der Auslaßkanal durch einen Schieber freigelegt wird, so daß die Gase ins Freie entweichen können. Zur Verhinderung schädlicher Erwärmung wird der Zylinder mit einem Wassermantel gekühlt. Auf der anderen Seite des Kolbens findet derselbe Vorgang statt, nur mit dem Unterschied, daß, während auf einer Seite Ansaugen und Verbrennen eintritt, auf der anderen das Ausschieben der expandierten Verbrennungsgase vor sich geht. Im Anfang bürgerte sich diese Maschine sehr gut ein, jedoch änderte sich dies bald, da sich herausstellte, daß sie nicht, wie angegeben, für die effektive Pferdestärkenstunde 0,5 cbm Leuchtgas, sondern deren 3 verbrauchte, wozu noch ein sehr starker Schmierölverbrauch kam. Ein weiterer Übelstand war der, daß sie bei jedem Versagen der Zündung, das nicht selten erfolgte, sofort stehenblieb. Der Bau der Lenoir-Maschine wurde wegen dieser Übelstände bald aufgegeben.

Kurze Zeit darauf erregte 1867 die atmosphärische Gasmaschine der deutschen Firma Otto & Langen in der Pariser Weltausstellung großes Aufsehen. Bei dieser Maschine wird ähnlich wie bei der atmosphärischen Dampfmaschine der Druck der Treibgase dazu benutzt, einen Unterdruck herzustellen. Als eigentliche treibende Kraft wirkt dann der Druck der äußeren Atmosphäre. Durch die Explosion des Gasluftgemisches wird ein in einem stehenden Zylinder frei beweglicher Kolben in die Höhe geworfen, der emporsteigt, bis seine lebendige Kraft aufgezehrt ist. Hierbei entsteht unter dem Kolben ein Unterdruck, so daß der äußere Luftdruck den Kolben niederdrückt, der nunmehr mittels eines Gesperres mit der Maschinenwelle gekuppelt wird. Diese Maschine war bedeutend wirtschaftlicher als die Maschine von Lenoir, denn sie verbrauchte für die effektive Pferdestärkenstunde nur 0,8 cbm Gas. Aber auch sie war nicht frei von Mängeln; einerseits war ihr Betrieb mit großem Geräusch verbunden, anderseits wurden ihre Abmessungen bei größeren Leistungen sehr groß. Trotzdem fand sie für das Kleingewerbe große Verbreitung, bis 1878 dieselbe Firma die *Viertaktmaschine* auf den Markt brachte, die wohl die bedeutsamste

bisher im Gasmaschinenbau gemachte Erfindung ist. Drei Merkmale sind es, durch die diese Maschine sich von den vorhergehenden unterscheidet, nämlich:

1. das Gasluftgemisch wird vor der Entzündung verdichtet,
2. die Entzündung findet im Totpunkte statt, und
3. die Maschine dient während eines Hin- und Herganges als Verdichtungspumpe für das Gasluftgemisch.

Wenngleich das Viertaktsystem an sich schon von dem Eisenbahningenieur Beau de Rochas 1862 beschrieben worden war, muß Otto doch das Verdienst bleiben, diese Idee praktisch verwirklicht zu haben.

Wenige Jahre später wurden schon Versuche gemacht, die Viertaktmaschine dadurch in eine Zweitaktmaschine umzuwandeln, daß die Ladung durch eine besondere Pumpe komprimiert und in den Zylinder gedrückt wird. Auch entstanden in jener Zeit die Maschinen, bei denen mit Benzin und Petroleum karburierte Luft als Betriebsstoff angewendet wird. Ferner fallen in diese Zeit die Versuche Daimlers, Gewicht und Größe der Motoren durch Anwendung eines sehr reinen Gasgemisches sowie durch Einführung einer sehr hohen Umdrehungszahl der Kurbelwelle beträchtlich zu verringern. Immer noch wurden aber die Gasmaschinen nur für kleine Leistungen gebaut. Noch 1894 galt eine Gasmaschine von 160 PS für etwas Außergewöhnliches. Aber auch dies änderte sich bald durch die Nutzbarmachung der Hochofen- und Koksofengase sowie durch die Anwendung der Generator- und Kraftgase, wodurch die Industrie der Großgasmaschinen geschaffen wurde. Schließlich sei noch die Gleichdruckmaschine erwähnt, um deren Ausbildung sich besonders Diesel (1897) verdient gemacht hat. In allerneuester Zeit wird auch an der Schaffung einer brauchbaren Gasturbine lebhaft gearbeitet.

Allgemeines.

Im Gegensatz zu den Dampfmaschinen werden bei den Gasmaschinen die in den Brennstoffen schlummernden Wärmemengen erst an den Stellen geweckt, an denen sie in nutzbringende Arbeit umgesetzt werden sollen, nämlich im Innern des Arbeitszylinders. Es werden also bei der Gasmaschine die heißen Verbrennungsgase unmittelbar zur Arbeitsleistung verwendet, während sie bei der Dampfmaschine erst zur Erzeugung eines Zwischenmittels, des Dampfes, dienen. Schon hieraus geht hervor, daß die Gasmaschine in wärmetechnischer Hinsicht vorteilhafter arbeiten muß; denn alle Verluste, die in der Dampfmaschine bei der Erzeugung und Fortleitung des Dampfes entstehen, fallen bei ihr fort. Ferner läßt sich durch gasförmige Brennstoffe eine viel vollkommenere Verbrennung im Zylinderinnern erreichen als durch die zur Kesselfeuerung gewöhnlich benutzten festen Brennstoffe.

Die für den Betrieb der Verbrennungsmaschinen dienenden Gase werden entweder vorhandenen Gasanstalten entnommen oder in eigens für die Maschinen bestimmten Anlagen erzeugt oder als Nebenprodukt gewonnen. Vorzugsweise werden benutzt: Steinkohlengas (Leuchtgas), Kraftgas (Dowsongas, Generatorgas), Hochofengichtgas und Koksofengas, Braunkohlen- und Torfgas. Azetylen findet nur vereinzelt für kleinere Maschinen Verwendung.

Bei allen Verbrennungsmaschinen wird jetzt das Gasgemisch vor der Zündung verdichtet, wodurch die Arbeitsfähigkeit des Gases besser ausgenutzt wird, wie aus folgender Betrachtung hervorgeht. Zwei Mengen eines explosibeln Gasgemisches von gleicher Zusammensetzung und gleichem Gewicht seien in Gefäße von 2 und 1 Liter Inhalt eingeschlossen, derart, daß in dem größeren eine Spannung von 1 Atmosphäre, in dem kleineren eine Spannung von 2 Atmosphären vorhanden ist. Entzündet man diese Gasgemische, dann wird in beiden Gefäßen annähernd dieselbe Drucksteigerung stattfinden, die etwa das Zehnfache betragen möge, so daß die Spannung im größeren Gefäß 10 Atmosphären, im kleineren 20 beträgt. Nimmt man an, daß die Verbrennungsgase in beiden Fällen sich unter Arbeitsverrichtung bis zu 1 Atmosphäre ausdehnen, so ist klar, daß das kleinere Volumen um so viel mehr Arbeit leisten kann, als bei der Expansion von 20 auf 10 Atmosphären entsteht. Von dieser Mehrarbeit würde nur die verhältnismäßig geringe

Arbeit abzuziehen sein, die vor der Entzündung zur Verdichtung des Gasgemisches von 1 auf 2 Atmosphären erforderlich war. Durch die Verdichtung wird das Gasluftgemisch auch zündfähiger; denn trotzdem sich Gas und Luft sehr gut miteinander mischen, ist es doch bei der geringen, hierfür zur Verfügung stehenden Zeit sehr leicht möglich, daß die Mischung die gewünschte Vollkommenheit nicht erreicht. Dieser Mangel wird durch die Verdichtung beseitigt, welche die einzelnen Gas- und Luftteilchen eng aneinander bringt, so daß sich die Zündung rascher von einem Teilchen zum anderen fortpflanzt. Infolgedessen können auch stärker verdünnte Gasgemische angewendet werden, was ein Sinken der Anfangstemperatur und damit der durch das Kühlwasser abgeführten Verlustwärme nach sich zieht. Schließlich geht die Verpuffung des verdichteten Gemisches in einem kleineren Raume vor sich als die des unverdichteten, wodurch wegen der kleineren Wandungsfläche die schädliche Wärmeableitung durch die Wandung herabgemindert wird.

Wesentlich für die Zündfähigkeit des Gases ist das richtige Mischungsverhältnis von Luft und Gas, das sich nach dem Heizwert des Gases richtet, d. h. nach der Wärmemenge, die 1 cbm Gas bei vollständiger Verbrennung entwickelt. Vgl. die nachstehende Tabelle.

Bezeichnung des Gases	Mischungsverhältnis in Raumteilen Gas : Luft	Gebräuchliche Verdichtungsspannung in Atmosphären	Verpuffungsspannung in Atmosphären
Leuchtgas, Koksofengas, Fettgas	1:6—1:7	3—4	12—18
Kraftgas, Gichtgas	1:1—1:2	8—12	15—22

Der Gasverbrauch ist abhängig von dem Heizwert des Gases und von der Maschinengröße. Er wird angegeben für die indizierte oder die effektive Leistung, und zwar in Kubikmetern für 1 Pferdestärke und für 1 Stunde. Bezogen auf die effektive Leistung beträgt der Gasverbrauch bei Maschinen von ungefähr 5—100 Pferdestärken für Leuchtgas 0,68—0,35, Koksofengas 1—0,75, Fettgas 0,35—0,3, Kraftgas 3,6—2,3, Gichtgas 3,8—2,8 cbm. Diese Angaben gelten für annähernd volle Belastung der Maschinen. Bei abnehmender Beanspruchung wächst der Gasverbrauch.

Neben den gasförmigen Brennstoffen finden auch flüssige Brennstoffe, wie Petroleum, Benzin, Spiritus, Paraffinöl usw., Verwendung, die jedoch vor der Verbrennung verdampft werden; hierauf vollzieht sich der Kreisprozeß in der Maschine ebenso wie bei den mit gasförmigen Brennstoffen betriebenen Maschinen. Der Verbrauch beträgt an Petroleum 0,55—0,2 Liter, an Benzin 0,35 bis 0,25 Liter, an Rohspiritus 0,5—0,42 Liter für jede effektive Pferdestärke und Stunde.

Nach Vorstehendem verbraucht eine kleine Gasmaschine für die effektive Stundenpferdestärke etwa 0,6 cbm Leuchtgas. Wird der Heizwert des Leuchtgases zu 5000 WE angenommen, so sind das $0{,}6 \cdot 5000 = 3000$ WE. Anderseits entspricht aber eine Stundenpferdestärke einer Wärmemenge von 637 WE. Beides verglichen, ergibt einen thermischen Wirkungsgrad $\frac{637}{3000} = 0{,}212 =$ rund 21 Proz.

Es wird also etwa $^1/_5$ der im Brennstoff enthaltenen Wärmemenge in Arbeit umgesetzt, während der Rest verloren geht. An sich ist diese Wärmeausnutzung ungünstig, aber im Vergleich mit den Dampfmaschinen, bei denen etwa 10—17 Proz. der im Brennstoff aufgespeicherten Wärme in Arbeit umgesetzt werden, ist sie als gut zu bezeichnen. Denn der vorstehend berechnete Wirkungsgrad bezieht sich auf kleine Gasmaschinen und stellt sich bei den großen bedeutend besser. Wenn es trotzdem der Gasmaschine nicht gelungen ist, die Dampfmaschine aus dem Felde zu schlagen, so liegt das daran, daß der Erwerber der Maschine nicht nach deren thermischen Wirkungsgrade fragt, sondern danach, wie hoch die Kosten für die effektive Stundenpferdestärke sind. Hierin ist aber die Gasmaschine der Dampfmaschine nur für kleine Leistungen überlegen; bei größeren Leistungen ist, abgesehen von dem Betriebe mit Kraftgasanlage, Gicht- und Koksofengasen, die Dampfmaschine vorteilhafter. Die beiden letztgenannten Gasarten wurden früher zur Beheizung von Dampfkesseln verwendet; bei ihrer unmittelbaren Ausnutzung in Großgasmaschinen hat sich herausgestellt, daß zur Erzielung derselben Leistung nur der dritte Teil der Gase

aufgewendet zu werden braucht, der sonst zur Beheizung der Dampfkessel verbraucht wird. Es ist also hier die Aufstellung von Gasmaschinen bedeutend vorteilhafter als die von Dampfmaschinen.

Da die Gasmaschine der Dampfmaschine für kleine Leistungen überlegen ist, ist sie besonders für Kleinbetriebe geeignet. Ein weiterer Vorteil liegt in den niedrigeren Anschaffungskosten. Nicht nur fällt die gesamte Kesselanlage fort, auch der Raum für diese sowie der Heizer werden gespart. Ferner ist sie stets betriebsbereit; ein Dampfkessel, der erst angeheizt werden müßte, ist nicht vorhanden, wenige Handgriffe genügen, um sie in und außer Betrieb zu setzen. Betriebspausen werden bei ihr weniger störend empfunden als bei der Dampfmaschine, da der hierbei entstehende Wärmeverlust nahezu Null ist. Anderseits ist ein Nachteil der Gasmaschine, daß sie ohne besondere Hilfsmittel nicht anläuft. Viel wichtiger und oft für die Wahl zwischen Gasmaschine und Dampfmaschine ausschlaggebend ist der Umstand, daß die Leistung der ersteren nicht annähernd in gleichem Maße steigerungsfähig ist wie die der letzteren. Bei einem vorübergehend größeren Kraftverbrauch als normal oder bei einer Betriebsvergrößerung ist bei der Dampfmaschine eine Erhöhung der Leistung in weiten Grenzen sehr einfach durch Vergrößerung der Zylinderfüllung zu erreichen. Bei der Gasmaschine ist dagegen nur eine verhältnismäßig geringe Steigerung der Leistung möglich. Schließlich erfordert die Gasmaschine trotz ihrer Einfachheit wegen der hohen Temperaturen, die in ihr vorkommen, eine sorgfältigere und sachgemäßere Bedienung.

Hinsichtlich der Bezeichnung und Einteilung der Verbrennungsmaschinen sind die mannigfaltigsten Vorschläge gemacht worden. Am einfachsten erscheint das nachstehende, von v. Ihering aufgestellte Schema.

A. Maschinen mit hin und her gehendem Arbeitsaufnehmer oder Hubmaschinen.
  I. Verpuffungsmaschinen.
    1. Viertaktmaschinen.
      a) ohne Verdichtung der Ladung,
      b) mit Verdichtung der Ladung.
    2. Zweitaktmaschinen.
    3. Sechstaktmaschinen.
  II. Gleichdruckmaschinen.
    1. Viertaktmaschinen.
    2. Zweitaktmaschinen.

B. Maschinen mit umlaufendem Arbeitsaufnehmer oder Kreiselmaschinen.
  I. Verbrennungsmaschinen mit einem oder mehreren umlaufenden Kolben.
  II. Verbrennungsturbinen.

Von diesen Maschinen haben die weitaus größte Bedeutung die Hubmaschinen, und es sei daher im wesentlichen nur auf diese eingegangen.

Das gebräuchlichste Arbeitsverfahren ist der in den Fig. 194—202 erläuterte *Viertaktprozeß*, bei dem während zweier Kolbenhin- und -hergänge nur innerhalb eines einzigen Kolbenhinganges Arbeit auf den Kolben übertragen wird. Die vollständige Arbeitsperiode einer Zylinderseite der *Viertaktmaschine* verlangt also zwei Kurbelumdrehungen. Während des ersten Taktes, des Saughubes, bewegt sich der Kolben durch die Wirkung des Schwungrades in der Pfeilrichtung (Fig. 195) und saugt durch das Einlaßventil, das durch die Saugwirkung oder eine mechanische Steuerung geöffnet wird, das Gasgemisch an, bis der Zylinder damit gefüllt ist (Fig. 196). Der vor Anfang des Saughubes zwischen Kolben und Zylinderboden befindliche Raum wird Laderaum der Maschine genannt. Er ist, wenn sich das Einlaßventil öffnet, mit heißen Auspuffgasen gefüllt, die einerseits das anzusaugende Gemisch verdünnen, es anderseits aber erwärmen und hierdurch eine innigere Mischung und Verbesserung der Zündfähigkeit bewirken. Im Diagramm (Fig. 194) ist dieser Takt durch die Linie 1—2 versinnbildlicht. Bei dem nun folgenden zweiten Takte, dem Kompressionshube, sind Ein- und Auslaßventil geschlossen, so daß das eingeschlossene Gasgemisch von dem durch das Schwungrad rückwärts getriebenen Kolben komprimiert wird (s. Fig. 197 und 198 und im Diagramm Linie 2—3). Wie auseinandergesetzt, ist eine hochgetriebene Verdichtung für den Wirkungsgrad der Maschine

von großem Vorteil, doch darf diese nicht so weit getrieben werden, daß infolge der Kompressionswärme eine vorzeitige Selbstentzündung eintritt, da der hierdurch hervorgerufene heftige Stoß auf das Maschinengestänge dem Kolben entgegenwirkt und sogar zu einer Zerstörung der Maschine führen kann. Verdünntere Gasgemische und Brennstoffe von geringerem Heizwert erfordern höhere Verdichtung, die durch geeignete Bemessung des Laderaumes erreicht wird.

Der dritte Takt (Fig. 199 und 200) wird durch die im inneren Totpunkt erfolgende Entzündung des Gasgemisches eingeleitet; diese findet entsprechend der Kolbengeschwindigkeit und der Zündfähigkeit des Gemisches schon etwas vor dem inneren Hubwechsel statt, um rechtzeitige Spannungssteigerung zu bewirken. Die Verbrennung erfolgt zwar rasch, aber nicht explosionsartig und wird daher auch besser nicht als Explosion, sondern als *Verpuffung* bezeichnet. Wie aus der die Verbrennung darstellenden Linie 3—4 des Diagramms (Fig. 194) hervorgeht, erfolgt die Verbrennung nicht in unmeßbar kurzer Zeit; denn diese Linie ist ein wenig nach rechts geneigt, deutet also an, daß während des Verbrennungsvorganges eine Volumenvergrößerung stattgefunden hat, daß also eine wenn auch nur sehr kleine Zeit hierbei verstrichen ist. Gleichzeitig mit der Verpuffung tritt eine erhebliche Erhöhung der Spannung ein und im Anschluß hieran eine Expansion der heißen Verbrennungsgase (Linie 4—5 des Diagramms), bis kurz vor dem äußeren Totpunkte 6 bei 5 der Auspuff geöffnet wird. Der dritte Takt ist der einzige während des ganzen Verfahrens, bei dem Arbeit geleistet wird. Während des vierten Taktes (Fig. 201—202 und Linie 6—1 im Diagramm) tritt schon wieder die lebendige Kraft des Schwungrades in Tätigkeit und schiebt die expandierten Gase durch das geöffnete Auslaßventil in die Auspuffleitung.

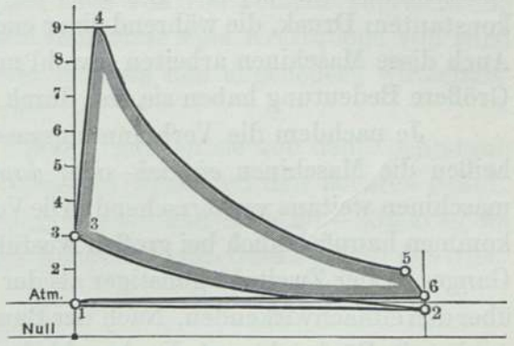


Fig. 194. Diagramm der Viertaktmaschine.

Die Viertaktmaschinen werden meist einfachwirkend ausgebildet. Dieses und der Umstand, daß auf zwei Umdrehungen der Kurbelwelle nur während eines Kolbenhinganges eine Kraftwirkung auf den Kolben ausgeübt wird, haben zur Folge, daß sich während der übrigbleibenden 1½ Umdrehungen der Kurbelwelle der Gang der Maschine verlangsamt. Diesem Übelstande begegnet man durch die Anordnung entsprechend schwerer Schwungräder sowie durch die Vereinigung mehrerer auf eine Kurbelwelle arbeitender Viertaktmaschinen derart, daß deren Arbeitshübe gegeneinander versetzt sind.

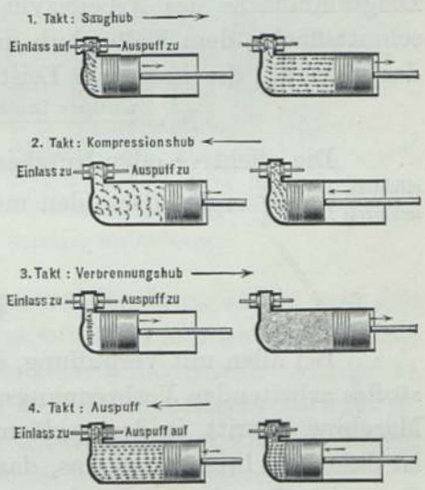


Fig. 195—202. Arbeitsverfahren der Viertaktmaschine.

Gleichmäßiger gestaltet sich der Gang bei den *Zweitaktmaschinen*, bei denen die vollständige Arbeitsperiode einer Zylinderseite nur eine Kurbelumdrehung, also zwei Kolbenhübe, erfordert. Der Zweitakt kann als ein auf mehrere Zylinder verteilter Viertakt angesehen werden, bei dem das Ansaugen und Vorverdichten (oder auch die volle Verdichtung) von Gas und Luft bzw. des Gemisches in einer getrennten Pumpe, der Ladepumpe, erfolgt. Nach der Zündung findet wie beim Viertaktverfahren eine Expansion statt, worauf kurz vor Erreichung des Totpunktes der Auspuff geöffnet wird. Gleichzeitig wird in den Zylinder unter Überdruck reine Luft *(Spül-* oder *Fegeluft)* geleitet, welche die Verbrennungsprodukte austreibt. Hinter dieser Luft tritt meist durch dasselbe Ventil das verdichtete Gemisch in den Zylinder; es wird durch den zurückkehrenden Kolben weiter verdichtet und in den Laderaum geschoben, in dem hierauf die Entzündung stattfindet. Diese Maschine ergibt dem Viertakt gegenüber bei doppeltem Gasverbrauch eine 75—95 Proz. höhere Leistung, läuft aber langsam und ist in der Ausführung teurer.

Weniger gebräuchlich als Vier- und Zweitakt ist der *Sechstakt*. Von dem Viertakt unterscheidet sich dieser nur durch Hinzufügung zweier weiterer Takte, während welcher reine Luft angesaugt und wieder ausgetrieben wird. Zweck der letzten beiden Takte ist eine möglichst vollkommene Austreibung der Verbrennungsprodukte, die jedoch durch einen ungleichmäßigen Gang der Maschinen erkauft wird, weshalb diese Maschinen auch nur selten anzutreffen sind.

Während bei allen vorstehend beschriebenen Arbeitsverfahren die Verbrennung bei konstantem Volumen vor sich geht, ist das Merkmal der *Gleichdruckmaschine* eine Verbrennung bei konstantem Druck, die während einer endlichen meßbaren, wenn auch nur kleinen Zeit stattfindet. Auch diese Maschinen arbeiten sowohl nach dem Viertakt- als auch nach dem Zweitaktverfahren. Größere Bedeutung haben sie erst durch den Dieselmotor erlangt.

Je nachdem die Verbrennungsgase nur auf einer oder beiden Kolbenseiten Arbeit leisten, heißen die Maschinen *einfach-* oder *doppeltwirkend*. Bis jetzt sind einfachwirkende Viertaktmaschinen weitaus vorherrschend. Die Vorteile des Zweitaktes und der doppeltwirkenden Zylinder kommen hauptsächlich bei großen Ausführungen zur Geltung. Bezüglich der Gleichförmigkeit des Ganges ist der Zweitakt günstiger als der Viertakt, ebenso die doppeltwirkenden Maschinen gegenüber den einfachwirkenden. Nach der Bauart sind zu unterscheiden *liegende* und *stehende* Maschinen, sowie mit Rücksicht auf die Anzahl der Arbeitszylinder *Ein-* und *Mehrzylindermaschinen*.

Die Leistung einer Gasmaschine wird in ähnlicher Weise wie bei der Dampfmaschine bestimmt. Ein mittels des Indikators erhaltenes Diagramm gibt Aufschluß über die einzelnen Vorgänge im Arbeitszylinder. Aus diesem läßt sich ein Mittelwert für den Druck, der während einer Arbeitsperiode auf den Kolben ausgeübt wird, feststellen. Bei den Maschinen, die mit besonderen Ladepumpen arbeiten (Zweitaktmaschinen), werden hierbei vorher deren Diagrammflächen von der Diagrammfläche des Arbeitszylinders abgezogen. Aus dem mittleren Druck, der Kolbenquerschnittsfläche, dem Kolbenhub und der Umdrehungszahl berechnet sich unter Berücksichtigung der Taktzahl die indizierte Leistung N_i der Maschine, und zwar ist

$$N_i = \frac{\text{mittlerer Druck} \times \text{Kolbenquerschnittfläche} \times \text{Hub} \times \text{Zündungen in der Minute}}{60 \cdot 75}$$

Die effektive oder Nutzleistung kann durch Bremsung ermittelt werden. Das Verhältnis $\frac{\text{effektive Leistung}}{\text{indizierte Leistung}}$ ergibt dann den mechanischen Wirkungsgrad.

B. Die Betriebsstoffe.

Bei allen mit Verpuffung, d. h. mit annähernd augenblicklicher Verbrennung, des Betriebsstoffes arbeitenden Verbrennungsmaschinen muß der Betriebsstoff, bevor er in den Zylinder der Maschine eintritt, in den gasförmigen Zustand übergeführt werden. Der eigentliche Kraftträger ist daher ein brennbares Gas, das mit dem Sauerstoff der Luft ein explosibles Gemisch bildet. Derartige Gase kommen schon in der Natur gebrauchsfertig als *Erdgas* vor. Das Erdgas findet sich in großen Mengen als Begleiter von Petroleumlagern hauptsächlich im Kaukasus und in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Im Kaukasus wird es schon seit uralter Zeit technisch verwertet, in Amerika wird es außer zu Beleuchtungs- und Heizzwecken besonders im Kraftbetriebe benutzt. In neuerer Zeit sind auch in England und in allerjüngster Zeit auch in Deutschland sehr ergiebige Erdgasquellen erbohrt worden. Das Erdgas besteht zu ungefähr 90 Proz. aus leichten Kohlenwasserstoffen und eignet sich besonders für die Verwendung in Kraftmaschinen; in Amerika baut man Maschinen von 500—1000 PS, die mit Erdgas betrieben werden.

Nächst den Naturgasen kommen für den Betrieb der Gasmaschinen und besonders der Großgasmaschinen die als Nebenprodukte bei Hütten- und Steinkohlenwerken entstehenden Gase in Betracht. Es sind dies die *Hochofengichtgase* und die *Koksofengase*. Die aus der Gichtöffnung der Hochöfen abziehenden Gase enthalten etwa 26—30 Volumprozent Kohlenoxyd, kleinere Mengen von Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen, 7—10 Proz. Kohlensäure und im übrigen hauptsächlich Stickstoff. Diese Gase wurden schon seit langer Zeit außer zur Erhitzung des Hochofenwindes auch

unter Mischung mit Luft zur Beheizung der Dampfkessel des Hochofenwerkes verwendet; man erkannte jedoch bald, daß sie mit ihrem geringen Heizwert von nur 900—950 WE vorzüglich zur unmittelbaren Krafterzeugung in Gasmaschinen geeignet sind, und daß man bei dieser unmittelbaren Verwendung der Gase als Kraftgas etwa das 2,5—3fache der bei der Dampferzeugung erzielten Leistung kostenlos erhalten kann. Da bei einem Hochofen für jede erzeugte Tonne Roheisen nach Abzug aller Verluste und des Verbrauches für die Winderhitzung noch 2500 cbm Gas für Kraftzwecke übrigbleiben, so ergibt dies für einen Ofen von 150 Tonnen Tagesleistung bei einem Verbrauch von 3 cbm Gichtgas für die Pferdestärkenstunde eine Kraftquelle von rund 5200 PS für Maschinenbetrieb. Hieraus ersieht man ohne weiteres den ungeheuern wirtschaftlichen Nutzen der Großgasmaschinen für die Hüttenwerke.

Um die Gichtgase in den Maschinen benutzen zu können, müssen sie von dem Gichtstaub befreit werden, der ihnen anhaftet. Man unterscheidet den schweren und den leichten Staub. Den schweren, der aus dem Abrieb von Erzen und Zuschlag besteht und etwa 20—30000 kg im Tage für einen Hochofen beträgt, führt man soviel wie möglich wieder in den Ofen zurück; den leichten, der hauptsächlich Alkalisalze, Zink- und Manganoxyde und auch Koksstaub enthält, muß man für sich auffangen. Nach der Trockenreinigung enthält 1 cbm Gas noch etwa 7—10 g Staub. Durch nasse Reinigung kann man bequem von 10 auf 1 g, durch vollkommene Reinigung sogar auf 0,1 g zurückkommen. Für die Reinigung der Gase sind Vorrichtungen der verschiedensten Bauart vorgeschlagen worden. In Fig. 203 ist ein derartiger Reiniger dargestellt. Die Gase gelangen aus dem Ofen 1 durch zwei Rohre 2 in den Trockenreiniger 3, in dem sich der schwere Staub absetzt. Von hier aus werden sie durch ein Rohr 4 in den Naßreiniger geführt, der aus drei Einzelreinigertürmen 5 besteht. Die Gase werden durch Rohre 7 in den untersten Teil jedes Reinigers geführt und steigen, entgegen einem von oben kommenden Wasserstrom, durch Holzeinlagen nach oben, wo sie schließlich durch ein Rohr 8 mit Wasserverschluß 11 abgeführt werden. Das Rohr 8 ist durch ein Rohr 9 mit dem Schleudergebläse 10 verbunden, welches das Gas in die Maschine drückt. Der Staub wird den trichterförmigen unteren Enden der Kühltürme entnommen und mittels in die Räume 6 gebrachter Wagen fortgeschafft.

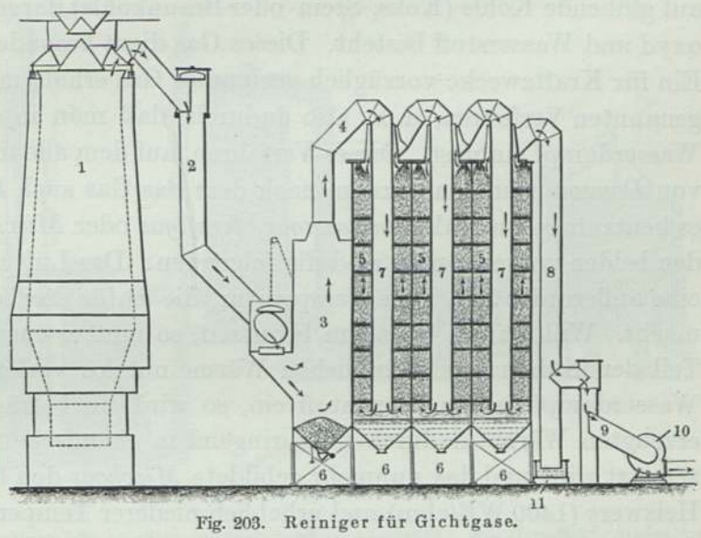


Fig. 203. Reiniger für Gichtgase.

Zur künstlichen Herstellung von Gasen für die Verbrennungsmaschinen lassen sich alle in der Natur vorkommenden organischen Stoffe verwenden, aus denen infolge ihrer Zusammensetzung aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff durch Erhitzung brennbare Gase entwickelt werden können. Bis vor kurzem wurde das aus den Steinkohlen durch trockene Destillation hergestellte *Steinkohlengas* oder *Leuchtgas* hauptsächlich für den Betrieb der Gasmaschinen verwendet. Es besteht aus Wasserstoff, leichten und schweren Kohlenwasserstoffen und Kohlenoxyd und hat die Eigenschaft, sich rasch und innig mit der Luft zu verbinden, eine Eigenschaft, auf der besonders die Möglichkeit beruht, das Leuchtgas für Kraftmaschinen zu verwenden. Hierzu kommt noch, daß es, mit Luft im richtigen Verhältnis gemischt, bei der Entzündung augenblicklich verbrennt, d. h. verpufft. Die Höhe der durch die Verpuffung entstehenden Temperatur und Spannung richtet sich nach dem Verhältnis, in dem Luft und Gas gemischt sind. Das beste Mischungsverhältnis ist nach Clerk 1 Teil Gas auf 5 Teile Luft; bei diesem Verhältnis erhält man einen Überdruck von 6,37 Atmosphären, eine Verpuffungstemperatur von 1812° C und eine Verpuffungszeitdauer von 0,055 Sekunde.

Neben den großen Vorteilen, die das Leuchtgas für Kraftzwecke bietet, ist als Übelstand zu nennen, daß die Maschine, in der das Gas verwendet werden soll, stets an die Gasanstalt bzw. die Gasleitung selbst gebunden ist; denn da die Gasbereitung nur im Großbetrieb rentabel ist, bleibt es ausgeschlossen, daß jeder Maschinenbesitzer sich sein Gas selbst bereitet. Eine Verwendung der Gasmaschine als von Ort bewegliche Maschine war daher unmöglich.

Aus dem Bestreben, diese Abhängigkeit zu beseitigen, kam man zu der Erfindung des *Generatorgases*, eines Gases, das im Kleinbetrieb hergestellt und dem Leuchtgas in bezug auf Kraftzwecke ebenbürtig an die Seite gestellt werden kann. — Erhitzt man Kohle und leitet in die glühende Masse Luft in genügender Menge, so entsteht Kohlensäure, ein nicht brennbares Gas. Ist aber der Zutritt der Luft ein ungenügender, so entsteht das sauerstoffärmere, giftige, aber brennbare Kohlenoxydgas, das für Kraftzwecke verwendbar ist. Man nennt dieses Gas auch *Luftgas* oder *Siemensgas*. Wegen der hohen Temperatur, mit der es aus dem Erzeuger kommt, und wegen seines geringen Heizwertes (nur etwa 800 WE auf 1 cbm) ist es aber für Kraftzwecke wenig geeignet. Als Ersatz dafür diente das *Wassergas*, das durch Einwirkung von Wasserdampf auf glühende Kohle (Koks, Stein- oder Braunkohle) dargestellt wird und hauptsächlich aus Kohlenoxyd und Wasserstoff besteht. Dieses Gas dient besonders zur Heizung, seltener zu Kraftzwecken. Ein für Kraftzwecke vorzüglich geeignetes Gas erhält man durch die Vereinigung der beiden vorgenannten Verfahren, d. h. also dadurch, daß man in die glühende Kohle sowohl Luft als auch Wasserdampf einbläst. Dieses Verfahren, auf dem alle modernen Generatorenbetriebe beruhen, ist von *Dowson* erfunden worden, nach dem das Gas auch *Dowsongas* genannt wird. Man bezeichnet es heutzutage kurz als *Generatorgas*, *Kraftgas* oder *Mischgas*. Die Vorteile dieses Gases gegenüber den beiden vorgenannten sind die folgenden: Das Luftgas hat, wenn es aus dem Erzeuger kommt, eine außerordentlich hohe Temperatur, die es für die Verwendung in Kraftmaschinen ungeeignet macht. Will man es trotzdem benutzen, so muß es energisch abgekühlt werden, wobei ein großer Teil der in dem Gas befindlichen Wärme nutzlos verloren geht. Führt man dagegen auch noch Wasserdampf in den Brennstoff ein, so wird ein beträchtlicher Teil der bei der Luftgasbildung erzeugten Wärme dadurch nutzbringend in chemische Energie umgesetzt, daß der Wasserdampf zersetzt wird und das nunmehr gebildete *Mischgas* den Gaserzeuger mit einem wesentlich höheren Heizwert (1400 WE/cbm) und erheblich niederer Temperatur verläßt (nicht mehr als 500°). Auch der Gehalt des Gases an Wasserstoff bietet für die Verwendung in Kraftmaschinen verschiedene Vorzüge. So liegt z. B. die Entzündungstemperatur des Wasserstoffes bedeutend niedriger als die des Kohlenoxyds; die Verpuffungsgeschwindigkeit ist bei Außenluftdruck für Wasserstoff 30mal größer als für Kohlenoxyd, auch ist die Diffusionsgeschwindigkeit des Wasserstoffes erheblich größer als die des Kohlenoxyds usw. Vor allem kommt aber hinzu, daß die Generatoren verhältnismäßig einfach und kompendiös sind, so daß sie überall ohne allzu große Kosten erbaut werden können, bei erhöhter Rentabilität des Einzelbetriebes. Der Generator kann unmittelbar neben der Maschine errichtet werden, so daß lange Rohrleitungen vermieden werden; seine Wartung ist sehr einfach. Schließlich kann jede Art von organischen Stoffen in den Generatoren verwendet werden. — Das Kraftgas ist ein farbloses, fast geruchloses, sehr giftiges Gas, das angezündet mit nichtleuchtender bläulicher Flamme verbrennt. Die Wärmeausnutzung bei der Herstellung ist eine ganz vorzügliche, da sich von dem Wärmevermögen des im Generator verwendeten Brennstoffes gegen 85 Proz. in dem erzeugten Gase wiederfinden, während das Wärmevermögen des Leuchtgases im Mittel nur 20 Proz. des Wärmevermögens der vergasten Kohle beträgt. 1 kg Anthrazit liefert 4,5 cbm Kraftgas mit einem mittleren Heizwert von etwa 1300 WE/cbm. Bei dem aus Koks hergestellten Gas beträgt der Heizwert nur etwa 1100 WE/cbm. Die Kraftgaserzeugung stellt sich nicht nur bei kleinen, sondern auch bei großen Anlagen billiger als eine entsprechende Dampfkesselanlage.

Gasgeneratoren.

Die Erzeugung des Gases erfolgt in Druckgas- oder in Sauggasgeneratoren. In den *Druckgasgeneratoren* können nur Anthrazit und Koks vergast werden, bei den *Sauggasgeneratoren*

auch andere Brennstoffe, sobald durch die Bauart und Einrichtung des Generators dafür gesorgt wird, daß die schweren Kohlenwasserstoffe, die teer- und paraffinhaltigen Bestandteile den Generator in gasförmigem Zustande verlassen. Der Unterschied zwischen den beiden Erzeugungsarten besteht darin, daß bei dem Druckgasgenerator die Verbrennungsluft mittels eines Dampfstrahles in den Generator *hineingedrückt* wird, während sie bei dem Sauggasgenerator durch die Gasmaschine bei jedem Saughub in den Generator *hineingesaugt* wird.

Fig. 204 zeigt einen Druckgasgenerator der *Gebr. Körting*. Der Generator 1 ist ein Schachtofen, der unten mit einem Planrost und oben mit einem Fülltrichter mit Doppelverschluß versehen ist. Der Dampf wird im Dampfkessel 2 erzeugt und durch Rohr 3 zu dem Injektor 4 geführt, der die erforderliche Luft aus dem Luftvorwärmer 8 ansaugt und sie unter den Rost drückt. Luft und Dampf dringen durch die glühende Anthrazit- oder Koksschicht im Generator, wobei das Kraftgas gebildet wird. Das Gas verläßt den Ofen durch Rohr 5, das durch den Luftvorwärmer 8 und den Speisewasservorwärmer 9 geführt ist und unten in den Skrubber oder Rieseler 11 einmündet. Der Skrubber zum Reinigen des Gases besteht aus einem Blechzylinder, in dem sich auf einem Rost eine hohe Koksschicht befindet. Diese wird von oben mit Wasser berieselt, während das Gas in den teilweise mit Wasser gefüllten Unterteil des Skrubbers eintritt und die Koksschicht von unten nach oben durchstreicht, wobei es gleichzeitig gereinigt und gekühlt wird; schon in den beiden Vorwärmern hatte es einen Teil seiner Wärme abgegeben. Aus dem Skrubber gelangt das Gas durch Rohr 12 in den Sägespänreiniger 13, in den es von unten eintritt. Es durchstreicht in diesem mehrere auf Gittern ausgebreitete Sägespänschichten und gelangt schließlich durch Rohr 14 in den Gasdruckregler 15, aus dem es durch Rohr 16 zur Maschine geführt wird. Der Regler ist ein mit Wasser gefülltes Gefäß, in das eine oben geschlossene Glocke hineingehängt ist, die je nach dem Gasdruck mehr oder weniger tief eintaucht. Das Auf- und Abbewegen der Glocke wird zur Regelung der Gaserzeugung benutzt, indem mittels eines Kettenzuges 10 ein in der Dampfleitung 3 angeordnetes Drosselventil mehr oder weniger geschlossen und dadurch die Luft- und Dampfzuführung zum Generator geregelt wird. Beim Inbetriebsetzen des Generators läßt man die zunächst entstehenden, zum Motorbetrieb unbrauchbaren Gase durch Abzugsrohr 6 bei geöffnetem Ventil 7 entweichen. Dann wird letzteres geschlossen, und die Anlage ist betriebsbereit. Der Hauptnachteil des Druckgenerators ist der, daß er zu seinem Betrieb wieder einen kleinen Dampfkessel erfordert; gerade in dem Fortfall des Dampfkessels bestand aber der Hauptvorzug der Gasmaschine gegenüber der Dampfmaschine. Der Kessel ist gewöhnlich mit Überhitzer versehen und bedarf daher sorgfältiger Wartung; außerdem verbrennt er Kohlen, die auf diese Weise, wie bekannt, sehr unvorteilhaft ausgenutzt werden. Man kam daher darauf, die in dem Skrubber ungenutzt verloren gehende Wärme des Gases zur Dampferzeugung zu benutzen, und verlegte deshalb den Dampferzeuger in den Generator selbst, derart daß die abziehenden heißen Gase den Dampferzeuger umspülten. Gleichzeitig versuchte man, die Gaserzeugung von der Maschinenleistung selbst dadurch abhängig zu machen, daß man den Saugabschnitt der Viertaktmaschine dazu verwendete, die zur Vergasung nötige Luft von der Maschine durch den Gaserzeuger hindurchsaugen zu lassen. Die Vorteile der Sauggeneratoren gegenüber den

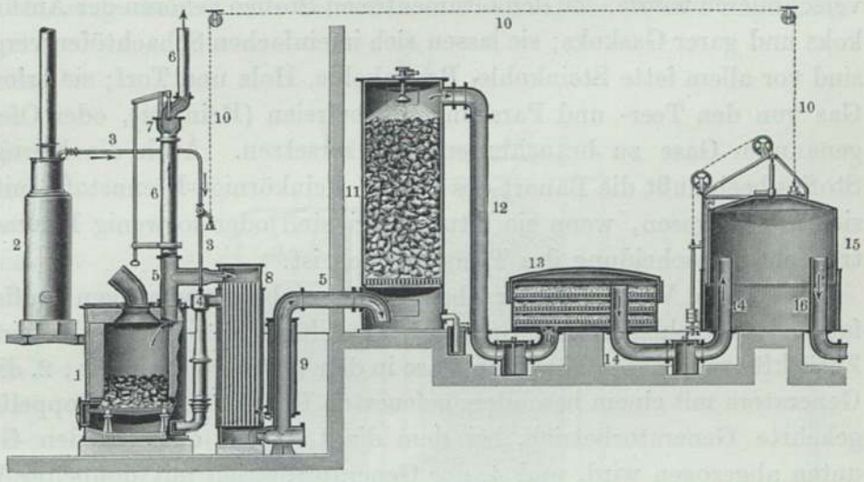


Fig. 204. Druckgasgenerator.

Druckgeneratoren sind so erhebliche, daß jene die letzteren wohl bald ganz verdrängen werden. Die Sauganlage ist bedeutend einfacher, da Dampfkessel, Dampfstrahlgebläse, Gasregler und häufig auch der Sägespänereiniger fortfallen. Da ferner in der Anlage stets ein Unterdruck herrscht, so ist die Gefahr des Ausströmens der giftigen Gase sehr gering; denn infolge der Luftverdünnung wird bei etwaigen Undichtigkeiten Luft *in* den Erzeuger strömen, statt daß Gas austritt. Ein weiterer Vorteil ist, wie schon angedeutet, der, daß die Gaserzeugung unmittelbar abhängig ist von der wechselnden Maschinenleistung. Je weniger die Maschine Arbeit leistet, um so weniger Gas erzeugt sie; bei gesteigerter Maschinenleistung steigert sich auch selbsttätig die Menge des erzeugten Gases.

In den Sauggasgeneratoren lassen sich alle organischen Stoffe für die Gasbereitung verwerten; selbstverständlich hängt aber die Bauweise des Generators ganz und gar von dem zu verarbeitenden Brennstoff ab. Man muß hierbei unterscheiden zwischen bitumenfreien und bitumenhaltigen Brennstoffen, denn letztere ergeben bei der Vergasung ein stark teerhaltiges Gas, das ohne weiteres in den Maschinen nicht zu verwenden ist, da es die Maschine in kürzester Zeit verschmieren würde. Zu den bitumenfreien Stoffen gehören der Anthrazit, die Holzkohle, Hüttenkoks und garer Gaskoks; sie lassen sich in einfachen Schachtöfen vergasen. Bitumenhaltige Stoffe sind vor allem fette Steinkohle, Braunkohle, Holz und Torf; sie erfordern Vorrichtungen, die das Gas von den Teer- und Paraffingasen befreien (Reiniger), oder Ofenkonstruktionen, welche die genannten Gase zu brauchbarem Gas zersetzen. Auch die Korngröße des zu verbrennenden Stoffes beeinflußt die Bauart des Ofens. Feinkörnige Brennstoffe mit unter 8 mm Körnung lassen sich nur vergasen, wenn sie bitumenfrei sind oder so wenig Bitumen enthalten, daß die nachträgliche Ausscheidung des Teers möglich ist.

Für die Vergasung der obengenannten bitumenhaltigen Stoffe sind vier verschiedene Verfahren vorgeschlagen und praktisch ausgeführt worden: 1. der einfache Generatorbetrieb mit Zurückführung der teerhaltigen Gase in den Verbrennungsraum; 2. die Verbindung eines einfachen Generators mit einem besonders gefeuerten Reduktionsofen (Doppelfeuergeneratoren); 3. der umgekehrte Generatorbetrieb, bei dem die Luft von oben in den Generator tritt und das Gas unten abgezogen wird, und 4. der Generatorbetrieb mit doppelter Verbrennung, wobei in demselben Generator Luft von oben und von unten eingeführt und das Gas dazwischen abgeführt wird. Außer diesen Verfahren sind noch viele andere vorgeschlagen worden. Über die Güte der Vergasung gibt die nachstehende Tabelle Aufschluß, der ein stündlicher Verbrauch der Gasmaschine von 2500 WE für die effektive Pferdestärke zugrunde gelegt ist.

Brennmaterial	Durchschnittlicher Heizwert des Brennstoffes pro Kilogramm	Garantierter Nutzeffekt der Generatoren in Prozent	Pro Kilogramm Brennstoff in Gasform erzeugte WE	Brennstoffverbrauch pro eff. Pferdestärke in Kilogramm	Brennstoffverbrauch pro 1000 WE des erzeugten Gases in Kilogramm	Unterer Heizwert des erzeugten Gases pro cbm
I.						
Anthrazit	7500—8000	80	6000—6400	0,39—0,42	0,16—0,17	1200
Koks	6000—7500	75—80	4500—6000	0,42—0,56	0,17—0,23	1100
II.						
Braunkohlen	3500—5000	50—70	1750—3500	0,72—1,43	0,28—0,57	1000
Braunkohlenbriketts	4300—5000	70—75	3010—3750	0,67—0,835	0,27—0,34	1100—1200
Torf.	3000—3500	50—70	1500—2275	1,1 —1,67	0,44—0,67	900—1000
Holz	3000—4500	50—65	1500—2925	0,86—1,67	0,34—0,67	900—1000
III.						
Steinkohlen	6500—7500	65—75	4225—5250	0,48—0,59	0,2 —0,24	950—1000
IV.						
Anthrazitgrus . . .	7000—7500	55—65	3850—4875	0,51—0,65	0,2 —0,26	1100—1200
Koksgrus, Koksasche	5000—6500	50—60	2500—3900	0,64—1,00	0,26—0,40	1000—1100
Rauchkammerlösche	5000—6000	50—60	2500—3600	0,7 —1,00	0,28—0,40	1000—1100

Endlich erfordert auch die Verwertung sehr aschenreicher Brennstoffe, wie z. B. der Stoffe der Wasch- und Klaubeberge der Steinkohlenwerke, eine besondere Beachtung, da ihre Beseitigung für die Werke von großem Wert ist, und da sie neben einem Gehalt von 50—60 Proz. Asche noch einen Kohlenstoffgehalt von 30 Proz. enthalten, der eine Verarbeitung auf Gas verdient. Es ist dem Bergrat *Jahns* in Von der Heydt bei Saarbrücken gelungen, hieraus ein zu Heiz- und Kraftzwecken brauchbares Gas herzustellen. Er benutzte hierfür den von ihm erfundenen, aus vier einzelnen Öfen bestehenden Ringofen, der einen ununterbrochenen Betrieb gestattet, indem die vier Öfen untereinander abwechseln. Bei einem Kammerinhalt von 4 t vergast die Anlage täglich 80—90 t Klaubeberge, die einen Heizwert von etwa 2200 WE haben, von denen etwa 1900 im Gas ausgebracht werden. Man sieht hieraus, daß jeder organische Stoff im Generatorofen auf Gas hin verwertet werden kann, selbst der Hausmüll, dessen Gas aber bis jetzt nur für die Dampfkesselfeuerung ausgenutzt wird.

Im folgenden seien einige typische Generatoranlagen näher beschrieben.

Fig. 205 zeigt eine Anlage für Anthrazit und Koks der A.-G. Görlitzer Maschinenbau-Anstalt und Eisengießerei. Die Anlage besteht aus Schachtofen 1, Skrubber 15 und Sägespänereiniger 19. Auf dem Oberteil des Schachtofens 1 ist der Verdampfer 4 angeordnet, durch den der Füllrumpf hindurchragt. Auf dem Füllrumpf sitzt der Einfülltrichter 7, der oben durch einen Deckel 9 und unten durch einen konischen Boden 8 verschlossen werden kann. Der Brennstoff wird in den Trichter 7 eingefüllt, dann Deckel 9 verschlossen und Boden 8 geöffnet. Infolge der konischen Form des Bodens fällt der Brennstoff mehr an den Umfang des Ofens. Der mit Wasser gefüllte Verdampferraum 4 steht mit der Außenluft durch Rohrstutzen 6 in Verbindung, durch den die Luft beim Saughub des Motors in den Verdampfer hineingesaugt wird, wo sie sich mit dem Wasserdampf mischt und durch das Rohr 5 in den Raum 2 unter den Rost geführt wird. Das Dampf-Luftgemisch durchstreicht den glühenden Brennstoff 3, wobei Kohlenoxyd und Wasserstoff entsteht. Das Gas tritt durch Stutzen 10 aus dem Ofen aus und gelangt durch Rohr 13 mit Absetztopf 14 in den Skrubber 15, den es von unten nach oben durchstreicht, wobei es durch das durch die Brause 16 eingespritzte Wasser gekühlt und gereinigt wird. Oben tritt es aus dem Skrubber heraus und wird durch Rohr 17 zum Sägespänereiniger 19 und durch Rohr 20 zur Maschine geführt. Durch ein Rohr 18 wird der Brause 16 das erforderliche Wasser zugeführt. Das Rohr 13 kann gegen den Stutzen 10 durch ein Ventil 11 abgeschlossen werden, das hierbei eine Verbindung zwischen dem Stutzen 10 und dem Abzugsrohr 12, das ins Freie führt, herstellt. Beim Anheizen ist Rohr 13 abgesperrt; bei der Gaserzeugung hat das Ventil die gezeichnete Stellung. Während des Anheizens wird die zur Verbrennung erforderliche Luft durch einen nicht dargestellten Bläser, der bei kleineren Anlagen von Hand, bei größeren motorisch angetrieben wird, zugeführt. Die Asche wird durch den mit Wasser gefüllten Schacht 21 abgeführt.

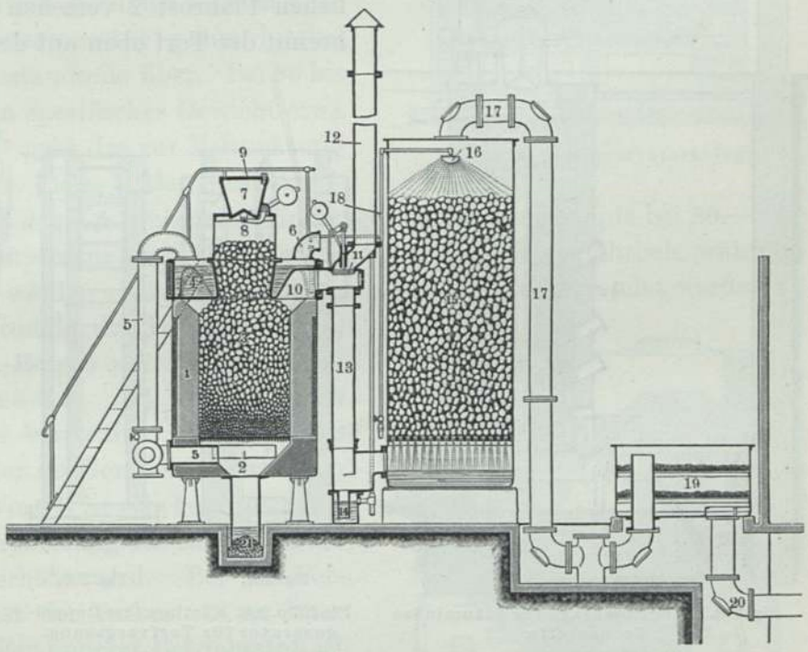


Fig. 205. Generatorgas-Anlage für Anthrazit und Koks.

Der in Fig. 206 dargestellte Generator der A.-G. Görlitzer Maschinenbau-Anstalt dient zur Vergasung bituminöser Brennstoffe, besonders von Torf und Holz. Dieser Ofen besitzt keinen

Rost, sondern einen Wasserverschluß 4, in den die Asche gelangt und dessen Wasser dadurch zum Teil verdampft wird. Der eiserne Mantel des Schachtes 1 läßt einen Raum zwischen sich und der Ofenwand frei, durch den Luft hindurchstreichen kann; diese tritt durch die hohlen Füße 5 ein und gelangt bei 3 oder von oben her in den Brennraum. Die weitere Luftzuführung geschieht durch das Rohr 6, das von unten in den Ofen eintritt und unter einer in der Mitte des Ofens befindlichen Prallplatte 9 ausmündet. Die Luft geht um die Platte 9 herum und gelangt durch einen gemauerten Kanal 11 in den oberen Teil des Ofens, wo sie durch Öffnungen 12 in den Ofen 2 selbst austritt. Das Gasaustrittsrohr 7 umgibt das Luftrohr 6 und mündet in eine Wasserkammer 8, von wo das Gas durch das Rohr 13 weitergeleitet wird. Das Rohr 10 ist in seinem unteren Teil glockenförmig gestaltet und bildet durch diese Form eine Verengung in dem Schacht, durch die der Schwelraum von dem eigentlichen Vergaserraum getrennt wird.

Der von Gebr. Körting gebaute Doppelgenerator für Torfvergasung (Fig. 207 und 208) benutzt einen aus zwei Teilen bestehenden Schacht, von denen der obere weitere 3 mit zwei Etagenrosten 4, 4 und der untere engere 1 mit einem gewöhnlichen Planrost 2 versehen ist. Ist der Ofen in Betrieb, so brennt der Torf oben auf dem Etagenrost an dem Rande der

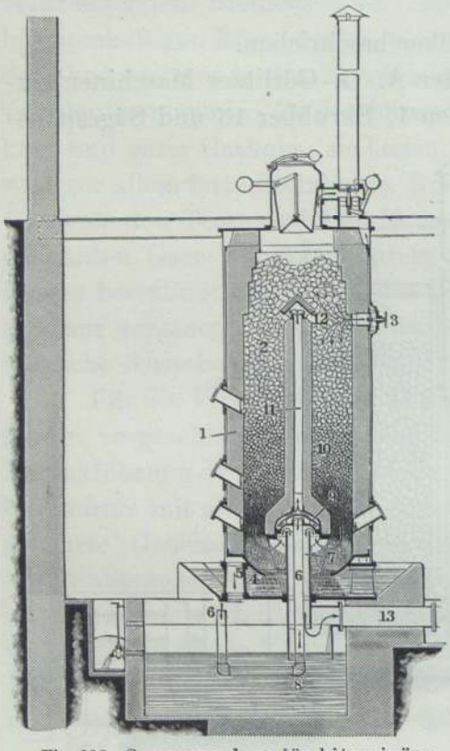


Fig. 206. Sauggasanlage für bituminöse Brennstoffe.

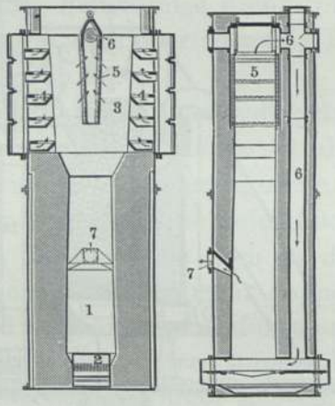


Fig. 207. Fig. 208.

Fig. 207 u. 208. Körtingscher Doppelgenerator für Torfvergasung.

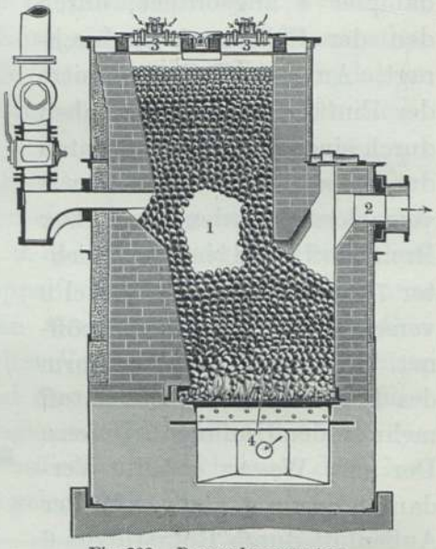


Fig. 209. Doppelgenerator.

Brennstoffsäule. Der in der Mitte des Schachtes befindliche Torf sinkt allmählich nieder und wird hierbei verkohlt. Die Schwelgase gehen durch das rostartige Rohr 5 und von da durch Rohr 6 in den unteren Teil des Schachtes, wo das Gas direkt über dem Rost 2 eintritt. Das fertige Gas tritt durch das in dem unteren Schachtteil befindliche Rohr 7 aus. Über dem Rost 2 liegt eine Koksschicht.

Fig. 209 zeigt einen Doppelgenerator der Gasmotorenfabrik Deutz für Braunkohlenvergasung nach dem sogenannten umgekehrten Generatorbetrieb. Der Schacht 1 besteht ebenfalls aus einem oberen engeren und einem unteren weiteren Teil, zwischen denen der Gasaustritt 2 liegt. Die Luft tritt durch in der Schachtdecke angebrachte Öffnungen 3 ein und wird nach unten gesaugt; hierbei nimmt sie die sich im oberen Teil entwickelnden Schwelgase mit, welche die auf dem Rost 4 brennende Brennstoffschicht passieren müssen und dabei zersetzt werden. Für größere Leistungen wird die Anlage, wie Figur 210 zeigt, derart verdoppelt, daß zwei solcher Öfen nebeneinander gesetzt werden, so daß sie einen gemeinsamen Rost 1 und getrennte Schwelräume 2 besitzen. Die Schwelräume sind durch die Wände 4 voneinander getrennt, die bis zur halben Ofenhöhe reichen, und zwischen denen das Gasabführungsrohr 5 liegt. Die Luft tritt wieder an der Decke des Ofens bei 3 ein.

In Fig. 211 ist ein Treppenrostgenerator für feinkörnige Brennstoffe von J. Pintsch dargestellt. Auch hier ist der Schacht 1 durch einen Einbau 4 in der Mitte verengt. Der Brennstoff 2

ruht teils auf den schrägen Wänden des Einbaues, teils auf dem Treppenrost 6, dessen Spalten zur bequemen Reinigung groß gemacht werden können, ohne daß Brennstoff hindurchfallen kann. Das Luft-Dampfgemisch tritt unterhalb des Rostes zu; das Gas entweicht in den unterhalb des Einbaues entstehenden Raum 5 und wird durch Rohr 3 abgeführt.

Die vorbeschriebenen Generatoren betreffen alle ortfeste Gasanlagen für größere Betriebe. Es werden aber bereits Generatoranlagen für den Betrieb von Motorbooten und Lokomobilen ausgeführt, die sich recht gut bewähren sollen.

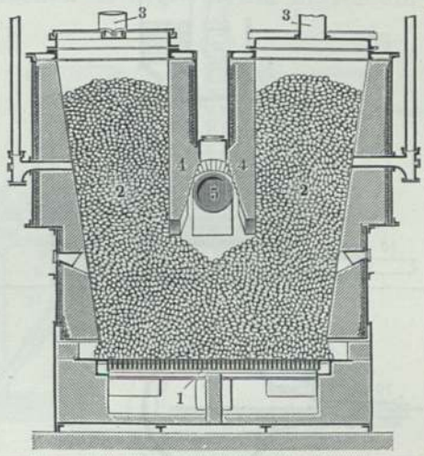


Fig. 210. Doppelgeneratoranlage.

Im allgemeinen werden für den Antrieb ortbeweglicher Motoren aber *flüssige Brennstoffe* verwendet, und zwar: 1. Rohpetroleum mit seinen Destillationsprodukten, dem Benzin und dem Lampenpetroleum; 2. die Destillationsprodukte der Steinkohlen- und Braunkohlenteere (Benzol) und endlich 3. Spiritus. Das dickflüssige Rohpetroleum, das besonders in Nordamerika und am Kaukasus gefunden wird, besteht aus festen, flüssigen und gasförmigen Kohlenwasserstoffen und muß für den Gebrauch durch Destillation gereinigt werden. Je nach der Höhe der Destillationstemperatur gehen hierbei nacheinander die verschiedenen Bestandteile über. Bei 80 bis 100° erhält man das Benzin, dessen spezifisches Gewicht etwa 0,7 beträgt; zwischen 170 und 300° geht das zur Beleuchtung brauchbare Lampenpetroleum über. Diese beiden Stoffe kommen hauptsächlich für den Betrieb der Kraftmaschinen in Frage. Benzin verdampft bei 80—100° und ist schon bei gewöhnlicher Temperatur leicht flüchtig und daher sehr feuergefährlich, während Lampenpetroleum erst verdampft werden muß, um gasförmig in dem Motor verwendet werden zu können. Das Benzol, ein Nebenprodukt der Teerfabrikation, ist in seinen Eigenschaften dem Benzin sehr ähnlich; sein spezifisches Gewicht beträgt 0,86—0,88. Es wird für sich allein oder mit Spiritus gemischt verwendet. Der Spiritus kann ebenfalls entweder allein oder im Gemisch mit anderen Stoffen Verwendung finden. Von Vorteil ist sein hoher Wassergehalt, da infolge der größeren Verdichtung des Gasgemisches im Zylinder die Explosionskraft erhöht wird. Bei der Vermischung mit 20 Proz. Benzol ist der Verbrauch 0,5 Liter pro 1 St-PS bei voller Belastung. Ein anderer Betriebsstoff ist das *Ergin*, ebenfalls ein Produkt der Teerdestillation. — Der Hauptvorteil der flüssigen Brennstoffe ist, daß sie ohne Schwierigkeit (feuersichere Verpackung vorausgesetzt) überallhin transportiert werden können. Sie sind stets betriebsbereit, die Maschinen können ohne weiteres angelassen werden und verbrauchen nur während des Betriebes Brennstoff; sie sind also in hohem Maße ökonomisch.

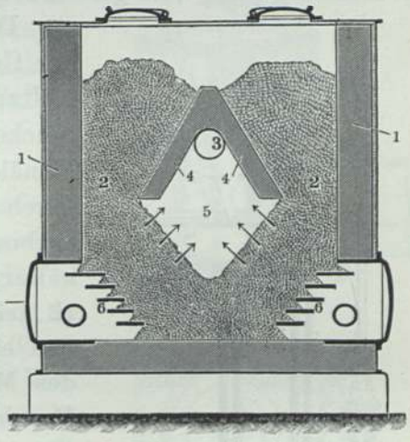


Fig. 211. Treppenrostgenerator.

Vergaser (Karburatoren).

Wenn in der Einleitung dieses Abschnittes gesagt wurde, daß alle Betriebsstoffe für Verbrennungsmaschinen im gasförmigen Zustande in den Zylinder gelangen, so muß dies für die flüssigen Brennstoffe etwas eingeschränkt werden, da es sich hierbei nicht um ein Vergasen im eigentlichen Sinne des Wortes handelt. Der Betriebsstoff wird vielmehr im dampfförmigen Zustande mit atmosphärischer Luft gemischt, d. h. die Luft wird *karburiert*, und dieses Gemisch wird in den Zylinder eingeführt, wo es verpufft. Die Bezeichnung „Vergaser" für die hierfür erforderliche Vorrichtung ist daher, strenggenommen, unrichtig; da sie aber allgemein gebräuchlich ist, so soll der Ausdruck auch hier beibehalten werden.

Die Bauweise der Vergaser hängt von den Eigenschaften der zu verwendenden Flüssigkeiten ab. Bei Benzin, das schon bei gewöhnlicher Temperatur verflüchtigt, genügt es, wenn die Luft durch das Benzin hindurchgesaugt wird; sie reichert sich hierbei derart mit Benzindämpfen an — wird karburiert —, daß sie ohne weiteres in den Zylinder eingeführt werden kann. Die schwerer flüchtigen und erst bei höherer Temperatur verdampfenden Flüssigkeiten müssen vor der Mischung mit Luft auf ihre Verdampfungstemperatur erhitzt werden. Man unterscheidet daher *Vergaser mit* und solche *ohne Erhitzung*. Die Vermischung des Brennstoffes mit der Luft kann ebenfalls auf verschiedene Weise erfolgen: entweder läßt man die Luft über die auf eine große Oberfläche verteilte Flüssigkeit hinstreichen *(Oberflächenvergaser)*, oder man spritzt eine gewisse Menge des Brennstoffes in die Luft hinein *(Einspritzvergaser)*. Bei den Motoren mit schwer flüchtigen Brennstoffen unterscheidet man schließlich noch *geschlossene* und *offene Vergaser;* bei ersteren stellt der Vergaser einen abgeschlossenen Raum dar, der nur während des Saughubes durch Öffnen des Ventils mit dem Zylinder in Verbindung tritt, während der offene Vergaser ständig mit dem Zylinderinnern in Verbindung steht und gleichzeitig an Stelle eines Glührohres als Zündvorrichtung dient.

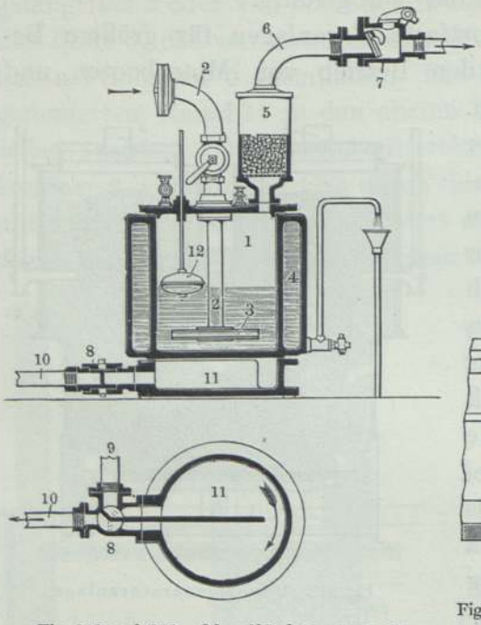


Fig. 212 und 213. Oberflächenvergaser.

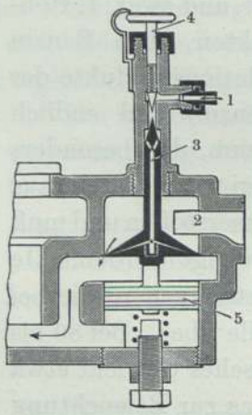


Fig. 214. Einspritzvergaser ohne Erhitzung.

Die Fig. 212 und 213 zeigen einen *Oberflächenvergaser* für Benzin der Gasmotorenfabrik Deutz. 1 ist der Benzinbehälter, in den das Luftzuführungsrohr 2 einmündet; das untere, in das Benzin eintauchende Ende 3 von 2 ist scheibenförmig erweitert und mit feinen Kanälen durchsetzt, so daß die angesaugte Luft in feinen Strahlen durch das Benzin hindurchtritt und mit Benzin gesättigt wird. Die karburierte Luft geht dann durch einen mit Kieselsteinen gefüllten Behälter 5 und Rohr 6 mit Rückschlagklappe 7 zum Motor. Ein Schwimmer 12 zeigt den Stand des Benzins im Behälter an. Der letztere ist von einem Mantel 4 umgeben, durch den das erwärmte Kühlwasser des Motors strömt, um bei kalter Witterung das Verdampfen des Benzins zu sichern. Zu dem gleichen Zweck können auch die Abgase des Motors benutzt werden, die durch Rohr 9 in den Raum 11 unterhalb des Behälters 1 geleitet werden können und durch Rohr 10 abströmen. Ein Dreiwegehahn 8 gestattet die direkte Abführung der Abgase.

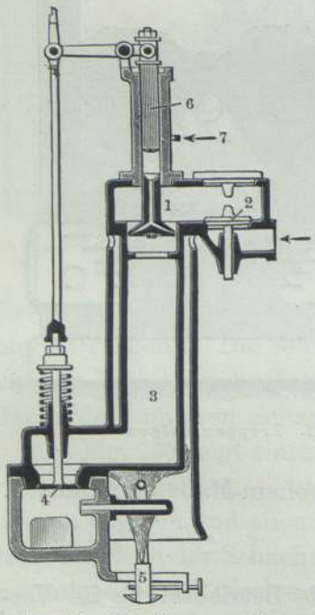


Fig. 215. Geschlossener Einspritzvergaser mit Erhitzung.

In Fig. 214 ist ein *Einspritzvergaser* der Firma Gebrüder Körting dargestellt. Das Benzin fließt aus einem höher gelegenen Behälter durch Rohr 1 der durchbohrten Spindel 3 des Ventils zu, das durch einen Kolben 5 gesteuert wird. Der Benzinzufluß kann durch die in eine feine Nadel endigende Schraube 4 geregelt werden. Beim Ansaugen der Maschine wird das Ventil 3 mit dem Kolben 5 nach unten gezogen, und das Benzin tritt durch die feine, ringförmige Öffnung des Ventils aus und wird durch die durch 2 angesaugte Luft aufs feinste zerstäubt. Der in Fig. 215 dargestellte Einspritzvergaser mit Erhitzung wird bei der Petroleummaschine von Kjelsberg angewendet. Das bei 7 eintretende und durch einen Kolben 6 in seinem Zufluß

geregelte Petroleum wird durch den Zerstäuber 1 zerstäubt und vermischt sich mit der bei 2 eintretenden Luft, worauf das Gemisch in das Gefäß 3 gelangt, das durch die Zündflamme 5 erwärmt wird. In 3 erfolgt durch die Flamme die Verdampfung des Petroleums. Nach dem Öffnen des Ventils 4 tritt das fertige Gemisch in den Zylinder ein. — Fig. 216 zeigt den offenen Vergaser eines Swiderskischen Petroleummotors. Der Raum vor dem Ventil 4 ist mit der zu verdampfenden Menge Petroleum gefüllt und steht durch die Kanäle 5 mit der Außenluft in Verbindung. Das Ventil 4 mündet in den Verdampferraum 1, der mit Rippen 6 versehen ist und von der Petroleumdampflampe 7 bis zur Dunkelrotglut erhitzt wird. Die Petroleumdämpfe treten bei 2 aus dem Verdampfer aus und werden von der durch Rohr 3 eintretenden Luft in den Zylinder mitgenommen.

Die vorbeschriebenen Vergaser sollen lediglich die typischen Unterschiede zeigen; sie sind aus der ungeheuer großen Zahl der in Gebrauch befindlichen Vergaser willkürlich herausgegriffen.

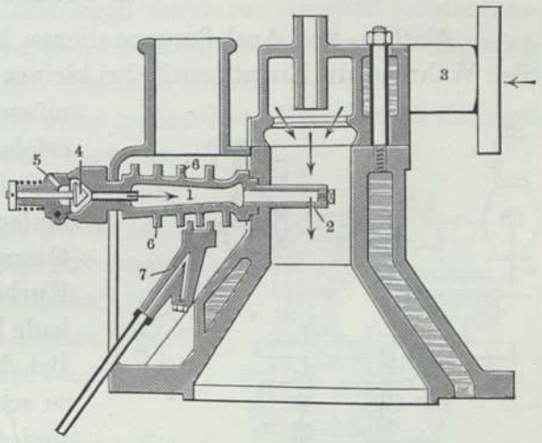


Fig. 216. Offener Petroleumvergaser.

C. Einzelheiten der Verbrennungsmaschinen.

Der allgemeine Aufbau der Verbrennungsmaschine erinnert an den der Dampfmaschine. Da die Verbrennungsmaschine meistens einfachwirkend ausgebildet ist, sind Kolben und Kreuzkopf vereinigt, und die Kolbengleitfläche dient gleichzeitig als Geradführung, so daß sich die Anordnung einer besonderen Geradführung erübrigt. Der am einen Ende offene Zylinder wird am anderen Ende durch den Zylinderdeckel oder Kopf abgeschlossen, der einerseits als Verdichtungs- und Verbrennungsraum, anderseits zur Aufnahme der Ventile und Zündvorrichtung dient. Während der Zylinder der Dampfmaschine beheizt wird, muß der der Verbrennungsmaschine gekühlt werden.

1. Mischvorrichtungen.

Wie schon hervorgehoben, ist es für die Zündfähigkeit der Ladung wichtig, daß Gas und Luft in bestimmtem Verhältnis gemischt werden. Unter den Mischungsverhältnissen, bei denen Zündung eintritt, gibt es eins, das sogenannte stärkste Gasgemisch, bei dessen Verbrennung in einem geschlossenen Raum der höchste Druck und die höchste Temperatur erzielt werden. Dieses Gemisch anzuwenden, ist nicht von Vorteil; denn durch die plötzlich mit großer Heftigkeit auftretende Drucksteigerung wird das Gestänge der Maschine ungünstig beeinflußt, auch erfordert hohe Temperatur eine kräftige Kühlung, durch die ein Teil der Wärme nutzlos fortgeführt wird. Man verwendet daher zweckmäßig zum Betriebe der Gasmaschinen gasarme Gemische und verdichtet diese möglichst hoch. Die Mischung erfolgt durch Mischventile, die vor der Maschine angeordnet oder mit dem Einlaßventil verbunden sind. Ein Mischventil erster Art zeigen Fig. 217 und 218. Bei der Ausbildung der Mischventile kommt es auf möglichst gute Vermischung des Gases mit der Luft an, zu welchem Zweck der Gasstrom in viele Strahlen zerlegt wird, die in den Luftstrom hineingeleitet werden. Bei dem dargestellten Ventil ist das Gaszuleitungsrohr 1 mit Schlitzen 2 und der auf ihm gleitende Ventilkegel 3 mit entsprechenden Schlitzen 4 versehen. Wird der Ventilkegel durch den Saughub der Maschine angehoben, so treten die durch die Schlitze 2 entstehenden Gasströme in die durch das Rohr 5 zuströmende Frischluft ein. Das Gemisch tritt dann durch die Schlitze 6 in den Raum 7, in dem zur Verbesserung der Durcheinanderwirbelung noch eine

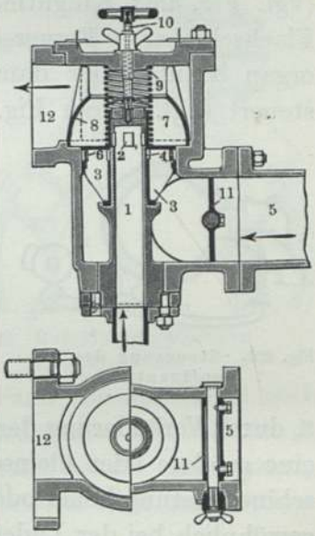


Fig. 217 und 218. Mischventil.

Glocke 8 vorgesehen ist. Die Feder 9 dient zum Aufpressen des Ventils 3 auf seinen Sitz und die Schraube 10 zum Einstellen seiner Hubhöhe. Zur Regelung des Luftzuflusses ist außerdem noch eine Drosselklappe 11 vorhanden. An den Stutzen 12 schließt sich die zum Einlaßventil der Maschine führende Leitung. Ein vor der Maschine angeordnetes Mischventil zeigt ferner noch Fig. 224 sowie das Klappmodell der Gasmaschine. Auf die mit dem Einlaßventil verbundenen Mischventile (siehe z. B. Fig. 223, 225) soll bei den Steuerungen näher eingegangen werden.

2. Steuerung und Regelung.

Als Ein- und Auslaßorgane dienen bei den Verbrennungsmaschinen fast ausnahmslos Ventile. Während die Einlaßventile bei kleinen, langsam laufenden Maschinen selbsttätig sein können, müssen die Auslaßventile gesteuert werden. Die Steuerung erfolgt sowohl durch Exzenter als auch durch Nocken, die auf einer parallel oder senkrecht zu der Zylinderachse verlaufenden Welle (vgl. Fig. 252 und die Klappmodelle der Gasmaschine und des Dieselmotors) sitzen und von der Kurbelwelle meistens unter Vermittelung eines in einem Ölbade laufenden Schraubenrädergetriebes angetrieben werden. Bei den Viertaktmaschinen dreht sich die Steuerwelle halb so schnell wie die Kurbelwelle; bei den Zweitaktmaschinen sind die Umdrehungszahlen beider gleich.

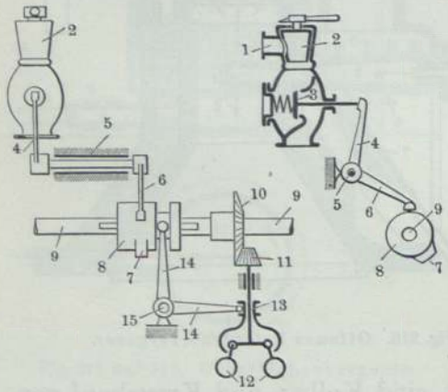


Fig. 219 und 220. Nockensteuerung des Einlaßventils und Aussetzerregulierung.

In neuerer Zeit wird lebhaft daran gearbeitet, namentlich bei den schnellaufenden Motoren die Ventile durch Schieber zu ersetzen. Diese werden teilweise als Kolbenschieber ausgebildet, denen eine hin und her gehende (vgl. Fig. 263 Knightmotor) oder eine Drehbewegung erteilt wird, teilweise aber auch als Flachschieber. Ferner wird bei den Zweitaktmaschinen oft der Kolben selbst als Steuerorgan benutzt, der dann die in der Zylinderwandung vorgesehenen Ein- und Auslaßschlitze steuert (vgl. hierzu Fig. 271 Öchelhäusermaschine; Fig. 276 Grademotor).

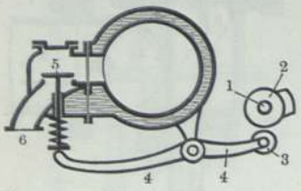


Fig. 221. Steuerung des Auspuffventils.

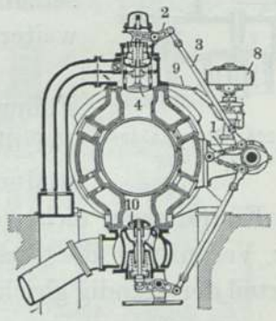
Die Regulierung der Gasmaschinen, d. h. die Veränderung ihrer Leistung entsprechend dem jeweiligen Arbeitswiderstand der angetriebenen Maschinen, kann in verschiedener Weise bewirkt werden: 1. durch sogenannte *Aussetzer*. Indem Verbrennungen ausfallen, wird während eines ganzen, sonst unter Arbeitsverrichtung verlaufenden Hubes keine Arbeit geleistet; 2. durch Veränderung der Zusammensetzung des Gas- und Luftgemisches *(Qualitätsregulierung)*. Ein gasarmes Gemisch leistet bei der Verbrennung weniger als ein gasreiches; 3. durch Veränderung der Füllung des Zylinders *(Quantitätsregulierung)*. Je nachdem im Zylinder eine größere oder kleinere Menge des Gas-Luftgemisches zur Verbrennung gelangt, ist die Maschinenleistung höher oder niedriger. Für die Zweitaktmaschinen kommen die Regulierverfahren gewöhnlich bei der Ladepumpe zur Anwendung (s. Fig. 228).

Fig. 219 und 220 zeigen schematisch das Beispiel einer Nockensteuerung für das Brennstoffeinlaßventil und einer Aussetzerregulierung. 1 ist der Anschlußstutzen für die Gasleitung und 2 das Absperrventil. Durch das gesteuerte Ventil 3 gelangt das Gas zu der Mischvorrichtung, in der es mit Luft gemischt wird. Die Steuerung des Ventils 3 erfolgt von der Steuerwelle 9 aus, die von der Kurbelwelle mit einem Übersetzungsverhältnis 1 : 2 angetrieben wird. Auf der Steuerwelle 9 sitzt undrehbar, aber längsverschiebbar eine Hülse 8 mit einem Steuernocken 7. Sobald dieser gegen den einen Arm 6 eines bei 5 drehbar gelagerten Schwinghebels stößt, wird letzterer zum Ausschwingen gebracht und legt sich mit seinem anderen Arm 4 gegen die Spindel des Ventils 3, das sich dann entgegen dem Druck einer Schraubenfeder öffnet. Die Steuerwelle überträgt außerdem durch das Kegelräderpaar 10, 11 ihre Bewegung auf eine senkrechte Spindel, die an ihrem Ende zwei

ausschwingbar gelagerte Schwungkugeln 12 trägt. Steigt plötzlich die Umdrehungszahl der Maschine, so fliegen die Kugeln auseinander und bewegen die Muffe 13 nach oben, die hierbei den bei 15 drehbar gelagerten Winkelhebel 14 mitnimmt, dessen anderer Schenkel die Hülse 8 nach links verschiebt, so daß nunmehr der Hebel 6 auf der Mantelfläche der Hülse 8 gleitet und mit dem Nocken 7 nicht mehr in Berührung kommt. Die Folge ist, daß das Gaseinlaßventil geschlossen bleibt, und zwar so lange, bis die Maschine wieder langsamer läuft, die Regulatorkugeln sinken und die Hülse 8 wieder nach rechts verschoben wird, so daß der Nocken 7 wieder in Tätigkeit treten kann. Abgesehen davon, daß namentlich bei Ausfall mehrerer Zündungen durch die ein- und wieder austretende kalte Luft die Zylinderwandungen abgekühlt werden, hat diese Art der Regulierung noch den Übelstand, daß die Gleichförmigkeit des Ganges der Maschine leidet.

Der Nachteil der schädlichen Abkühlung kann bei nicht gesteuertem Einlaßventil dadurch vermieden werden, daß zum Zweck der Herbeiführung von Aussetzern das Auspuffventil am Schließen verhindert wird. In diesem Falle saugt der Kolben die heißen Auspuffgase an und stößt sie wieder aus.

Die Steuerung des Auspuffventils erfolgt, wie Fig. 221 zeigt, durch eine fest auf der Steuerwelle 1 sitzende Nockenscheibe 2, die sich gegen die Rolle 3 des Schwinghebels 4 legt; das andere Ende von 4 hebt das Ventil 5 entgegen dem Druck einer Feder an, so daß die Gase in das Auspuffrohr 6 entweichen können.



Die unter 2. genannte Regulierung durch Veränderung der Zusammensetzung des Gasluftgemisches wird als *Qualitätsregulierung* bezeichnet, weil bei ihr die Menge des angesaugten Gemisches bei jeder Belastung der Maschine die gleiche bleibt, keineswegs aber die Zusammensetzung; denn bei schwacher Belastung findet ein gasarmes, bei starker ein gasreiches Gemisch Verwendung. Wenn auch durch diese Regulierung der der vorbeschriebenen Regulierart anhaftende Nachteil eines ungleichmäßigen Ganges verschwindet, so tritt dafür der Nachteil eines verhältnismäßig großen Gasverbrauches bei den kleinen Leistungen ein. Dieses hat seine Ursache darin, daß die Kompression des angesaugten Gemisches die gleiche ist. Gasarme Gemische erfordern aber eine höhere Verdichtung als gasreiche, einerseits zur Sicherung der Zündung, anderseits zur Beschleunigung der Verbrennung, da es sonst vorkommen kann, daß diese bei Beginn des neuen Ansaugehubes noch nicht beendet ist und so das frisch zuströmende Gemisch mit den noch brennenden alten Gasen in Berührung kommt. Ist das Gemisch reicher an Gas, so steigt die Spannung bei der Verbrennung höher; ist es reicher an Luft, so steigt sie nicht so hoch. Im ersteren Fall wird mehr Arbeit geleistet, im letzteren ist das Umgekehrte der Fall.

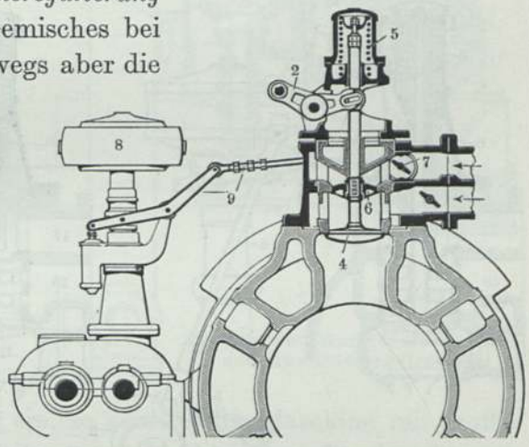


Fig. 222 und 223. Qualitätsregulierung.

Die bauliche Ausbildung einer derartigen Reguliervorrichtung kann ähnlich sein wie in Fig. 219 und 220, nur mit dem Unterschiede, daß der Nocken 7 der Hülse 8 auch in der Achsenrichtung der Hülse nicht plötzlich, sondern allmählich in diese übergeht, also gewissermaßen aus einer Anzahl nebeneinander liegender, ineinander übergehender Nocken besteht, von denen jeder ein wenig höher ist als der vorhergehende. Die Folge ist, daß, entsprechend der Verschiebung der Hülse, das Gaseinlaßventil mehr oder weniger geöffnet und damit die Zusammensetzung des Gemisches geändert wird.

Eine andere Ausführungsform, wie sie an doppeltwirkenden Viertakt-Großgasmaschinen gebräuchlich ist, zeigen die Fig. 222 und 223. Das Steuergestänge für das Einlaßventil 4 besteht aus zwei um feste Punkte schwingenden Hebeln 1, 2, die durch eine Stange 3 in Verbindung

stehen, und von denen der erste von einer Nockenscheibe in schwingende Bewegung versetzt wird. Der Hebel 2 ist als Doppelhebel ausgebildet und steht mit der Spindel des Einlaßventils 4 in Verbindung, das durch eine Feder 5 in der Schlußstellung gehalten wird; in dieser Stellung werden die Zuleitungen für Gas und Luft durch den auf der gleichen Spindel sitzenden Ventilteller 6 gegeneinander abgeschlossen. Die Steuerung für das Auslaßventil 10 ist in ähnlicher Weise ausgebildet. In der Gaszuleitung ist eine Drosselklappe 7 vorgesehen, die durch ein vom Regulator 8 beeinflußtes Gestänge 9 verstellt wird. Außerdem ist aber noch in die Luftleitung eine von Hand einstellbare Drosselklappe eingebaut. Diese Art der Regulierung kann, namentlich wenn auch die Drosselklappe in der Luftzuleitung vom Regulator nach einem bestimmten Gesetz verstellt wird, als Mittelding zwischen den unter 2. und 3. beschriebenen Regulierungen aufgefaßt werden, denn bei ihr wird in diesem Falle nicht nur die Zusammensetzung, sondern auch die Menge des zuströmenden Gemisches geregelt. Ein weiteres Beispiel für die Qualitätsregulierung zeigt Fig. 260.

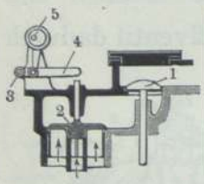


Fig. 224. Quantitätsregulierung.

Bleibt die Zusammensetzung des Gemisches dieselbe und wird nur die Füllung des Zylinders verändert, so spricht man von einer *Quantitätsregulierung*. Bei dieser gelangt bei geringerer Belastung weniger Gemisch in den Zylinder, wodurch beim Saughub ein Unterdruck entsteht. Die weitere Folge ist, daß die Kompression nicht so hoch steigt wie bei voller Belastung. Dementsprechend ist auch nach der Verpuffung die Spannung geringer als bei voller Belastung. Diese Steuerung hat den Vorteil der ständig gleichbleibenden Zusammensetzung des Gemenges, dafür aber den Nachteil der ungleichen Kompression.

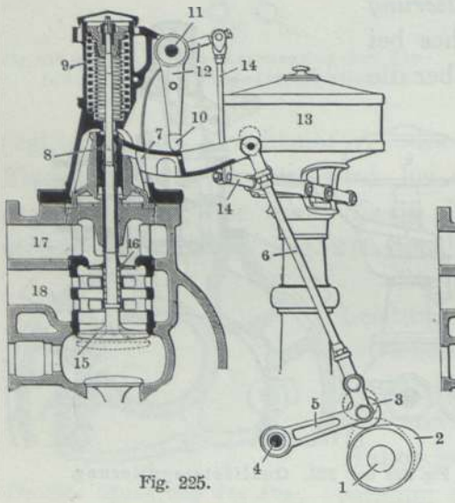


Fig. 225.

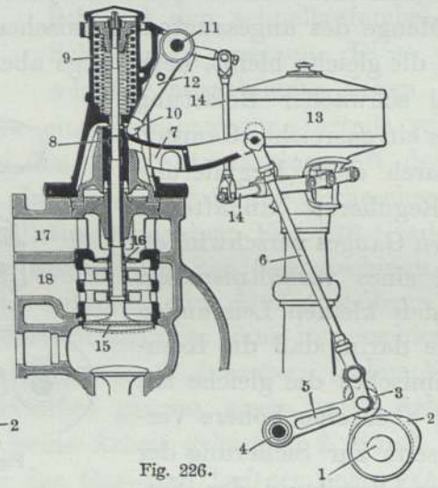


Fig. 226.

Fig. 225 und 226. Quantitätsregulierung der Gasmotorenfabrik Deutz.

Ein einfaches Beispiel für diese Art der Regelung zeigt Fig. 224. 1 ist das zwangläufig gesteuerte Einlaßventil des Zylinders und 2 das Mischventil, dessen Hub durch den um den Zapfen 3 drehbaren Anschlaghebel 4 begrenzt wird. Die Regelung geschieht nun durch Heben und Senken dieses Anschlaghebels, zu welchem Zwecke das Exzenter 5 vom Regulator verstellt wird. Steht der Anschlaghebel so, daß sich das Mischventil möglichst weit von seinem Sitze erheben kann, so erhält der Zylinder Vollfüllung; steht er niedriger, entsprechend weniger.

Eine andere Ausführungsform dieser Regulierung, bei der der Hub des Einströmventils verändert wird, zeigt die in den Fig. 225 und 226 dargestellte der Firma Gasmotorenfabrik Deutz. Auf der Steuerwelle 1 sitzt die Nockenscheibe 2, gegen die sich die Rolle 3 des um den Zapfen 4 drehbaren Schwinghebels 5 legt. Dieser steht anderseits durch Stange 6 in gelenkiger Verbindung mit dem an der Ventilspindel bei 8 angelenkten Hebel 7. Die Federn 9 sind bestrebt, das Ventil in der Schlußstellung zu halten. Wird Rolle 3 durch die Nockenscheibe 2 nach oben bewegt, so würde Hebel 7 um den Punkt 8 schwingen und das Ventil 15 geschlossen bleiben, wenn nicht dem Hebel 7 ein Stützpunkt gegeben würde, um den er so schwingen kann, daß sich hierbei der Gelenkpunkt 8 nach unten bewegt. Einen solchen Stützpunkt stellt das Ende 10 des um Zapfen 11 drehbaren Winkelhebels 12 dar. Dieser Stützpunkt wird von dem Federregulator 13 unter Vermittelung des Gestänges 14 verstellt. Nimmt er die in Fig. 225 gezeichnete Stellung ein, so wird, wie in punktierten Linien angedeutet ist, das Ventil weit geöffnet, bei der in Fig. 226 gewählten

Stellung dagegen nur wenig. Oberhalb des Einlaßventils 15 sitzt auf dessen Spindel das Gasventil 16, das infolgedessen dieselben Bewegungen vollführt wie das Einlaßventil. 17 ist der Zuströmkanal für das Gas und 18 der für die Luft. Die Zusammensetzung des Gasluftgemisches bleibt für alle Füllungen die gleiche, denn das Verhältnis der von den Ventilen 15 und 16 freigelegten Durchflußquerschnitte bleibt konstant. Es kann daher auch immer nur so viel Luft in das Zylinderinnere eintreten, wie die Öffnung des Ventils 15 größer ist als die des Ventils 16. Die mit dieser Regulierung erzielten Resultate sollen derart sein, daß der dauernde Unterschied der Umdrehungszahlen zwischen Vollbelastung und Leerlauf nur etwa 4—6 Proz. beträgt. Bei geringeren Unterschieden in der Belastung ist auch der dauernde Unterschied der Umdrehungszahlen entsprechend geringer. Desgleichen sind auch die momentanen Schwankungen der Umdrehungszahlen bei Belastungsänderungen nicht groß; denn da der Regulator nur die verhältnismäßig geringe Arbeit der Verstellung des Stützpunktes für den Schwinghebel am Einströmventil zu verrichten hat, ist die Wirkung der Regulierung eine ungewöhnlich rasche. Eine weitere Ausführungsform zeigt die Fig. 250.

Die in der Fig. 227 dargestellte Steuerung der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg ist das Beispiel einer kombinierten Quantitäts- und Qualitätsregulierung. Der Steuerungsantrieb zerfällt in zwei Teile. Der erste Teil wird von dem von der Nockenscheibe 1 angetriebenen, bei 2 drehbar gelagerten Hebel 3 gebildet, der mit dem bei 4 angelenkten Teil 5 durch Stange 6 verbunden ist. Durch Feder 7 erhält Teil 5 eine Bewegung nach oben, die sich auf den Hebel 3 überträgt, so daß sich die an diesem vorgesehene Rolle 8 fest gegen die Nockenscheibe 1 legt. Der zweite Teil der Steuerung besteht aus dem Einlaßventil 9, dessen Spindel mit dem bei 10 drehbaren Hebel 11 in Verbindung steht. Die einander zugekehrten Flächen der Hebel 5 und 11 sind als Gleitflächen ausgebildet, zwischen denen eine vom Regulator 12 unter Vermittelung des Gestänges 13 angetriebene Rolle 14 hin und her verschoben wird. Nimmt diese Rolle die in der Figur dargestellte Stellung ein, so arbeitet die Maschine mit großer Füllung, da in diesem Falle der größte Ausschlag des Teiles 5 auf den kleinsten, für den Antrieb in Frage kommenden Hebelarm am Teil 11 einwirkt. Mit zunehmender Verschiebung der Rolle nach links verändert sich das Verhältnis der Hebelarme derart, daß die Ausschläge des Hebels 11 und damit die Füllungen kleiner und kleiner werden. Mit dem Einlaßventil zwangläufig verbunden ist das das Mischungsverhältnis regelnde Mischventil, das so ausgebildet ist, daß mit abnehmender Belastung ein gasärmeres Gemisch angesaugt wird, so daß also nicht nur die Gemischmenge, sondern auch die Gemischzusammensetzung geregelt wird; hierdurch soll die Wärmeausnutzung derartig günstig beeinflußt werden, daß der Brennstoffverbrauch für die Pferdestärkenstunde fast unverändert ist. Die Steuerung des Auslaßventils 15 erfolgt durch den bei 2 drehbar gelagerten Doppelhebel 16, der von einer auf der Steuerwelle neben der Nockenscheibe 1 sitzenden zweiten Nockenscheibe angetrieben wird. Ein weiteres Beispiel einer kombinierten Quantitäts- und Qualitätsregulierung zeigt Fig. 273.

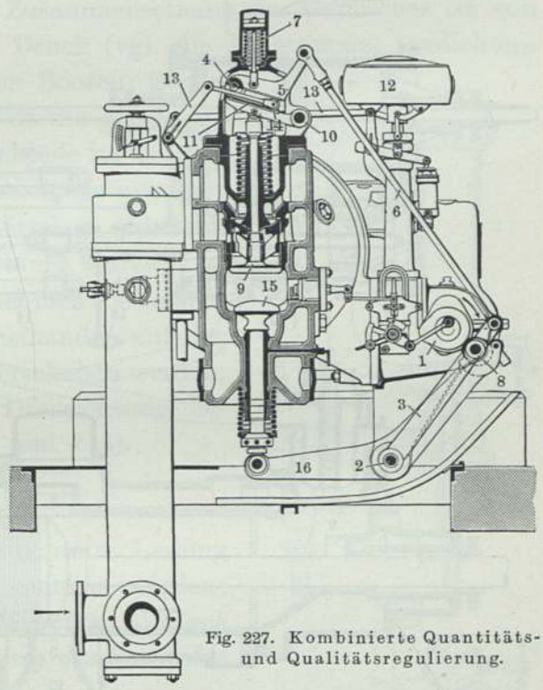


Fig. 227. Kombinierte Quantitäts- und Qualitätsregulierung.

Bei den Zweitaktmaschinen wird, wie erwähnt, die Leistungsregelung durch Einwirkung auf die Ladepumpen vorgenommen. Fig. 228 zeigt das Schema einer doppeltwirkenden Körtingschen Zweitaktmaschine (vgl. auch Fig. 275). 1 ist der Arbeitszylinder, dem das Gasgemisch durch das Einlaßventil 2 zugeführt wird. Nach der Arbeitsleistung entweichen die heißen Verbrennungsgase durch die Schlitze 3 in den Auspuffstutzen 25. Der Kolben 4 ist so lang, daß er kurz

vor Erreichung seiner Totpunktlage die in der Mitte des Zylinders befindlichen Schlitze freilegt. Zur Einführung des Gemisches in den Arbeitszylinder dienen die Ladepumpen 5 und 6, von denen erstere für Gas, letztere für Luft bestimmt ist. Beide Pumpen werden von einem gemeinsamen Kurbelgestänge angetrieben, das dem der Hauptarbeitskurbel um etwa 110° voreilt. Die Steuerung der Pumpen erfolgt durch eine vom Regulator beeinflußte Doppelschiebersteuerung. Sie ist eine Kolbenschiebersteuerung und besteht aus den Grundschiebern 9, 10 und den in diesen gleitenden Rücklaufschiebern 11, 12. Die Grundschieber sind so ausgebildet, daß sie ständig Vollfüllung geben. Sie sind durch einen Bügel 8 starr miteinander verbunden und werden durch die gemeinsame Stange 7 angetrieben. Desgleichen besitzen auch die Rücklaufschieber 11, 12 eine gemeinsame Schieberstange 13 und einen gemeinsamen Antrieb 14. Rücklauf- und Grundschieber sind mit schrägen Steuerschlitzen versehen, deren Wirkungsweise im Prinzip der Doppelschiebersteuerung von Rider (vgl. Abteilung „Dampfkraftmaschinen" S. 60) entspricht. Das anzusaugende Gas bzw. die Luft fließt durch die Stutzen 19, 20 und strömt dann durch das Innere der Kolbenschieber, wie die Pfeile rechts zeigen, in die Zylinder. In der gleichen Zeit findet in der linken Zylinderhälfte der Druckhub statt. Die Luft durchströmt die Kanäle, hebt die Rückschlagventile 18 an und gelangt in die Leitung 22. Durch den Rücklaufschieber 12 wird die Luft verhindert, in das Innere des Kolbenschiebers und damit in die Saugleitung zurückzutreten. Zur Regelung der Leistung wird der Rücklaufschieber um seine Achse verdreht, wodurch während des ersten Teiles des Druckhubes die Schlitze des Rücklaufschiebers und des Grundschiebers zur Deckung gelangen und ein Teil des angesaugten Gemisches in die Saugleitung zurückgeschoben wird. Ein genaues Bild über diese Vorgänge gibt das über der Luftpumpe angeordnete Diagramm. Auf der Strecke 25—26 saugt der Kolben Luft an und komprimiert sie beim Rückwärtshube von 26—27. Das Überschieben in die Druckleitung findet auf dem Wege 27—28 statt. Dieses Diagramm 25—26—27—28 veranschaulicht die volle Leistung. Wird diese verringert, so wird zunächst wieder angesaugt 25—26, hierauf aber nicht komprimiert, sondern auf dem Wege 26—29 das vorher angesaugte Gemisch in die Saugleitung zurückgeschoben. Komprimiert wird dann auf dem Wege 29—30. Die Diagrammfläche 26—27—30—29 versinnbildlicht, um wieviel die Leistung kleiner geworden ist. Die Strecke 26—29 ist abhängig von der Größe der Verdrehung des Schiebers 12, die durch Ausschwingen des Hebels 15, an dem bei 16 der Regulator angreift, bewirkt wird. Die Schieberstange 13 kann wohl in der Nabe dieses Hebels gleiten, sich aber nicht gegen sie verdrehen, so daß bei jedem Ausschwingen des Hebels 15 ein Drehen der Stange 13 und damit der Rücklaufschieber 11, 12 erfolgt. Ein Vergleich der über der Gas- und Luftpumpe

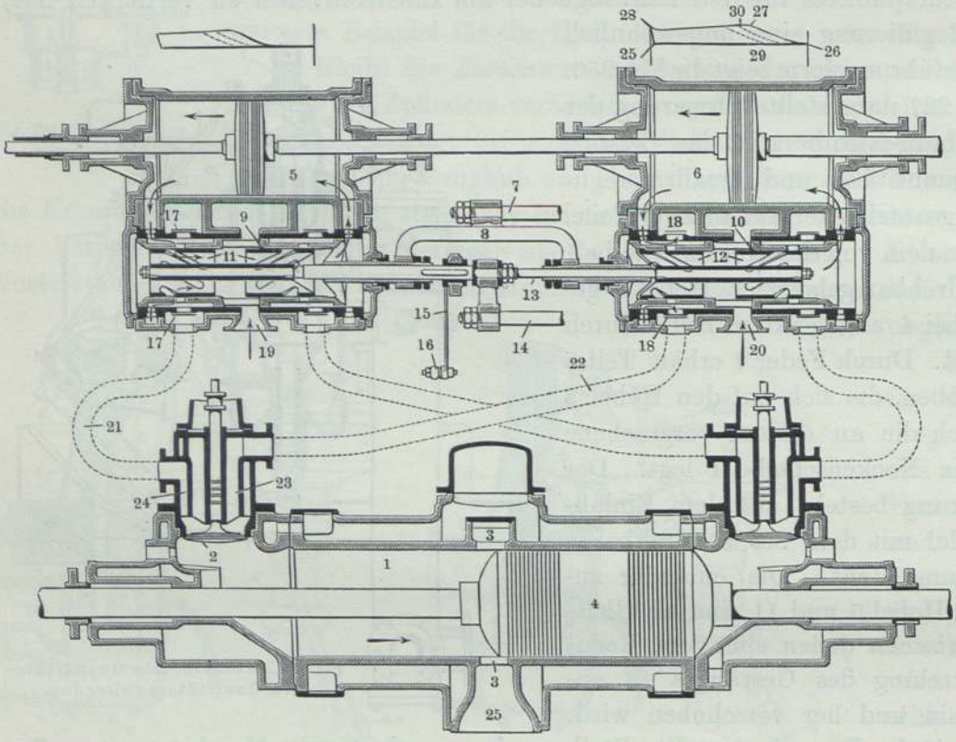


Fig. 228. Schema einer doppeltwirkenden Körtingschen Zweitaktmaschine.

angeordneten Diagramme zeigt, daß die Gaspumpe auch bei normalem Betriebe, der durch das voll ausgezogene Diagramm veranschaulicht wird, während des ersten Teiles des Druckhubes einen Teil des Gases in die Saugleitung zurückschiebt. Wäre dieses nicht der Fall, so würden sich die durch die Leitung 22 und den Ringraum 23 einströmende Luft und das durch die Leitung 21 und den Ringraum 24 zuströmende Gas unmittelbar über dem Einlaßventil 2 treffen und bei dessen Öffnung in das Zylinderinnere treten. Tatsächlich soll aber bei der Zweitaktmaschine zunächst reine Luft unter Überdruck in den Arbeitszylinder gelangen und die verbrauchten Verbrennungsgase austreiben. Dies wird durch die ungleiche Arbeitsweise der Pumpen bewirkt, denn da die Luftpumpe schon in die Druckleitung 22 fördert, während die Gaspumpe noch in die Saugleitung zurückschiebt — der Übertritt in die Druckleitung wird durch die Rückschlagventile 17 verhindert —, tritt die durch 23 zuströmende Luft in den Ringraum 24 und drängt das dort befindliche Gas etwas zurück, so daß sich bei Eröffnung des Ventils nur Luft (Spül- oder Fegeluft) über diesem befindet. Für die ständige gleichmäßige Zusammensetzung des Gemisches ist von großer Wichtigkeit, daß beide Pumpen auf denselben Druck (vgl. die Diagramme) verdichten.

Für viele Zwecke, wie z. B. für den Antrieb von Booten, ist die *Umsteuerung* der Verbrennungsmaschinen sehr wichtig, da die gebräuchliche Einschaltung von Wendegetrieben mancherlei Nachteile im Gefolge hat. Es sind in dieser Hinsicht die mannigfachsten Vorschläge gemacht worden. Die einen benutzen für Vorwärts- und Rückwärtslauf dieselben Steuernocken und ändern die Drehrichtung der Maschinen durch Verdrehen der Nocken auf der Steuerwelle; andere nehmen besondere Nocken für Vorwärts- und Rückwärtslauf, die nebeneinander auf der Steuerwelle sitzen und entweder auf ihr oder mit ihr verschoben werden, so daß immer nur die für die jeweilig gewünschte Drehrichtung bestimmten Nocken zur Wirkung gelangen (vgl. S. 137 und 144).

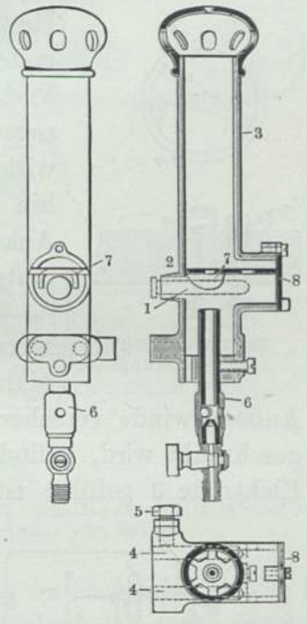


Fig. 229—231. Brenner mit Kamin eines Grusonwerk-Motors.

3. Zündvorrichtungen.

Die Entzündung der im Zylinder befindlichen verdichteten Ladung kann auf folgende vier verschiedene Arten vorgenommen werden: 1. *durch eine offene Flamme*, 2. *durch ein glühendes Röhrchen*, 3. *durch einen elektrischen Funken*, 4. *durch die bei der Verdichtung des Gemisches entstehende Wärme.*

Die Zündung durch eine offene Flamme ist gegenwärtig verlassen. Auch die Zündung durch ein Glührohr wird nur noch bei kleineren und mittleren Maschinen benutzt. Das Glührohr ist ein an einem Ende offenes und mit diesem mit dem Zylinderinnern in Verbindung stehendes Rohr aus Porzellan, Platin oder Schmiedeeisen, dessen Außenseite durch eine offene Flamme auf Rotglut erwärmt wird. Neben den ständig mit dem Zylinderinnern in Verbindung stehenden ungesteuerten Glührohren sind auch (selten) gesteuerte im Gebrauch, bei denen die Verbindung zwischen dem Innern des Rohres und dem Zylinder nur zu gewissen Zeitpunkten hergestellt wird.

Das Glührohr wirkt folgendermaßen. Während der Saugperiode entweicht ein Teil der im Innern des Rohres befindlichen heißen Gase in den Zylinder. Der Rest wird beim Kompressionshube wieder in das Rohr zurückgedrängt. Sobald das frisch komprimierte Ladungsgemisch an die glühende Stelle des Rohres kommt, erfolgt die Zündung, deren Zeitpunkt durch Verlegung der Glühzone geregelt werden kann. Tritt die Zündung zu spät ein, so wird die Glühzone nach dem Zylinder zu verlegt; tritt sie zu früh ein, mehr nach dem anderen Ende des Rohres zu. Die äußere Anordnung einer solchen Zündung eines Grusonwerk-Motors zeigen die Fig. 229—231. In diesen ist 1 das Glührohr und 2 der Ansatz für den Zylinderkopf. Der Kamin 3 ruht auf den Tragstiften 4, auf denen er zur Verlegung des Zündzeitpunktes verschoben und in der gewünschten Stellung mittels der Schraube 5 festgestellt werden kann. Die Erhitzung

des Glührohres geschieht durch den in senkrechter Richtung verstellbaren Bunsenbrenner 6, dessen Flamme durch den Teil 7 verteilt wird. Häufig ist nach einmal erfolgter Anwärmung eine weitere äußere Beheizung entbehrlich, da die bei der Verpuffung eintretende Erwärmung genügt, um das Glührohr im glühenden Zustande zu erhalten. 8 ist eine Schauklappe, um das Glührohr beobachten zu können.

Am verbreitetsten ist jetzt die elektrische Zündung. Der für diese erforderliche Strom wird entweder durch eine Elementen- oder Akkumulatorenbatterie erzeugt oder mittels einer kleinen magnetelektrischen Maschine. Wenn auch die Anordnung einer Batterie am einfachsten ist, da sie keine beweglichen Teile besitzt und an beliebiger Stelle untergebracht werden kann, so haften ihr doch verschiedene Nachteile an, namentlich der, daß der Strom keine konstante Stärke behält, infolgedessen von Zeit zu Zeit ein Nachfüllen oder Aufladen der Batterie erforderlich ist. Diesen Mängeln gegenüber bieten die magnetelektrischen Zündapparate den Vorteil großer Betriebssicherheit. Je nach der Art, wie bei diesen Apparaten die für die Lieferung des Stromes erforderliche Drehgeschwindigkeit des Ankers gegenüber den Magnetpolen erzeugt wird, sind drei Hauptgruppen zu unterscheiden. Bei der ersten steht der Anker mit den sich drehenden Teilen der Maschine in fester Verbindung, dreht sich also ständig; bei der zweiten wird der Anker durch eine sogenannte Abschnappsteuerung mitgenommen, um dann plötzlich unter Federwirkung mit großer Geschwindigkeit zurückzuschnellen, vollführt also eine hin und her schwingende Bewegung, und bei der dritten schließlich stehen Anker und Magnet fest, während zwischen ihnen, wie unten eingehender erläutert ist, eine Hülse hin und her schwingt.

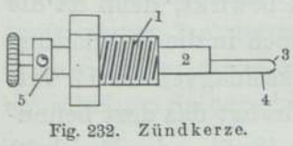
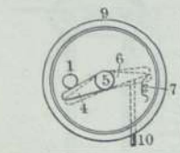


Fig. 232. Zündkerze.



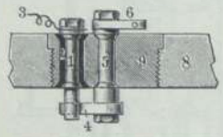


Fig. 233 und 234. Abreißzündung.

Die Erzeugung des Funkens geschieht entweder durch eine elektrische Kerze (Zündkerze oder Zünder) oder durch eine Abreißvorrichtung. Die Ausbildung der *Zündkerze* zeigt im Prinzip Fig. 232. In einem metallenen, mit Außengewinde versehenen Pfropfen 1, der in entsprechendes Muttergewinde des Zylinders eingeschraubt wird, befindet sich ein Isolierstäbchen 2 aus Porzellan, durch dessen Mitte die eine Elektrode 3 geführt ist, während die andere Elektrode 4 mit dem Metallteil 1 der Kerze in Verbindung steht. Beide Elektroden stehen einander in einem Abstande von etwa 1 mm gegenüber, der von dem elektrischen Funken übersprungen wird. Die Elektrode 3 ist durch Klemme 5 mit der Hochspannungsleitung verbunden, während als Zuleitung für die andere Elektrode die Metallmasse des Zylinders dient, mit welcher der metallene Teil 1 der Kerze verschraubt ist.

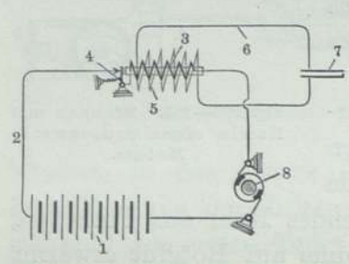


Fig. 235. Schaltung der Batteriezündung.

Bei der *Abreißzündung* entsteht der Zündfunke dadurch, daß im Augenblick der Zündung zwei bis dahin in inniger Berührung miteinander befindliche Kontaktteile voneinander entfernt werden. Gegen den durch die Hülse 2 (s. Fig. 233 und 234) isolierten, mit der Stromzuleitung 3 verbundenen Kontaktstift 1 legt sich der Kontakthebel 4, dem der Strom durch die Metallmasse 8 des Zylinders unter Vermittelung des metallenen Teiles 9 und Stiftes 5 zugeführt wird. Bemerkt sei, daß die Seite der Zylinderwandung 8, auf der sich Hebel 4 befindet, das Innere des Zylinders; die andere, auf welcher der Hebel 6 mit der Feder 7 sitzt, den Raum außerhalb des Zylinders darstellt. Der Hebel 4 ist fest mit dem drehbar gelagerten Stift 5 verbunden, an dessen anderem Ende ein Hebel 6 sitzt, der durch die Feder 7 so beeinflußt wird, daß sich Hebel 4 fest gegen Stift 1 legt. Im Moment der Zündung stößt die Unterbrecherstange 10 gegen Hebel 6 und hebt den Hebel 4 vom Stift 1 ab, wodurch eine Unterbrechung des Stromkreises und ein Öffnungsfunke entsteht, der die Zündung bewirkt.

Bei der Benutzung einer Elementen- oder Akkumulatorenbatterie sind zwei voneinander getrennte Stromkreise vorhanden. In den von der Batterie 1 (Fig. 235) gespeisten Stromkreis, den

primären Stromkreis 2, sind ein weiter unten näher erläuterter Stromverteiler und die Primärwickelung einer Induktionsspule 3 nebst Unterbrecher 4 (Wagnerscher oder Neefscher Hammer) eingeschaltet. Die durch die Primärspule in rascher Folge gesandten Stromstöße erzeugen in der sie umgebenden Sekundärwickelung 5 einen hochgespannten Induktionsstrom, der den Luftraum zwischen den beiden Elektrodenspitzen einer in den Sekundärstromkreis 6 eingeschalteten Zündkerze 7 überspringt. Gesteuert wird diese Zündung durch einen von der Maschine angetriebenen Stromverteiler 8, der den primären Stromkreis in dem Augenblick, in dem gezündet werden soll, in dem also im sekundären Stromkreis Funken überspringen sollen, schließt. Bei jeder Zündung springen eine ganze Reihe von Funken hintereinander über, so daß die Zündung sicher erfolgt.

Fig. 236 und 237 zeigen einen magnetelektrischen Zündapparat der Firma Bosch in Stuttgart. Bei diesem stehen sowohl der Siemenssche I-Anker 1 als auch die aus mehreren Hufeisenmagneten 2 gebildeten Polschuhe fest. Zwischen Anker und Polschuhen vollführen zwei aus weichem Eisen bestehende Segmente 3 Schwingungen von etwa 20—25°, die dadurch hervorgerufen werden, daß sich ein auf der Steuerwelle angeordneter Daumen 4 gegen den mit den Segmenten 3 in fester Verbindung stehenden Hebel 5 legt. Ist Daumen 4 unter dem Hebel 5 hinweggeglitten, so wird letzterer durch die Federn 6 in die Anfangsstellung zurückgeführt. Mit Hebel 5 ist Stange 7 verbunden, deren anderes Ende in eine den Stift 8 umfassende Gabel ausläuft. Stift 8 sitzt an dem einen Schenkel eines Winkelhebels, dessen anderer Schenkel unter Einwirkung der Feder 9 steht. Befestigt ist der Winkelhebel an einem Zapfen 10, der durch Flansch 11 hindurch in das Innere des Zylinders hineinragt und dort den sich unter Wirkung der Feder 9 gegen Stift 13 legenden Zündhebel 12 trägt. Stift 13 ist mit Isolierung in den Flansch eingesetzt und durch Leitung 14 mit der Klemme 15 verbunden, zu der ein Ende der Wickelung des Ankers 1 führt. Das andere Ende ist an den Körper des Apparates gelegt und steht durch ihn mit dem Zündhebel 12 in Verbindung. Die Wirkung ist folgende. In dem Maße wie sich die Segmente 3 über den feststehenden Anker 1 schieben (Fig. 237), gehen mehr und mehr Kraftlinien (vgl. Abt. „Elektrotechnik I") durch diesen. Die Größe der in der Ankerwickelung induzierten elektromotorischen Kraft ist abhängig von der Größe der in der Zeiteinheit auftretenden Änderung der Kraftlinienzahl. Da die Kraftlinienzahl, wenn die Segmente 3 durch die Federn 6 mit großer Schnelligkeit in die Anfangsstellung zurückgerissen werden, plötzlich stark abnimmt, entsteht in der Ankerwickelung ein kräftiger Stromstoß, der durch die Leitung 14, Stift 13, Hebel 12 und den Körper des Apparates wieder zur Wickelung zurückkehrt. Bei der großen Heftigkeit, mit welcher der Hebel 5 in die Gleichgewichtslage zurückschnellt, überschreitet er diese zunächst. Die Folge ist, daß die Gabel der Stange 7 gegen den Stift 8 schlägt, wodurch eine Drehung des Zapfens 10 und damit ein Abheben des Zündhebels 12 von dem Stift 13 herbeigeführt wird, so daß ein kräftiger Zündfunke überspringen kann.

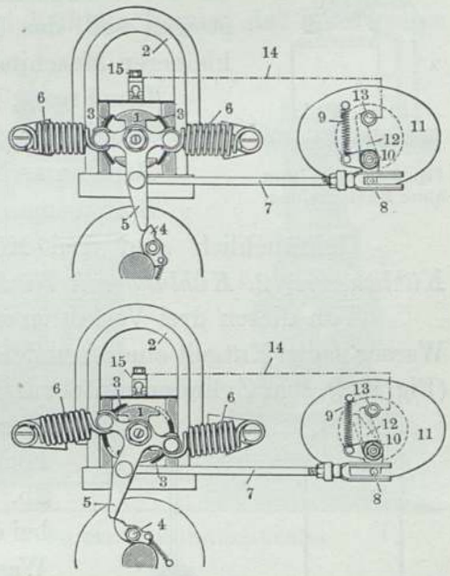


Fig. 236 und 237. Zündapparat mit ruhendem Anker von Bosch.

Das an vierter Stelle genannte Zündverfahren, bei dem die Kompressionswärme in Verbindung mit der Abwärme der heißen Zylinderwandungen zur Zündung benutzt wird, bedarf keiner eigentlichen Zündvorrichtung. Es ist beim Dieselmotor besprochen, wo es angewendet wird.

4. Kühleinrichtungen.

Da durch die Verbrennung des Gemisches im Zylinder eine beträchtliche Wärme entwickelt wird, müssen die mit den heißen Verbrennungsgasen in Berührung kommenden Maschinenteile gekühlt werden, da sie sonst unter der Einwirkung der Hitze zerstört würden. Bei kleinen

Wagenmotoren genügt es, den Zylinder zu diesem Zweck mit Rippen zu versehen und dann dem Luftzuge auszusetzen. Größere und besonders ortfeste Maschinen erfordern aber intensive Wasserkühlung. Diese beschränkt sich bei den einfachwirkenden Maschinen mittlerer Größe, bei denen eine Seite des Kolbens ständig mit der Außenluft in Verbindung steht, auf eine Kühlung des Arbeitszylinders und dessen Kopfes. Die Menge des Kühlwassers richtet sich nach der Größe der abzuführenden Wärmemenge und nach der Temperatur, mit der das Kühlwasser zu- und abfließt. Im Durchschnitt kann angenommen werden, daß ein Drittel der für die nutzbare Pferdestärkenstunde erforderlichen Wärmemenge vom Kühlwasser aufgenommen und fortgeführt wird. Bei 2700 WE für die nutzbare Pferdestärkenstunde sind das 900 WE. Wird weiter angenommen, daß das Kühlwasser mit 15° C zu- und mit 60° C abfließt, so sind für die Stunde $\frac{900}{60-15} = 20$ l Wasser erforderlich. Wenn auch bei größeren Maschinen der Wärmeverbrauch für die Pferdestärkenstunde geringer ist, so sinkt hierdurch trotzdem nicht der Kühlwasserverbrauch, da bei Großgasmaschinen die Temperatur des Kühlwassers nicht über 50° steigen soll, das Kühlwasser also nicht so ausgenutzt werden kann wie bei kleineren Maschinen. Es beträgt die Temperatur des Abflußwassers bei

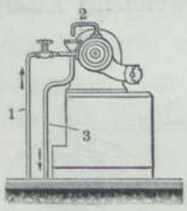


Fig. 238. Kühlung ohne Rückkühlung.

Leuchtgas-, Petroleummaschinen	50— 60°
Sauggasmaschinen	60— 70°
Benzinmaschinen	40— 50°
Spiritusmaschinen	90—100°

Gebräuchlich sind drei Kühlverfahren, nämlich: 1. *Kühlung ohne Rückkühlung des Kühlwassers*, 2. *Kühlung mit Rückkühlung des Kühlwassers*, 3. *Verdampfungskühlung*.

Von diesen drei Verfahren ist das erste das einfachste, aber auch das teuerste, wenn das Wasser gegen Entgelt einer fremden Wasserleitung entnommen wird. Der Zufluß des durch Rohr 1 (Fig. 238) dem Zylindermantel zuströmenden Wassers wird durch einen Hahn geregelt. Nach dem Durchströmen der Mantelräume verläßt das Wasser diese an ihrer höchsten Stelle durch Rohr 2 und fließt durch das Abflußrohr 3 ab. Diese Art der Kühlung findet Verwendung bei Motorbooten, bei denen eine von dem Motor angetriebene kleine Pumpe das Wasser durch eine Öffnung in der Außenhaut des Bootes ansaugt und es dann durch die Kühlmäntel drückt, aus denen es durch eine zweite, oberhalb des Wasserspiegels gelegene Öffnung in der Außenhaut des Bootes abgeführt wird.

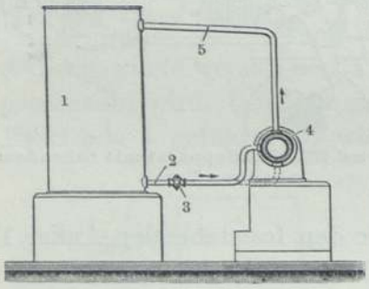


Fig. 239. Kühlung mit Rückkühlung (Kühlgefäß).

Wo dieses Kühlverfahren zu teuer, oder wo Frischwasser nicht in genügender Menge vorhanden ist, wird zu einer Rückkühlung des warmen Kühlwassers geschritten. Bei Maschinen mit Rückkühlanlage vollführt das Kühlwasser einen Kreislauf, indem es vom Zylinder zur Kühlanlage und von dieser wieder zum Zylinder zurückfließt. Es ist dann nur der durch Verdunsten des Kühlwassers entstehende Verlust zu ersetzen; auf diese Weise wird der Wasserverbrauch für die effektive Pferdestärkenstunde auf etwa 3 l herabgedrückt.

Von den zur Rückkühlung dienenden Einrichtungen sind die gebräuchlichsten: 1. die *Kühlgefäße*, 2. die *Rippenkühler*, 3. die *Gradierwerke*.

Kühlgefäße. Ein Beispiel zeigt Fig. 239. In dieser ist 1 das offene Kühlgefäß, das so hoch mit Wasser gefüllt ist, daß der Wasserspiegel etwas oberhalb des Zuflußrohres 5 liegt. Von dem unteren Teile des Kühlgefäßes führt ein Rohr 2 zum Zylindermantel 4. In dieses Rohr ist ein Dreiwegehahn 3 eingeschaltet, durch den entweder eine Verbindung mit dem Zylindermantel oder mit der Außenluft hergestellt wird, letzteres zu dem Zwecke einer Entleerung des Kühlgefäßes. Von dem Zylindermantel fließt das heiße Kühlwasser durch das ständig ansteigende Rohr 5 zu dem Kühlgefäß. Befindet sich das Kühlgefäß in der Nähe der Maschine und sind die Leitungen frei von unnötigen Krümmungen, so ist eine besondere Pumpe zur Herbeiführung des Wasserumlaufes nicht erforderlich; es genügt vielmehr der durch den Temperaturunterschied

hervorgerufene Gewichtsunterschied der beiden Wassersäulen zur Aufrechterhaltung des Umlaufes. Das im Zylindermantel beheizte Wasser steigt im Rohr 5 empor, was ein Nachsinken des sich im Kühlgefäß und besonders an dessen Oberfläche abkühlenden Wassers zur Folge hat. Wesentlich ist hierbei, daß der Wasserspiegel nie unter die Mündung des Rohres 5 sinkt, was sofort eine Unterbrechung des Wasserumlaufes zur Folge haben würde. Um dieses zu verhindern, sind häufig Schwimmerventile angeordnet, die beim Unterschreiten eines bestimmten Wasserstandes selbsttätig den Zufluß frischen Wassers als Ersatz für das verdunstete einleiten. Die Kühlgefäße sind an einem luftigen Orte aufzustellen. Auch sind Vorkehrungen zu treffen, um im Winter ein Einfrieren des Kühlwassers zu vermeiden, was durch Hinzufügung von Alkohol usw. zum Kühlwasser geschieht. Die Rückkühlung des Kühlwassers durch Kühlgefäße wird bei Maschinen mittlerer Leistung bis zu etwa 50 PS angewendet. Wird die Kühlwassermenge zu groß, so findet vorteilhaft eine Unterteilung des Kühlgefäßes statt.

Rippenkühler. Eine größere Abkühlungsfläche haben die Rippenkühler, die in ihrer Ausbildung den bekannten Rippenheizkörpern ähneln. Bei diesen Kühlern kommt das Kühlwasser mit der Luft nicht in Berührung; daher fallen die Verdunstungsverluste fort. Der obere Teil des Rippenkühlers steht mit der das heiße Wasser zuführenden, sein unterer Teil mit der das abgekühlte abführenden Leitung in Verbindung. Da bei vollem Tagesbetriebe für 1 Pferdestärke eine Kühlfläche von 3—4 qm notwendig ist, sind diese Kühler auch nur für kleinere Maschinen verwendbar. Hierher gehören die Automobilkühler, bei denen das Kühlwasser ebenfalls von oben nach unten durch eine große Anzahl dünnwandiger Kanäle fließt; zwischen diesen streicht der beim Fahren entstehende Luftstrom hindurch, dessen Wirkung mitunter noch durch einen Ventilator erhöht wird.

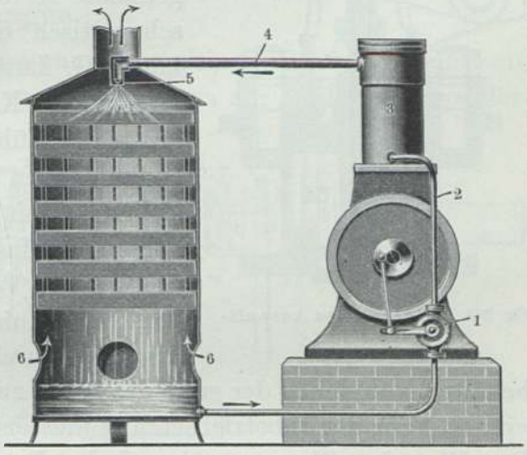


Fig. 240. Ventilationskühler.

Gradierwerke. Die für die Rückkühlung des Kühlwassers aufgestellten Gradierwerke, bei denen das Wasser mit der Kühlluft in unmittelbare Berührung kommt, wirken wie die Kaminkühler für die Oberflächenkondensatoren der Dampfmaschinen (vgl. Seite 71). Die Gradierwerke finden bei Großgasmaschinen Verwendung, brauchen aber viel Raum und sind teuer. Auf dem gleichen Prinzip beruhen die bei kleineren, namentlich lokomobilen Ölmaschinen häufig zu findenden *Ventilationskühler* (Fig. 240), in denen sich das kalte Wasser unten ansammelt und von einer kleinen, von der Maschine angetriebenen Pumpe 1 durch die Leitung 2 dem Kühlmantel des Arbeitszylinders 3 zugeführt wird, von dem aus es durch die Rohrleitung 4 dem Kühler wieder zuströmt. Im höchsten Punkte des Kühlers wird das Wasser durch einen Zerstäuber 5 fein verteilt und rieselt langsam über ein System übereinandergeschichteter Latten nach unten. Hierbei kommt es in innige Berührung mit der von unten bei 6 zuströmenden Luft, deren Zugwirkung häufig durch einen von der Maschine angetriebenen Ventilator unterstützt wird.

Das dritte Kühlverfahren, die *Verdampfungskühlung*, bei der das Kühlwasser nicht nur erwärmt, sondern sogar in den dampfförmigen Zustand übergeführt wird, ist nur anwendbar bei Maschinen, die an sich schon, wie Spiritusmaschinen, eine hohe Abflußtemperatur des Kühlwassers zulassen, hat aber eine größere Verbreitung nicht gefunden.

Bezüglich der Anordnung der Kühlung für die einzelnen in Frage kommenden Teile, wie Zylinderkopf und -mantel, Auspuffventil, Kolben und Kolbenstange usw., ist noch zu bemerken, daß es vorteilhafter ist, für die einzelnen Teile gesonderte Kühlwasserleitungen anzulegen, da hierdurch die Kühlung für jeden einzelnen Teil für sich geregelt werden kann.

Für das Einströmventil ist eine Wasserkühlung nicht notwendig, da es beim jedesmaligen Ansaugen von dem frisch zuströmenden Gemisch gekühlt wird. Anders das Auspuffventil, das

bei jeder Arbeitsperiode von den heißen Verbrennungsgasen umspült wird, und dessen Kühlung infolgedessen bei größeren Verbrennungsmaschinen durchaus nötig ist. Fig. 241 zeigt ein Beispiel für ein solches Auspuffventil. Kegel und Kegelschaft 1 sind hohl ausgebildet und tragen an ihrem oberen Ende den Teller 2, gegen den sich die Schraubenfeder 3 legt und so das Ventil in der Schlußstellung erhält. Die Eröffnung erfolgt durch Ausschwingen des Hebels 4, dessen gabelförmig ausgebildetes Ende sich gegen Vorsprünge des Kegelschaftes 1 legt. Das Kühlwasser wird bei 5 zugeführt, durchfließt das Rohr 6 und strömt durch das im Innern des Kegelschaftes angeordnete, ständig feststehende Röhrchen 7 bis zum Boden des Ventilkegels. Hier ändert es seine Richtung und fließt nunmehr im Gegenstrom zu dem nachströmenden Kühlwasser durch den Hohlraum zwischen Rohr 7 und Kegelschaft 1, bis es schließlich durch die Öffnungen 8 in den Raum 9 übertritt, aus dem es durch das Rohr 10 abgeführt wird.

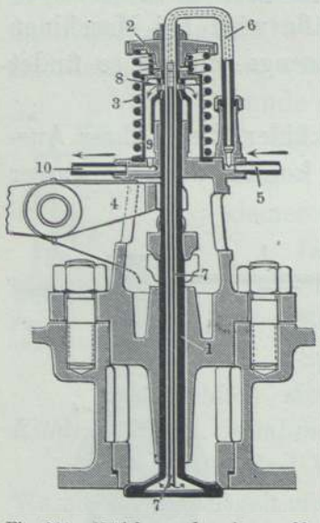


Fig. 241. Kühlung des Auspuffventils.

Wesentlich schwieriger gestalten sich Zu- und Abführung des Kühlwassers bei der Kolbenkühlung, wozu gewöhnlich die hohl ausgebildete Kolbenstange benutzt wird. Bei der in den Fig. 242—244 schematisch dargestellten Ausführungsform der Firma Maschinenfabrik G. Luther A.-G. in Braunschweig dienen die beim Hin- und Hergang des Kolbens auftretenden Beschleunigungs- und Verzögerungskräfte der Kühlflüssigkeit zum Durchtreiben der Flüssigkeit durch die zu kühlenden Teile. In Fig. 243 und 244 ist der vordere Teil des Zylinders mit dem Kurbelgestänge abgebrochen und 1 der Arbeitskolben der Maschine. Durch den hinteren Zylinderdeckel 17 geht die rückwärtige Verlängerung der Kolbenstange, die dann nochmals durch den Gleitschuh 16 geführt wird. 13 und 14 sind zwei nebeneinanderliegende, durch eine Scheidewand 15 voneinander getrennte Wasserbehälter, von denen der erste das frisch zuströmende, der zweite das verbrauchte Kühlwasser aufnimmt. Vor der Inbetriebsetzung müssen die zu kühlenden Räume mit Wasser angefüllt werden. Der Weg des Wassers während des Betriebes ist dann folgender. Aus Behälter 13 strömt es durch das Rohr 4 in den ringförmigen Hohlraum 2 der Kolbenstange und durchfließt diesen bis zur Scheidewand 8, wo es durch die Öffnung 10 in den hohlen Kolben 1 eintritt. In diesem steigt es empor und wird dann durch das Überfallrohr 9 in den Hohlraum 18 geleitet, den es durchströmt, bis es am Ende der hohlen Kolbenstange durch die Löcher 11 in das innere Rohr 3 tritt, durch dessen Verlängerung 5 es schließlich in den Behälter 14 abgeführt wird.

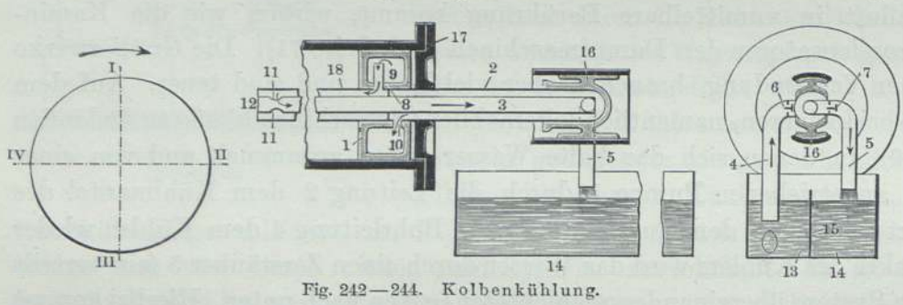


Fig. 242—244. Kolbenkühlung.

Fig. 242 ist eine schematische Darstellung des Kurbelkreises mit den vier Hauptstellungen der Kurbel. Während der Kurbelbewegung von I nach II findet eine verzögerte Bewegung des Kolbengestänges nach rechts statt und haben infolgedessen die Wassersäulen (Fig. 243 und 244) im Rohr 3 und in den Hohlräumen 2, 18 wegen der ihnen innewohnenden lebendigen Kräfte das Bestreben, sich relativ zum Kolben nach rechts zu bewegen. Die in den Hohlräumen 2, 18 befindlichen Säulen können diese Bewegung nicht ausführen, da sich sofort das Ventil 6 schließt und die Wassersäulen infolgedessen relativ zum Kolbengestänge zur Ruhe kommen. Anders dagegen die in dem inneren Rohr 3 befindliche Wassersäule; diese kann sich in dem Rohr nach rechts bewegen, aber auch erst dann, wenn die Wassersäule am geschlossenen Ende der Kolbenstange bei 12 unter Bildung eines Vakuums abreißt. Hierbei muß zunächst das Ventil 7 geöffnet und dann der

äußere Atmosphärendruck überwunden werden. Während der Kurbelbewegung von II nach III erhält das Kolbengestänge eine beschleunigte Bewegung nach links, an der die im Rohr 3 befindliche Wassersäule wegen der ihr innewohnenden Trägheit zunächst noch nicht teilnimmt. Diese hat noch die Neigung, relativ zum Kolben nach rechts zu gehen, welche Wasserbewegung anhält, bis der atmosphärische Druck gegen das bei 12 herrschende Vakuum den Beschleunigungsdruck der Wassersäule überwindet und unter Schließen des Ventils 7 die Wasserbewegung zum Stillstand bringt. Gleichzeitig führt jetzt das Überwiegen des Atmosphärendruckes gegen das Vakuum 12 dazu, daß sich Ventil 6 öffnet und die Wassersäule in den Hohlräumen 18, 2 anfängt, relativ zum Kolben nach links zu strömen und hierbei aus dem Behälter 13 durch das Rohr 4 nachzusaugen. Verstärkt wird diese Strömung durch die Kolbenverzögerung während der Kurbelbewegung von III nach IV, bei der die Wassersäule im Rohr 3 relativ zum Kolben in Ruhe und Ventil 7 geschlossen bleibt. Während der Kurbelbewegung von IV nach I hat die beschleunigte Kolbenbewegung zunächst noch dieselbe Wirkung. Zur Regelung der durchströmenden Wassermenge können in den Zu- und Abflußleitungen 4, 5 Hähne angebracht sein.

5. Anlaßvorrichtungen.

Wie schon oben hervorgehoben ist, laufen die Verbrennungsmaschinen nicht von selbst an, sondern bedürfen einer besonderen Anlaßvorrichtung, und zwar wegen der großen Eigenwiderstände der Maschine. Beim Viertakt z. B. wirkt die Maschine während des ersten Kolbenhin- und -herganges als Verdichtungspumpe; erst beim dritten Kolbenhub wird auf den Kolben eine Kraft ausgeübt. Um die Widerstände beim Anlassen möglichst zu verringern, wird die Verdichtungsendspannung dadurch niedrig gehalten, daß während des ersten Teiles des Verdichtungshubes das Auslaßventil geöffnet und ein Teil des Gemisches in die Auspuffleitung ausgestoßen wird. Dies geschieht durch Einschalten eines kleinen, auf das Auslaßventil wirkenden Hilfsnockens, der wieder ausgerückt wird, sobald die Maschine im Gange ist. Die einfachste Art des Anlassens ist das Andrehen der Maschine durch Erfassen des Schwungrades, jedoch ist dieses Verfahren nur für kleinere Maschinen verwendbar und auch für diese nicht zu empfehlen, da leicht Unglücksfälle vorkommen. Bei den besonderen Anlaßvorrichtungen unterscheidet man das Andrehen: 1. *mit einer Andrehkurbel*, 2. *mit einem Hilfsmotor*, 3. *mit explosiblem Gemisch*, 4. *mit Druckluft*, 5. *mit elektrischem Strom*.

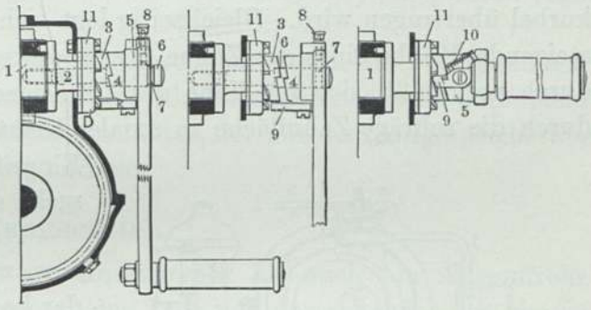


Fig. 245—247. Andrehkurbel (Deutzer Sicherheitskurbel).

Andrehkurbeln werden bei kleineren Maschinen unmittelbar auf die anzutreibende Welle gesetzt. Bei größeren Maschinen wird zwischen Andrehkurbel und Kurbelwelle ein Vorgelege, Ketten- oder Rädergetriebe, eingeschaltet und hierdurch eine Übersetzung ins Langsame herbeigeführt. Die sogenannten Sicherheitskurbeln müssen augenblicklich ausgerückt werden: sowohl dann, wenn die Maschine unter dem Einfluß der Verpuffung plötzlich anspringt, d. h. rascher zu laufen anfängt, als sich die Andrehkurbel dreht, als auch dann, wenn sich im Falle einer Frühzündung die Maschine plötzlich in einem der Andrehkurbel entgegengesetzten Sinne zu drehen beginnt. Ein Beispiel einer solchen Sicherheitskurbel der Gasmotorenfabrik Deutz zeigen die Fig. 245—247. In diesen ist 1 die anzudrehende Welle, die mit dem einen Teil 2 einer Klauenkuppelung in fester Verbindung steht. Dieser Teil trägt an seiner Stirnfläche schräg verlaufende Zähne 3; diese greifen in entsprechend ausgebildete Zähne 4 des anderen, mit der Kurbel fest verbundenen Kuppelungsteiles 5, der auf einem mit der Kurbelwelle verschraubten Bolzen 6 axial verschiebbar und drehbar angeordnet ist. Der Bolzen besitzt an seinem Ende eine Einkerbung 7, in die ein unter Federwirkung stehender, im Teil 5 geführter Stift 8 einschnappt. An dem Teil 5 sitzt ferner noch drehbar eine Sperrklinke 9, die durch eine Feder 10 in der in der Fig. 247

veranschaulichten Lage gehalten wird. Wie die Figur zeigt, kann sich diese Klinke nur in der dem Sinne des Uhrzeigers entgegengesetzten Richtung drehen. Schließlich ist noch der mit schräg ansteigenden Zähnen versehene Sperrkranz 11 zu erwähnen, der an dem Maschinengestell befestigt ist. Die Wirkungsweise der Kurbel ist folgende. Beim Andrehen legen sich die Zähne 4 gegen die Zähne 3, wodurch Welle 1 mitgenommen wird. Sperrklinke 9 stößt hierbei gegen jeden vorstehenden Zahn des festen Sperrkranzes 11, was aber belanglos ist, da die Klinke in dem dem Laufe des Uhrzeigers entgegengesetzt gerichteten Sinne ausweichen kann. Springt die Maschine plötzlich an, so gleiten die schrägen Flächen der Zähne 3 an den entsprechenden Flächen der Zähne 4 entlang und verschieben den Teil 5 mit der Kurbel, bis Stift 8 in die Eindrehung 7 einfällt.

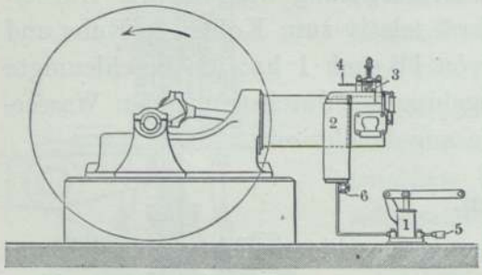


Fig. 248. Andrehen mit explosiblem Gemisch.

Die Kurbel steht nunmehr still (s. Fig. 246) und kann leicht nach Anheben des Stiftes 8 von der sich drehenden Welle bzw. dem Bolzen 6 abgezogen werden. Mitunter tritt nun eine Entzündung des Gasgemisches vor Beendigung der Kompression, eine sogenannte Frühzündung, ein. In diesem Falle kann der Kolben den Kompressionshub nicht beenden, sondern wird sofort wieder zurückgetrieben, so daß sich die Maschine im entgegengesetzten Sinne dreht, welche Bewegung durch die in Richtung der Achse verlaufenden Flächen der Zähne 3 und 4 auf die Andrehkurbel übertragen wird. Gleichzeitig legt sich aber auch die Sperrklinke 9 gegen die schräg ansteigende Fläche eines der Zähne des Sperrkranzes 11 (s. Fig. 247). Die Sperrklinke wird hierdurch veranlaßt, sich im Sinne des Uhrzeigers zu drehen. Da sie dieses nicht kann, wird sie durch die schräge Zahnfläche in axialer Richtung verschoben, so daß die Zähne 3 und 4 außer Eingriff kommen. Teil 5 und die Kurbel nehmen nunmehr die in Fig. 246 veranschaulichte Lage ein.

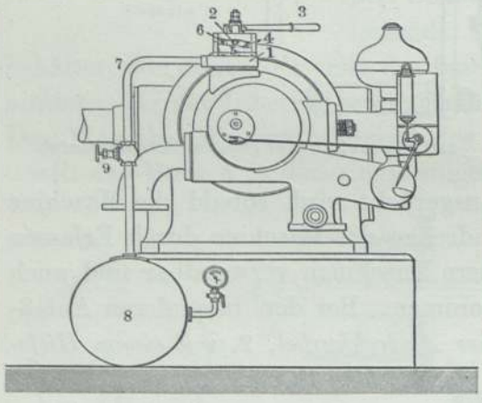


Fig. 249. Anlassen mit Druckluft.

Andrehen mit einem Hilfsmotor empfiehlt sich, wenn eine zweite Kraftmaschine vorhanden ist, es also nicht der besonderen Aufstellung einer solchen bedarf. Billiger als dieses Verfahren ist das *Anlassen mit explosiblem Gemisch*. Hierbei wird die Kurbel zunächst etwa 20° über diejenige innere Totpunktlage gestellt, bei der die Zündung stattfindet. Zum Einführen des Gemisches dient die kleine Handpumpe 1 (Fig. 248), die mit dem Behälter 2 in Verbindung steht. 3 ist das durch den Hebel 4 zu öffnende Anlaßventil und 5 der mit Benzin zu beschickende Vergaser. Zunächst wird bei geöffnetem Anlaßventil 3 mit der kleinen Handpumpe 1 Gemisch in das Zylinderinnere gepumpt. Dies muß vorsichtig geschehen, um zu verhüten, daß infolge des entstehenden Druckes der Kolben vorwärts geht. Hierauf wird das Anlaßventil geschlossen und der Behälter 2 auf einen höheren Druck aufgepumpt. Im Anschluß hieran findet ein rasches Öffnen des Anlaßventils statt. Das unter höherem Druck stehende Gemisch strömt in den Zylinder über und treibt den Kolben langsam vorwärts, bis eine Entzündung stattfindet, worauf das Anlaßventil geschlossen wird. Die durch die Entzündung hochgespannten Gase erteilen dem Kolben eine raschere Bewegung, wodurch in dem Schwungrade lebendige Kraft aufgespeichert wird, und zwar so viel, daß die Maschine einige weitere Umdrehungen machen und hierbei den normalen Betrieb einleiten kann. 6 ist schließlich noch ein kleiner Hahn an dem Behälter 2, der zu dessen Reinigung von den Verbrennungsrückständen dient. Diese Reinigung geschieht dadurch, daß beim Auslaufen der Maschine dieser Hahn geöffnet wird, wodurch bei geöffnetem Ventil 3 reine Luft angesaugt und wieder ausgestoßen wird.

Anlassen mit Druckluft ist heute das häufigste Anlaßverfahren. Die hierzu erforderliche

Druckluft wird bei kleineren Maschinen dadurch gewonnen, daß nach Abstellung der Brennstoffzufuhr die während des Auslaufens der Maschine angesaugte und komprimierte Luft in einen Sammelbehälter hineingedrückt wird. Ein Beispiel hierfür zeigt Fig. 249. In dieser ist 1 das Ladeventil, dessen Spindel die Zapfen 2 trägt; diese werden in ansteigenden Nuten des Ventilgehäuses geführt und durch Drehen des Hebels 3 in drei verschiedene Lagen 4, 5, 6 gebracht. 7 ist die zum Sammelbehälter 8 führende Leitung, in die ein Ventil 9 eingeschaltet ist. Während des normalen Betriebes befinden sich die Zapfen 2 in der Stellung 4, wodurch das Ventil derart fest auf seinen Sitz gepreßt wird, daß es von den im Zylinder auftretenden hohen Drucken nicht geöffnet wird. Beim Auslaufen des Motors werden die Zapfen in die Mittelstellung 5 gebracht. Nunmehr wird das Ventil, wenn die frisch angesaugte Luft komprimiert wird, geöffnet, so daß die Druckluft durch die Leitung 7 in den Sammelbehälter 8 eintreten kann. Soll schließlich beim Stillstand der Maschine angelassen werden, so werden die Zapfen in die dritte Stellung 6 gebracht, dadurch das Ventil geöffnet und die Verbindung zwischen Druckluftbehälter und Zylinder hergestellt. Dieser besonderen Ausführungsform des Verfahrens haftet der Übelstand an, daß der jeweilig zum Anlassen vorhandene Luftvorrat nur verhältnismäßig gering ist. Ist er verbraucht, und ist die Maschine dabei aus irgendeinem Grunde nicht angesprungen, so muß zu einem Andrehen von Hand geschritten werden. Um dieses zu vermeiden, werden größere Maschinen mit besonderen Anlaßkompressoren ausgerüstet, die während des Betriebes von der Maschine angetrieben werden und Luft von 10—15 at in einen Sammelbehälter pressen (vgl. hierzu auch das Klappmodell des Dieselmotors).

Das Anlaßverfahren mit elektrischem Strom ist nur anwendbar, wenn die Verbrennungsmaschine zum Antrieb einer Dynamomaschine dient und eine Akkumulatorenbatterie vorhanden ist. In diesem Falle wird die Dynamo als Elektromotor geschaltet, der mit dem aufgespeicherten Strom betrieben wird und die Verbrennungsmaschine andreht.

6. Schalldämpfungsmittel.

Die Schalldämpfungsmittel müssen sowohl am Ansaugerohr als auch am Auspuffrohr vorgesehen sein, um das Strömungsgeräusch der angesaugten Luft und der auspuffenden Abgase zu verringern. Sie werden als *Saug-* und *Auspufftöpfe* bezeichnet. Bei den Saugtöpfen wird noch der Nebenzweck verfolgt, die Luft von groben Verunreinigungen zu befreien. Die Dämpfung des Schalles erfolgt entweder durch allmähliche Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit oder durch nach dem Prinzip der Helmholtz-Resonatoren ausgebildete Ausgleichräume.

Ein *Saugtopf* hat eine Größe, die etwa dem fünffachen Hubvolumen des Arbeitszylinders gleichkommt. Unter Umständen genügt es, die Maschine aus dem hohlen Rahmen- oder Gestellfuß ansaugen zu lassen. Unzweckmäßig ist es dagegen, bei stehenden Maschinen die Ansaugeluft aus dem geschlossenen Kurbelgehäuse zu entnehmen, da diese Luft einerseits wegen der Erwärmung von geringerer Dichte und anderseits nicht frei von Verunreinigungen wie Abdämpfen ist. Bei großen Maschinen werden gemauerte Saugschächte angeordnet, aus denen die Maschine ansaugt.

Die *Auspufftöpfe* müssen, um ihren Zweck wirksam zu erfüllen, größer sein als die Saugtöpfe. Bei ihnen wird mit einem 15—20fachen Volumen des Arbeitszylinders gerechnet. Da infolgedessen ihre bauliche Anordnung auf Schwierigkeiten stößt, werden häufig mehrere kleinere Auspufftöpfe hintereinander geschaltet. Auch hier hat sich bei größeren Maschinen die Anordnung gemauerter unterirdischer Kanäle als vorteilhaft erwiesen, nachdem sich der erste Spannungsausgleich zwischen Auspuffgasen und Atmosphäre in einem Auspufftopf vollzogen hat. Ferner ist noch darauf zu achten, daß die heißen Auspuffgase — diese verlassen die Maschine mit einer Temperatur von etwa 400° — vor dem Eintritt in den Auspufftopf gekühlt werden. Mitunter wird eine schädliche Erwärmung des Auspufftopfes dadurch vermieden, daß das von der Maschine abgeführte Kühlwasser zum Teil in den Auspufftopf eingespritzt wird. Über die Kühlung der Auspuffgase vgl. die Beschreibungen der Fig. 250 und Fig. 273.

D. Die bauliche Gesamtanordnung der Verpuffungsmaschinen.

Nachdem vorstehend die wesentlichen Einzelheiten der Verbrennungsmaschinen, besonders der Verpuffungsmaschinen, besprochen sind, soll nunmehr einiges über den Gesamtaufbau gesagt werden. Bei der Fülle der von den führenden Firmen auf den Markt gebrachten Ausführungsformen und bei dem geringen zur Verfügung stehenden Raum kann an dieser Stelle nur je ein Beispiel für die Hauptarten und Hauptverwendungszwecke gegeben werden.

I. Die Viertaktmaschinen.

1. Ortfeste Maschinen.

Eine Gasmaschine der Firma Gebr. Körting A.-G. von etwa 100 Nutzpferdestärken zeigen die Fig. 250 und 251. In dem Zylinder gleitet der Kolben 1, dessen Bewegung durch die Schubstange 2 auf die Kurbelwelle übertragen wird. Zum Massenausgleich sind die Kurbeln mit Gegengewichten 3 versehen, was namentlich bei schnellaufenden Maschinen für die Ruhe des Ganges und die Standfestigkeit der Maschine von Vorteil ist, findet doch hierdurch ein Ausgleich sowohl der durch die einseitigen Fliehkräfte der Kurbelarme und auf- und abschwingenden Schubstangenmassen als auch der durch den Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsdruck in der Richtung der Zylinderachse hervorgerufenen Gegenkräfte statt. In dem hinteren, den Verdichtungsraum bildenden Teil des Zylinders, dem Zylinderkopf, sind die verschiedenen Ventile sowie die Zündvorrichtung untergebracht. Das Gas wird durch die Rohrleitung 4, in die der Hahn 5 eingeschaltet ist, zugeführt, während die Luft durch den an den Rahmenfuß angeschlossenen Rohr-

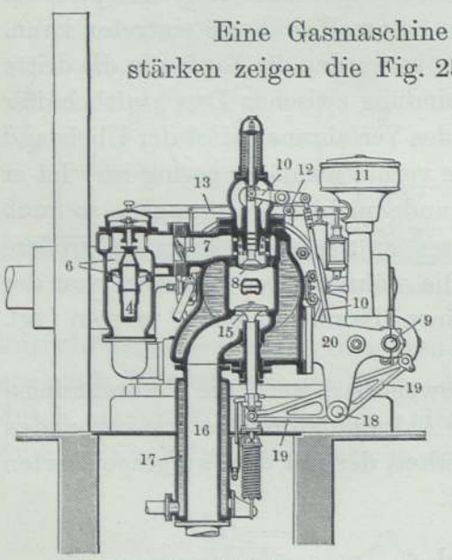


Fig. 250. Querschnitt der Fig. 251.

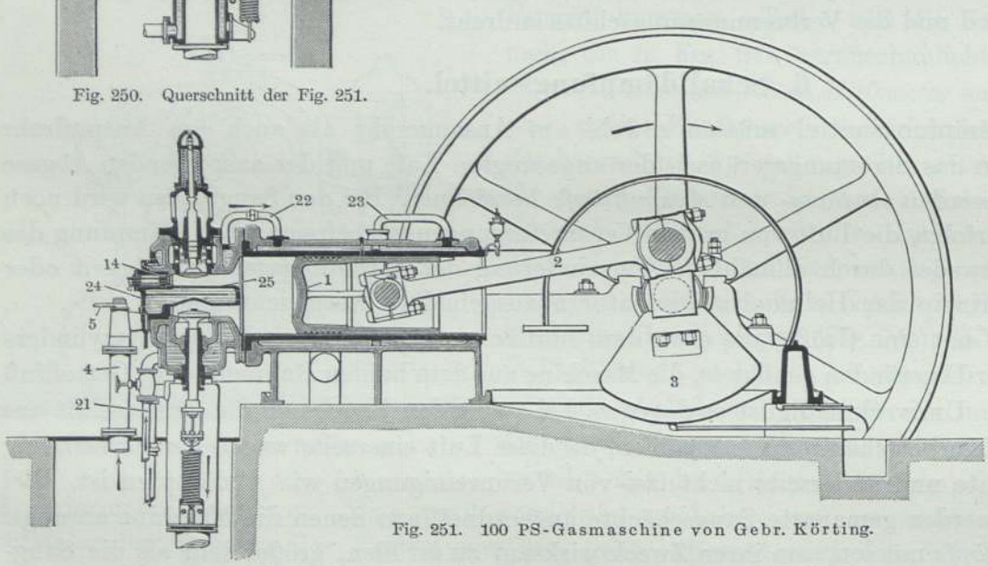


Fig. 251. 100 PS-Gasmaschine von Gebr. Körting.

ansatz zuströmt. Der Eintritt der Luft in den Hohlraum des Rahmens erfolgt durch Löcher, die zweckmäßig auf der dem Schwungrad abgewendeten Seite des Rahmens vorgesehen sind, um nach Möglichkeit dem durch das Schwungrad aufgewirbelten Staube den Zutritt in den Rahmen zu versperren. Beim Durchtritt durch das Mischventil 6 mischen sich Gas und Luft in einem bestimmten Verhältnis, das ständig gleich bleibt, wie weit sich auch der Ventilteller öffnet. Macht die Verwendung eines neuen Betriebsmittels von anderem Heizwert eine Änderung des Mischungsverhältnisses notwendig, so wird dem durch Einsetzen eines neuen Ventiltellers mit anderen Querschnittsöffnungen für den Durchtritt des Gases Rechnung getragen. Durch den Kanal 7 gelangt das Gemisch zu dem federbelasteten Ventil 8, das von einem auf der Steuerwelle 9 sitzenden Daumen unter Vermittelung des Gestänges 10 angetrieben wird. Die Regulierung ist eine Quantitätsregulierung. Durch Verstellen einer in den Kanal 7 zwischen Einlaß- und

Mischventil eingeschalteten Drosselklappe wird die Menge des zuströmenden Gemisches geregelt. Durch diese Art der Regulierung sollen selbst plötzliche Ent- und Belastungen nahezu spurlos an der Maschine vorübergehen. Ein großer Vorteil ist ferner, daß der Gasverbrauch auch bei geringen Leistungen ein verhältnismäßig günstiger ist. Der Antrieb der Drosselklappe erfolgt vom Regulator 11 aus durch den um den festen Punkt 12 schwingenden Doppelhebel 13. Ferner ist am Regulator, der von der Steuerwelle aus unter Vermittelung von Schraubenrädern angetrieben wird, noch eine Einrichtung zu einer wenn auch geringen Erhöhung der Umdrehungszahl vorgesehen. Die Zündung erfolgt bei 14 auf elektrischem Wege durch aus der Zeichnung nicht ersichtliche Magnetinduktoren. Den Verbrennungseigenschaften der verschiedenartigen Brennstoffe entsprechend kann der Zeitpunkt der Zündung während des Ganges der Maschine verstellt werden. Nachdem die Verbrennungsgase im Zylinder Arbeit geleistet haben, gelangen sie durch das Auspuffventil 15 in die Abgasleitung 16, deren erster Teil mit einem Wassermantel 17 versehen ist, um die heißen Gase vor dem Eintritt in den Auspufftopf abzukühlen. Die Steuerung des Auspuffventils erfolgt ebenfalls durch einen auf der Steuerwelle 9 sitzenden Daumen unter Vermittelung des an der Ventilspindel angreifenden, um den festen Zapfen 18 schwingenden Doppelhebels 19. Dieser sowie der aus der Zeichnung nicht ersichtliche Doppelhebel zum Antriebe des Einlaßventils und die Steuerwelle selbst sind in einem mit dem Zylinderkopf fest verschraubten Bock 20 gelagert. Das zur Kühlung nötige Wasser wird dem unteren Teil des Zylinderkopfes durch die Leitung 21 zugeführt und durch die Überströmleitung 22 in den Zylindermantel weitergeleitet, den es durch die Leitung 23 verläßt. Die Stirnwand des Zylinderkopfes ist durch einen Deckel 24 verschlossen, von dem aus sich eine wassergekühlte Zwischenwand 25 in den Verdichtungsraum hinein erstreckt, die durch ein eingelegtes Führungsblech unterteilt ist. Zweck dieser Zwischenwand ist möglichste Abkühlung der Ladung bei der Verdichtung. Zur Erleichterung des Inbetriebsetzens der Maschine wird, was aus der Zeichnung nicht ersichtlich ist, beim Anlassen die Nockenscheibe für den Auslaßventilhebel verschoben, so daß das Auslaßventil während der Kompressionsperiode geöffnet bleibt, wodurch eine hohe Kompression beim Andrehen der Maschine vermieden wird und kleine Maschinen bis zu etwa 16 PS mit der Hand angedreht werden können. Größere Maschinen werden mit Druckluft angelassen, wobei es sich empfiehlt, bei Maschinenstärken über 40 PS nicht das Auslaufen der Maschine zur Drucklufterzeugung zu benutzen, sondern eine besondere Luftpumpe dafür anzuordnen.

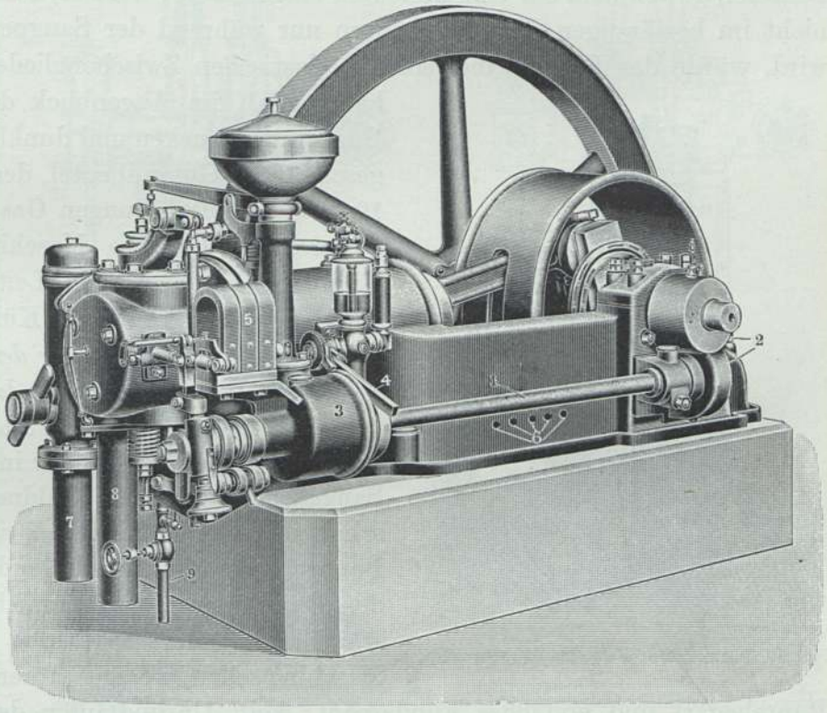


Fig. 252. 6—50 PS-Gasmaschine von Gebr. Körting.

Allgemein ist hinsichtlich des Aufbaues der Maschine noch darauf aufmerksam zu machen, daß der breit und kräftig gehaltene, mit zwei Kurbelwellenlagern ausgerüstete Rahmen den Zylinder fast vollständig unterstützt. Rings um den Rahmenfuß laufen Rinnen zur Aufnahme des Schmieröls.

Das Schaubild einer derartigen Maschine für kleinere Leistungen von 6—50 PS zeigt

Fig. 252. Vorn, parallel dem Rahmen, verläuft die Steuerwelle 1, die ihren Antrieb von der Kurbelwelle aus durch bei 2 eingekapselte, in einem Ölbad laufende Schraubenräder erhält. Bei 3 ist die Steuerwelle nochmals gelagert und außerdem der Antrieb für den Regulator eingebaut. Hebel 4 wird von einer auf der Steuerwelle sitzenden Daumenscheibe, gegen die er gepreßt wird, in schwingende Bewegung versetzt und überträgt diese auf eine Ölpumpe, die das Schmieröl in den Raum zwischen Kolben und Zylinderwandung preßt. Auf der anderen Seite des Teiles 3 sitzen nebeneinander die Nocken für die Steuerung des Eintritts- und Austrittsventils sowie der einstellbare Antrieb für die Zündvorrichtung, deren magnetelektrischer Apparat 5 darüber angeordnet ist. Unter der Steuerwelle befinden sich in der Rahmenwandung Löcher 6, durch welche die zur Gemischbildung gebrauchte Luft angesaugt wird. Das hierzu erforderliche Gas strömt durch die Leitung 7 zu. Ist diese von einer Beleuchtungsleitung abgezweigt, so muß ein elastischer Vorratsbehälter, gewöhnlich ein Gummibeutel, eingeschaltet werden; denn da das Gas aus der Leitung 7 nicht im beständigen Strome, sondern nur während der Saugperiode der Maschine entnommen wird, würde das Fehlen eines solchen elastischen Zwischengliedes in der Saugleitung zur Folge haben, daß im Augenblick des Beginnes dieser Periode die Gasflammen zucken und dunkler brennen. Durch den zwischengeschalteten Gummibeutel, der im aufgeblähten Zustand etwa 10—15 Zylinderfüllungen Gas enthält, wird dieser Übelstand vermieden. Größere Maschinen erfordern häufig mehrere Gummibeutel. Von den Leitungen 8 und 9 ist erstere für die Abgase, letztere für das Kühlwasser bestimmt. *Die näheren baulichen Einzelheiten einer derartigen Maschine sind aus dem zusammenklappbaren Modell der Gasmaschine ersichtlich.*

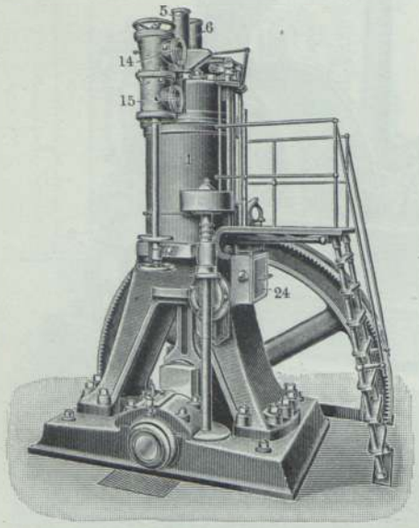


Fig. 253. Güldner Motor von 125 PS (Schaubild).

Als Beispiel einer stehenden ortfesten Viertakt-Verbrennungsmaschine sei der in den Fig. 253—255 dargestellte Sauggasmotor Bauart Güldner der Güldner-Motoren-Gesellschaft in Aschaffenburg beschrieben. Die Vorteile der stehenden Bauart gegenüber der liegenden sind hier dieselben wie bei den Dampfmaschinen, nämlich gute Standfestigkeit bei vollständig zentraler Aufnahme der Kolbendrucke durch die Maschine selbst, weniger störende Maschinenwirkungen, kleiner Raumbedarf und einfaches Fundament, kein Unrundlaufen der Zylinderbohrung infolge des Kolbengewichtes usw. Das A-förmig ausgebildete Gestell (s. Fig. 253) läuft oben in einen zylindrischen Teil 1 aus, der gleichzeitig den äußeren Mantel des Zylinderkühlraumes bildet. In diesen Teil ist die aus hartem Gußeisen bestehende Laufbüchse 2 eingesetzt, und zwar oben fest, unten dagegen beweglich, damit sich die infolge der Erwärmung auftretende Längenausdehnung ungezwungen vollziehen kann. Die Abdichtung der Laufbüchse gegen das Gestell erfolgt durch einen eingesetzten Kupferring 3. In den Zylinderdeckel sind neben der Zündvorrichtung 4 das Einlaßventil 5, das Auspuffventil 6 und das aus der Zeichnung nicht ersichtliche, handgesteuerte Anlaßventil eingebaut. Der Antrieb der Ventile erfolgt durch Nocken einer in der halben Höhe der Maschine, parallel der Kurbelwelle, verlaufenden Steuerwelle (Mittellinie bei 7 angedeutet), die ihre Bewegung durch ein in ein Gehäuse 8 eingeschlossenes Kegelrädergetriebe von der Regulatorspindel 9 aus erhält. Diese wieder wird von der Kurbelwelle mittels Schraubenräder angetrieben, von denen das eine 10 mitten in dem einen Kurbelwellenlager (vgl. hierzu auch das Klappmodell des Dieselmotors) vorgesehen ist. Von den Steuernocken aus wird die Bewegung durch die Lenkerstangen 11, 12 zu den Ventilen weitergeleitet. Die doppelt geführte Spindel des Einlaßventils trägt außerdem noch den Mischventilteller 13. Die Zuleitung des Gases erfolgt durch den Kanal 14, während die Luft durch den Kanal 15 zugeführt wird und die Regelung der Zuflußmengen von Hand durch die Schieber 16, 17 geschieht. Die Geschwindigkeitsregelung besorgt ein kräftiger Federregulator durch Veränderung der wirksamen

Hubhöhe des Einlaß- und Mischventilkegels. Zu diesem Zwecke wird, im Prinzip wie bei der oben näher erläuterten Regelung der Firma Gasmotorenfabrik Deutz (Fig. 225 und 226), vom Regulator durch die Stangen 18, 19 der Schwingungspunkt des die Stange 11 mit der Ventilspindel verbindenden Einlaßventilhebels verschoben. 20 ist der magnetelektrische Zündapparat (System Bosch) und 21 das zur Abreißvorrichtung führende Gestänge. Die Zündvorrichtung ist so eingerichtet, daß während des Betriebes ein Verstellen des Zündpunktes ohne Verkleinerung der Ankerschwingung vorgenommen werden kann. Die Lage des die Entzündung herbeiführenden Funkens genau in der Mitte des Verdichtungsraumes bewirkt eine schnelle und kräftige Entflammung der Ladung von ihrem Kernpunkt aus. Bezüglich der Kühlung ist hervorzuheben, daß nicht nur Zylindermantel und Zylinderkopf, sondern auch das Auspuffventil und der erste Teil der Auspuffleitung gekühlt werden. 22 ist ein Drosselventil zur Regelung des Kühlwasserdurchflusses. Die zum Anlassen erforderliche Druckluft von etwa 12 bis 15 at Spannung wird der Maschine durch Rohr 23 zugeführt. Für die Schmierung ist ein großer Zentralschmierapparat 24 vorgesehen, von dem das Öl den Zylinderwandungen, Kolben und Kolbenbolzen durch eigene Druckpumpen zugepreßt wird. Auch für die Kurbelzapfen ist eine zwangläufige Ölzuführung eingerichtet, während die Kurbel- und Steuerwellenlager mit besonderen Schmiergefäßen ausgerüstet sind. Daumenscheiben und Gleitrollen sowie Steuerungsräder sind dicht eingekapselt und laufen in einem Ölbad.

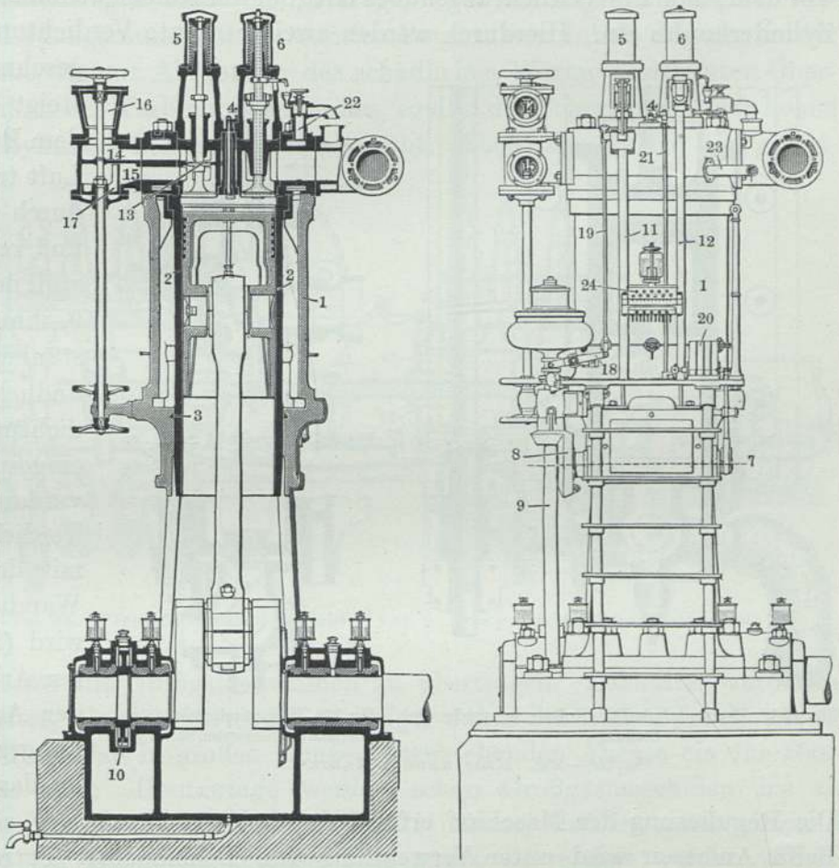


Fig. 254. Fig. 255.

Fig. 254 und 255. Güldner Motor von 125 PS (Schnitt und Ansicht).

Die Güldner Gaskraftmaschinen sind vornehmlich für den Betrieb mit billigen Kraftgasen geeignet und werden daher meistens mit besonderen Sauggasanlagen geliefert. Mit verschiedenen Brennstoffen angestellte Versuche ergaben als Mittelwerte:

Brennmaterial	Anthrazit	Gaskoks
Heizwert für 1 kg	7676	6921 WE
Ununterbrochene Versuchsdauer	ca. 11	$11^1/_2$ Std.
Leistung durchschnittlich	104,4	101,7 PS
Umlaufzahl durchschnittlich	158,8	155,5 i. d. Min.
Brennstoffverbrauch für eine effektive PS-Stunde:		
a) Brutto einschließlich Anheizen vom kalten Generator aus	305	415 g
b) Netto nach Abzug der vertragsgemäßen 10 Proz. für Anheizen usw.	275	373 g
c) Zwischenmessung von vollem zu vollem Generator	320	336 g

Vorstehend beschriebene Maschinen benutzen als Betriebsstoff ein Gasluftgemisch. Bei den mit flüssigen Brennstoffen betriebenen, bei denen der Brennstoff vor dem Eintritt in den

Arbeitszylinder verdampft und mit Luft gemischt wird, liegen die Verhältnisse ähnlich, nur kann hier — genau genommen — nicht von einem Gas-, sondern muß von einem Dampfluftgemisch gesprochen werden. An der Arbeitsweise der Maschine ändert dies nichts. Eine Ausnahme hiervon macht der hauptsächlich für schwere Öle bestimmte *Haselwander-Motor* (Fig. 256—258), bei dem die Verdampfung des Brennstoffes und seine Mischung mit der Luft im Arbeitszylinder stattfinden. Ein weiterer Unterschied dieses Motors gegenüber den früher beschriebenen besteht darin, daß er einer besonderen Zündvorrichtung nur für die Zeit des Anlassens bedarf. Beim Kolbenvorlauf wird durch das selbsttätige Einlaßventil 1 Verbrennungsluft angesaugt. Gegen Ende des Saughubes öffnet sich zwangläufig das Brennstoffventil 2, und es gelangt (von einem hochstehenden Vorratsgefäß) durch die Leitung 3 Brennstoff in den Raum 4 vor der Düse 5, wo er einstweilen verbleibt. Vor dem Ende des Verdichtungshubes tritt der am Kolben befindliche Ansatz 6 in die Öffnung 7 des Zylinderkopfes ein. Hierdurch werden zwei getrennte Verdichtungsräume gebildet. In dem abgeschnittenen Ringraum 8 (Fig. 258) steigt die Verdichtung höher als in dem Raum 9. Die höher komprimierte Luft tritt mit großer Geschwindigkeit durch den Kanal 10 in den Raum 4 und reißt den dort lagernden Brennstoff mit nach dem Verbrennungsraum 9, ihn hierbei durch die Düse 5 zerstäubend. Die in der Kammer 9 befindliche Luft wird durch die Verdichtung so hoch erhitzt, daß der eingespritzte Brennstoff augenblicklich verdampft und die Ladung durch die Verdichtungswärme in Verbindung mit der Abhitze der umschließenden Wandungen im Totpunkt entzündet wird (Selbstzündung). Es folgt nun der Arbeits- (Expansions-) und dann der Auspuffhub, wobei die Verbrennungsgase durch das Auslaßventil 11 in das Auspuffrohr 12 entweichen. Die Regulierung der Maschine erfolgt durch Veränderung der eingespritzten Brennstoffmenge. Beim Anlassen wird unter Verwendung von Benzin statt Petroleum zunächst elektrisch gezündet, da bei kalter Maschine die Verdichtungstemperatur nicht genügend hoch ist. Sobald die Maschine hinreichend warm ist, wird von Benzin auf Petroleum umgeschaltet und der elektrische Zünder außer Tätigkeit gesetzt.

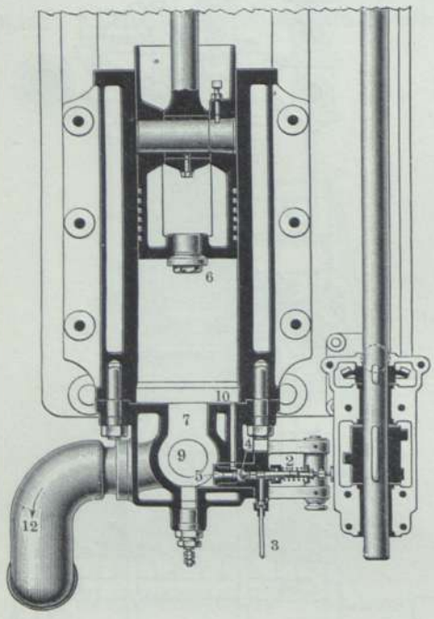


Fig. 256. Horizontalschnitt (Kolben in vorderster Stellung).

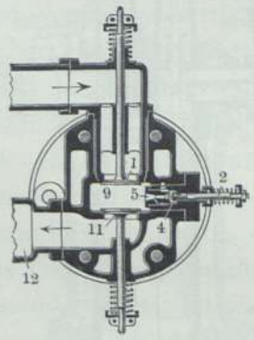


Fig. 257. Querschnitt durch den Zylinderkopf.

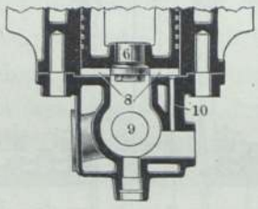


Fig. 258. Horizontalschnitt (Kolben nahe der hintersten Stellung).

Fig. 256—258. Haselwander-Motor.

Mit dem Dieselmotor (s. Gleichdruckmaschine, S. 139) hat die Maschine von Haselwander die Einblasung des Brennstoffes in die hoch verdichtete Verbrennungsluft und die Selbstzündung gemeinsam. Hinsichtlich des Brennstoffverbrauches steht sie unter den mit flüssigen Brennstoffen arbeitenden Maschinen mit Verpuffung infolge der hohen (bis zu 20 at) ohne Gefahr der Vorzündung erfolgenden Verdichtung mit an erster Stelle.

Großgasmaschinen. Im ersten Augenblick mag es befremdlich erscheinen, daß bei den Gasmaschinen anders wie bei den Dampfmaschinen die für große Leistungen bestimmten besonders behandelt werden sollen. Abgesehen davon, daß die Gasmaschine ursprünglich für das Kleingewerbe gedacht war, ist die Ursache hierfür in den wesentlich anderen Betriebsverhältnissen zu suchen. Bei der Dampfmaschine wirkt während zweier Umdrehungen der Kurbelwelle der Dampf viermal auf den Kolben treibend; bei der Gasmaschine vollführt der Kolben in der gleichen Zeit nur einmal einen Krafthub. Wenn auch bei letzterer der mittlere Druck im allgemeinen höher sein wird, darf doch

nicht außer acht gelassen werden, daß zur Erreichung der gleichen Leistung die auf den Kolben der Viertaktmaschine ausgeübte Kraft erheblich höher sein muß als bei der Dampfmaschine. Die natürliche Folge sind wesentlich größere Abmessungen des Zylinders bei der Gasmaschine als bei der Dampfmaschine. Hiermit hängt wieder eine Vergrößerung der Kolbendrucke und als weitere Folge ein schwereres Antriebsgestänge zusammen. Desgleichen muß auch das Schwungrad bedeutend schwerer werden als bei einer Dampfmaschine gleicher Leistung. Mit den einmaligen höheren Kosten für die größeren Abmessungen allein ist es aber nicht getan; die Maschinen verursachen dann auch dauernd höhere Ausgaben, da die veränderten baulichen Verhältnisse eine nicht unbeträchtliche Steigerung der Reibungsverluste bewirken.

Aber nicht allein dies, sondern auch die inneren Vorgänge in der Maschine standen einer einfachen Vergrößerung der Abmessungen hindernd im Wege. Wie die Rechnung ergibt, vergrößert sich die Oberfläche des Ladungsraumes in der zweiten Potenz, sein Inhalt dagegen in der dritten; es wächst also die Größe der zur Abführung der schädlichen Wärme bestimmten Oberfläche weit langsamer als der Inhalt des Verbrennungsraumes, so daß die Beherrschung der hohen Temperaturen im Innern des Zylinders Schwierigkeiten macht. Auch hier besteht ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Dampfmaschine und Gasmaschine. Bei ersterer steigen die Temperaturen auch bei starker Überhitzung nicht über 350—400°, bei letzterer erreichen sie unter Umständen 1800° C. Aus allem diesem folgt, daß es nicht angängig ist, die für Gasmaschinen kleinerer Leistungen bewährten Bauarten ohne weiteres auf Großgasmaschinen zu übertragen. Lebhafter wurde an deren Durchbildung erst gearbeitet, als sich Mitte der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts herausstellte, daß die aus den Hochöfen in großen Mengen entweichenden Abgase ein für Gasmaschinen sehr geeignetes Gas sind. Heutzutage werden schon Großgasmaschinen bis zu 4000 PS gebaut. Welche hohe Bedeutung sie haben, erhellt daraus, daß in einem einzigen Hüttenwerk durch Verwertung der Hochofengichtgase über 30 000 PS erzielt werden sollen. Vorzugsweise werden die Großgasmaschinen benutzt für den Antrieb von Dynamomaschinen, von Gebläsen für Hochofen- und Stahlwerke sowie für den Betrieb von Walzwerken.

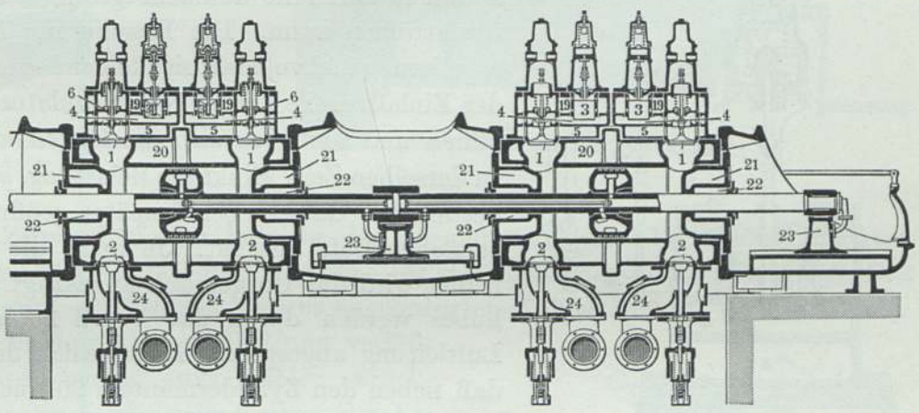


Fig. 259. Viertakt-Großgasmaschine von Pokorny & Wittekind (Längsschnitt).

Zunächst wurden Versuche mit der einfachwirkenden Viertaktmaschine gemacht, von der mehrere möglichst großer Leistung zu Zwillings-, Drillingsmaschinen usw. vereinigt wurden. Es hat sich aber herausgestellt, daß für Großgasmaschinen nur die doppeltwirkende Viertaktmaschine in Frage kommt. Dann entfallen auf je zwei Umdrehungen der Kurbelwelle zwei Krafthübe, immer noch kommen aber auf vier Kolbenhübe zwei arbeitverzehrende Hübe. Auch diese sind bereits beseitigt worden, indem zwei doppeltwirkende Viertaktzylinder derart hintereinander oder — wie es heißt — in Reihe gebaut wurden, daß auf jede halbe Kurbelumdrehung ein Krafthub kommt. Unbedingt notwendig ist hierbei, daß nicht nur die ruhenden, sondern auch die bewegten Teile, wie Kolben, Kolbenstange, Ventile, gut gekühlt werden.

Das Beispiel einer solchen Maschine zeigt die *Viertakt-Großgasmaschine* der Firma Pokorny & Wittekind, Frankfurt a. M.-Bockenheim. Fig. 259 zeigt den Längsschnitt der Maschine, Fig. 260 einen Querschnitt durch das Regelorgan. 1 sind die Ein- und 2 die Auslaßventile der Maschine. Zwischen den ersteren sitzen die Gaszuleitungsschieber 3. Die Zuleitungen 4 und 5 für das Gas und

die Luft sind im geschlossenen Zustande des Einlaßventils durch einen auf der Ventilspindel sitzenden Teller 6, für den keine Sitzfläche vorgesehen ist, und der daher wie ein Schieber wirkt, gegeneinander abgeschlossen. Der Antrieb der Ein- und Auslaßventile erfolgt in der üblichen Weise. Für den Gaszuleitungsschieber 3 ist eine Abschnappsteuerung vorhanden, die sich von den bei Dampfmaschinen angewendeten dadurch unterscheidet, daß bei ihr im Augenblick des Abschnappens die Feder 7 nicht auf einen Schluß, sondern auf ein Öffnen des Schiebers hinwirkt. Der um den festen Zapfen 8 schwingende Doppelhebel 9 wird von der Klinke 10 mitgenommen, was ein Anheben des Schiebers 3 und Verschließen der Durchtrittsöffnungen zur Folge hat. Die Klinke 10 erfährt eine zweifache Bewegung: sie ist um den Zapfen 11 des Hebels 12 drehbar gelagert, dem durch die Lenkerstange 13 eine um den Zapfen 8 schwingende Bewegung erteilt wird; anderseits wird die Klinke aber noch von der mit dem Regulatorgestänge in Verbindung stehenden Lenkerstange 14 beeinflußt, die an den bei 15 drehbaren Doppelhebel 16 angreift. Das andere Ende dieses Doppelhebels steht durch die Stange 17 mit dem mit der Klinke 10 fest verbundenen Hebel 18 in Verbindung. Je nach dem Abschnappen der Klinke wird der Schieber früher oder später zum Öffnen gebracht, so daß das Gas aus dem Raum 19 durch die nunmehr geöffneten Schlitze in den Kanal 4 überströmen kann. Die Regulierung ist eine reine Qualitätsregulierung und vollzieht sich folgendermaßen. Das Steuergestänge der Einlaßventile 1 wird vom Regulator nicht beeinflußt; mithin öffnen und schließen sich die Einlaßventile bei jeder Belastung zu derselben Zeit. Sinkt die Belastung, so wird der vom Regulator beeinflußte Gasschieber 3 später geöffnet, so daß die Maschine zunächst Luft ansaugt. Je mehr die Belastung steigt, desto früher wird das Gasgemisch angesaugt. Am Ende des Ansaugehubes werden durch das Ventil 1 gleichzeitig die Gas- und Luftleitung abgesperrt. Hinsichtlich der Kühlung sei bemerkt, daß neben den Zylindermänteln 20 auch die Deckel 21 mit den Stopfbüchsen 22 sowie Kolben, Kolbenstange und Auspuffventile energisch gekühlt werden. Die hohle Kolbenstange wird nicht nur durch die Kolben und den nicht mehr mit dargestellten Kreuzkopf, sondern auch durch die zwischen beiden Zylindern und hinter dem zweiten angeordneten Gleitschuhe 23 unterstützt. 24 sind die in ihrem ersten Teile wassergekühlten Auspuffrohre.

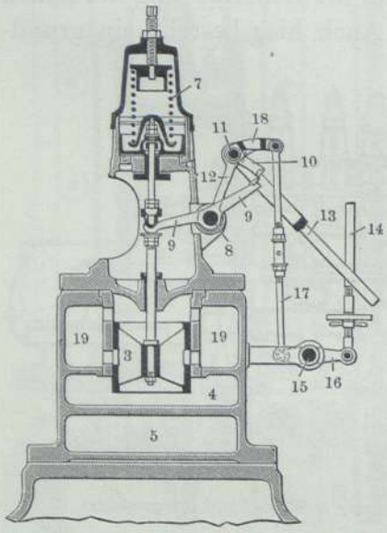


Fig. 260. Viertakt-Großgasmaschine von Pokorny & Wittekind (Querschnitt durch das Regelorgan).

2. Fahrbare Maschinen.

Hierher gehören nicht nur die Maschinen für Land-, Wasser- und Luftfahrzeuge, sondern auch die für die Lokomobilen.

Die Bemühungen, schienenlose Fahrzeuge mit Verbrennungsmaschinen anzutreiben, wurden erst von Erfolg gekrönt, als um die Wende der achtziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts die mit flüssigen Betriebsstoffen gespeisten Verbrennungsmaschinen aufkamen. Zunächst galt es noch, zwei Mängel dieses neuen Verkehrsmittels zu beseitigen, nämlich das große Gewicht der Maschinen und die durch die hin und her schwingenden Maschinenteile hervorgerufenen störenden Erschütterungen des Wagengestelles. Um die Gewichtsverminderung hat sich besonders Daimler verdient gemacht, der bis 1886 durch erhebliche Vergrößerung der Umdrehungszahl das Maschinengewicht für je eine Pferdestärke bis auf 40 kg ermäßigte. Heute baut die Société Antoinette in Paris schon Maschinen mit einem Gewicht von 1¼—1 kg für die Pferdestärke. Es darf hierbei aber nicht übersehen werden, daß derartige im Viertakt arbeitende Maschinen bis zu 2000 Umdrehungen in der Minute machen. Findet eine starke Verringerung der Umdrehungszahl statt, so sinkt die Kraftleistung der Maschine unverhältnismäßig rasch.

Fig. 261 und 262 zeigen das Beispiel eines vierzylindrigen *Mercedes-Motors* in der Stirn- und

Seitenansicht, wobei in ersterer die Kurbel abgenommen und der Kasten für das Steuerungsgetriebe geöffnet ist. An den Zylinder 1 schließen sich links und rechts die Gehäuse 2 und 3 für die Ein- und Auslaßventile an, die durch außerhalb der Gehäuse sitzende Federn 5, 6 in der Schlußstellung gehalten werden. Gesteuert werden die Ventile durch auf den Steuerwellen 7, 8 sitzende Nocken, deren Bewegung auf die Ventilspindeln 4 übertragen wird. Die Steuerwellen werden von der Kurbelwelle 9 unter Vermittelung eines Zahnrädergetriebes derart angetrieben, daß auf je zwei Umdrehungen der Kurbelwelle je eine der Steuerwelle kommt. Von diesem Zahnrädergetriebe

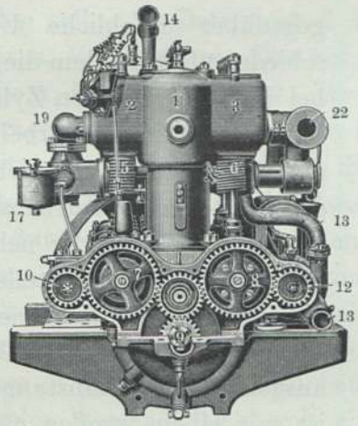


Fig. 261. Stirnseite; Kurbel abgenommen; Steuerungsgetriebekasten geöffnet.

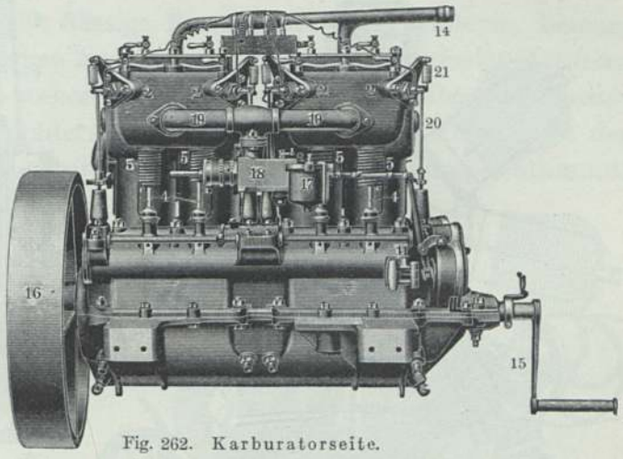


Fig. 262. Karburatorseite.

Fig. 261 und 262. Mercedes-Motor.

erhalten ferner noch das Zahnrad 10 zum Antriebe des Regulators 11 und das Zahnrad 12 zum Antriebe des Magnetankers und der Zirkulationspumpe für das Kühlwasser ihre Bewegung. Das Wasser, das von dem im vorderen Teil des Wagens angeordneten Kühler kommt, wird den Kühlmantelräumen durch die Leitung 13 zugeführt und verläßt sie durch die schwach ansteigende, zum Kühler zurückführende Leitung 14. Auf der Kurbelwelle 9 sitzen die Andrehkurbel 15 und das mit Ventilationsflügeln versehene Schwungrad 16. Zur Bildung des Ladungsgemisches sind das Karburatorschwimmergehäuse 17 und die Zerstäuberkammer 18 bestimmt, von denen das Gemisch durch die Leitung 19 zu den Einlaßventilgehäusen 2 gelangt. Die Zündung des von dem zurückkehrenden Kolben komprimierten Gemisches besorgt die von dem Gestänge 20 angetriebene Zündvorrichtung 21. Nach der Arbeitsleistung gelangen die expandierten Verbrennungsgase durch das Auspuffrohr 22 ins Freie.

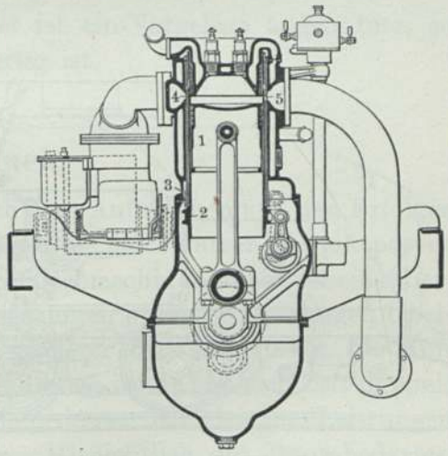


Fig. 263. Knightmaschine.

Eine Maschine, die in neuester Zeit wegen ihrer eigenartigen Steuerung großes Aufsehen erregt, ist die in Fig. 263 dargestellte *Knightmaschine*. Bei dieser berührt der Arbeitskolben 1 nicht die Zylinderwandungen, sondern zwischen beiden ist ein Ringraum gelassen, der von zwei Kolbenschiebern 2 und 3 ausgefüllt wird. Diese werden von einer sich mit der halben Umlaufzahl der Kurbelwelle drehenden Steuerwelle in eine auf und nieder gehende Bewegung versetzt. Überschleifen sich die Schlitze der Kolbenschieber vor der Öffnung 4, so findet bei niedergehendem Arbeitskolben ein Ansaugen der Ladung statt. Während des nun folgenden Verdichtungshubes und der Zündung befinden sich die Schlitze der Kolbenschieber außer dem Bereich der größten Hitze in dem oberen, von zwei Seiten (nämlich vom Zylinder und Deckel) gekühlten Teil der Maschine. Gegen Ende des Expansionshubes überschleifen sich die Schlitze der Schieber vor der Öffnung 5 und leiten den Auspuff ein. Beachtenswert ist weiter an dieser Maschine die geschlossene Form des

Zylinderraumes, der nur von glatten, bearbeiteten Flächen begrenzt wird. Wurden auch anfänglich Bedenken gegen diese Steuerung laut wegen des einseitigen Angriffes des Steuerungsgetriebes an den Schiebern sowie wegen der Fraglichkeit einer guten Schmierung und Kühlung, so müssen diese doch durch den praktisch erreichten Erfolg der Maschine als widerlegt angesehen werden.

Als Beispiel einer Maschine für Flugfahrzeuge sei schließlich in den Fig. 264 und 265 der *Gnôme-Motor* der Société des Moteurs Gnôme dargestellt, mit dem zahlreiche Flugzeuge ausgerüstet sind. Diese Maschine weist allen bisher beschriebenen gegenüber erhebliche Unterschiede auf, vor allem die, daß bei ihr die einzelnen Zylinder sternförmig um die Kurbelwelle angeordnet sind und sich um den feststehenden Kurbelzapfen drehen. Die Zylinder nehmen hier gleichzeitig die Stelle des Schwungrades ein. Eine der sieben von den Arbeitskolben 1 ausgehenden Schubstangen 2 ist mit einem großen Gabelkopf versehen, der unter Zwischenschaltung zweier Kugellager an dem Kurbelwellenzapfen 3 angreift. Die Köpfe der übrigen Stangen sind an dem großen Kopf mit einfachen Zapfen drehbar angelenkt. Das Ladungsgemisch tritt durch die feststehende hohle Kurbelwelle 4 in die Kurbelkammer 5 und aus dieser, wenn sich der Kolben vom Zylinderdeckel entfernt, durch das selbsttätige Einlaßventil 6 in das Zylinderinnere. Durch den zurückgehenden Kolben wird das Gemisch komprimiert und im Totpunkt entzündet. 7 ist die Zündleitung. Nach vollendeter Expansion öffnet sich das vom Gestänge 8 gesteuerte Auslaßventil 9 und entläßt die Gase ins Freie. Das Gewicht einer solchen Maschine von 34,2 Nutzpferdestärken bei 2354 minutlichen Umdrehungen beträgt 82 kg und der Brennstoffverbrauch für die Stundenpferdestärke 0,359 kg. Die Zylinder bestehen vollständig aus Nickelstahl und werden mit den Kühlrippen aus dem Vollen herausgearbeitet.

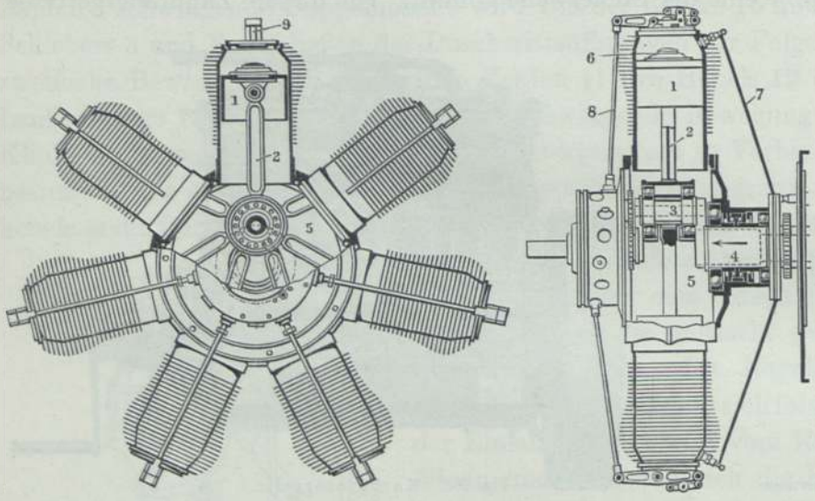


Fig. 264 und 265. Gnôme-Motor.

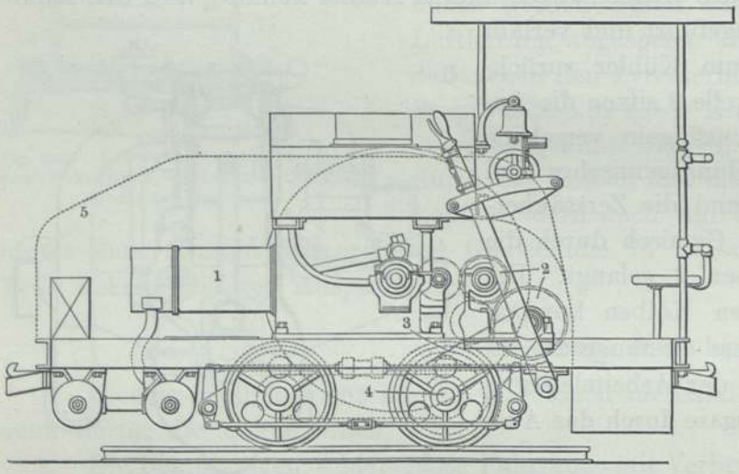


Fig. 266. Deutzer Gruben-Benzinlokomotive.

Als zu den Landfahrzeugen gehörig ist noch die *Motorlokomotive* zu erwähnen, die als Gruben-, Feld- und Waldbahn-, Rangier- und Straßenbahnlokomotive Verwendung findet. Sie wird für kleinere Leistungen, im allgemeinen nicht über 16 Nutzpferdestärken, gebaut und weist der Dampflokomotive gegenüber mancherlei Vorteile auf. So ist sie jederzeit betriebsfertig, benötigt nur einen Mann zu ihrer Bedienung und verbraucht während der Arbeitspausen keinen Brennstoff. Als solcher finden neben verdichtetem Leuchtgas, das in Vorratsgefäßen mitgeführt wird, vornehmlich Benzin, Benzol, Spiritus, aber auch Petroleum und Ergin Verwendung. Fig. 266 zeigt schematisch eine *Gruben-Benzinlokomotive* der Gasmotorenfabrik Deutz. Die liegend

angeordnete Maschine 1 überträgt ihre Bewegung durch ein Zahnrädergetriebe 2 und ein Kettenrädergetriebe 3 auf die Laufachse 4. Je nach den örtlichen Verhältnissen und dem Verwendungszweck wird das Triebwerk mit einer oder mehreren Übersetzungen ausgeführt, und es kann mit den entsprechenden Geschwindigkeiten sowohl vorwärts als auch rückwärts gefahren werden. Maschine und Triebwerk sind von dem punktiert angedeuteten Blechmantel 5 eingeschlossen.

Während die vorstehend beschriebenen fahrbaren Maschinen sämtlich zur Fortbewegung der Fahrzeuge dienen, bleiben bei den *Verbrennungslokomobilen* die Maschinen während des Betriebes an derselben Stelle und werden nur fortbewegt, wenn ihre Kraft an einer anderen Stelle ausgenutzt werden soll. Als Betriebsstoff finden vornehmlich flüssige Brennstoffe, wie Petroleum, Benzin, Spiritus, Verwendung. Das Schaubild einer solchen *Spirituslokomobile* der Oberurseler Motorenfabrik A.-G. zeigt Fig. 267. Die Maschine 1 ist stehend angeordnet, um die Kolbenstöße besser auffangen zu können. In dem über den Vorderrädern angeordneten liegenden Kessel 2 ist der Spiritusvorrat aufbewahrt, aus dem die Maschine selbsttätig den Spiritus mittels Pumpe entnimmt. Nach der Arbeitsleistung entweichen die Auspuffgase durch das Rohr 3 und den Auspufftopf 4 ins Freie. Um den Kühlwasserverbrauch gering zu erhalten, besteht Zirkulationskühlung. In dem unteren Raum des hohen viereckigen Kühlwasserturmes 5 (s. auch Fig. 240) befindet sich das abgekühlte Wasser, das durch eine Pumpe in den doppelwandigen Zylindermantel zur Kühlung gedrückt und dann oben in den Turm befördert wird, in dem es über Verteiler herunterfällt, während ein kräftiger Luftstrom durch einen Ventilator nach oben geblasen wird, der das Wasser durch teilweise Verdunstung kühlt, worauf es sich unten zur wiederholten Verwendung wieder sammelt. Auf dem Wagen selbst ist ein Vorgelege angeordnet, so daß die Maschine stets zum Treiben einer Arbeitsmaschine fertig ist.

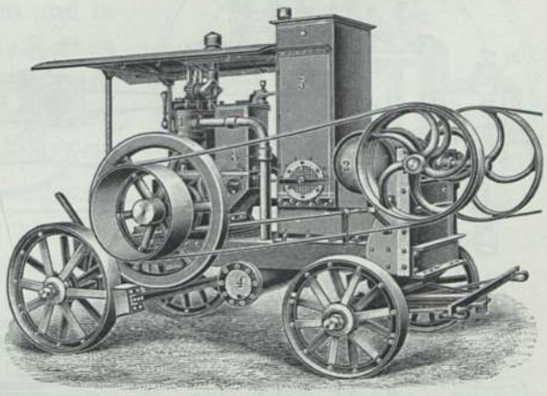


Fig. 267. Spirituslokomobile.

II. Die Zweitaktmaschinen.

Die Entwickelung der Zweitaktmaschine setzte bald nach dem Auftauchen und den Erfolgen der ersten Viertaktmaschinen ein, geriet dann aber ins Stocken, als das Deutzer Viertaktpatent vernichtet und der Viertakt frei war. Wie bei den Viertakt-Großgasmaschinen näher auseinandergesetzt ist, zeigten sich beim Bau einfachwirkender Viertaktmaschinen größerer Leistungen Übelstände, die, namentlich als ein Bedürfnis für Gasmaschinen größerer Leistung vorlag, die Aufmerksamkeit wieder auf den Zweitakt lenkten, fanden doch bei diesem in der gleichen Zeit doppelt soviel Arbeitshübe statt wie beim Viertakt und konnten infolgedessen bei gleichen Leistungen Zylinder- und Gestängeabmessungen kleiner gehalten werden. Hinsichtlich des Raumbedarfes, des Gewichtes und der Gleichmäßigkeit des Ganges ist die Zweitaktmaschine der Viertaktmaschine überlegen, aber auch in wirtschaftlicher Hinsicht steht sie ihr kaum noch nach.

1. Ortfeste Maschinen.

Als Beispiel einer liegenden Maschine sei die im Jahre 1894 entstandene und für kleinere Leistungen bestimmte *Béniermaschine* genannt. Fig. 268 zeigt einen Längsschnitt durch die Maschine und Fig. 269 einen Grundriß im teilweisen Schnitt. Äußerlich unterscheidet sich diese Maschine von den Viertaktmaschinen durch das Vorhandensein der Ladepumpen und durch das Fehlen des Auspuffventils und der sich längs der Maschine erstreckenden Steuerwelle. Der im Arbeitszylinder gleitende Kolben 1 überträgt durch die Schubstange die Kraft auf die doppelt gelagerte Kurbelwelle 2, welche die Nockenscheibe 3 für das Einlaßventil des Arbeitszylinders, den

Steuerungsantrieb 4 für die Ladepumpen, das Schwungrad 5 und die Kurbel 6 für die Ladepumpen trägt. Die Ladepumpe besitzt einen stufenförmig ausgebildeten Zylinder 7 und einen dementsprechenden Kolben 8. Der kleinere Teil 9 des Zylinders ist für die Verdichtung des Gases und der Ringraum 10 für die Verdichtung der Luft bestimmt. Beide Pumpen werden von einem gemeinsamen Rohrschieber 11 gesteuert. Als Treibmittel dient bei dieser Maschine Mischgas, das dem Schieberkasten 12 der Ladepumpe durch eine von oben kommende (in der Figur nicht sichtbare) Leitung zugeführt wird. Die Luft wird von der Pumpe 10 aus dem hohlen Gestellfuß entnommen. Der Steuerungsantrieb des Einlaßventils 13 erfolgt von dem Nocken 3 aus, gegen den sich die an dem einen Ende eines um 14 schwingbaren Doppelhebels angeordnete Rolle 15 legt. Das andere Ende des Doppelhebels steht durch die Stange 16 mit einem Hebel 17 in Verbindung, auf dessen Achse fest ein Hebel 18 sitzt, der sich gegen die Spindel des Ventils 13 legt. Die Regelung der Maschine erfolgt durch einen Regulator 22, der auf eine in der Gaszuleitung angeordnete Drosselklappe einwirkt. Zum Zweck der Kühlung wird dem Zylinderkopf durch die Leitung 19 Kühlwasser zugeführt, das oben durch den Teil 20 in den Zylindermantel überströmt. Abgeleitet wird das Kühlwasser schließlich durch die Leitung 21. Die Wirkungsweise der Maschine ist folgende. Der vom Steuerhebel beeinflußte Unterbrecher 23 bewirkt, wenn sich der Kolben in der inneren Totpunktlage befindet, mittels des Zünders 24 die Entzündung der komprimierten Ladung. Die expandierenden Verbrennungsgase treiben den Kolben vorwärts, bis er die strahlenförmig am Zylinderumfang verteilten Ausströmschlitze 25 überschleift, durch die sie in den Ringraum 26 und in die Auspuffleitung 27 entweichen. Unterstützt wird dieses durch die von der Pumpe 10 durch das Rohr 28 zugeführte Luft, welche die Abgasreste austreibt. Im Anschluß an die Luft wird auch dem durch die Leitung 29 zuströmenden Gas der Zutritt zu dem Zylinder gestattet. Während des Rückganges des Kolbens findet zunächst noch ein Austreiben der Verbrennungsprodukte statt und hierauf eine Verdichtung des Zylinderinhalts, bis wieder eine Zündung eintritt usw.

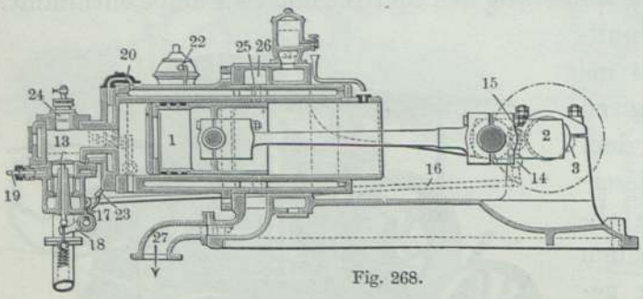


Fig. 268.

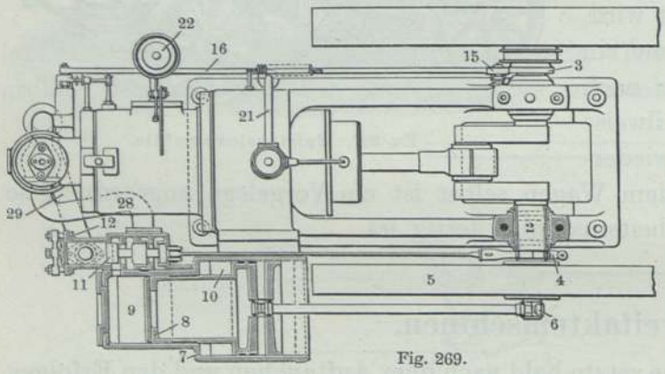


Fig. 269.

Fig. 268 und 269. Béniermaschine.

Zur Verdichtung der Luft dient entweder, wie im vorstehenden Beispiel, eine besondere Pumpe, oder es wird der vordere Teil des Arbeitszylinders als Pumpe ausgebildet, oder schließlich das Kurbelgetriebe vollständig eingekapselt und der hierdurch entstehende geschlossene Raum als Arbeitsraum für die Pumpe benutzt.

Ein Beispiel letztgenannter Art ist die in Fig. 270 veranschaulichte, von der Solos Motorengesellschaft m. b. H. in Wiesbaden gebaute Maschine *(Söhnlein-Motor)*, die vornehmlich für flüssige Brennstoffe, Leicht- und Schwerbenzin, Benzol usw. bestimmt ist, aber auch mit Leuchtgas betrieben werden kann. Bemerkenswert ist an dieser Maschine, daß das Ein- und Auslassen der Gase unter Vermeidung jeglicher Ventile durch den Arbeitskolben und das Kurbelgetriebe bewirkt wird. Nicht nur geschieht diese Steuerung durch die kräftigsten Teile der Maschine, sie hat auch noch den weiteren Vorteil, daß sie ein für allemal richtig eingestellt ist und nicht aus der Ordnung kommen kann. Durch den Emporgang des Arbeitskolbens entsteht in dem gasdicht umschlossenen Kurbelgehäuse ein Unterdruck, der zur Folge hat, daß sich das Ventil 1 öffnet und durch die Öffnung 15 und das Brennstoffventil 13 Luft und Gas angesaugt werden. 14 ist der Anschlußstutzen für die

Brennstoffleitung. Je nach der Einstellung des Brennstoffventils bildet sich in der Kammer 2 ein mehr oder weniger reiches Gemisch. Erreicht der Kolben seine obere Totpunktlage, so wird der Lufteintrittsschlitz 5 freigelegt, und es strömt nun von außen Luft in die unter Unterdruck stehende Kurbelkammer. Beim Abwärtsgang wird der Inhalt der Kurbelkammer schwach verdichtet und zum Teil in den Luftkanal 4 gedrückt. Gegen Ende dieses Hubes legt der Kolben die Auspuffschlitze 8 frei, durch welche die expandierten Gase in das Auspuffrohr 9 entweichen. Auf der gegenüberliegenden Seite des Zylinders öffnet kurz nachher die Kolbenoberkante den Eintrittsschlitz 6, so daß die in der Kurbelkammer verdichtete Luft sowie das Brennstoffgemisch übertreten können. Damit das frisch zuströmende Gemisch nicht von den auspuffenden Gasen mitgerissen wird, befindet sich auf dem Kolben eine Prallplatte oder Brücke 7, welche die neue Ladung nach dem Verbrennungsraum und in die Gegend der Zündung leitet. Der nach oben gehende Kolben schließt zunächst den Gaseinlaßkanal 6 und dann den Auspuffschlitz 8, worauf das im Zylinder eingeschlossene Gemisch hoch verdichtet und in der Nähe des inneren Totpunktes mittels eines elektrischen Funkens durch den bei 10 angeordneten Zünder entzündet wird. Die hochgespannten Verbrennungsgase treiben den Kolben arbeitleistend wieder nach unten, der am Ende seines Hubes den Auslaßkanal überschleift, hierbei die Gase ins Freie entweichen und durch den sich öffnenden Eintrittskanal 6 die frische Ladung eintreten läßt, worauf sich die Vorgänge in der beschriebenen Reihenfolge wiederholen. Die Regulierung geschieht einerseits durch das von Hand einstellbare Brennstoffventil, anderseits durch den von einem Zentrifugalregulator beeinflußten Hahn 3. Zur Kühlung ist der Zylinder von einem Wassermantel umgeben, an den sich unten die Wasserzuflußleitung 11 und oben die Wasserabflußleitung 12 anschließt. Geölt wird die Maschine durch einen selbsttätigen, aus der Zeichnung nicht ersichtlichen Zentralschmierapparat.

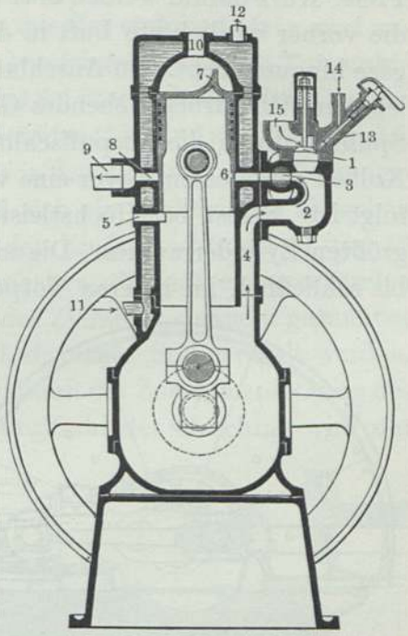


Fig. 270. Söhnlein-Motor.

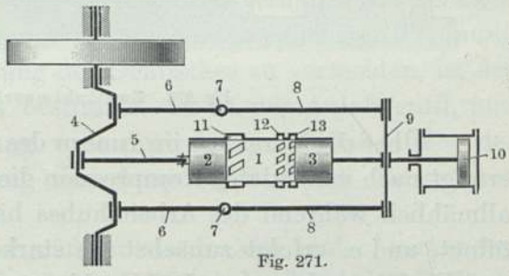


Fig. 271.

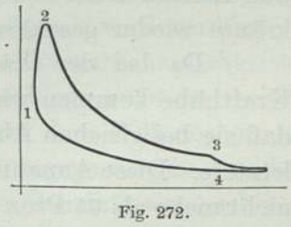


Fig. 272.

Fig. 271 und 272. Wirkungsweise der Öchelhäusermaschine.

Großgasmaschinen. Hier sind zunächst die *Zweitaktmaschinen von Öchelhäuser* zu nennen. Von diesen wurde die erste, bei 125—135 minutlichen Umdrehungen eine Leistung von 300 PS entwickelnde, im Jahre 1898 auf dem Hüttenwerk Hörde in Westfalen mit Hochofengas in Betrieb gesetzt. Fig. 271 gibt eine schematische Skizze dieser Maschine. Im Arbeitszylinder 1 bewegen sich zwei Kolben 2 und 3 derart, daß sie sich entweder einander nähern oder voneinander entfernen, also niemals in derselben Richtung laufen. Dieses wird durch eine dreifach gekröpfte Kurbelwelle 4 erreicht, deren mittlere Kurbel gegen die beiden äußeren um 180° versetzt ist. Die mittlere Kurbel ist mit dem Kolben 2 durch eine Schubstange 5 verbunden; die beiden äußeren wirken durch Schubstangen 6 auf Gleitfüße 7, von denen Stangen 8 zu einer Traverse 9 führen, die ihrerseits sowohl mit dem zweiten Kolben 3 als auch mit einem dritten 10 in Verbindung steht. Der letztgenannte Kolben gehört zu einer doppeltwirkenden Verdichtungspumpe, deren eine Seite Gas, die andere Luft in zwei gesonderte, unterhalb der Maschine befindliche, in der Skizze aber nicht dargestellte Behälter drückt. Ferner ist der Zylinder 1 mit Schlitzen 11, 12, 13 versehen. Die Wirkungsweise der Maschine ist folgende. Stehen die beiden Kolben 2 und 3 einander am nächsten, also in der inneren Totpunktstellung, so befindet sich

zwischen ihnen die verdichtete Ladung, die nach ihrer elektrisch erfolgten Entzündung die Kolben auseinandertreibt und hierbei Kraft auf die Kurbelwelle überträgt. Nähern sich die beiden Kolben ihrer äußeren Totpunktlage, in der sie am weitesten voneinander entfernt sind, so überschleift der Kolben 2 die Schlitze 11, und die noch hochgespannten Verbrennungsgase entweichen ins Freie. Kurz darauf werden aber auch die Schlitze 12 von dem Kolben 3 freigelegt, so daß nunmehr die vorher verdichtete Luft in den Zylinder tritt und die noch darin befindlichen Verbrennungsgase hinausschiebt. Im Anschluß hieran öffnet der Kolben 3 noch die Schlitze 13, durch die unter leichtem Überdruck stehendes Gas in den Zylinder strömt. Um zu verhindern, daß dieses mit der Spülluft durch die Auspuffschlitze entweicht, werden diese Schlitze durch die zurückkehrenden Kolben geschlossen, bevor eine vollständige Auffüllung des Zylinders mit frischem Gasgemisch erfolgt ist. Selbst bei Höchstleistung beträgt das eingelassene Gemischvolumen nur 75 Proz. des größten Zylinderraumes. Die sich einander nähernden Kolben verdichten das Ladungsgemisch, bis schließlich im inneren Totpunkt die Zündung erfolgt und sich das Spiel wiederholt.

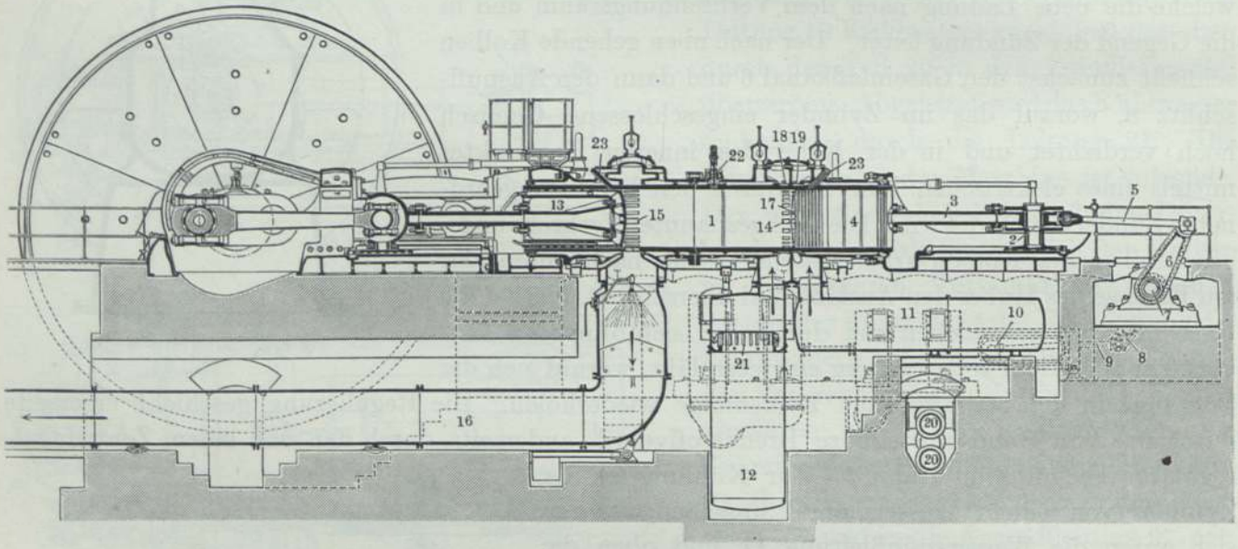


Fig. 273. Zweitaktmaschine Öchelhäuser von 1500 PS Nennleistung.

Über die Vorgänge im Innern des Zylinders gibt das Diagramm (Fig. 272) Aufschluß. Bei 1 erfolgt nach vollendeter Kompression die Zündung. Der Druck steigt plötzlich bis auf 2, um dann allmählich während des Arbeitshubes bis auf 3 zu sinken. Hier werden die Auspuffschlitze geöffnet, und es erfolgt zunächst ein starker Druckabfall, an den sich das Ausspülen des Zylinders und Einführen der neuen Ladung bis zum Punkt 4 anschließt. An dieser Stelle sind die drei Schlitzkränze wieder geschlossen, worauf die Kompression des Gemisches bis zum Punkt 1 einsetzt.

Da bei der *Öchelhäusermaschine* auf zwei Umdrehungen der Kurbelwelle doppelt soviel Krafthübe kommen wie bei der einfachen Viertaktmaschine, könnte leicht angenommen werden, daß sie bei gleichen Abmessungen und sonstigen gleichen Verhältnissen doppelt soviel leistet wie letztere. Diese Annahme ist aber irrig. Zunächst beträgt die Füllung der Öchelhäusermaschine nicht mehr als 75 Proz. des Zylindervolumens; ferner haben die schwere Kurbelwelle, das verdreifachte Gestänge sowie namentlich auch der Betrieb der Verdichtungspumpen nicht nur Reibungs-, sondern auch Arbeitsverluste zur Folge. Alles in allem ist häufig die Leistung einer Öchelhäusermaschine, verglichen mit der einer gleichgroßen Viertaktmaschine, nur unerheblich größer als diese. Dafür hat aber die Öchelhäusermaschine wieder andere Vorteile, z. B. die größere Gleichmäßigkeit des Ganges sowie die bedeutend einfachere Steuerung.

Den Gesamtaufbau einer von der Firma A. Borsig in Berlin-Tegel ausgeführten Öchelhäusermaschine läßt der Längsschnitt Fig. 273 erkennen. Bei dieser Ausführungsform liegen die Pumpen zur Verdichtung des Gases und der Luft nicht in einer Richtung mit dem Arbeitszylinder 1, sondern seitlich von ihm, und zwar unter Flur. Das aus der Figur nicht ersichtliche, zu beiden

Seiten des Arbeitszylinders vorgesehene Gestänge überträgt seine ihm von der Kurbelwelle erteilte Bewegung durch den Gleitschuh 2 und die Kolbenstange 3 auf den hinteren Kolben 4. Anderseits ist der Gleitschuh aber noch durch die Schubstange 5 mit dem schwingbaren Hebel 6 verbunden, dessen Drehachse 7 nach hinten verlängert ist und dort einen Hebel 8 trägt, der durch die Schubstange 9 und den Kreuzkopf 10 die Bewegung auf die in Tandemanordnung hintereinandergelegten Pumpenzylinder für Gas und Luft überträgt. Diese Pumpen fördern das Gas und die Luft in zwei unmittelbar unter der Maschine angeordnete Behälter 11, 12. Bei der gezeichneten äußeren Totpunktstellung der Kolben 13 und 4 treibt die aus dem Behälter 12 durch die Schlitze 14 in den Zylinder eintretende verdichtete Luft die Reste der Verbrennungsgase durch die Schlitze 15 in die Auspuffleitung 16. Gleichzeitig tritt aber auch schon durch die Schlitze 17 frisches Gas in den Zylinder. Die Wirkungsweise der Maschine ist bereits oben ausführlich erläutert, so daß sich ein nochmaliges Eingehen darauf erübrigt. Zum Zwecke der Regelung ist der Zylinder bei den Eintrittsschlitzen 14 und 17 für die Luft und das Gas von drehbaren Deckringen 18, 19 umgeben, die mit entsprechenden Schlitzen versehen sind. Kommen die Schlitze der Deckringe und des Zylinders einander gegenüber zu stehen, so findet ein freies Durchströmen des Gases bzw. der Luft statt. Soll geregelt werden, so wird der Deckring der Lufteinlaßkanäle von Hand verdreht, wodurch die Zusammensetzung des Gemisches verändert wird. Bei Schwankungen in der Umdrehungszahl der Maschine wird der Deckring 19 für die Gaseinströmschlitze 17 vom Regler verstellt. Außerdem wirkt der Regler noch auf zwei aus der Zeichnung nicht ersichtliche Gas- und Luftrückströmventile. Diese sind in Rückströmleitungen 20 eingeschaltet, die von jedem Sammelbehälter zu der Saugleitung der den Behälter speisenden Pumpe führen. Sinkt die Belastung der Maschine, so werden die Ventile von dem Regler geöffnet, und es tritt ein Teil des verdichteten Gases und der verdichteten Luft in die Saugleitung zurück. Geregelt wird also sowohl durch Änderung des Mischungsverhältnisses als auch durch Änderung der Menge des eingeführten Gemisches. Zur Erzielung einer möglichsten Trennung der Spülluft von der Gemischluft, um zu große Verdünnung des Gemisches zu vermeiden, ist der von einem Exzenterantrieb gesteuerte Kanaldeckring 21 bestimmt. 22 ist das Anlaßventil, und bei 23 findet die Kolbenschmierung statt. Zur Kühlung wird noch bemerkt, daß außer der üblichen Zylinder- und Kolbenkühlung eine Abkühlung der Auspuffgase durch Einspritzen von Wasser vorgesehen ist.

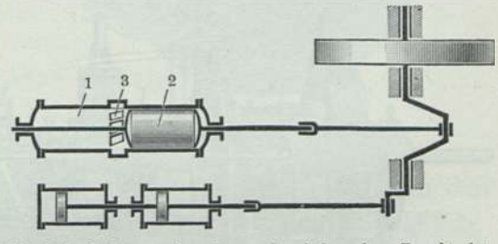


Fig. 274. Schema der doppeltwirkenden Zweitaktmaschine.

Ist auch der Gang der Öchelhäusermaschine gleichmäßiger als der der einfachwirkenden Viertaktmaschine, so findet doch auch bei ihr nur während der Hälfte jeder Kurbelumdrehung eine Kraftäußerung auf den Kolben statt. Auch diese letzte Ungleichmäßigkeit wird vermieden durch die *doppeltwirkende Zweitaktmaschine*, die in Fig. 274 schematisch veranschaulicht ist. Wenn diese auch der Öchelhäusermaschine gegenüber wesentliche Unterschiede aufweist — sie hat beispielsweise keine Einlaßschlitze, sondern Einlaßventile, die oben auf dem Zylinder sitzen und daher in der Figur nicht sichtbar sind; ferner fehlt bei ihr das Umführungsgestänge —, so ist doch die Wirkungsweise auf jeder Seite des Kolbens die gleiche wie bei der Öchelhäusermaschine. Wie bei dieser sind außer dem Arbeitszylinder 1 noch zwei doppeltwirkende Pumpenzylinder vorgesehen, von denen einer zur Verdichtung des Gases, der andere zur Verdichtung der Luft dient. In der gezeichneten Stellung befindet sich der Arbeitskolben 2 in der rechten Totpunktlage. Er ist annähernd halb so lang wie der Arbeitszylinder, so daß er erst kurz vor Erreichung der Totpunktlage die Auspuffschlitze 3 freigibt. Nachdem dieses geschehen ist, und nachdem die wenn auch bereits entspannten, so doch immer noch einen beträchtlichen Überdruck besitzenden Gase ins Freie entwichen sind, öffnet sich das oben auf dem Zylinder sitzende Einlaßventil, durch das zunächst Spülluft in den Zylinder strömt und die Auspuffgase austreibt. Gleich hinter der Spülluft strömt durch dasselbe Ventil die frische Ladung ein. Das auf der anderen Seite des Kolbens befindliche

Ladungsgemisch wird nunmehr entzündet und treibt den Kolben nach links, hierbei Arbeit leistend, gleichzeitig aber auch die frische Ladung komprimierend. Ein genaueres Eingehen auf den Lade- und Regelungsvorgang dieser Maschine ist überflüssig, da er bereits eingehend in dem Abschnitt Steuerungen (Fig. 228) besprochen ist. Bemerkt sei hier nur noch, daß bei dieser Maschine wie bei der Öchelhäusermaschine die Verdichtung der neuen Ladung nicht etwa in den Ladepumpen, sondern genau so wie bei der Viertaktmaschine vor der Zündung in dem eigentlichen Kraftzylinder stattfindet. Die Leistung der Maschine beträgt nicht etwa das Vierfache einer einfachwirkenden Viertaktmaschine gleicher Abmessungen; denn einerseits vollzieht sich das Laden nicht so vollkommen wie bei der Viertaktmaschine, anderseits tragen die durch das schwerere Gestänge — es sei nur auf den an sich schon schweren Kolben, der innen mit Wasserkühlung versehen ist, hingewiesen — und durch die Ladepumpen hervorgerufenen Reibungs- und sonstigen Verluste dazu bei, die Nutzleistung zu verringern.

Das Schaubild einer solchen Maschine, Bauart Körting, zeigt Fig. 275. Auf beiden Enden des Arbeitszylinders sitzen die Einlaßventile 1, deren Antriebsgestänge hinter der Maschine liegt. Die in der Mitte des Zylinders befindliche Ausbauchung 2 nimmt den zur Ableitung der Auspuffgase dienenden Kanal auf. 3 ist die Abflußleitung für das Kühlwasser. Neben der Maschine befinden sich die Verdichtungspumpen 4, 5 für Gas und Luft, deren Antrieb durch ein besonderes Schubkurbelgetriebe 6, 7 erfolgt. Bemerkenswert ist, daß die Steuerschieber (siehe Fig. 228) für die Pumpen nicht neben, sondern unter den Zylindern liegen. Ihr Antrieb erfolgt durch ein Exzentergetriebe, dessen Bewegung durch den Doppelhebel 8 und die Lenkerstange 9 auf die Schieber übertragen wird.

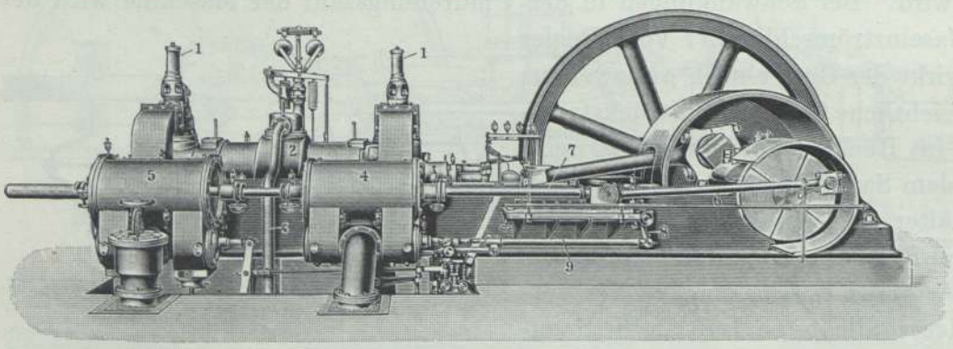


Fig. 275. Körtings Zweitaktmaschine (Nennleistung 500 PS bei 125 Umdrehungen).

2. Fahrbare Maschinen.

Nach den bisherigen Ausführungen könnte es scheinen, als würden die Zweitaktmaschinen nur für größere Leistungen gebaut, während für kleinere Leistungen der Viertakt siegreich das Feld behauptete. Aber man strebt auch für die kleinen Automobil- und Bootsmaschinen danach, den Zweitakt einzuführen, allerdings aus anderen Gründen. Bekanntlich besitzen diese kleinen Maschinen sehr hohe Umdrehungszahlen, und es ist in konstruktiver Hinsicht ein Vorteil, wenn Ein- und Auslaßventile, zu deren Antrieb bisher ein besonderes Steuergestänge vorgesehen sein mußte, in Fortfall kommen und dafür lediglich vom Kolben gesteuerte Ein- und Ausströmschlitze angeordnet werden. Allerdings stehen diesen Vorteilen auch Nachteile gegenüber. So ist es beispielsweise schwer, bei geöffnetem Ausströmschlitz das Laden so vorzunehmen, daß kein Brennstoff verloren geht.

Eine derartige kleine Maschine ist die in Fig. 276 schematisch dargestellte, für Fahrräder und Motorwagen bestimmte der Grade-Motorwerke in Magdeburg. Wenn sich der Kolben 1 infolge der lebendigen Kraft in die Höhe bewegt, entsteht in dem Kurbelraum 2 ein luftverdünnter Raum, was ein Öffnen des Ansaugeventils 3 und Eintreten von frischer Luft und Brennstoff zur Folge hat. Gleichzeitig findet in dem Raum oberhalb des Kolbens eine Kompression des vorher eingetretenen Gemisches statt, das nahe der oberen Totpunktlage gezündet wird, worauf der Kolben wieder nach unten getrieben wird. Vor Erreichung der unteren Totpunktlage öffnet er den Auspuffkanal 4, so daß ein Spannungsausgleich zwischen dem mit hochgespannten Verbrennungsgasen

gefüllten Zylinderinnenraum und der freien Atmosphäre stattfindet und die schwach komprimierte neue Ladung durch den sich ein klein wenig später öffnenden Eintrittskanal 5 eintreten kann. Damit sie nicht gleich wieder auf der anderen Seite durch den Auspuffkanal 4 hinausschießt, ist in bekannter Weise am Kolben die Leitschaufel oder Brücke 6 angeordnet. Die Ansicht eines solchen für einen Motorwagen bestimmten *Grademotors* zeigt Fig. 277. Die Maschine ruht auf dem Rahmen 1, der fest mit dem Wagengestell verschraubt wird. 2, 3, 4 ist die Vergaseranlage. Dem den Schwimmer enthaltenden Gehäuse wird bei 5 der Brennstoff zugeführt. Zwischen dem Schwimmergehäuse 2 und dem Verdampfer 4 ist die Regulierspindel 3 eingeschaltet, durch deren Verstellen mittels des Hebels 6 der Fahrer den Benzinzufluß zum Verdampfer und damit innerhalb weiter Grenzen die Leistung und Geschwindigkeit der Maschine regeln kann. 8 ist die Zündvorrichtung und 9 die Zirkulationspumpe für das Kühlwasser. An den Stutzen 7 schließt sich das Auspuffrohr an.

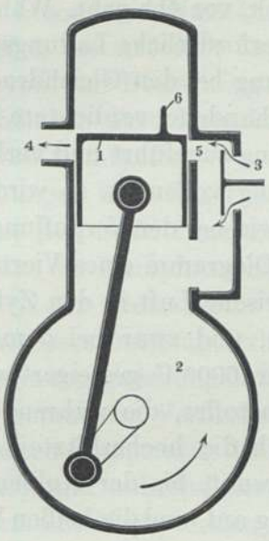


Fig. 276. Schnitt.

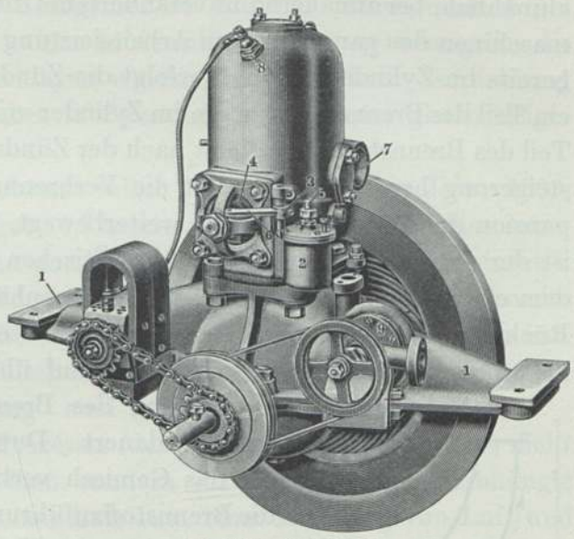


Fig. 277. Ansicht.

Fig. 276 und 277. Grademotor.

Schließlich sei noch auf den in Fig. 278 und 279 dargestellten *Rohölmotor* der Firma Maschinenbau-Aktiengesellschaft vorm. Ph. Swiderski in Leipzig-Plagwitz verwiesen, der besonders für die billigsten Treiböle, wie Rohöl, Gelböl, Solaröl, gewöhnliches Petroleum usw., bestimmt ist. Die Wirkungsweise dieser Maschine erinnert etwas an die des später beschriebenen Dieselmotors. Auch bei ihr verdichtet der emporgehende Kolben nicht ein Brennstoffluftgemisch, sondern lediglich Luft, wobei er gleichzeitig auf seiner anderen Seite durch das Ventil 1 frische Luft in die Kurbelkammer 2 ansaugt. In der Nähe des oberen Totpunktes wird zwangläufig von einer durch die senkrecht stehende Reglerwelle angetriebenen Brennstoffpumpe 3 durch die Düse 4 etwas Brennstoff gegen den rotglühend gehaltenen Glühkopf 5 gespritzt, worauf eine Verpuffung erfolgt, die den Kolben wieder nach unten treibt. Vor Erreichung der unteren Totpunktlage öffnet der niedergehende Kolben den Auspuffschlitz 6, so daß die Verbrennungsgase ins Freie entweichen können, was durch die durch den Kanal 7 aus der Kurbelkammer zuströmende verdichtete Luft unterstützt wird. Zwecks Regelung der Maschine wird der Hub der Brennstoffpumpe durch den Regler 8 verändert. Eine besondere Zündvorrichtung ist bei dieser Maschine überflüssig; indessen ist es notwendig, den Glühkopf vor der Inbetriebsetzung anzuwärmen. Eine Umkehrung der Umlaufrichtung könnte in einfachster Weise durch Änderung des Zeitpunktes der Brennstoffeinspritzung vorgenommen werden.

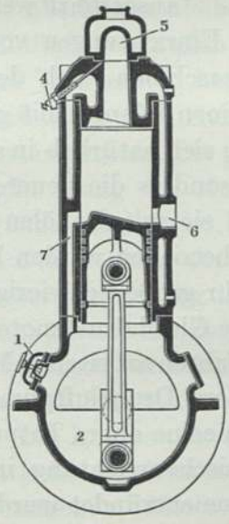


Fig. 278.

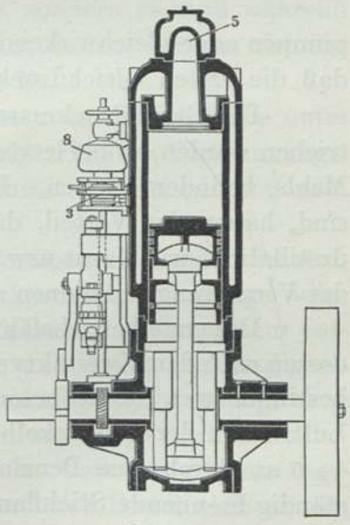


Fig. 279.

Fig. 278 und 279. Rohölmotor von Swiderski.

E. Die Gleichdruckmaschinen.

Das Hauptkennzeichen der bisher beschriebenen Verbrennungsmaschinen war die plötzliche Verbrennung (Verpuffung) des Gemisches, die bei annähernd unverändertem Volumen erfolgte. Die Gleichdruckmaschinen unterscheiden sich hiervon dadurch, daß die Verbrennung der Ladung allmählich, bei annähernd unverändertem Druck, vor sich geht. Während also bei den Verpuffungsmaschinen das ganze für eine Arbeitsleistung erforderliche Ladungsgemisch sich vor der Zündung bereits im Zylinder befindet, erfolgt die Zündung bei den Gleichdruckmaschinen schon, wenn erst ein Teil des Brennstoffes in die im Zylinder vorhandene, verdichtete Luft eingeführt ist; der übrige Teil des Brennstoffes wird erst nach der Zündung zugeführt und verbrennt dann, ohne eine Drucksteigerung hervorzurufen. Ist die Verbrennung vollendet, so wird der Kolben infolge der Expansion der Verbrennungsgase weiterbewegt, wie bei den Verpuffungsmaschinen. In der Fig. 280 ist der Arbeitsvorgang an dem theoretischen Diagramm eines Viertakt-Dieselmotors gezeigt. Bei dem ersten Vorwärtshub 1—2 wird atmosphärische Luft in den Zylinder gesaugt, bei dem ersten Rückwärtshub 2—3 wird sie hoch verdichtet, und zwar bei dem Dieselmotor auf ungefähr 30 bis 35 at, wodurch ihre Temperatur auf über 600° C gesteigert wird. An diesem Punkte beginnt die Zuführung des Brennstoffes, die während des Teiles 3—4 des zweiten Vorwärtshubes andauert. Durch die hocherhitzte Luft wird der Brennstoff entzündet, und das Gemisch verbrennt, bis der Kolben am Punkt 4 angelangt ist. Hier hört die Brennstoffzuführung auf, und die heißen Verbrennungsgase expandieren bis zum Hubende 5, wo das Auspuffventil geöffnet wird und die Gase ihre Spannung verlieren. Während des dann folgenden Rückwärtshubes 2—1 werden sie mit Außenluftspannung ausgetrieben, worauf das Spiel von neuem beginnt. Die Gleichdruckmaschinen können natürlich auch als Zweitaktmaschinen ausgeführt werden, wobei dann besondere Luftvorverdichtungspumpen oder gleichwirkende Einrichtungen vorgesehen sein müssen. Es sei schon hier bemerkt, daß die ersten Gleichdruckmaschinen nach dem Zweitaktsystem arbeiteten.

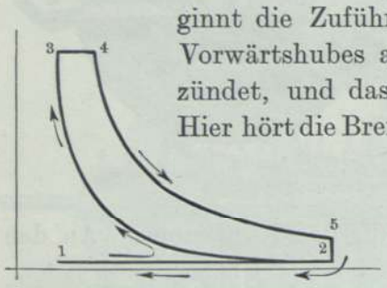


Fig. 280. Diagramm einer Gleichdruckmaschine.

Die Gleichdruckmaschinen können mit gasförmigen, flüssigen und festen Brennstoffen betrieben werden, wobei letztere sich natürlich in staubförmigem Zustand, etwa von der Feinheit des Mehls, befinden müssen. Besonders die neueren Motoren, die nach dem System Diesel gebaut sind, haben den Vorteil, daß sie mit Rohölen aller Art, mit den Rückständen der Petroleumdestillation, wie Masut usw., betrieben werden können, deren Verdampfung sonst für den Betrieb der Verpuffungsmaschinen sehr große Schwierigkeiten macht.

Der erste betriebsfähige Gleichdruckmotor stammt von dem Amerikaner *Brayton* (1872/73), dessen nach dem Zweitaktverfahren arbeitende Maschine sowohl für Benzin- als auch für Gasbetrieb bestimmt war. Eine besondere Druckluftpumpe speiste einen Druckluftbehälter, aus dem die Luft, wenn der Arbeitskolben seine obere Totpunktstellung erreicht hatte, mit einem Druck von 4—5 at durch eine Benzinmischvorrichtung in den Arbeitszylinder strömte, wo sie durch eine ständig brennende Stichflamme entzündet wurde. Nach etwa 0,4 des Hubes wurde die Luft- und Brennstoffzuführung abgeschnitten, worauf die Expansion bis auf etwa 1 at erfolgte. Die Abgase wurden durch den rücklaufenden Kolben ausgetrieben. — Eine weitere Ausbildung des Braytonmotors ist die Gleichdruckmaschine „Eclypse“ von *Simon* und *Beechy* in Nottingham. Bei dieser 1878 in Paris ausgestellten Maschine wurde das Kühlwasser durch die Wärme der Abgase verdampft und dieser Dampf gleichzeitig mit dem Gasluftgemisch in den Arbeitszylinder geleitet. Andauernde Betriebsschwierigkeiten verhinderten die Einführung dieses Motors. — Auch Diesel versuchte im Anfang der 1890er Jahre die Anwendung seines Gleichdruckverfahrens auf Gasmaschinen, jedoch ohne Erfolg, da es nicht möglich war, die verschiedenen Ventile und Pumpen gegen den mindestens 50 at betragenden Gasdruck abzudichten.

Ein weiterer Fortschritt wurde 1887—90 von dem Engländer *Hargreaves* erzielt, der bei

seinem Gleichdruckölmotor, der besonders für schwere, billige Öle bestimmt war, die „Selbstzündung" anwendete, also eine besondere Zündflamme entbehrlich machte. Bei diesem Motor wurde der Brennstoff in ein verdichtetes Luftdampfgemisch gespritzt, das in einem Überhitzer bis auf die Entzündungstemperatur des Öles erhitzt wurde. Dieser Motor scheint über das Versuchsstadium nicht hinausgekommen zu sein. Schließlich sei noch der Motor von *E. Capitaine* genannt, dessen Versuche aus besonderen Umständen abgebrochen wurden. Er ist deshalb besonders bemerkenswert, weil sich die Arbeiten Capitaines in derselben Richtung bewegten, die etwas später unabhängig hiervon von Diesel eingeschlagen wurde: möglichst hohe Verdichtung reiner Luft und Einblasung feinsten Petroleumstaubes in diese Luftmenge unter gleichzeitiger allmählicher Verbrennung dieses Gemisches.

Die ersten Veröffentlichungen über den *Dieselmotor* selbst stammen aus dem Jahre 1893, in dem der Ingenieur R. Diesel eine Schrift herausgab: „Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors zum Ersatz der Dampfmaschine und der heute bekannten Wärmemotoren". In dieser Schrift errechnet Diesel für seinen Motor einen thermischen Wirkungsgrad, der den des vollkommenen Carnot-Kreisprozesses noch übertrifft, der aber, wie Güldner nachgewiesen hat, unrichtig ist, da für die Verbrennungsgleichungen fehlerhafte Voraussetzungen gemacht sind. Die Grundbedingungen einer „vollkommenen Verbrennung" sind nach dieser Schrift folgende:

1. Herstellung der höchsten Temperatur des Prozesses (der Verbrennungstemperatur) nicht durch die Verbrennung und während derselben, sondern vor derselben und unabhängig von ihr durch mechanische Kompression reiner Luft bzw. einer Mischung von Luft und indifferenten Gasen oder Dämpfen.
2. Allmähliche Einführung feinverteilten Brennstoffes in diese hochgradig verdichtete Luft während eines Teiles des Kolbenrückganges in der Weise, daß durch den eigentlichen Verbrennungsprozeß keine Temperatursteigerung der Gasmasse eintrete, daß also als Verbrennungskurve möglichst nahe eine Isotherme entstehe. Die Verbrennung darf also nach der Zündung nicht sich selbst überlassen bleiben, sondern es muß während ihres ganzen Verlaufes ein steuernder Einfluß von außen stattfinden, der das richtige Verhältnis zwischen Druck, Volumen und Temperatur herstellt.
3. Richtige Wahl des Luftgewichtes im Verhältnis zum Heizwert des Brennstoffes unter vorheriger Feststellung der Kompressionstemperatur, die gleichzeitig die Verbrennungstemperatur ist, derart, daß der praktische Gang der Maschine, die Schmierung usw. ohne künstliche Kühlung der Zylinderwände möglich ist.

Nach diesen Gesichtspunkten konstruierte Diesel einen 100pferdigen Kohlenstaubmotor, bei dem die Verbrennungsluft zunächst unter Wassereinspritzung isothermisch und darauf adiabatisch (d. h. ohne äußere Wärmezu- und -ableitung) bis auf die der Entzündungstemperatur entsprechende Spannung verdichtet werden sollte. In diese verdichtete und daher hochgradig erhitzte Luft sollte Kohlenstaub in solcher Menge eingeführt werden, daß die Verbrennung ohne Temperaturzunahme (also isothermisch) verläuft. Die Brennstoffzuführung hörte nach einem bestimmten Teil des Hubes auf, worauf die adiabatische Ausdehnung der Gase bis zur Anfangsspannung erfolgen sollte. — Außer diesem „vollkommenen" Motor beschrieb Diesel noch ein abweichendes Arbeitsverfahren, bei dem die Luft ohne die isothermische Vorkompression sogleich adiabatisch verdichtet werden sollte, so daß die Verbrennungstemperatur von 800° schon bei 90 at erhalten wird. Beide Motoren sollten ohne Wasserkühlung arbeiten; der Zylinder sollte durch Glas- oder Porzellanfutter gegen Wärmeausstrahlung geschützt werden. Für den praktischen Betrieb erwies sich aber ein Wassermantel bald als notwendig, was sich herausstellte, als die ersten Versuchsmotoren gebaut wurden; auch betrug die Verdichtung dieses mit Petroleum betriebenen Motors nur 40—45 at, also die Hälfte der für den abweichenden Motor bestimmten Spannung. Aus den Versuchen entwickelte sich dann allmählich das heute angewandte Arbeitsverfahren.

Der Dieselmotor in seiner heutigen Ausbildung muß als eine in thermischer Hinsicht höchst entwickelte Maschine der Neuzeit gelten; für die Benutzung flüssiger Brennstoffe ist er die

vollkommenste Verbrennungskraftmaschine der Gegenwart. Nach den neueren Versuchen beträgt die Ausnutzung des Brennstoffes 33—35 Proz. gegenüber 21 Proz. bei der Gaskraftmaschine (s. S. 95) und 13 Proz. bei den besten Dampfmaschinenanlagen mit Überhitzung (s. S. 56). Dies hat seinen Grund darin, daß der Brennstoff im Zylinder direkt verbrennt, ohne vorherige Umsetzung und ohne Rückstände zu hinterlassen. Infolge der starken Beanspruchung seiner Teile durch die hohe Verdichtung der Luft stellt der Dieselmotor hohe Anforderungen an den Fabrikanten hinsichtlich des Materials. Natürlich sind daher die Beschaffungskosten eines Motors hoch, sie werden aber gering wegen der großen Ersparnis an Betriebsstoff; z. B. gestaltet sich der Betrieb eines Torpedobootes mit Dieselmotoren selbst bei Anwendung von Blauöl 3½mal billiger als beim Dampfbetrieb. Da ferner sich die Gewichte von Kohle und Öl verhalten wie 3:2, die in den Brennstoffen enthaltenen Wärmemengen wie 7500 : 10000, so würde sich der Aktionsradius (die mit einem bestimmten Brennstoffvorrat zurücklegbare Wegstrecke) erheblich vergrößern; denn die Dampfmaschinenanlage verbraucht für 1 Pferdestärkenstunde etwa 0,6 kg Kohle, der Dieselmotor 0,2 kg Rohöl. Die sonstigen Vorzüge des Dieselmotors gegenüber den Dampfmaschinen (sofortige Betriebsbereitschaft, Verbrauch von Betriebsstoff nur während der Arbeitsleistung usw.) sind dieselben wie bei den Verpuffungsmaschinen; er unterscheidet sich von letzteren noch vorteilhaft dadurch, daß, während alle Verpuffungsmaschinen bei halber Belastung erheblich mehr Brennstoff verbrauchen als bei voller, bei ihm der Brennstoffverbrauch bei weitem nicht in dem Maße von der Belastung abhängig ist (s. Tabelle S. 143).

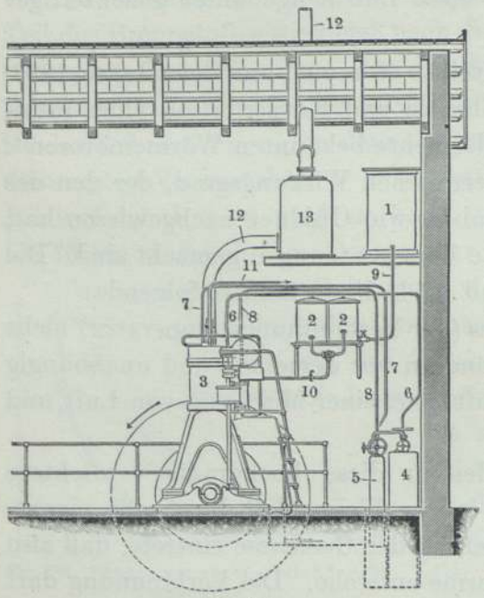


Fig. 281.

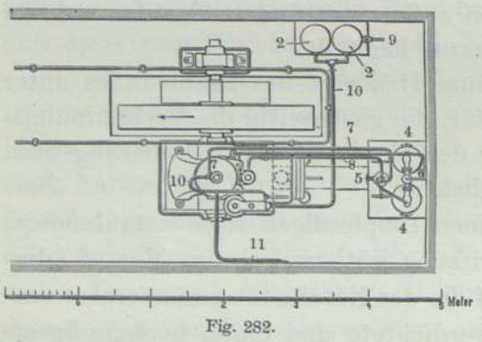


Fig. 282.

Fig. 281 und 282. Anordnung einer Dieselmotor-Anlage.

Das Dieselverfahren bietet den Vorteil, daß außer Benzin und Petroleum auch schwer entzündliche Ölsorten verwendet werden können; es steht infolgedessen für den Dieselmotor eine große Auswahl von billigen flüssigen Brennstoffen zur Verfügung, die durchschnittlich einen Heizwert von 10000 WE besitzen. In erster Linie kommen in Betracht die rohen Erdöle und die Erdölrückstände (Rohnaphtha und Masut), ferner die sogenannten Gasöle, d. h. die Zwischenprodukte der Ölraffinerien, aus denen die leichtesten Bestandteile, wie Benzin und Lampenpetroleum, ausgeschieden sind. Außerdem können die Nebenerzeugnisse der Paraffingewinnung und der Kohlendestillation (Paraffin-, Solar-, Teeröle) verwendet werden. Da bei dem oben angegebenen Heizwert der Brennstoffverbrauch je nach der Größe des Motors bei normaler Belastung etwa 180—250 g für die effektive Pferdestärkenstunde beträgt, so stellen sich die Brennstoffkosten durchschnittlich auf 1¼—2½ Pfennig pro Pferdestärkenstunde unter Zugrundelegung eines Brennölpreises von 7—10 Mark für 100 kg in Deutschland. Der Dieselmotor ist daher für Länder mit großen Petroleumfundstätten, wie Rußland und Nordamerika, von höchster Wichtigkeit.

In Fig. 281 und 282 ist die Gesamtanordnung einer Dieselmotor-Anlage von 40 PS der *Gebrüder Sulzer* in Winterthur und Ludwigshafen dargestellt; die Anordnung läßt gleichzeitig den geringen Raumbedarf erkennen. Der Brennstoff fließt von dem Vorratsbehälter 1 durch Rohr 9 zu den Filtriergefäßen 2, 2 und aus diesen durch das Rohr 10 zu der am Motor 3 angeordneten Brennstoffpumpe. Die zum Anlassen erforderliche Luft befindet sich in den Gefäßen 4

und geht durch Rohr 6 zum Anlaßventil; die in der Flasche 5 befindliche Druckluft dient zum Einblasen des Brennstoffes in den Zylinder (Rohr 7). Das Kühlwasser, dessen Zufluß aus den Figuren nicht ersichtlich ist, wird durch das Rohr 11 abgeführt. Die Abgase gehen durch Rohr 12, in das ein Schalldämpfer 13 eingeschaltet ist, ins Freie. Die zum Anlassen und zur Brennstoffzuführung erforderliche Druckluft (40—50 at) wird von einem mit dem Motor gekuppelten Kompressor erzeugt und durch das Rohr 8 der Flasche 5 zugeführt. Fig. 283 zeigt das Schaubild desselben Motors, in dem 1 der Saugtopf, 2 das Brennstoffventil, 3 die Brennstoffpumpe, 4 der Kompressor und 5 der Regler für die Brennstoffzuführung ist.

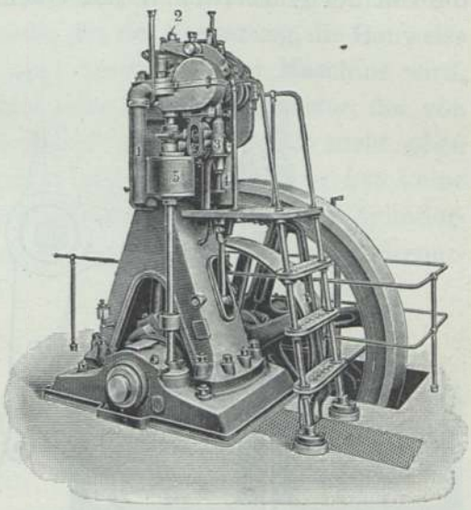


Fig. 283. Dieselmotor.

Die Dieselmotoren werden in allen Größen bis zu 2000 PS mit einem, zwei oder mehr Zylindern nach dem Zwei- oder Viertaktsystem gebaut. Sie werden meistens stehend ausgeführt, und zwar mit und ohne Kolbenstange; im letzteren Falle steht die Schubstange mit einem im Massenschwerpunkt des hohlen und nach unten offenen Kolbens angeordneten Zapfen in gelenkiger Verbindung.

In den Fig. 284—290 ist ein nach dem Viertaktverfahren arbeitender *Zweizylindermotor* von 120 PS der Grazer Waggon- und Maschinenfabrik A.-G. dargestellt; Fig. 284 und 285 zeigen die Maschine in Ansicht und Schnitt; Fig. 286 und 287 das Brennstoffeinlaßventil in senkrechtem und wage-

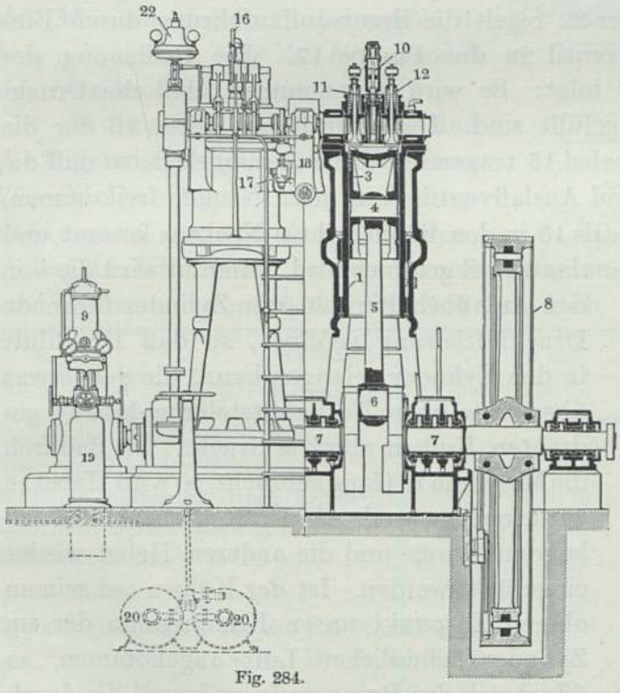


Fig. 284.

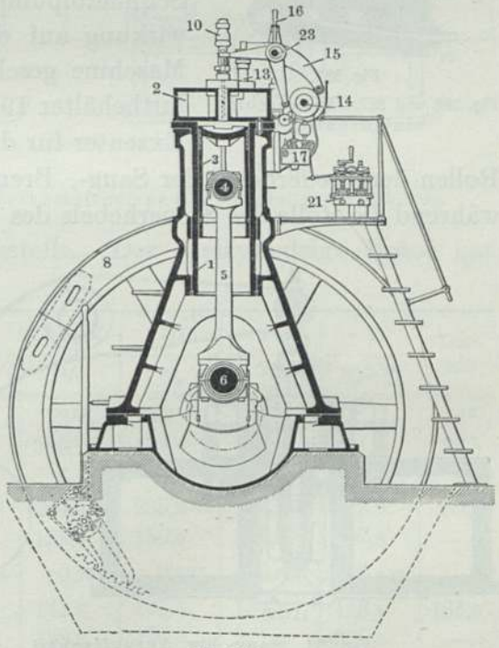


Fig. 285.

Fig. 284 und 285. 120-PS-Zweizylindermotor der Grazer Waggon- und Maschinenfabrik.

rechtem Schnitt; Fig. 288 das Saug- bez. Auspuffventil im Schnitt; Fig. 289 und 290 die Brennstoffpumpen in Ansicht und Schnitt. Der im Zylinder 1 gleitende Kolben 3 ist in seiner oberen Totpunktstellung gezeichnet; er überträgt seine Bewegung durch die an dem Zapfen 4 angreifende Schubstange 5 und den Kurbelzapfen 6 auf die Kurbelwelle 7, auf der das Schwungrad 8 sitzt. Die Luftpumpe 9, die als Verbundkompressor ausgebildet ist, wird von dem einen Wellenende mittels Kreuzscheibenkuppelung angetrieben; Nieder- und Hochdruckzylinder

liegen senkrecht übereinander, und ihr Ansaugevolumen beträgt nur etwa $^1/_{30}$ des Arbeitszylinderraumes. Auf dem Zylinderdeckel 2 sind die Ventile 10, 11, 12 und 13 untergebracht, und zwar sind 10 das Brennstoffventil (Fig. 286, 287), 11 und 12 die Sauge- und Auspuffventile (Fig. 288) und 13 das Anlaßventil. Die Bewegung der Ventile erfolgt von der Steuerwelle 14, die von der Kurbelwelle 7 mit einem Übersetzungsverhältnis 1 : 2 angetrieben wird und Nockenscheiben für die einzelnen Ventile trägt. Die Ventilspindeln werden von dem einen Ende der Winkelhebel 15 gesteuert, deren anderes Ende mittels Rollen gegen die Nockenscheiben anliegt, so daß die Ventile nacheinander geöffnet und geschlossen werden. Die Hebel 15 sind auf Exzenterscheiben aufgeschoben, die mit der durch Hebel 16 verstellbaren Welle 23 verkeilt sind. Von der Steuerwelle 14 werden ferner durch gegeneinander versetzte Exzenter die Brennstoffpumpen 17 angetrieben, die bei jedem Hub durch die niedergehenden Plunger 28 (Fig. 289) die für eine Ladung erforderliche Ölmenge den Brennstoffventilen 10 zudrücken. Der Träger 18 für die Steuerwelle ist gleichzeitig als Brennstoffbehälter ausgebildet, aus dem die Pumpen saugen. 19 ist die Flasche für die Einspritzluft, 20 die Behälter für die Anlaßluft und 21 die ebenfalls von Steuerwelle 14 angetriebene Schmierölpumpe. Regler 22 regelt die Brennstoffzuführung durch Einwirkung auf das Saugventil 26 der Pumpe 17. Die Bedienung der Maschine geschieht wie folgt: Es wird angenommen, daß die Druckluftbehälter 19 und 20 gefüllt sind. Dann wird der Hebel 16 der die Exzenter für die Ventilhebel 15 tragenden Welle 23 umgelegt, so daß die Rollen der Steuerhebel der Saug-, Brennstoff- und Auslaßventile von ihren Nocken freikommen, während die Rolle des Steuerhebels des Anlaßventils 13 in den Bereich ihres Nockens kommt und das Ventil geöffnet wird. Hierauf wird die von den Anlaßbehältern 20 zum Zylinder führende Druckluftleitung geöffnet, so daß Druckluft in den Zylinder gelangen kann, die den etwas über seine obere Totpunktstellung hinaus gedrehten Kolben abwärts drückt. Ist dadurch die Maschine in Gang gebracht, so wird Hebel 16 zurückgelegt, wodurch der Steuerhebel des Anlaßventils aus- und die anderen Hebel wieder eingerückt werden. Ist der Kolben auf seinem oberen Totpunkt unter Kompression der im Zylinder befindlichen Luft angekommen, so öffnet sich das Brennstoffventil, und die durch das eine Rohr 24 (Fig. 287) in das Ventil eintretende, von der Einspritzflasche 19 kommende Druckluft reißt die durch das andere Rohr 25 von der Brennstoffpumpe 17 zugedrückte Brennstoffmenge mit sich in den Zylinder, wo sie infolge der hohen Temperatur der verdichteten Luft entzündet wird und verbrennt, wie bereits früher beschrieben ist. Das Anlaßventil ist, solange die Maschine läuft, außer Tätigkeit. Bei Belastungsschwankungen wirkt Regler 22 unter Vermittelung der Welle 29 (Fig. 289, 290) und des Stempels 27 auf das durch eine nicht dargestellte Feder ständig in Schlußstellung gehaltene Saugventil 26 der Pumpe. Wird

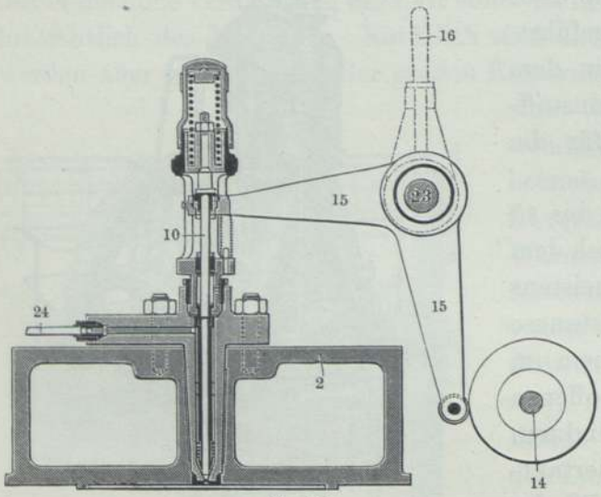


Fig. 286.

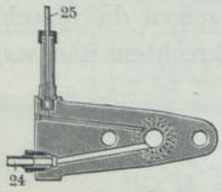


Fig. 287.

Fig. 286 und 287. Brennstoffeinlaßventil.

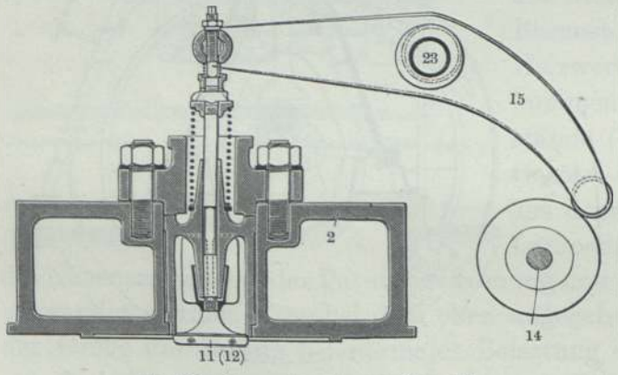


Fig. 288. Saug- bzw. Auspuffventil.

die Maschine nicht voll belastet, so wird das Ventil 26 während eines Teiles des Druckhubes durch den Stempel 27 offengehalten und der Brennstoff wieder in den Behälter 18 zurückgedrückt. Auf diese Weise gelangt weniger Brennstoff durch das Druckventil 30 in die zum Brennstoffeinlaßventil 10 führende Leitung 25.

In ähnlicher Weise wie die eben beschriebene Maschine sind die meisten Dieselmotoren konstruiert. Die Konstruktionsunterschiede betreffen meistens die Art der Steuerung, die Bauweise der Ventile, die Anordnung der Luft- und Brennstoffpumpen usw. Im Prinzip der Maschine wird, solange es sich um Viertaktmaschinen handelt, nichts geändert. Bei dem *Güldnermotor*, der von der Güldner-Motorengesellschaft in Aschaffenburg gebaut wird, ist die Steuerwelle nicht oben am Zylinder, sondern in dem schweren Gestellbalken gelagert; der Zylinder selbst hat keine seine genaue Bearbeitung und regelmäßige Wärmeausdehnung störenden Angüsse, der Zylinderdeckel nebst Ventilen, Rohranschlüssen liegt vollkommen frei. Die Daumenscheiben, Steuerhebel, Gleitrollen, Bolzen laufen in einer eigenen Triebwerkskammer ständig unter Schmieröl und sind daher vor Staub und Verschleiß geschützt (vgl. hierzu Fig. 255). Die Druckluftpumpe ist als selbständiger freistehender Zweistufenkompressor durchgebildet, der entweder direkt mit der Motorwelle gekuppelt ist oder durch Riemen angetrieben wird. *Die Ausbildung des Dieselmotors, wie er von der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg gebaut wird, zeigt das Klappmodell des Dieselmotors.*

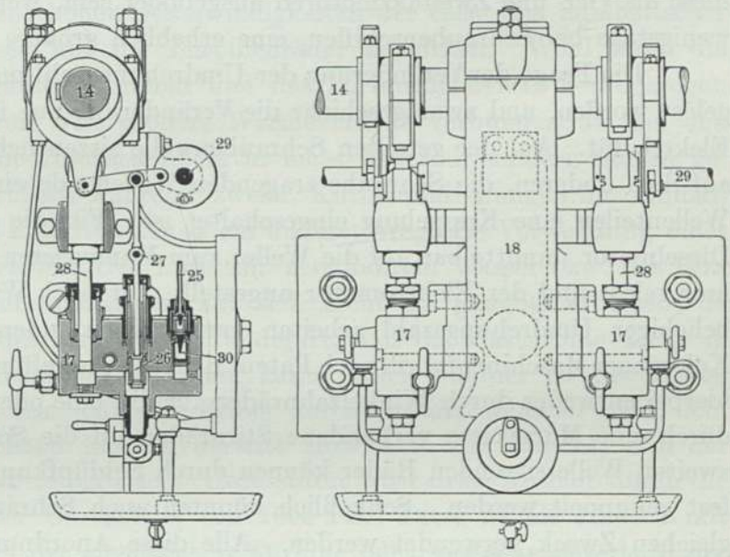


Fig. 289. Fig. 290.

Fig. 289 und 290. Brennstoffpumpe mit Regelungsvorrichtung.

In der nachstehenden Tabelle sind die Ergebnisse der Untersuchung eines 200-PS Dieselmotors mit Schwungraddynamo, der von den Gebrüdern Sulzer in Winterthur geliefert worden ist, zusammengestellt. Der dreizylindrige Motor hat eine Bohrung von 380 mm bei 560 mm Hub.

Versuche	I	II	III	IV	V	Leerlauf
Belastung	max.	1/1	3/4	1/2	1/4—1/5	
Dauer des Versuches in Minuten	$47^1/_6$	$72^1/_6$	59	$40^1/_{10}$	$37^1/_4$	$14^2/_3$
Tourenzahl in der Minute	185,8	188,2	190,0	190,0	191,5	186,0
Mittlerer indizierter Druck kg/cm²	7,97	6,93	5,81	4,41	2,98	1,92
Indizierte Gesamtleistung in PS	303,5	264,0	225,0	167,5	112,2	60,8
Effektive Leistung in PS	235,0	199,5	156,0	101,5	47,6	—
η des Motors $= \frac{PSe}{PSi}$	0,775	0,755	0,695	0,606	0,424	—
Brennstoffverbrauch für die PSi-Stunde in g	146,5	141,8	135,5	134,0	143,5	134,0
- - - - PSe-Stunde in g	189,0	188,0	196,0	221,0	338,0	—

Wegen seiner großen Vorzüge hat sich der Dieselmotor in sehr vielen Betrieben eingebürgert und teilweise nicht nur die Dampfmaschine, sondern auch die Generatorgasmaschine verdrängt. Den Bemühungen der Maschinenfabriken ist es auch gelungen, brauchbare Dieselmotoren für den Schiffsantrieb herzustellen. Besonders in Rußland, wo schon seit langer Zeit die Rückstände der Petroleumdestillation als Heizmaterial für die Schiffskessel benutzt wurden, war die Einführung der Dieselmotoren für den Schiffsbetrieb gewissermaßen eine Notwendigkeit. Hierbei waren die Konstrukteure vor die Aufgabe gestellt, den Motor den beim Schiffsbetrieb vorhandenen Bedingungen anzupassen, die ganz andere sind wie bei ortfesten Maschinen. Außer der Beschränkung

in bezug auf den für die Unterbringung vorhandenen Raum sind es vor allem die Veränderbarkeit der Umdrehungszahl und die Umsteuerbarkeit der Maschine für die Rückwärtsfahrt, die den Schiffsmotor grundsätzlich von dem Landmotor unterscheiden. In Rußland ist der erste Dieselmotor schon 1904 auf dem Schiffe „Sarmat" der Genossenschaft Gebrüder Nobel eingebaut worden; er war noch 1909 im Betrieb. Es waren zwei ortfeste Motoren von 310 mm Zylinderdurchmesser, 420 mm Hub und 240 Umdrehungen in der Minute, die je eine Schraube antrieben. Auch für Raddampfer sind Dieselmotoren verwendet worden; natürlich mußte hier eine Übersetzung der Maschinenumdrehungen ins Langsame erfolgen. Seitdem hat der Dieselmotor in Rußland für den Schiffsantrieb eine große Verwendung gefunden. Die deutschen Reedereien und Werften sind in den letzten Jahren ebenfalls dieser Frage nähergetreten, so daß auch hier bereits fertige Ausführungen vorliegen, wenn auch erst für kleinere Fahrzeuge.

Die Motoren selbst entsprechen konstruktiv den ortfesten Maschinen; sie können ebenso wie diese als Vier- und Zweitaktmotoren ausgebildet sein, werden möglichst leicht gebaut und haben, wenigstens bei Schraubenschiffen, eine erheblich größere Umdrehungszahl.

Die Frage der Veränderung der Umdrehungszahl und -richtung ist zuerst von Del Proposto gelöst worden, und zwar geschieht die Veränderung auf indirektem Wege unter Verwendung der Elektrizität. Auf der geteilten Schraubenwelle sitzen neben dem Dieselmotor eine Dynamo und auf dem anderen, die Schraube tragenden Wellenende ein Elektromotor, wobei zwischen beiden Wellenteilen eine Kuppelung eingeschaltet ist. Für die gewöhnliche Fahrt voraus arbeitet der Dieselmotor unmittelbar auf die Welle; zum Manövrieren oder Rückwärtsfahren wird die Kuppelung gelöst und der Elektromotor angestellt, der nach Wunsch vorwärts und rückwärts und mit beliebiger Umdrehungszahl arbeiten kann. Eine andere Art der Umsteuerung wird von der Kolomnaer Maschinenfabrik nach Patent Koreiwo ausgeführt. Die Umdrehungen des Motors werden hierbei entweder durch Winkelzahnräder für die eine oder für die andere Richtung durch zwei durch eine Morsekette verbundene Stirnräder auf die Schraubenwelle übertragen. Die auf der zweiten Welle sitzenden Räder können durch Schlüpfkuppelungen jede für sich mit dieser Welle fest gekuppelt werden. Schließlich könnten auch Schrauben mit verstellbaren Flügeln für den gleichen Zweck verwendet werden. Alle diese Anordnungen umgehen aber nur die Frage der Umsteuerbarkeit und machen die Anlage nur kompliziert, wenn sie auch besondere Vorteile aufweisen, indem sowohl bei der elektrischen als auch bei der Schlüpfkuppelung jede beliebige Umdrehungszahl angestellt werden kann. Vor allem sind sie zu schwer, und dieser Umstand kommt bei Schiffsmaschinen ganz besonders in Betracht. Deshalb war der Dieselmotor erst dann für den Schiffsbetrieb brauchbar, nachdem es gelungen war, ihn direkt umsteuerbar zu machen. Der erste *umsteuerbare Dieselmotor* (eine Zweitaktmaschine) wurde von Gebr. Sulzer auf der Mailänder Ausstellung 1906 gezeigt; es war ein Unterseebootsmotor von 120 PS und 400 Umdrehungen in der Minute und besaß drei Zylinder. Er hatte einen Hartungregler, der gestattete, die Umdrehungszahl von 400 auf 275 zu ermäßigen; die weitere Verminderung bis auf 120 wurde mit der Hand durch Veränderung der Füllung bewirkt. Die Umsteuerungsvorrichtung bestand darin, daß auf der Steuerwelle für jeden Zylinder zwei Satz Nockenscheiben auf einer Hülse angeordnet waren, die mittels eines Handrades so verschoben werden konnten, daß für den Vorwärtsgang der eine, für den Rückwärtsgang der andere Nockensatz unter die Steuerhebel geschoben wurde. Das für die Umsteuerung erforderliche Abheben der Steuerhebel von ihren Nocken geschah mittels Handhebels.

Bei dem schnellen Fortschritt in der Anpassung des Dieselmotors an die vielseitigen Bedürfnisse des Schiffsantriebes ist die Verwendung des Dieselmotors als Antriebsmotor auch für größere und größte Schiffe nur noch eine Frage der Zeit, besonders da eben die Ersparnis an Betriebsstoff gegenüber der Dampfmaschinenanlage so sehr bedeutend ist.

F. Die Gasturbinen.

Es war ein naheliegender Gedanke, die großen Vorzüge, welche die Dampfturbine gegenüber der Kolbenmaschine besitzt, auch auf die Gasmaschinen zu übertragen und entsprechend Gasturbinen zu bauen, die den Vorteil der Gasmaschine mit dem der Turbine vereinigen würden. Der Gedanke ist an sich nicht neu, denn bereits 1791 schlug J. Barber vor (engl. Patent 1833 vom Jahre 1791), Gas in einer Mischkammer mit Luft und etwas Wasser zu vermengen, dann zu entzünden und den Feuerstrahl zum Antrieb eines Schaufelrades zu verwenden. Zu einer Ausführung dieses Vorschlages ist es wohl nicht gekommen. Trotz vieler patentierter Vorschläge ist auch bis heute eine gebrauchsfähige Gasturbine noch nicht im Betriebe, und nach der Ansicht vieler Fachleute stehen der Ausführung noch eine große Zahl von praktischen Bedenken entgegen, die nicht ohne weiteres zu überwinden sind. Eine Hauptschwierigkeit ist die Beherrschung der hohen Temperaturen, die im Verein mit den sehr hohen Geschwindigkeiten der Gase (bei adiabatischer Ausdehnung fast 1300 m/sec) zerstörend auf die Turbinenräder einwirken. Wohl kann die Temperatur durch Kühlung der Verbrennungskammer und des Turbinengehäuses herabgezogen werden. Hiermit sind aber im Verhältnis weit größere Wärmeverluste verbunden als bei den Kolbengasmaschinen, weil bei diesen die Höchsttemperatur nicht dauernd, sondern nur in gewissen Zeitabständen (bei Viertaktmaschinen während zweier Kurbelumdrehungen nur einmal) auf kurze Zeit und in kleinem Raume auftritt. Auch ein anderer Weg, die Verwendung eines großen Luftüberschusses oder das Anreichern der Luft mit zerstäubtem Wasser bzw. das Einspritzen von Wasser in die heißen Verbrennungsgase hat sich nicht als gangbar erwiesen, da er ein starkes Sinken des Wirkungsgrades zur Folge hat, derart, daß die Gasturbine nicht in erfolgreichen Wettbewerb mit der Kolbenmaschine treten kann. Nach Güldner ist der Kreisprozeß der Gasturbine nur dann mit Aussicht auf Erfolg durchführbar, wenn er nach dem Gleichdruckverfahren erfolgt. Abweichend hiervon vertritt Holzwarth die Ansicht, daß der Betrieb mit periodischer Verbrennung vorteilhaft sei. Unterstützt wird diese Ansicht durch die Ergebnisse jahrelanger Versuche an einer Gasturbine von 1000 PS. Diese ist als Turbine mit stehender Achse ausgeführt. Unterhalb der eigentlichen Turbine oder vielmehr unterhalb der zu dem Laufrade führenden Düsen sind in einem Kreise mehrere Verpuffungskammern angeordnet, die gegen die Turbine durch je ein Klappenventil abgeschlossen sind. Diese Verpuffungskammern werden der Reihe nach beschickt, und zwar erfolgt zuerst eine Auffüllung der Kammern mit Luft von geringer Spannung, in die dann Brennstoff eingeblasen wird. Wesentlich ist hierbei, daß die Temperatur vor der Zündung möglichst niedrig ist. Nachdem sich beide gut gemischt haben, erfolgt die Entzündung; das Klappenventil öffnet sich und entläßt die gespannten Gase zu den Düsen, in denen sich ihre Spannung in Geschwindigkeit umsetzt. Hierauf wird das Klappenventil durch eine Steuerung geschlossen, aber mit so geringer Geschwindigkeit, daß die der Kammer zugeführte Spülluft noch Zeit hat, die Kammer von den Verbrennungsrückständen zu reinigen. Die Wärmemenge, die in dem mit einer Temperatur von etwa 400° C austretenden Gemisch von Abgasen und Spülluft enthalten ist, wird in einem Regenerator nutzbar gemacht, der zur Erzeugung des Betriebsdampfes für die Antriebsturbinen der zur Verdichtung der Luft und des Betriebsstoffes vorgesehenen Gebläse dient. Hervorzuheben ist schließlich noch, daß nach jahrelangen Versuchen mechanische Beschädigungen nicht beobachtet worden sind, was darauf zurückgeführt wird, daß Wasser in keiner Weise zusätzlich zugeführt wird.

Elektrotechnik. I.

Von Ingenieur **M. Prüssing**, Königsberg i. Pr.

A. Einleitung.

Unter Elektrotechnik versteht man die technische Erzeugung und Verwertung *elektrischer Energie*. Diese wurde früher ausschließlich durch galvanische Elemente hervorgebracht, konnte indes für die Technik erst Bedeutung erlangen, nachdem es gelungen war, sie in größtem Maßstabe mit Maschinen zu erzeugen. Anfänge der Erzeugung elektrischer Energie mit Maschinen reichen bis 1832 zurück, doch datiert der Aufschwung der Elektrotechnik erst von der Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips durch Werner Siemens und Wheatstone im Jahre 1867. Danach begann die fabrikmäßige Herstellung elektrischer Maschinen, deren Bau inzwischen außerordentlich vervollkommnet worden ist.

Man unterscheidet *Schwachstromtechnik*, die hauptsächlich Telegraphen-, Fernsprech- und Signalwesen sowie den Sicherungsdienst umfaßt, und *Starkstromtechnik*, bei der die elektrischen Maschinen zur Anwendung kommen. Während diese Maschinen mechanische Energie in elektrische umwandeln, ergeben sich durch geeignete Umgestaltung derselben die Elektromotoren, die umgekehrt elektrische Energie in mechanische umsetzen.

Hierauf beruht die Bedeutung der elektrischen Arbeitsübertragung. Diese besitzt gegenüber jeder anderen ganz erhebliche Vorteile, und da auch die Elektromotoren den anderen Motoren vielfach überlegen sind, so haben die Anwendungen der Elektrotechnik immer größere Verbreitung gefunden. Die elektrischen Bahnen haben die Pferdebahnen fast ganz verdrängt; Kleinbahnen werden längst elektrisch betrieben, und die Ausdehnung dieses Betriebes auf Vollbahnen hat das Anfangsstadium schon überschritten. Im Bergbau und Hüttenbetrieb, in der Landwirtschaft, auf Kriegs- und Handelsschiffen, bei Hafenanlagen gewinnt die Elektrotechnik immer mehr an Bedeutung. Nicht wenige dieser Fortschritte sind der Vervollkommnung der Akkumulatoren zu verdanken, die jetzt weitgehenden Ansprüchen genügen. Die elektrische Beleuchtung hat zwar die Gasbeleuchtung nicht verdrängen können, doch steht sie hinter dieser an Ausbreitung kaum zurück und erobert sich täglich neue Gebiete.

Ebenso ist die Bedeutung der Elektrotechnik für die Galvanoplastik, Galvanostegie und Metallurgie stetig gewachsen. Speziell ist die Elektrometallurgie für die Gewinnung und Raffination vieler Metalle von Wichtigkeit geworden. Schwer reduzierbare Metalle, wie Chrom, Wolfram, Molybdän, Uran, Titan und andere, werden in elektrischen Öfen mit Hilfe des Lichtbogens gewonnen. Für die chemische Industrie kommt die Darstellung der Metallkarbide, insbesondere des Kalziumkarbids, des Phosphors, Wasserstoffes, Sauerstoffes und Ozons, des Natriums, Ätzkalis und Ätznatrons, der Soda, des Chlors, des Chlorkalks, der chlorsauren Salze usw. in Betracht; in der organisch-chemischen Technik ist die Reduktion von Nitroverbindungen für Anilinfabrikation und die Darstellung einiger Teerfarbstoffe gelungen. Auch bei der Zuckerfabrikation, in der Gerberei und zur Herstellung des Weines bedient man sich der Elektrolyse.

B. Elektrotechnische Grundbegriffe.

Elektrische Erscheinungen bieten oft große Ähnlichkeit mit dem Verhalten des Wassers, ein Umstand, der das Verständnis elektrischer Vorgänge wesentlich erleichtert.

Zwischen den Ventilen 1 und 2 eines mit Wasser gefüllten Röhrensystems (Fig. 291) befindet sich eine Wasserpumpe 3. Treibt man diese in der Pfeilrichtung an, so wird bei 1 eine Druckwirkung, bei 2 eine Saugwirkung nach der Pumpe zu auftreten. Je nach der Konstruktion der Pumpe erfolgt diese Wirkung gleichmäßig oder stoßweise. Dem ersten Falle würde die Arbeitsweise einer Kreiselpumpe, dem zweiten die einer Kolbenpumpe entsprechen; wir wollen eine Kreiselpumpe annehmen. — Solange die Ventile 1 und 2 geschlossen sind, ist zwar ein Druckunterschied in den Rohrenden links und rechts der Pumpe vorhanden; eine fließende Bewegung des Wassers kommt indes nicht zustande. Bei Öffnung des Ventils 1 pflanzt sich der Wasserdruck fort bis zum Ventil 2, doch ist ein Strömen des Wassers auch jetzt noch nicht möglich. Erst wenn auch 2 geöffnet wird, kann das Wasser das ganze Röhrensystem durchfließen. Das Wasser geht also von der Pumpe 3 aus, fließt durch Ventil 1 zum Wasserrad 4, treibt dieses an und kehrt durch Ventil 2 zur Pumpe zurück. Wir haben hier eine hydraulische Kraftübertragungsanlage, worin die an der Pumpe 3 aufgewendete mechanische, in Strömungsenergie verwandelte Arbeit fortgeleitet und im Wasserrad 4, das irgendeine Arbeitsmaschine antreiben möge, wieder nutzbar gemacht wird.

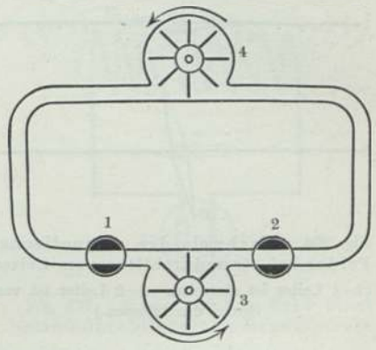


Fig. 291. Hydraulische Kraftübertragungsanlage.

Vergleicht man diesen hydraulischen Vorgang mit einem elektrischen (Fig. 292), so tritt an Stelle der Pumpe der Stromerzeuger, etwa ein galvanisches Element 3, das an seinen Polen eine stets gleichbleibende Druckdifferenz zu erzeugen vermag. Die Rohrleitung ersetzt eine Drahtleitung, und zwei in diese eingebaute Schalter 1 und 2 gestatten, den Stromkreis nach Belieben zu öffnen und zu schließen. Je nach Lage der Schalter wird die in der Figur als Stromverbraucher angenommene Glühlampe 4 aufleuchten oder erlöschen.

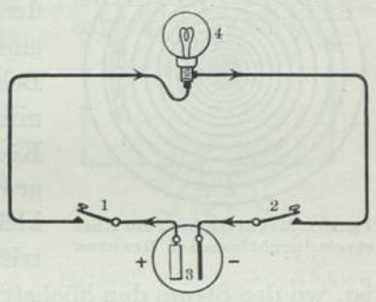


Fig. 292. Elektrische Lichtanlage.

Die einfachste Form eines derartigen *galvanischen Elementes* (Fig. 293) bilden ein Kupferstab 1 und ein Zinkstab 2, die in ein Glas mit angesäuertem Wasser tauchen. An den aus dem Gefäß herausragenden Stabenden, den *Polen* des Elementes, herrscht eine Druckdifferenz, die sich (in Fig. 292 durch die Leitung über die Glühlampe hinweg) auszugleichen sucht. Man nennt diese Druckdifferenz die *elektrische Spannung* und nimmt an, daß der Ausgleich vom positiven (+) Pol zum negativen (—) Pol erfolgt. Die elektrische Spannung des Elementes besteht auch dann, wenn die Schalter 1 und 2 (Fig. 292) geöffnet sind, nur kann ein Ausgleich dann nicht erfolgen. Erst beim Schließen beider Schalter kann man von einem elektrischen *Strom* sprechen, der, vom +-Pol ausgehend und zum —-Pol zurückkehrend, immer wieder mit erneutem Druck in gleicher Richtung durch Leitung und Glühlampe fließt.

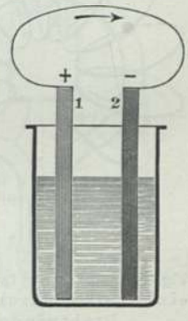


Fig. 293. Galvanisches Element.

Genau so, wie die sekundlich durch ein Rohr fließende Wassermenge abhängt von dem Rohrquerschnitt und dem an der Durchflußstelle herrschenden Druck, ebenso ist die sekundlich durch einen Draht fließende Elektrizitätsmenge abhängig vom Drahtquerschnitt und dem elektrischen Druck (Spannung), der zwischen Anfang und Ende der Drahtleitung herrscht. Je größer der Rohrdurchmesser ist, desto größer kann die durchtretende Wassermenge sein; je stärker die Rohrwandung gewählt wird, desto höheren Druck darf das Wasser annehmen. Ist das Rohr dem Wasserdruck nicht gewachsen, platzt es und gewährt dem Wasser einen Weg ins Freie. Und

anderseits: Je stärker der elektrische Strom ist, desto größer muß der Leitungsquerschnitt sein; je höher die Spannung gewählt wird, desto stärker ist die den Leiter umgebende Isolation zu bemessen. Würde man die Leitungsdrähte nicht isolieren, so würde der elektrische Strom den ihm bequemsten Weg, nämlich den zur Erde, einschlagen, also verloren gehen.

Als Isolationsstoffe verwendet man Materialien, die die Elektrizität nicht leiten, den Strom also zwingen, die durch den Leiter bezeichnete Bahn zu durchmessen. Während zu den *Leitern* alle Metalle, ferner Kohle, Salz- und Säurelösungen und die Körper der Lebewesen gehören, zählen Baumwolle, Seide, Jute, Gummi, Glimmer, trockenes Papier, Porzellan, Glas und Öl zu den *Nichtleitern* oder *Isolatoren*. Das Leitvermögen der Leiter ist sehr verschieden. Am besten leiten die Metalle. Von den Metallen hat wieder das Silber die höchste Leitfähigkeit, doch kommt es seines hohen Preises wegen als Leitungsmaterial nicht in Frage; statt dessen verwendet man Kupfer, dessen Leitfähigkeit fast die des Silbers erreicht.

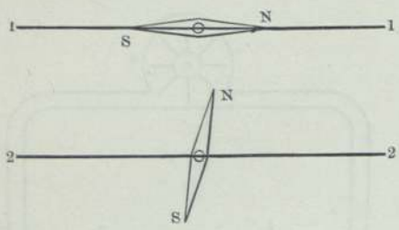


Fig. 294. Nachweis des magnetischen Feldes bei stromdurchflossenem Leiter. (1–1 Leiter ist stromlos. 2–2 Leiter ist vom Strom durchflossen.)

Will man den elektrischen Strom zu einer Arbeitsleistung zwingen, so muß man ihm einen Widerstand in den Weg legen, bei dessen Überwindung er seine Energie abgibt. Dem Wasserstrom waren in Fig. 291, um seine Energie in mechanische Arbeit umzuwandeln, die Schaufeln des Wasserrades in den Weg gelegt. Analog kann man den elektrischen Strom veranlassen, seinen Weg durch den Kohlenfaden einer Glühlampe oder die Drahtwickelung eines Elektromotors zu nehmen. Bekanntlich wird durch Reibung zweier Körper Wärme erzeugt, die zunimmt, je größer der Druck und je rauher die Oberfläche der beiden Körper ist. Auch der Wasserstrom wird das durchfließende Rohr etwas erwärmen, und zwar um so mehr, je stärker der Wasserstrom und je kleiner und unebener das Rohrinnere ist. Ähnlich tritt in einem elektrischen Stromkreis eine Erwärmung der Leiter auf, die dort am größten ist, wo der Strom den höchsten Widerstand findet. Ist die Elektrizitätsquelle stark genug, so kann die Erwärmung des Leiters unter Umständen so weit gehen, daß sich dieser bis zur Weißglut erhitzt, eine Eigenschaft, die man z. B. im Faden der Glühlampe nutzbringend verwertet. Bei einem Elektromotor, der zur Umwandlung elektrischer Energie in mechanische dient, ist die Drahtwickelung so dimensioniert, daß der elektrische Strom in der Hauptsache nicht Wärme, sondern Magnetismus und damit mechanische Arbeit erzeugt.

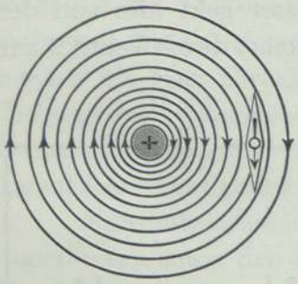


Fig. 295. Magnetisches Feld eines stromdurchflossenen Drahtes.

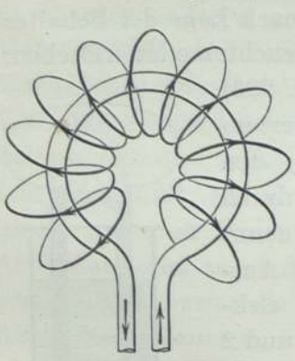


Fig. 296. Magnetisches Feld einer stromdurchflossenen Drahtwindung.

Nähert man einem stromführenden Leiter eine Magnetnadel, so wird diese aus ihrer früheren Richtung abgelenkt. Unterbricht man den Strom, so stellt sich die Nadel wieder in die Nord-Südrichtung ein. Dieses in Fig. 294 veranschaulichte Experiment lehrt, daß der stromführende Leiter auf die Magnetnadel eine magnetische Kraft ausübt. Die Umgebung des Leiters, in der eine magnetische Wirkung noch nachweisbar ist, heißt sein *magnetisches Feld*. Des besseren Verständnisses wegen denkt man sich das magnetische Feld aus unendlich vielen *Kraftlinien* bestehend, deren Richtung und Polarität durch die Lage des Leiters und durch die Stromrichtung bestimmt ist. Da eine Magnetnadel die Richtung der magnetischen Kraftlinien angibt, wie sie vom magnetischen Nordpol zum magnetischen Südpol der Erde verlaufen, so besitzt man in ihr ein Hilfsmittel, um auch die Richtung und Polarität der vom elektrischen Strom erzeugten Kraftlinien und damit die Richtung des Stromes festzustellen.

Blickt man in Richtung des Stromes an einem elektrischen Leiter entlang, so nimmt man wahr, daß eine in der Nähe befindliche, horizontal schwebende Magnetnadel sich in die in Fig. 295 gezeichnete Pfeilrichtung einstellt. Führt man die Magnetnadel im Kreise um den Leiter herum,

so behält sie in bezug auf den Leiter stets die gleiche Richtung bei, bildet also immer eine Tangente des um den Leiter beschriebenen Kreises. Dieses Verhalten der Nadel läßt auf ein magnetisches Feld schließen, dessen Kraftlinien konzentrische Ringe um den Leiter als Achse bilden. Die Kraftlinien verlaufen im Sinne des Uhrzeigers, wenn man in Richtung des Stromes an dem Leiter entlang sieht, und nehmen mit der Entfernung vom Leiter an Dichte ab.

Biegt man den Leiter zu einem Ringe (Fig. 296), so entstehen um ihn herum kreisförmige Kraftlinien, die mit Bezug auf die durch den Leiter begrenzte Ebene ein resultierendes Feld bilden und dieselbe senkrecht durchschneiden. Eine stromdurchflossene, sich aus mehreren ringförmigen Leitern zusammensetzende Drahtspirale wird also im Innern ein Magnetfeld besitzen, das hauptsächlich aus parallel zur Achse verlaufenden Kraftlinien gebildet wird (Fig. 297). Man nennt ein solches aus geradlinigen Kraftlinien bestehendes Feld ein *homogenes Magnetfeld.* Die magnetische Kraft oder *Feldstärke* im Innern einer solchen, auch *Solenoid* genannten Drahtspule wächst mit der Anzahl der Windungen und der Stärke des durchfließenden Stromes. Die Stelle, an der die Kraftlinien aus der Spule austreten, nennt man den Nordpol; die Stelle, an der sie eintreten, den Südpol der Spule.

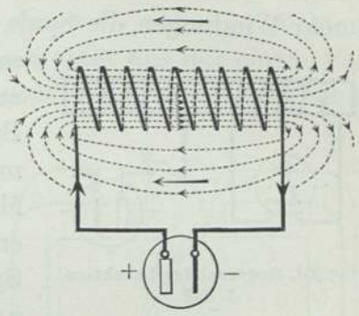


Fig. 297. Magnetisches Feld einer stromdurchflossenen Drahtspirale.

Bringt man in das Solenoid einen Eisenstab (Fig. 298), so wird dieser magnetisch. Und zwar wird das Stabende, das dem Beschauer im Sinne der Uhrzeigerbewegung vom Strom umkreist erscheint, zum Südpol, das andere zum Nordpol des *Elektromagnets.* Gleichzeitig erhält man ein wesentlich verstärktes magnetisches Feld. Unterbricht man den Stromkreis der Spule, so geht der Magnetismus des Eisens auf ein verschwindend kleines, *Remanenz* genanntes Maß zurück. Der *remanente Magnetismus* ist um so größer, je härter das Eisen ist. Bringt man in die Drahtspule einen Stahlstab, so wird dieser zwar nicht so rasch magnetisch wie ein Stab aus weichem Eisen, doch behält er seinen Magnetismus auch nach Unterbrechung des Stromes zum größten Teile bei, ist also zu einem dauernden Magnet geworden. Derartigen Magnetismus nennt man *permanenten,* im Gegensatz zu dem *temporären,* d. h. mit dem Strom wieder verschwindenden, Magnetismus des weichen Eisens.

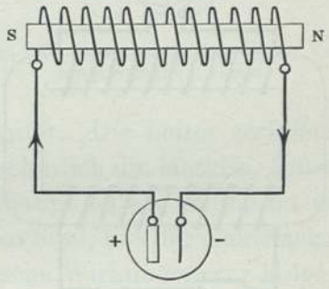


Fig. 298. Prinzip des Elektromagnets.

Nimmt man zwei kernlose Spulen, legt jede für sich an eine Stromquelle und nähert sie einander, wie Fig. 299 zeigt, so bemerkt man auch hier eine magnetische Wirkung: die Spulen ziehen sich, beweglich aufgehängt, an, wenn die Stromrichtung in beiden die gleiche ist, und stoßen sich ab, wenn die Stromrichtung verschieden ist. Hieraus ergibt sich das Gesetz: Gleichgerichtete Ströme ziehen sich an, ungleichgerichtete stoßen sich ab. Man besitzt also im elektrischen Strom ein Mittel, künstlichen Magnetismus herzustellen.

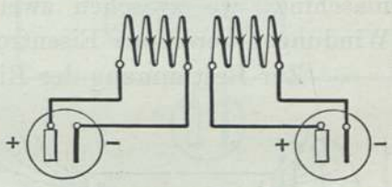


Fig. 299. Anziehung gleichgerichteter Ströme.

Umgekehrt ist es möglich, mittels eines Magnets in einem Leiter eine elektrische Druckdifferenz zu erzeugen. Diese Erscheinung bezeichnet man mit *Induktion.* Bringt man, wie in Fig. 300 dargestellt ist, in eine Spule einen Magnetstab, so wird in den Windungen ein elektrischer Strom induziert, der so lange dauert, wie der Stab in Bewegung ist. Dabei ist vorausgesetzt, daß Anfang und Ende der Wickelung miteinander in Verbindung stehen, die Grundbedingung für das Fließen eines Stromes also erfüllt ist. Bei geöffnetem Stromkreis entsteht in der Spule kein Strom, sondern nur eine *elektromotorische Kraft.* Elektromotorische Kraft nennt man bei allen Stromerzeugern den im Innern derselben hervorgerufenen

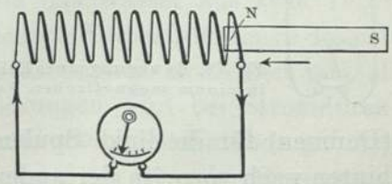


Fig. 300. Prinzip der Induktion.

elektrischen Druck. Die an den Polen des Stromerzeugers gemessene *Klemmenspannung* ist stets etwas kleiner als die elektromotorische Kraft, da bei Überwindung der sogenannten „inneren Widerstände" in den Stromerzeugern schon ein kleiner Teil des ursprünglichen Druckes verbraucht wird.

Die in der Spule erzeugte elektromotorische Kraft (EMK) ist um so größer, je stärker der Magnetismus des Eisenstabes ist, ferner je schneller die Bewegung des Magnets erfolgt und je mehr Windungen die Spule besitzt. Legt man an die Enden der Wickelung ein Meßinstrument, so nimmt man beim Hineinbewegen des Magnetstabes einen Zeigerausschlag wahr, der jedoch sofort wieder Null wird, wenn man mit der Bewegung innehält, und nach der entgegengesetzten Seite erfolgt, wenn man den Magnetstab aus der Spule herauszieht. Der Ausschlag des Meßinstrumentes wird um so größer, je rascher die Bewegung des Stabes erfolgt. Dieselbe Wirkung läßt sich erreichen, wenn man eine zweite Spule, ähnlich dem in Fig. 301 dargestellten Vorgang, mit einer Stromquelle verbindet und so in die Nähe der ersten bringt, daß die bei Stromschluß erzeugten Kraftlinien die Fläche dieser Spule durchdringen. Enthalten die Spulen Eisen, so wird die Wirkung sehr verstärkt. Diese Eigenschaft eines periodisch vom Strom durchflossenen Leiters, in einem benachbarten Leiter einen elektrischen Druck zu erzeugen, nennt man *gegenseitige Induktion*, den induzierenden den *primären*, den induzierten den *sekundären* Strom. Die gegenseitige Induktion wird am größten, wenn das die Spulen ausfüllende Eisen einen in sich geschlossenen Kreis bildet und so den Kraftlinien einen Verlauf ohne Unterbrechung ermöglicht (Fig. 302). Bei Vergleich des induzierenden mit dem induzierten Strom ergibt sich, daß der letztere die entgegengesetzte Richtung beim Schließen, die gleiche Richtung beim Öffnen des induzierenden Stromes hat, den Wirkungen desselben also entgegenarbeitet. Er sucht demnach bei Stromschluß das entstehende Kraftlinienfeld zu schwächen und es bei Öffnung des Stromkreises aufrechtzuerhalten. Eine induzierende Wirkung entsteht auch, wenn eine Spule so vor den Polen eines Magnets vorbeibewegt oder gedreht wird, daß ihre Windungen die Kraftlinien schneiden (Fig. 303). Diese Erscheinung umfaßt das Prinzip der Dynamomaschine, wo zwischen zwei starken Magnetpolen der sogenannte *Anker*, eine mit vielen Windungen versehene Eisentrommel, gedreht wird.

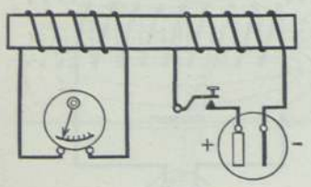


Fig. 301. Gegenseitige Induktion, 1. Fall.

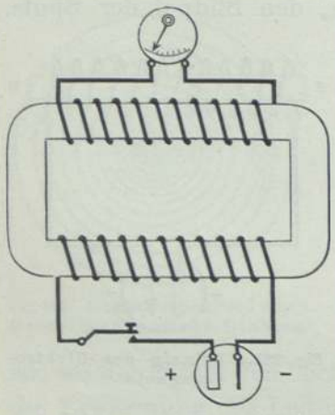


Fig. 302. Gegenseitige Induktion, 2. Fall.

Zur Bestimmung der Richtung des induzierten Stromes bedient man sich mit Vorteil der Flemingschen *Drei-Finger-Regel* (Fig. 304). Sie lautet: Man bringe den Zeigefinger der rechten Hand in Richtung der Kraftlinien und den Daumen in die Bewegungsrichtung des Leiters, dann gibt der auf beiden senkrecht stehende Mittelfinger die Richtung des induzierten Stromes an.

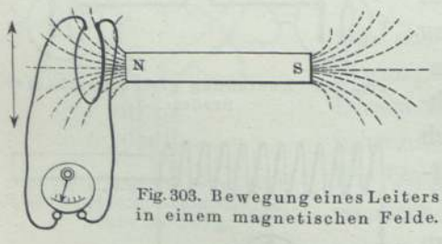


Fig. 303. Bewegung eines Leiters in einem magnetischen Felde.

Wendet man diese Regel auf die in Fig. 305 dargestellten Verhältnisse an, so ergibt sich: Die Kraftlinienrichtung (Zeigefinger) ist nach links, die Bewegungsrichtung (Daumen) für die linke Spulenseite 1 nach oben, der Strom fließt also in dieser Spulenseite von hinten nach vorn; in der anderen Spulenseite 2 natürlich umgekehrt, da auch die Bewegung hier umgekehrt, d. h. von oben nach unten, erfolgt. Der bei diesem Versuch erzeugte Strom stellt natürlich auch einen gewissen Energiewert dar. Da der Magnet durch seine induzierende Tätigkeit in seiner magnetischen Stärke nicht verändert wird, kann die erzeugte elektrische Energie nur in der bei der Bewegung des Leiters aufgewendeten mechanischen Arbeit ihren Ursprung haben.

Der in Fig. 301 veranschaulichte Versuch zeigte den Einfluß der Induktion auf eine der primären genäherte sekundäre Spule. Diesem Einfluß unterliegt aber auch die primäre Spule selbst,

denn auch in ihr werden Induktionsströme erzeugt. Da die induzierte elektromotorische Kraft stets einen Strom erzeugt, der dem primären entgegenwirkt, so wird im Moment des Schließens der Strom nicht gleich auf seinen vollen Wert steigen, sondern durch die Wirkung der induzierten gegenelektromotorischen Kraft relativ langsam. Beim Öffnen des Stromkreises sucht umgekehrt die sekundäre elektromotorische Kraft das Sinken der Stromstärke zu verzögern, was die Versuchsanordnung der Fig. 306 bestätigt. Eine Stromquelle 3 speist über den nach unten gedrückten Schalter 1 die Wickelung eines Elektromagnets. Das Meßinstrument 4 steht nur mit einem Pol mit dem Element 3 in Verbindung, ein Ausschlag ist also nicht vorhanden. Läßt man Schalter 1 los, so zieht die Feder 2 ihn nach oben und verbindet dadurch die beiden Enden der Spule 5 mit dem Meßinstrument 4. In diesem Augenblick bemerkt man einen Ausschlag des Zeigers, der langsam, der Abnahme der Kraftlinienzahl entsprechend, auf Null zurückgeht. Das Element ist hierbei, da es nur einpolig angeschlossen ist, vollständig wirkungslos. Diese, *Selbstinduktion* genannte, Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß zur Erzeugung des die Spule umgebenden magnetischen Feldes eine gewisse Energiemenge verbraucht wird, die im Augenblick der Unterbrechung des Stromes wieder frei wird.

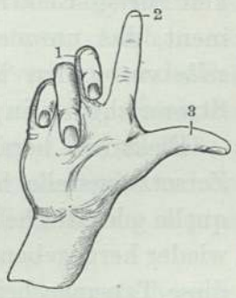


Fig. 304. Flemingsche Drei-Finger-Regel. (1 Stromrichtung, 2 Kraftlinienrichtung, 3 Bewegungsrichtung.)

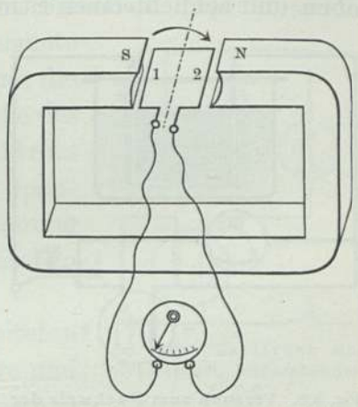


Fig. 305. Bewegung einer Spule im magnetischen Felde.

Es sei daran erinnert, daß alle Körper hinsichtlich ihres Leitvermögens eingeteilt werden in Leiter und Nichtleiter. Die Leiter zerfallen wieder in solche erster und zweiter Klasse. *Leiter erster Klasse* sind vornehmlich die Metalle, *Leiter zweiter Klasse* alle Flüssigkeiten, soweit sie den elektrischen Strom überhaupt leiten. Während in den Metallen bei Stromdurchgang nur Wärmeerscheinungen wahrnehmbar sind, hat der elektrische Strom bei den Flüssigkeiten außer der Erwärmung noch gewisse chemische Wirkungen zur Folge.

In einem Gefäß mit angesäuertem Wasser seien sich zwei Metallplatten, die sogenannten *Elektroden*, so gegenübergestellt, daß sie sich nicht berühren. Verbindet man sie, wie in Fig. 307, mit den Polen eines Elementes, so nimmt man nach kurzer Zeit an den beiden Elektroden kleine Glasbläschen wahr: das Wasser wird zersetzt. Dabei entsteht an der Elektrode, wo der Strom in die Flüssigkeit eintritt, der *Anode* (1), Sauerstoff; an der Austrittselektrode, der *Kathode* (2), Wasserstoff. Da das Wasser aus zwei Teilen Wasserstoff und einem Teil Sauerstoff besteht, so ist auch die erzeugte Wasserstoffmenge doppelt so groß wie die entstehende Sauerstoffmenge. Dieses Zerlegen der Flüssigkeit bezeichnet man als *elektrolytische Wirkung* des elektrischen Stromes. Aus Metallsalzlösungen wird bei Stromdurchgang das in dem Salz chemisch gebundene Metall abgeschieden und nach der Kathode geführt, wo es sich als feiner, gleichmäßiger Niederschlag ansetzt. Will man einen leitenden Gegenstand vernickeln, so hängt man ihn als Kathode in eine Nickelsalzlösung, benutzt irgendein Metallstück als Anode und schickt einen verhältnismäßig schwachen Strom hindurch; bald überzieht sich der Gegenstand mit einer festhaftenden Nickelschicht.

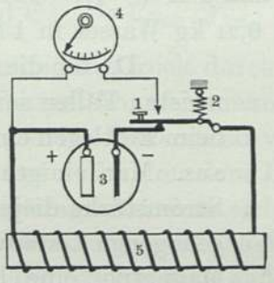


Fig. 306. Versuch zum Nachweis der Selbstinduktion.

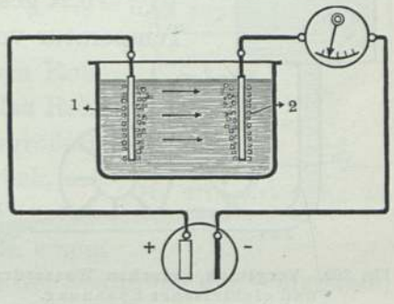


Fig. 307. Elektrische Wasserzersetzung.

Beobachtet man bei dem Versuch der Wasserzersetzung (Fig. 307) ein in den Stromkreis geschaltetes Meßinstrument, so nimmt man wahr, daß nach einiger Zeit der Zeiger des Instrumentes langsam zurückgeht. Auch die erzeugte Gasmenge nimmt nicht mehr im gleichen Maße zu wie

früher. Da an der Stromquelle nichts geändert ist, muß sich also im Stromkreis eine Änderung vollziehen: An der Oberfläche der Elektroden setzen sich die Gasbläschen fest und hindern so den Strom, in früherer Stärke in die Flüssigkeit überzutreten bzw. diese nach der Kathode zu zu verlassen. Gleichzeitig entsteht ein elektrischer Gegendruck, der den früheren Strom zu schwächen sucht. Diesen Vorgang, der gewisse Ähnlichkeit mit der Selbstinduktion hat, nennt man die *Polarisation*. In Fig. 308 geht der Strom vom Element über den nach unten gedrückten Schalter 1 nach der +-Elektrode und weiter durch die Flüssigkeit über die —-Elektrode zum Element zurück. Läßt man den Schalter nach einiger Zeit los, so legt er sich unter dem Zuge der Feder 2 nach oben und schließt einen Stromkreis über das Meßinstrument zur —-Elektrode, durch die Flüssigkeit zur +-Elektrode und von hier zum Schalter. Das Meßinstrument, das nunmehr mit den beiden Elektroden der *Zersetzungszelle* verbunden ist, zeigt jetzt einen Ausschlag. Dabei ist die Stromrichtung in der Zelle umgekehrt: der Strom fließt aus der +-Elektrode heraus und zur —-Elektrode wieder herein. In der Zersetzungszelle hat man also ein Mittel, mit Hilfe einer Stromquelle elektrische Energie aufzuspeichern, die zu beliebiger Zeit wieder hergegeben werden kann. Eine praktische Anwendung findet diese Tatsache bei den Akkumulatoren, deren Wirkungsweise und Bau ein späterer Abschnitt behandelt.

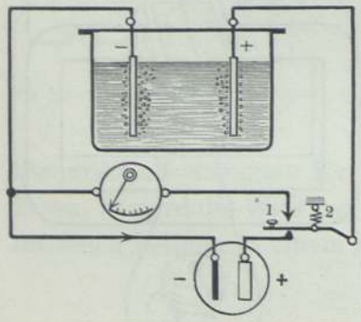


Fig. 308. Versuch zum Nachweis der Polarisation.

Elektrische Größen. In der Elektrotechnik bezeichnet man die Gebrauchseinheit für die Leistung zu Ehren des Erfinders der Dampfmaschine mit 1 Watt. Für größere Leistungen nimmt man als Maß das 1000fache dieser Gebrauchseinheit und benennt es 1 Kilowatt (KW). Um 1 kg in 1 Sekunde 1 m hoch zu heben, ist eine Leistung von 9,81 Watt aufzuwenden. 1 mkg/sek entspricht demnach 9,81 Watt. Zur Erzeugung einer Pferdestärke (75 mkg/sek) sind mithin $75 \times 9{,}81 = 736$ Watt erforderlich. Um die Temperatur eines Gramm Wassers in 1 Sekunde um 1 Grad C zu erhöhen, sind 4,17 Watt nötig. Diese Wärmeleistung heißt 1 Grammkalorie (gcal). Demnach ist 1 Watt $= \frac{1}{4{,}17} = 0{,}24$ gcal und 1 KW $= \frac{1}{4{,}17} \times 1000 = 240$ gcal, d. h. man kann mit 1 KW die Temperatur von 0,24 kg Wasser in 1 Sekunde um 1° C erhöhen.

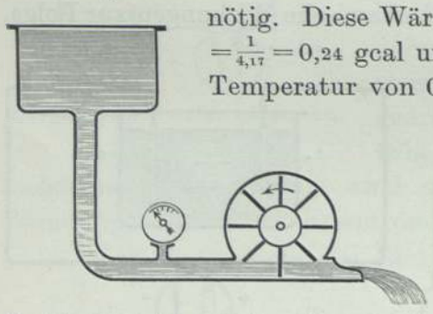


Fig. 309. Vergleich zwischen Wasserdruck und elektrischer Spannung.

Da für die Wirkungen des elektrischen Stromes in den meisten Fällen seine Stärke maßgebend ist, ging man auch beim Festlegen einer elektrischen Einheit von der Stromstärke aus. Man einigte sich dahin, als praktische Einheit für die Stromstärke diejenige anzunehmen, die, in einem kreisförmig gebogenen Leiter von 1 cm Radius fließend, auf einen Einheits-Magnetpol eine bestimmte, vom absoluten Maßsystem abgeleitete Kraft ausübt. Man nannte diese praktische Einheit der Stromstärke nach dem verdienstvollen französischen Forscher Ampère: 1 Ampere. Gibt eine Stromquelle die Stromstärke von 1 Ampere während 1 Sekunde her, so ist die abgegebene Elektrizitätsmenge 1 Coulomb.

Vor der Besprechung der weiteren elektrischen Maßeinheiten sei wieder ein hydraulischer Vergleich herangezogen. Ein quadratisches Rohr von 1 cm lichter Weite steht mit einem Hochbehälter in Verbindung (Fig. 309). Der durch das Rohr fließende Wasserstrom hat also einen Querschnitt oder eine Stärke von 1 qcm. Das Wasser im Rohr sei einem solchen Druck ausgesetzt, daß es auf einen das Rohr verschließenden Gegenstand mit 1 kg drückt. Der Wasserdruck beträgt dann 1 kg pro Quadratzentimeter oder 1 Atmosphäre (at). Läßt man das Wasser gegen die Schaufel eines dicht vor der Öffnung angebrachten Wasserrades strömen, so beträgt auch der auf die Schaufel ausgeübte Druck, wenn man von den Verlusten im Rohre absieht, 1 kg. Diese auf die Schaufel des Wasserrades drückende Kraft ist maßgebend für die Leistung des Rades.

Verwendet man statt des Rohres von 1 cm ein solches von 2 cm lichter Weite und stellt

den gleichen Wasserdruck von 1 at = 1 kg pro Quadratzentimeter her, der sich leicht an einem angeschlossenen Druckmesser (Manometer) ablesen läßt, so beträgt der Querschnitt des Rohres wie des Wasserstromes jetzt $2 \times 2 = 4$ qcm. Da der Wasserdruck nach wie vor 1 kg pro Quadratzentimeter beträgt, so wird auf die Schaufeln ein Druck von $4 \times 1 = 4$ kg ausgeübt. Erhöht man den Druck auf 2 at = 2 kg pro Quadratzentimeter, so wird sich auch der an den Schaufeln des Wasserrades wirksame Druck auf $4 \times 2 = 8$ kg erhöhen. Naturgemäß kann das Wasserrad jetzt auch das Achtfache leisten gegenüber dem im ersten Falle. Hieraus ist zu entnehmen, daß die Leistung des Wasserrades gleich ist dem Produkt aus der Stärke (Querschnitt) des Wasserstromes und dem Druck, mit dem das Wasser gegen die Schaufeln gepreßt wird.

Bei Einwirkung des elektrischen Stromes auf irgendeine geeignete Arbeitsvorrichtung ergeben sich dieselben Beziehungen. Auch hier kann die erzeugte Leistung ausgedrückt werden durch das Produkt aus der Stärke des Stromes und dem elektrischen Druck, d. h. der Spannung, womit der Strom den Widerstand durchfließt. Es ist also Leistung = Stromstärke × Spannung. Setzt man in dieser Formel die Werte für Stromstärke und Spannung als praktische Einheiten ein, so ergibt sich auch die Leistung in praktischen Einheiten, d. h. in Watt.

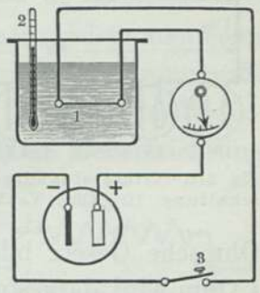


Fig. 310. Erklärung des elektrischen Widerstandes, 1. Fall.

Bisher waren uns nur die vom absoluten Maßsystem abgeleiteten praktischen Einheiten der Stromstärke und der Leistung, das Ampere und das Watt, bekannt. Wir wissen jetzt, daß Spannung, Strom und Leistung in einem ganz bestimmten Verhältnis zueinander stehen, können also die praktische Einheit der Spannung ableiten:

„Die praktische Einheit der elektromotorischen Kraft oder Spannung ist diejenige, die mit der praktischen Einheit der Stromstärke, 1 Ampere, die praktische Einheit der Leistung, 1 Watt, hervorbringt." Nach Volta nennt man diese Einheit 1 Volt.

Bezeichnet man die Leistung mit $\mathfrak{E}$ (Effekt), die Spannung mit E und die Stromstärke mit J, dann ist:

$$E_{Volt} = \frac{\mathfrak{E}\ Watt}{J\ Amp.};\quad J_{Amp.} = \frac{\mathfrak{E}\ Watt}{E\ Volt} \text{ und } \mathfrak{E}_{Watt} = E_{Volt} \cdot J_{Amp.}$$

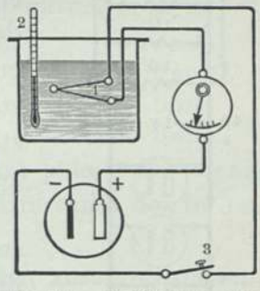


Fig. 311. Erklärung des elektrischen Widerstandes, 2. Fall.

Ein Wasserstrom, der unter gleichmäßigem Druck durch ein Rohr fließt, hat stets die gleiche Stärke. Diese nimmt ab, wenn man das Rohr verengt, d. h. den vom Wasser zu überwindenden Widerstand vergrößert. Man erkennt also, daß die Stärke des Stromes außer von dem Druck, mit dem er durch das Rohr getrieben wird, abhängt von dem sich ihm entgegenstellenden Widerstand. Die gleichen Beziehungen bestehen in einem elektrischen Stromkreise. Auch hier ist für die Stromstärke außer der Spannung der Widerstand des Stromkreises maßgebend. Folgender Versuch bestätigt dies (Fig. 310):

Ein dünner Eisendraht 1 ist durch ein kleines Gefäß mit reinem Wasser geführt und unter Zwischenschaltung eines Stromzeigers mit den Polen eines Elementes verbunden. Zur Messung der Temperaturerhöhung ist ein Thermometer 2 in das Wasser eingebracht. Schließt man den Schalter 3, so zeigt der Stromzeiger einen konstant bleibenden Wert von beispielsweise 4 Ampere an. Nach 5 Minuten ist die Wassertemperatur um 10° gestiegen. Jetzt unterbrechen wir den Strom, lassen das Wasser sich wieder bis auf die Anfangstemperatur abkühlen und verbinden inzwischen den Eisendraht mit einem zweiten Draht gleicher Länge und Stärke, und zwar so, daß bei geschlossenem Stromkreis der Strom nacheinander beide Drahtenden durchfließen muß (Fig. 311). Damit erhöhen wir den Widerstand des Drahtes auf das Doppelte. Legen wir jetzt die Drähte wie früher in das Wassergefäß und schließen Schalter 3, so zeigt der Stromzeiger nur die Hälfte des früheren Stromes, 2 Ampere, an. Auch die Zunahme der Wassertemperatur beträgt nach 5 Minuten nur etwa die Hälfte der früheren, ungefähr 5°. Dieser Versuch beweist, daß durch Verdoppelung des Widerstandes die Stromstärke auf die Hälfte sinkt. Hätten wir den

Widerstand verdreifacht, so wäre die Stromstärke auf ein Drittel gesunken. Die Spannung ist dabei als konstant vorausgesetzt, so daß man aus gegebener Spannung und bekanntem Widerstand den Strom bestimmen kann. Es ist somit die Stromstärke in Ampere gleich dem Quotienten aus Spannung in Volt und Widerstand in Widerstandseinheiten, also $J = \frac{E}{W}$. Die praktischen Einheiten des Stromes und der Spannung sind bereits festgelegt. Nunmehr läßt sich auch die Einheit des Widerstandes bestimmen:

„Fließt bei der praktischen Einheit der Spannung durch einen Leiter die praktische Einheit der Stromstärke, dann stellt der Leiter den praktischen Einheitswert des Widerstandes dar."

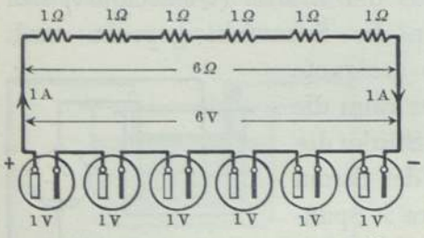


Fig. 312. Hintereinander- oder Reihenschaltung. (Ω = Ohm; V = Volt; A = Ampere.)

Nach dem Physiker Ohm bezeichnet man diesen Einheitswert mit 1 Ohm (Ω). Durch die Formel $J_{Amp.} = \frac{E\ Volt}{W\ Ohm}$ ist auch das von Ohm aufgestellte sogenannte *Ohmsche Gesetz* ausgedrückt. Sind zwei der hierin enthaltenen Größen bekannt, so läßt sich die dritte leicht durch Rechnung finden, denn $J_{Amp.} = \frac{E\ Volt}{W\ Ohm}$; $E_{Volt} = J_{Amp.} \times W_{Ohm}$; $W_{Ohm} = \frac{E\ Volt}{J\ Amp.}$. Dieses Ohmsche Gesetz bildet das Fundament der gesamten Elektrotechnik. Der Normalwiderstand 1 Ohm wird dargestellt durch den Widerstand eines Quecksilberfadens von 106,3 cm Länge und 1 qmm Querschnitt bei einer Temperatur von 0°. Fließt durch solchen Quecksilberfaden ein Strom von 1 Ampere, so ist die Spannung, an den beiden Enden des Fadens gemessen, 1 Volt.

Die Größe einer Leistung ist, wie besprochen, gegeben durch die Beziehung $\mathfrak{E} = E \times J$. Ist die Spannung unbekannt, jedoch Widerstand und Stromstärke bekannt, so läßt sich aus dem Ohmschen Gesetz die Spannung bestimmen. Sie ist: $E = J \times W$. Setzt man diesen Wert für E in obige Gleichung ein, so ergibt sich: $\mathfrak{E} = J \times W \times J$, also $\mathfrak{E} = J^2 \times W$. Diese Formel besagt, daß der elektrische Effekt ($\mathfrak{E}$), also auch die in der Zeiteinheit in einem Leiter entwickelte Wärmemenge *(Joulesche Wärme)*, dem Produkte aus dem Widerstand des Leiters und dem Quadrat der Stromstärke (Stromstärke mal Stromstärke) entspricht. Dieses Gesetz wurde zuerst von dem Engländer Joule aufgestellt und heißt nach ihm das *Joulesche Gesetz*.

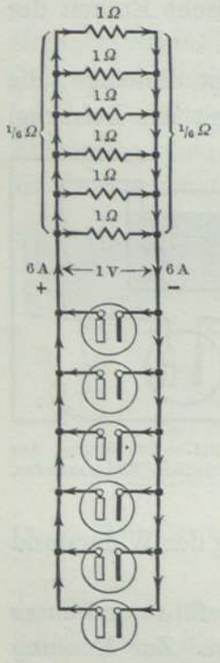


Fig. 313. Nebeneinander- oder Parallelschaltung. (Ω = Ohm; V = Volt; A = Ampere.)

In dem letzten Versuch (Fig. 311) waren die beiden dünnen Eisendrähte so verbunden, daß der Strom in voller Stärke beide Drähte nacheinander durchfließt. Die Drähte waren also „hintereinander" geschaltet. Durch *Hintereinander-* oder *Reihenschaltung* mehrerer Widerstände wird der Gesamtwiderstand gleich der Summe der einzelnen Widerstände (Fig. 312). Ebenso wie man Stromverbraucher hintereinander schalten kann, lassen sich auch Stromquellen hintereinander verbinden. Dann wird, wenn man von dem „inneren Widerstand" absieht, die Gesamtspannung gleich der Summe der Einzelspannungen. Schalten wir also z. B. 6 Elemente von je 1 Volt Klemmenspannung hintereinander, so beträgt die Gesamtspannung $6 \times 1 = 6$ Volt. Bedingung hierfür ist jedoch, daß alle ungleichnamigen Pole der Elemente miteinander verbunden sind, mit andern Worten, daß die Stromrichtung in den Elementen überall die gleiche ist.

Die maximale Stromabgabe einer Stromquelle ist bestimmt durch den Querschnitt der Strombahn im Stromerzeuger. Da man nun bei der Reihenschaltung den Querschnitt der Strombahn nicht verändert — der Strom durchfließt ja alle Elemente der Reihe nach —, darf man der Batterie auch keinen stärkeren Strom entnehmen als einem einzelnen Element; wohl aber kann der Strom jetzt vermöge der erhöhten Spannung einen viel größeren Widerstand überwinden.

Will man bei geringer Spannung eine hohe Stromstärke erzeugen, so verbindet man die Stromquellen nach Fig. 313 so, daß der Querschnitt der Strombahn künstlich vergrößert wird,

d. h. man schaltet die Elemente parallel oder nebeneinander. Es sind nun alle gleichnamigen Pole miteinander verbunden. Bei der *Nebeneinander-* oder *Parallelschaltung* ist die Gesamtspannung gleich der Spannung des einzelnen Elementes, während der aus der „Batterie" zu entnehmende Höchststrom gleich der Summe der Einzelströme wird. Auch Widerstände lassen sich parallel schalten. Sind sie gleichgroß, so ist der Gesamtwiderstand gleich dem Wert eines Widerstandes, dividiert durch die Anzahl der Widerstände. In Fig. 313 beträgt der Gesamtwiderstand demnach $\frac{1}{6}$ Ohm und die Gesamtstromstärke $1 : \frac{1}{6} = 6$ Ampere. Sind zwei parallel geschaltete Widerstände nicht gleichgroß (Fig. 314), so ist der Gesamtwiderstand gleich dem Produkt derselben, dividiert durch die Summe, also: $W_{Gesamt} = \frac{W_1 \times W_2}{W_1 + W_2}$. Beträgt W_1 3 und W_2 7 Ohm, so ist der Gesamtwiderstand $\frac{3 \cdot 7}{10} = 2{,}1$ Ohm.

Den Widerstand eines Leiters kann man, wie bereits erörtert, bestimmen, indem man beim Durchfließen eines bestimmten Stromes die an den Enden des Leiters auftretende Spannung mißt und aus $W_{Ohm} = \frac{E \text{ Volt}}{J \text{ Amp.}}$ den Widerstand berechnet. Auch kann man einen unbekannten Widerstand dadurch messen, daß man ihn mit einem bekannten mittels besonderer Meßeinrichtung vergleicht. So, wie der einem Wasserstrom sich entgegenstellende Widerstand größer wird mit der Länge der Leitung und kleiner bei Vergrößerung des inneren Durchmessers, nimmt auch der elektrische Widerstand zu mit der Länge des Leiters und ab bei Zunahme des Querschnittes. Dabei ist die Form des Querschnittes gleichgültig. Natürlich ist auch das Material des Leiters für die Größe seines Widerstandes bedeutsam. Ein Kupferdraht von 1 m Länge und 1 qmm Stärke hat einen kleineren Widerstand als ein gleichstarker Eisendraht. Diejenige Zahl, die angibt, wie groß der Widerstand (in Ohm) eines beliebigen Leiters von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt ist, nennt man den *spezifischen Widerstand* c des Leiters. Der auf eine mittlere Temperatur, z. B. 20° C, bezogene spezifische Widerstand c beträgt für

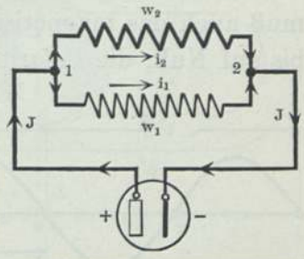


Fig. 314. Schaltung von Widerständen.

Kohle	100—1000	Aluminium	0,03 —0,05
Manganin	0,42	Kupfer	0,017—0,018
Eisen	0,10—0,12	Silber	0,016—0,018

Diese Werte lassen erkennen, daß Silber zwar am besten leitet, Kupfer ihm jedoch nur wenig nachsteht. Anderseits ist der hohe Widerstand von Kohle augenfällig, ein Umstand, der in den Dynamomaschinen einen nicht unerheblichen Ausfall an Energie bedingt.

Das bisher über den Widerstand eines Leiters Gesagte läßt sich dahin zusammenfassen, daß die Größe des Widerstandes W (in Ω) eines Leiters von der Länge l (in m) und dem Querschnitt q (in qmm) beträgt: $W = c \times \frac{l}{q}$. Hierin ist der spezifische Leitungswiderstand c abhängig von dem Stoff und der Temperatur des Leiters.

In einem unverzweigten Stromkreise ist die Stromstärke überall die gleiche, wovon man sich überzeugen kann, wenn man analog die durch eine Rohrleitung fließende Wassermenge an verschieden starken Stellen der Rohrleitung mißt; es wird überall die gleiche Wassermenge pro Sekunde hindurchgehen. Ebenso ist auch in einem unverzweigten elektrischen Stromkreise die Stromstärke überall gleich. Verzweigt sich der Stromkreis, so teilt sich der Strom am Verzweigungspunkt in zwei gleiche Teile, wenn der Widerstand der beiden Zweige gleichgroß ist; in ungleiche Teile, wenn der Widerstand der beiden Zweige zwischen den Verbindungspunkten 1 und 2 (Fig. 314) ungleich ist. Hierbei wird der stärkere Strom durch den kleineren Widerstand, der schwächere Strom durch den stärkeren Widerstand fließen. Das Produkt aus den beiden Größen J und W ist aber in beiden Zweigen stets gleich. Daraus folgt, daß auch die Spannung, gemessen an den Punkten 1 und 2, oder der *Spannungsabfall* von 1 nach 2, in beiden Zweigen gleichgroß ist. Bezeichnet man die Widerstände der beiden Zweige mit w_1 und w_2, die Spannungsabfälle mit e_1 und e_2, die Ströme mit i_1 und i_2, dann ist $e_1 = i_1 . w_1 = e_2 = i_2 . w_2$. Der Gesamtstrom ist gleich der Summe der Einzelströme, also $J = i_1 + i_2$ und bei mehreren Abzweigungen $J = i_1 + i_2 + i_3 + i_4$ usw.

Bisher wurden nur die Verhältnisse und Beziehungen für solche Stromkreise besprochen, in denen ein stets gleichgerichteter Strom, ein *Gleichstrom*, fließt. Es sei daran erinnert, daß in einer stromdurchflossenen Spule beim Schließen und Öffnen des Stromes eine elektromotorische Gegenkraft, die Selbstinduktion, auftritt. Auch ist schon bekannt, daß im allgemeinen eine Induktionswirkung zunimmt mit der Anzahl der erzeugten Kraftlinien und der Schnelligkeit, mit der die Kraftlinien in der Spule entstehen und verschwinden. Anstatt den Stromkreis zu schließen und wieder zu unterbrechen, soll nun ein Strom durch die Spule geschickt werden, der seine Stärke und Richtung stets ändert, ein *Wechselstrom*. Der Verlauf eines Wechselstromes ist so zu verstehen, daß bei Beginn der Strom auf einen bestimmten positiven Wert ansteigt, bis auf Null fällt, dann seine Richtung wechselt, bis zum negativen Maximalwert ansteigt, wieder fällt, Null wird, positiv ansteigt usw. Die Strecke I von 1 bis 3 in Fig. 315, also von dem Nullpunkt, an dem der Strom positiv ansteigt, bis zu dem Punkt, an dem der Strom wieder positiv ansteigt, nennt man eine *Periode* (ebenso die Strecke von 3 bis 5). Die Strecken II von 1 bis 2, von 2 bis 3, von 3 bis 4 und von 4 bis 5 nennt man je einen Wechsel. Erfolgen während einer Sekunde 50 solcher Perioden, so sagt man, der Strom hat 50 Perioden. In gleicher Weise, wie der Strom sich ändert, muß auch das magnetische Feld sich ändern, also positiv ansteigen bis zum Maximalwert, fallen bis auf Null, die Polarität ändern, wieder stärker werden usw. Es handelt sich hierbei also um eine stetige Änderung des Kraftlinienfeldes, wodurch auch eine dauernde Selbstinduktion auftritt. Diese stellt eine elektromotorische Gegenkraft dar, die von der hineingeschickten Spannung überwunden werden muß. Will man also durch eine Spule einen Wechselstrom schicken, so muß man eine höhere Spannung aufwenden, als wenn ein gleichstarker Gleichstrom die Spule durchfließen soll, und zwar muß die Wechselstromspannung eben um die wirksame Spannung der Selbstinduktion größer sein als die Gleichstromspannung. Es scheint also das Ohmsche Gesetz, das doch sagt: Strom $= \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}}$, hier nicht mehr zuzutreffen. Dies ist auch der Fall: Durch die Wirkung der Selbstinduktion wird der Widerstand der Spule scheinbar vergrößert. Will man daher das Ohmsche Gesetz bei Wechselstrom anwenden, so muß man als Widerstand den insgesamt wirksamen sogenannten *scheinbaren Widerstand* einsetzen. Da dieser zum Teil durch die Selbstinduktion hervorgerufen wird, nimmt er wie diese zu mit Erhöhung der Stromstärke und der Periodenzahl. Das Ohmsche Gesetz für Wechselstrom lautet somit: $J_{\text{Amp.}} = \frac{\text{E Volt}}{\text{W (scheinbar) Ohm}}$.

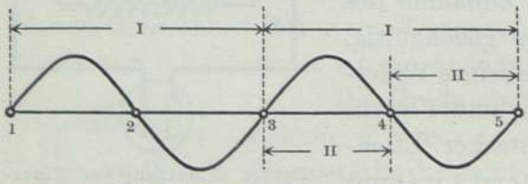


Fig. 315. Wechselstromkurve.

Fließt ein Wechselstrom durch eine Zersetzungszelle, so tritt auch hier eine Zersetzung des Wassers ein, doch wird an den Elektroden kein reines Gas, sondern ein Gemisch von Sauerstoff und Wasserstoff (Knallgas) erzeugt. Es ist also durch den fortwährenden Wechsel der Stromrichtung auch ein fortwährender Wechsel in der Art des erzeugten Gases bedingt. Gleichzeitig nimmt man bei diesem elektrolytischen Vorgang wahr, daß sich mit einer bestimmten Wechselstromspannung nicht dieselbe Stromstärke erzeugen läßt wie mit einer gleichgroßen Gleichstromspannung. Es stimmt das allgemeine Ohmsche Gesetz also auch in diesem Falle nicht.

Was hier in die Erscheinung tritt, ist die Wirkung der Polarisation, die, wie die Selbstinduktion, auch eine elektromotorische Gegenkraft erzeugt oder, anders ausgedrückt, den wirksamen Gesamtwiderstand vergrößert. Auch hier ist ein scheinbarer Widerstand in Rechnung zu setzen, so daß sich wieder ergibt: $J = \frac{E}{W\ (\text{scheinbar})}$.

Im Gegensatz zu den oben besprochenen Wirkungen erzeugt ein Wechselstrom in einem Leiter genau die gleiche Wärmemenge wie ein Gleichstrom derselben Spannung und Stärke.

C. Anwendungen der Elektrizität.

I. Maschinen.

1. Generatoren.

a) **Gleichstromgeneratoren.** Bedingung für die Entstehung eines elektrischen Stromes ist das Vorhandensein einer Elektrizitätsquelle. Handelt es sich um die Erzeugung schwacher Ströme, so benutzt man Elemente. Für starke und hochgespannte Ströme, wie sie die Starkstromtechnik benötigt, ist diese Art der Stromerzeugung nicht geeignet. Hier finden Maschinen Verwendung, worin die (beispielsweise durch eine Dampfmaschine) zugeführte mechanische Energie in elektrische umgesetzt wird.

Die Wirkung dieser *Dynamomaschinen* oder *Generatoren* beruht auf dem im vorigen Abschnitt behandelten Prinzip der Magnetinduktion: Mehrere auf einer Eisentrommel, dem sogenannten *Anker*, zu Spulen vereinigte Leiter werden so durch ein Magnetfeld bewegt, daß sie die magnetischen Kraftlinien schneiden. Je nach der Bewegungsrichtung der Leiter und der Richtung der magnetischen Kraftlinien kann der induzierte Strom im einen oder im entgegengesetzten Sinne verlaufen. Man unterscheidet *magnetelektrische* und *dynamoelektrische* Maschinen. Bei ersteren wird das Magnetfeld durch einen permanenten Stahlmagnet, bei letzteren durch einen Elektromagnet gebildet.

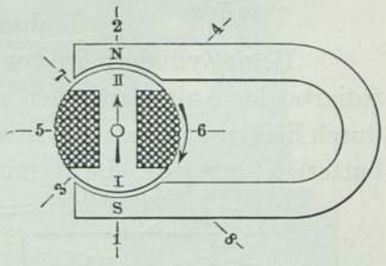


Fig. 316. Zylinderinduktor.

Fig. 316 veranschaulicht schematisch den 1857 von W. v. Siemens erfundenen *Zylinderinduktor*, der sich als erste brauchbare Maschine erwies. Sein aus einem Eisenzylinder bestehender Anker besitzt zwei Nuten zur Aufnahme der parallel zur Zylinderachse gewickelten Drähte und wird zwischen den Polen eines permanenten Magnets gedreht. Dabei durchschneidet die Ankerwickelung das zwischen Nord- und Südpol befindliche Kraftlinienfeld. Infolgedessen wird in den Windungen eine elektromotorische Kraft induziert, deren Größe sich mit der jeweiligen Lage der Spule ändert: Befindet sich der Anker in der aus Fig. 316 ersichtlichen Stellung, so ist die Zahl der von der Wickelung geschnittenen Kraftlinien und damit die elektromotorische Kraft gleich Null. Sie nimmt zu, wenn der in das Ankereisen eingezeichnete Pfeil die Richtung 3—4 kennzeichnet, und erreicht ihren Höchstwert in 5—6, da hier die von der Spule geschnittene Kraftlinienzahl am größten ist. In 7—8 nimmt die Induktionswirkung wieder ab, um in 2—1, wo die Ankerdrähte sich parallel zu den Kraftlinien bewegen (diese also nicht schneiden), wieder gleich Null zu werden. Bei weiterer Drehung nimmt die elektromotorische Kraft wieder zu, jedoch in entgegengesetzter (negativer) Richtung; in Stellung 6—5 erreicht sie ihr negatives Maximum, in 1—2 wird sie wieder Null, wie zu Beginn der Drehung. Man beobachtet demnach, daß die vom Nordpol ausgehenden Kraftlinien einmal bei II und einmal bei I in den Anker treten, die Richtung der Kraftlinien im Anker sich also nach jeder halben Umdrehung ändert. Daher muß auch der erzeugte Strom nach jeder halben Ankerdrehung seine Richtung wechseln. Würde man die Enden der Spule zu zwei isoliert auf der Achse befestigten Metallringen führen, so könnte man der Maschine mittels zweier auf den Ringen schleifender Metallfedern oder *Bürsten* Wechselstrom entnehmen. Zur Umwandlung desselben in Gleichstrom bedient man sich eines besonderen Hilfsapparates, des *Kommutators* oder *Kollektors*. Dieser besteht (Fig. 317) aus einem Metallring, der in zwei voneinander isolierte Hälften 1 geteilt ist. An jeden Halbring ist ein Ende der Wickelung 2 geführt. (In die das Prinzip des Kollektors veranschaulichende Fig. 317 ist statt der aus mehreren Windungen bestehenden Ankerspule der Einfachheit halber nur eine einzige Windung eingezeichnet.) Auf dem Kommutator schleifen an

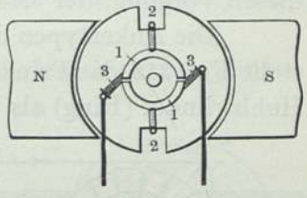


Fig. 317. Prinzip des Kommutators.

zwei sich diametral gegenüberliegenden Stellen zwei isoliert angebrachte Metallfedern oder Kohlenkörper, die Bürsten 3, die immer dann, wenn der Strom seine Richtung ändert, auf die andere Ringhälfte übertreten. Die Bürsten behalten also stets die gleiche Polarität.

Die elektromotorische Kraft war am größten, wenn sich die Leiter (Spulenseiten) vor der Polmitte befanden, und nahm ab bis auf Null, wenn die Leiter mitten zwischen den Polen standen. Der Zylinderinduktor kann also nur „pulsierenden Gleichstrom" erzeugen. Zwecks Erzielung einer gleichmäßigen Spannung versieht man den Anker in gleichen Abständen mit mehreren Spulen und benutzt statt des zweiteiligen Ringes einen Kranz mit so vielen voneinander isolierten Ringsegmenten, wie Spulen vorhanden sind. Die in den einzelnen Spulen erzeugten Stromimpulse setzen sich jetzt zu einem fast gleichmäßigen Strome zusammen. In Fig. 318 ist ein *Achtnuten-Anker* schematisch dargestellt. Dabei ist der Einfachheit halber wieder angenommen, daß jede Spule aus nur einer Windung besteht, also auch in jeder Nute nur ein Leiter liegt.

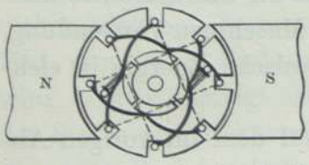


Fig. 318. Trommelanker (Achtnuten-Anker).

Beim Zylinderinduktor und den der gleichen Epoche angehörenden elektrischen Maschinen rotierte der Anker zwischen den Polen permanenter Stahlmagnete. Später ersetzte man diese durch Elektromagnete, die man mit Strom aus magnetelektrischen Maschinen oder Akkumulatorenbatterien „erregte". Es lag nun nahe zu versuchen, den Strom, den eine solche mit einem Elektromagnet versehene Maschine erzeugt, auch zu ihrer Erregung zu benutzen. Diese Aufgabe löste 1867 W. v. Siemens durch Entdeckung des sogenannten *Dynamoprinzips:* Bei der Ankerdrehung erzeugt der remanente Magnetismus in den Ankerdrähten einen schwachen Strom, der nun die Wickelung des Magnetgestelles, des sogenannten *Feldmagnets*, durchfließt und sein Magnetfeld verstärkt. Dadurch wird wieder in der Ankerwickelung ein stärkerer Strom erzeugt. Dies geht fort, bis das Magneteisen mit Kraftlinien gesättigt ist, d. h. bis zur vollen Spannung der Maschine. Man nennt diesen Vorgang, der sich innerhalb weniger Sekunden abspielt, *Selbsterregung* des Generators.

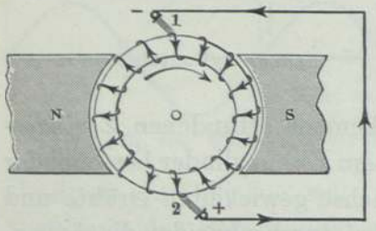


Fig. 319. Prinzip des Ringankers.

Die Ankertypen der Fig. 317 und 318 gehören den sogenannten *Trommelankern* an; dagegen stellt Fig. 319 das Prinzip eines *Ringankers* dar. Statt des Vollzylinders (Trommel) dient hier ein Hohlzylinder (Ring) als Wickelungsträger. Die den Ring in spiralförmigen Windungen umgebende Wickelung dreht sich zwischen den Polen N und S. Dabei werden die vom Nord- zum Südpol verlaufenden Kraftlinien von den äußeren Leitern der Wickelung geschnitten. Es treten also in den Leitern Ströme auf, die jedoch unter dem Nordpol in entgegengesetzter Richtung verlaufen wie unter dem Südpol. Nur an den Punkten 1 und 2 sind die Spulen stromlos, so daß die in beiden Ringhälften induzierten Ströme dorthin zusammenfließen. Würde man an diesen Stellen, die dann natürlich blank sein müßten, Metallfedern schleifen lassen, so könnte man von ihnen den in den Spulen gewonnenen Strom abnehmen und durch einen äußeren Stromkreis leiten. Zweckmäßiger wird jedoch (Fig. 320) die Wickelung in verschiedene Spulen unterteilt und jede Spule so an einen isoliert auf der Welle befestigten Kollektor angeschlossen, daß ein Kollektorsegment immer zwei benachbarte Spulen hintereinander verbindet. Der Strom fließt dann wieder aus beiden Wickelungshälften der Bürste 1 zu und gelangt durch den äußeren Stromkreis über Bürste 2 in die Maschine zurück. — Während also beim Trommelanker die beiden Spulenseiten von ungleichnamigen Polen induziert werden, liegt beim Ringanker die ganze Spule unter demselben Pol.

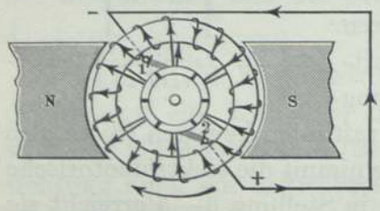


Fig. 320. Ringanker.

Eine Gleichstromdynamo älterer Bauart zeigt Fig. 321. Die Feldmagnete sind mit der Grundplatte aus einem Stück gegossen. Ihr oberer, *Polschuh* genannter Teil umschließt den Anker in einer Breite, daß die auf den Seitenflächen des Ankers liegenden Wickelungsteile bedeckt

werden. Um den Kraftlinienfluß möglichst wenig zu hindern, bleibt zwischen Anker und Polschuhen nur ein schmaler Luftspalt. Energieverlusten, wie sie durch das Austreten („Streuen") magnetischer Kraftlinien bedingt sind, wird dadurch vorgebeugt, daß die Polschuhe unter Vermeidung scharfer Ecken abgeschrägt sind. Der Anker ist mit Ringwickelung versehen und auf eine Welle aufgebracht, die beiderseits in Stehlagern ruht. Die auf dem rechten Lager beweglich angeordnete *Bürstenbrille* besitzt zwei *Bürstenstifte*, auf denen je drei *Bürstenhalter* zur Aufnahme der Kohle- oder Kupferbürsten befestigt sind. Die Kommutatorsegmente oder *Lamellen* bestehen aus Kupfer und sind unter sich und gegen die Ankerwelle durch Zwischenlagen aus Preßspan oder Glimmer isoliert. Die Verbindungsdrähte mit der Ankerwickelung sind mit den Kollektorlamellen verschraubt (heutzutage verlötet). Von den auf dem Kollektor schleifenden Bürsten führen Kupferseile zu einem auf den Polschuhen befestigten *Klemmbrett*, das zugleich zum Anschluß der äußeren Leitungen dient. Der Antrieb der Maschine erfolgt durch einen Riemen, der nach Bedarf durch die in der Figur sichtbare Spannvorrichtung angezogen werden kann. Unter Vorwegnahme eines späteren Abschnittes sei hier bemerkt, daß diese Maschine eine sogenannte *Nebenschlußdynamo* darstellt. Während Siemens den ganzen Ankerstrom oder *Hauptstrom* durch die Magnetwickelung und dann erst in den äußeren Stromkreis fließen ließ (Fig. 325), sind bei der Nebenschlußmaschine Magnetwickelung und äußerer Stromkreis parallel geschaltet, so daß nur ein Teil des Hauptstromes zur Erregung der Magnete dient (Fig. 326): der Erregerstromkreis liegt im „Nebenschluß" zum äußeren Stromkreis.

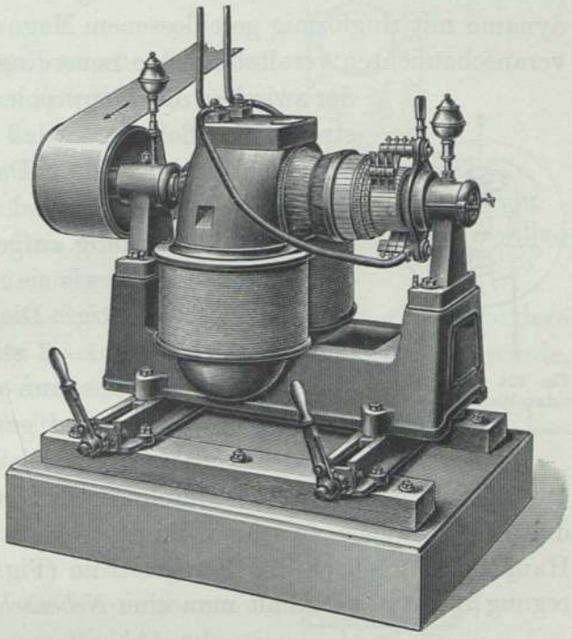


Fig. 321. Gleichstromdynamo älterer Bauart (Siemens & Halske).

Fig. 322 zeigt den Kraftlinienverlauf der vorstehend beschriebenen Maschine bei stromlosem Anker, d. h. den Zustand, wo an den Klemmen der Maschine infolge des Vorhandenseins eines Kraftlinienfeldes zwar Spannung herrscht, jedoch im äußeren Stromkreis noch kein Verbrauch an elektrischer Energie stattfindet. Wir bemerken, daß die Kraftlinien aus dem Nordpol heraustreten, Luftraum und Ankereisen durchsetzen und auf der anderen Seite durch den Luftraum in den Südpol eintreten. In der Stellung 1—2 werden von den (nicht eingezeichneten) Ankerdrähten keine Kraftlinien geschnitten; die in ihnen induzierte elektromotorische Kraft ist also Null. Man bezeichnet die Linie 1—2 daher als neutrale Linie oder *neutrale Zone*. Die Bürsten müssen stets so eingestellt werden, daß sie sich in der neutralen Zone befinden.

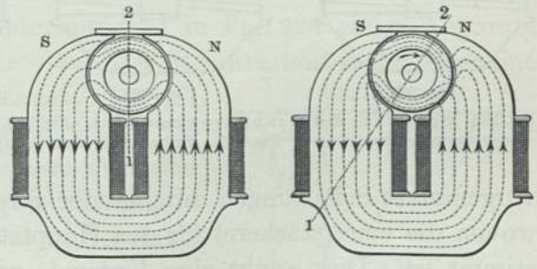


Fig. 322. Fig. 323.

Fig. 322. Kraftlinienbild der Maschine Fig. 321 bei stromlosem Anker. Fig. 323. Kraftlinienbild der Maschine Fig. 321 bei Belastung.

Ist die Maschine *belastet*, d. h. wird der Anker infolge von Energieabgabe im äußeren Stromkreis vom Strom durchflossen, so entsteht auch im Anker ein magnetisches Feld, das den Kraftlinien des Feldmagnets zum Teil entgegenwirkt, zum Teil sie aus ihrer früheren Richtung ablenkt. Diese Erscheinung *(Ankerrückwirkung)* bewirkt, daß sich auch die neutrale Zone um einen gewissen Winkel in der Drehrichtung verschiebt (Fig. 323): Die neutrale Zone wird durch den rotierenden, stromdurchflossenen Anker gewissermaßen herumgezogen. Dabei wird die

Kraftliniendichte in der ablaufenden Ecke des Magnetpoles verstärkt, in der auflaufenden geschwächt. Zur Erzielung eines funkenfreien Ganges der Maschine müssen die Bürsten der verschiedenen Belastung und der dadurch bedingten veränderten Lage der neutralen Zone entsprechend eingestellt werden. Eine derartige Maschine erfordert daher aufmerksame Bedienung.

Um die Ankerrückwirkung und das damit verbundene Feuern der Bürsten zu unterdrücken, versieht man die modernen Dynamomaschinen vielfach mit *Hilfspolen*, den sogenannten *Wendepolen*, deren Lage aus Fig. 324 hervorgeht: Es handelt sich hier um eine zweipolige Nebenschlußdynamo mit ringförmig geschlossenem Magnetgestell, deren Verwendung sich statt der in Fig. 321 veranschaulichten veralteten Type neuerdings mehr und mehr eingebürgert hat. Die Wickelung der zwischen den Hauptpolen eingebauten Wendepole I, I wird vom vollen Ankerstrom durchflossen, so daß die Stärke ihres Magnetfeldes mit der Ankerstromstärke steigt und fällt. Das durch den Anker erzeugte „Querfeld" trifft also stets auf ein entsprechend starkes, entgegengerichtetes „Wendefeld", wodurch die Ankerrückwirkung aufgehoben bzw. kompensiert wird. Damit verschwindet die Feldverzerrung, wie sie in Fig. 323 angedeutet ist, und eine Verschiebung der Bürsten wird unnötig. Diese bleiben vielmehr bis zur höchsten Belastung in der neutralen Zone 1—2 stehen.

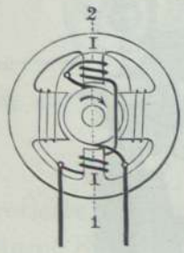


Fig. 324. Prinzip der Wendepole.

Bevor wir uns nun der Konstruktion moderner Dynamomaschinen zuwenden, müssen wir auf gewisse allgemeine Verhältnisse eingehen.

Bei Erfindung des Dynamoprinzips ließ Siemens (vgl. S. 158) den gesamten Ankerstrom erst um die Feldmagnete, dann durch den äußeren Stromkreis fließen. Eine derartige, mit wenigen dicken Windungen versehene Maschine heißt *Hauptstrommaschine;* bei ihr bildet der Anker- oder Hauptstrom zugleich den Erregerstrom (Fig. 325). Wird nur ein Teil des Hauptstromes zur Erregung benutzt, so erhält man eine *Nebenschlußmaschine* (Fig. 326). Wie ersichtlich, spaltet sich der die untere Bürste verlassende Ankerstrom in zwei Teile. Der eine (kleinere) bildet den „Erregerstrom" der aus vielen, dünnen Drähten bestehenden Magnetwickelung; der andere (stärkere) fließt zum Klemmbrett und von dort über den (hier durch einige spiralförmige Windungen gekennzeichneten) äußeren Widerstand zur Maschine zurück. Endlich lassen sich (Fig. 327) auch beide vorgenannte Schaltungen miteinander vereinigen. Die Magnete erhalten dann zwei Wickelungen, wovon die eine (stärkere) für den Hauptstrom, die andere (schwächere) für den Erregerstrom bestimmt ist. Dies ergibt eine *Verbund-* oder *Compoundmaschine.*

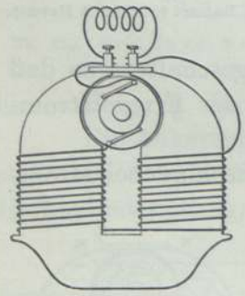


Fig. 325.

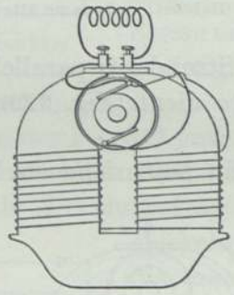


Fig. 326.

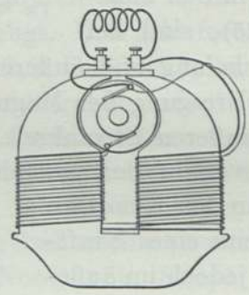


Fig. 327.

Fig. 325. Schaltung der Hauptstrommaschine. Fig. 326. Schaltung der Nebenschlußmaschine. Fig. 327. Schaltung der Compoundmaschine.

Die einzelnen Maschinen zeigen ein sehr verschiedenes Verhalten. Eine Hauptstrommaschine, deren äußerer Stromkreis unterbrochen ist, gibt keine Spannung, denn ihr fehlt mit dem Arbeitsstrom auch der Strom zur Erregung. Eine Nebenschlußmaschine wird auch unbelastet „ansprechen", da der Erregerstromkreis stets durch die Bürsten geschlossen bleibt und damit die Vorbedingung für das Entstehen einer elektromotorischen Kraft gegeben ist. Ist eine Hauptstrommaschine im Betriebe, so nimmt ihre Magnetisierung mit der Belastung zu. Das hat natürlich auch ein Anwachsen der elektromotorischen Kraft zur Folge. Bei der Nebenschlußdynamo hingegen nimmt die Spannung mit zunehmender Beanspruchung ab, denn infolge der größeren Belastung, d. h. zunehmenden Stromstärke, läßt die Spannung im Anker nach; es sinkt also auch die von ihr abhängige Erregerspannung, der Erregerstrom wird schwächer und die Feldmagnete werden schwächer magnetisiert. Resultat: Verminderung der elektromotorischen Kraft und damit

weiteres Sinken der Klemmenspannung. Die Compoundmaschine gibt auch bei stark schwankender Belastung stets die gleiche Spannung, da die beiden Wickelungen sich in ihren Wirkungen gegenseitig unterstützen. Die Hauptstrommaschine wird nur noch selten gebaut, um so mehr die Nebenschlußmaschine. Sie gestattet, wie wir sehen werden, eine weitgehende Regulierung ihrer Spannung und muß nur in den Fällen der Compoundmaschine weichen, wo — wie bei Bahnzentralen — momentane Belastungsschwankungen sofort ausgeglichen werden sollen.

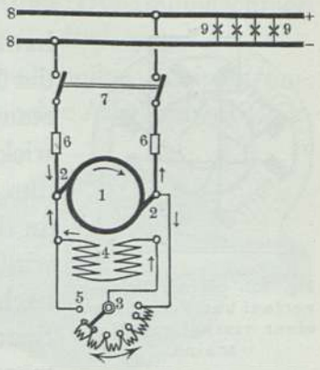


Fig. 328. Schaltungsschema der Nebenschlußmaschine.

In den Dynamomaschinen hängt die elektromotorische Kraft von bestimmten Größen ab, und zwar besonders von der Feldstärke, der Drehzahl (Tourenzahl) und der Anzahl der Ankerwindungen, derart daß die elektromotorische Kraft mit diesen drei Größen zunimmt: je stärker das magnetische Feld, je größer die Drehungsgeschwindigkeit des Ankers, je größer die Anzahl der Windungen auf dem Anker, desto größer die elektromotorische Kraft. Die von den Bürsten abgenommene *Klemmenspannung* der Maschine ist nicht der erzeugten elektromotorischen Kraft gleich, sondern etwas niedriger, da ein Teil davon zur Überwindung des „inneren Widerstandes" verbraucht wurde.

Um die Klemmenspannung einer im Betriebe befindlichen Maschine zu erhöhen, kann man sich ihrer Abhängigkeit von den vorgenannten Größen bedienen. Die Zahl der Ankerwindungen läßt sich zwar nicht verändern, wohl aber Drehzahl und Feldstärke. Zur Regulierung der Spannung durch die Drehzahl greift man nur in ganz bestimmten Fällen, um so häufiger zur Regulierung durch Veränderung der Feldstärke. Hierzu wird in den Erregerstrom ein regulierbarer Widerstand gelegt, der durch Zu- bzw. Abschalten von Widerstandsmaterial eine beliebige Änderung des Erregerstromes und weiter der Feldstärke und Klemmenspannung gestattet. So kann die Spannung einer Nebenschlußmaschine, die sonst ja mit zunehmender Belastung sinken würde, dauernd auf gleicher Höhe gehalten werden, ein Vorzug, der die vielseitige Verwendbarkeit dieser Maschinenart erklärt.

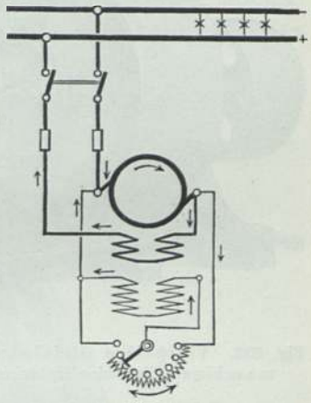


Fig. 329. Schaltungsschema der Compoundmaschine.

Fig. 328 zeigt das Schaltungsschema einer Nebenschlußmaschine. Das Schema entspricht dem in Fig. 326 gebrachten Bilde, nur sind in Fig. 328 einige Apparate eingezeichnet, ohne die ein geregelter Betrieb undenkbar wäre. Der Stromverlauf in der Maschine und im äußeren Stromkreis ist durch Pfeile gekennzeichnet. Der im Anker 1 erzeugte Strom verzweigt sich an der rechten Bürste 2: der größere Teil fließt in den äußeren Stromkreis, der kleinere über den *Nebenschlußregler* 3 durch die Nebenschlußwickelung 4 zur linken Bürste 2. Dort vereinigt er sich mit dem aus dem äußeren Stromkreis zurückkehrenden Hauptstrom, um nun als Ankerstrom den eben beschriebenen Weg erneut zu durchmessen. Befindet sich der Kontakthebel des Nebenschlußreglers in der Stellung am weitesten rechts, so ist er „kurzgeschlossen"; sein Widerstand ist Null. In der gegenüberliegenden Stellung befindet sich der sogenannte *Kurzschlußkontakt* 5; er ist durch eine besondere Leitung mit der Nebenschlußwickelung 4 verbunden und bezweckt, daß der beim Abschalten der Wickelung entstehende Induktionsstrom in sich verlaufen kann, d. h. er schließt die Nebenschlußwickelung kurz. Der Hauptstrom der Maschine ist zu *Sammelschienen* 8 geführt, von denen sich die einzelnen Leitungen zu den Stromverbrauchern (hier Glühlampen 9) abzweigen. Um den äußeren Stromkreis jederzeit von der Maschine abschalten zu können, ist in die zu den Sammelschienen führenden Leitungen ein zweipoliger *Ausschalter* 7 eingebaut. Zwei *Sicherungen* 6

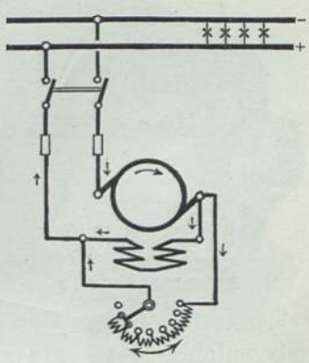


Fig. 330. Schaltungsschema der Hauptstrommaschine.

verhüten ein zu hohes Anwachsen des der Maschine entnommenen Stromes. — Auf die Konstruktion der Nebenschlußregler, Schalter und Sicherungen kommen wir später zurück.

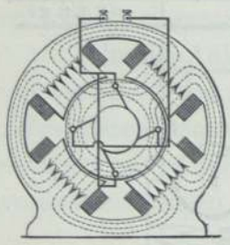


Fig. 331. Kraftlinienverlauf und Schaltung einer vierpoligen Maschine.

In Fig. 329 und 330 sind die gleichen Verhältnisse für eine Compound- bzw. Hauptstrommaschine angedeutet. Bei letzterer erfolgt die Regulierung der Erregung durch einen *parallel* zur Magnetwickelung geschalteten Widerstand. Es fließt dann nur ein Teil des Hauptstromes durch die Schenkelwickelung, der andere Teil geht durch den Widerstand. Schließt man diesen durch Drehung der Schaltkurbel nach rechts kurz, so fließt der ganze Strom an den Schenkeln vorbei durch die Reglerleitung; die Spannung der Maschine wird also sehr klein. Schaltet man den Widerstand durch Drehung der Kurbel nach links aus, so geht der ganze Strom durch die Erregerwickelung; die Spannung erreicht also ihr Maximum. — Die Regulierung der Compoundmaschine unterscheidet sich nicht von derjenigen der Nebenschlußmaschine.

Die einer Dynamomaschine entnommene elektrische Leistung ergibt sich als das Produkt aus Klemmenspannung (Volt) und Stromstärke (Ampere) in Watt bzw. Kilowatt. Sie wird erhalten auf Kosten der beim Antrieb der Dynamo aufgewendeten mechanischen Arbeit. Wird eine Dynamo z. B. von einer zehnpferdigen Dampfmaschine angetrieben, so lassen sich die 10 PS der Dampfmaschine theoretisch in eine elektrische Leistung von 7,36 KW (1 PS = 736 Watt = 0,736 KW) umsetzen. Praktisch wird dieser Wert allerdings nicht erreicht, denn bei der Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie geht stets ein gewisser Prozentsatz verloren. Die Verluste, teils mechanischer (Lager-, Luft- und Bürstenreibung), teils elektrischer Natur (Magnetisierungsverluste, Verluste durch Joulesche Wärme u. a.), bewirken, daß in obigem Beispiel statt 7,36 KW nur etwa 6,1 KW im äußeren Stromkreis verwertet werden können. Das Verhältnis der von der Dynamo abgegebenen elektrischen Leistung zu der für ihren Betrieb aufgewendeten mechanischen Energie heißt *Wirkungsgrad* der Dynamomaschine; er wird in Prozenten der zugeführten mechanischen Leistung ausgedrückt. Im genannten Beispiel würde also der Wirkungsgrad $\frac{6,1}{7,36}$ = ca. 83% betragen. Bei großen, mit voller Belastung arbeitenden Maschinen beträgt er bis zu 95 Proz. Dieser Wert geht jedoch mit abnehmender Belastung wesentlich zurück.

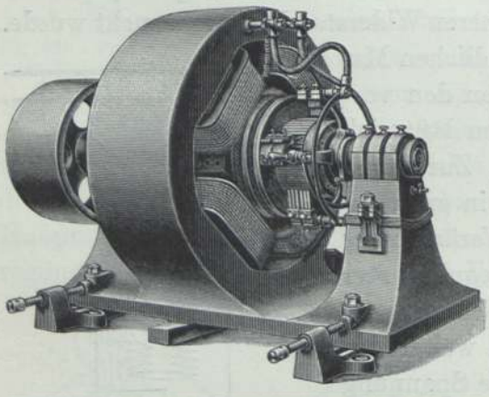


Fig. 332. Vierpolige Gleichstrom-Nebenschlußmaschine (Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft).

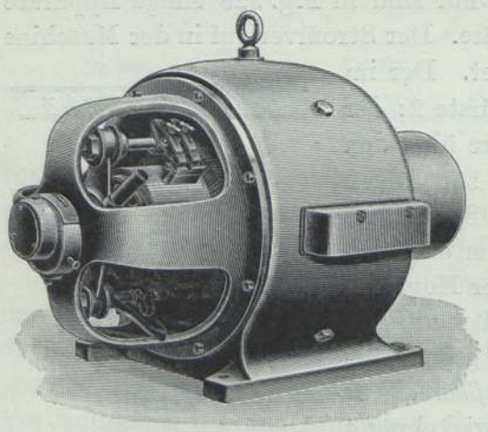


Fig. 333. Gleichstrommaschine für Riemenantrieb in offener Ausführung (Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft).

Die *zweipoligen* Maschinen sind in neuerer Zeit fast ganz von den *mehrpoligen* verdrängt worden. Bei ihnen ist das Gehäuse ringförmig geschlossen; statt zweier Pole sind deren vier, sechs, acht usw. vorhanden. Diese sind so angeordnet, daß in gleichmäßigen Abständen immer ein Nordpol auf einen Südpol folgt. Dabei nehmen die Kraftlinien den in Fig. 331 dargestellten Verlauf. Anker und Kommutator zeigen dieselbe Konstruktion wie bei der zweipoligen Maschine. Die Bürsten stehen auch hier in der neutralen Zone. Da zwei neutrale Zonen vorhanden sind, lassen sich vier Bürsten anbringen, wobei immer die eine negativ und die nächste positiv ist. Die Bürsten gleicher Polarität sind durch Kupferbügel miteinander verbunden, von denen Drähte zum Klemmbrett der Maschine führen. Den mechanischen Aufbau einer vierpoligen Gleichstromnebenschlußdynamo zeigt Fig. 332. Mehrpolige Maschinen haben vor zweipoligen den

Vorteil, daß sie bei gleicher Leistung einer viel geringeren Umdrehungsgeschwindigkeit bedürfen. Sie eignen sich also zur direkten Kuppelung mit Dampfmaschinen, Gaskraftmaschinen und Turbinen.

Nach diesen Ausführungen wird die Beschreibung einiger moderner Dynamomaschinen verschiedener Bauart ohne weiteres verständlich sein.

Fig. 333 veranschaulicht eine mehrpolige Gleichstrommaschine der Allgemeinen Elek-

Fig. 334.

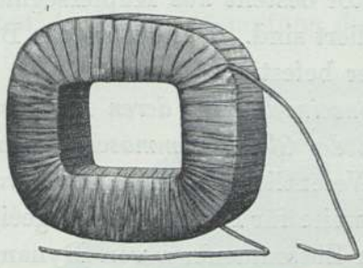


Fig. 335.

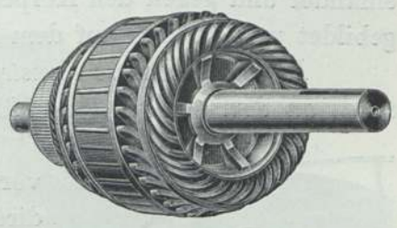


Fig. 336.

Fig. 334. Gleichstrommaschine in geschlossener Ausführung (Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft). Fig. 335. Magnetspule der Maschine Fig. 333. Fig. 336. Anker der Maschine Fig. 333.

trizitäts-Gesellschaft, Berlin, für kleinere und mittlere Leistungen. Das runde gußeiserne Gehäuse oder Joch überragt seitlich die Magnetwickelung und bildet so einen Schutz für diese, ebenso wie die als Armsystem ausgebildeten Lager den Kommutator und die Ankerwickelung gegen

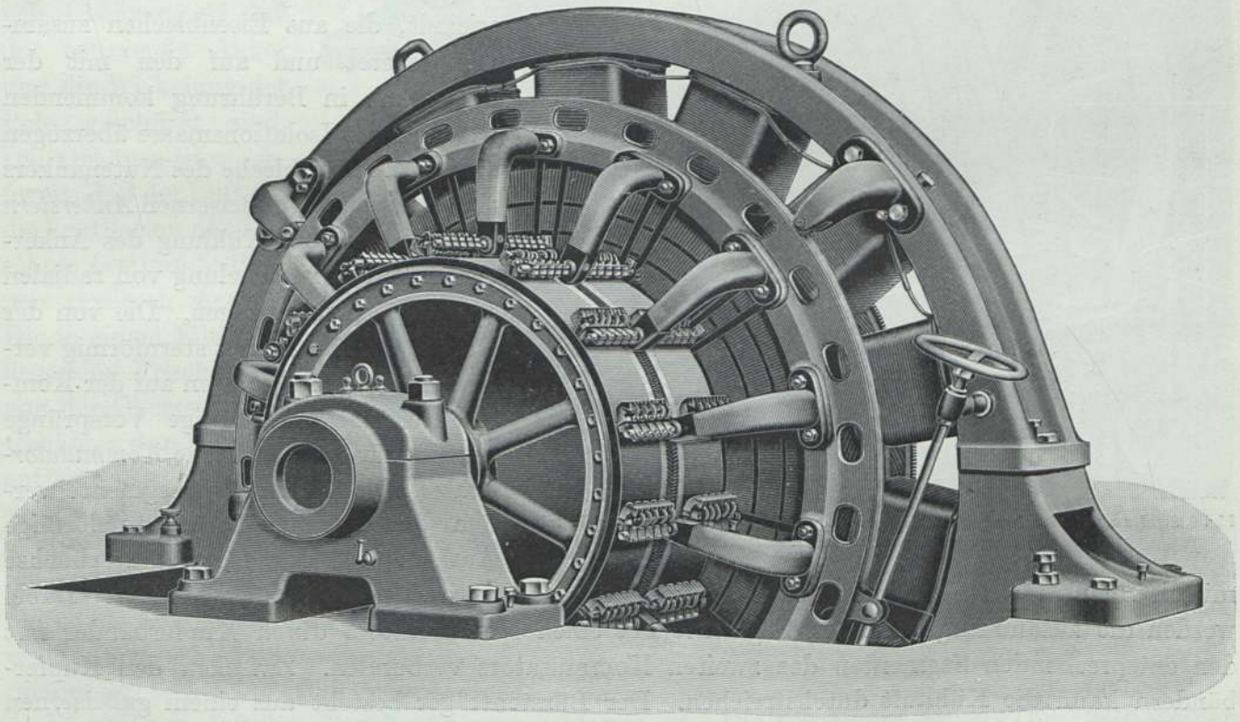


Fig. 337. Langsamlaufender Gleichstromgenerator für Zusammenbau mit der Antriebsmaschine (Siemens-Schuckert-Werke).

Beschädigungen schützen. Die in Fig. 333 sichtbaren Öffnungen können durch besondere Deckel verschlossen werden, wodurch die Maschine vollständig gekapselt wird (Fig. 334); infolge der leichten Handhabung der Deckel bleiben die wichtigsten Teile trotzdem leicht zugänglich. Eine derartige Kapselung ist am Platze, wenn das Innere gegen das Eindringen von Fremdkörpern, Schmutz, Spritzwasser u. dgl. geschützt werden soll. Die Magnetspulen (Fig. 335) sind vollkommen mit Isolationsmaterial bekleidet. Beim Zusammenbau der Maschine werden die einzelnen Spulen auf die aus Schmiedeeisenblechen zusammengesetzten Pole aufgeschoben und hiernach letztere mit dem Gehäuse verschraubt. Der Anker (Fig. 336) ist als *Nutenanker* ausgebildet.

Er besteht aus dünnen Eisenblechen und wird von mehreren parallel zur Welle verlaufenden Luftkanälen durchzogen, die eine kräftige Kühlung von Ankereisen und -wickelung bezwecken. Die Wickelung ist als *Schablonenwickelung* ausgeführt, d. h. die einzelne Spule erhält vor dem Einlegen in die Ankernuten auf Schablonen ihre Form. Dadurch können einzelne Spulen leicht ausgewechselt werden. Die freien Enden der Spule werden mit den entsprechenden Kommutatorsegmenten verlötet. Der Kommutator besteht aus Kupfersegmenten, die durch Glimmer untereinander und gegen den Körper isoliert sind. Der gußeiserne Bürstenträger ist sternförmig ausgebildet und drehbar auf dem Lager befestigt.

Diese und andere Konstruktionseinzelheiten, deren Beschreibung hier zu weit führen würde, treten an dem aufklappbaren Modell der Gleichstrommaschine klar hervor.

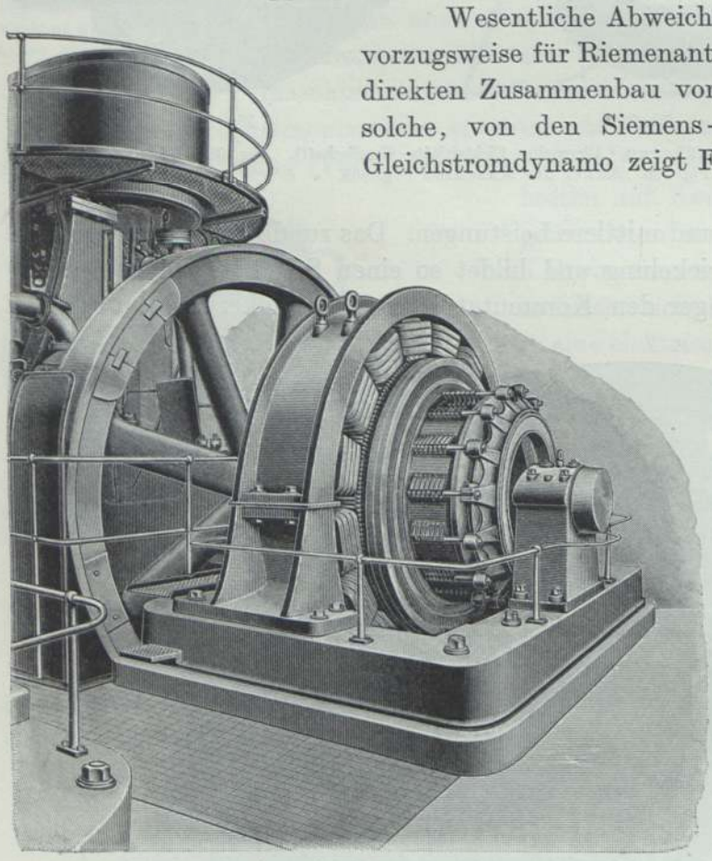


Fig. 338. Langsamlaufender Gleichstromgenerator, direkt gekuppelt mit Dampfmaschine (Bergmann-Elektrizitätswerke).

Wesentliche Abweichungen von der vorstehend beschriebenen, vorzugsweise für Riemenantrieb geeigneten Bauart ergeben sich beim direkten Zusammenbau von Dynamo und Antriebsmaschine. Eine solche, von den Siemens-Schuckert-Werken, Berlin, hergestellte Gleichstromdynamo zeigt Fig. 337. Das Joch aus Stahlguß ist horizontal geteilt. Die gußeisernen Füße ruhen auf besonderen Fundamenten. Die Schenkel sind aus Eisenblechen zusammengenietet. Die Schenkelwickelung ist auf besondere *Drahtkasten* gewickelt, die aus Eisenblechen zusammengenietet und auf den mit der Wickelung in Berührung kommenden Flächen mit Isolationsmasse überzogen sind. Die Ankerbleche des Nutenankers sitzen auf einem gußeisernen *Ankerstern* und sind zwecks Kühlung des Ankereisens und der Wickelung von radialen Luftkanälen durchzogen. Die von der Nabe des Ankersternes sternförmig verlaufenden Arme erhalten auf der Kommutatorseite konsolartige Vorsprünge als Sitz für die gußeiserne *Kommutatorbuchse.* Die Kommutatorsegmente werden durch schwalbenschwanzförmige Ansätze auf der Kommutatorbuchse mittels Spannringes befestigt. Der Kommutator ist als *Doppelkommutator* ausgebildet. Dabei werden die zusammengehörenden Segmente des einen Kommutators durch Kupferbänder mit den entsprechenden Segmenten des zweiten Kommutators verbunden. Zwischen den Kupferbändern kann die Kühlluft durchstreichen. Der Bürstenträger besteht aus einem gußeisernen Ring; die an ihm isoliert befestigten, über beide Kommutatorhälften hinwegragenden Bürstenachsen sind mit Kohlebürsten besetzt. Auf der Rückseite des gußeisernen Ringes liegen die *Sammelleitungen;* sie sind durch Kupferstäbe mit den Bürstenachsen verbunden. Um den Bürstenträger verdrehen und die Bürsten in die beste funkenfreie Stellung bringen zu können, ist eine Schraubenspindel mit Handrad vorgesehen. Diese Maschinen werden für Leistungen bis zu mehreren tausend Kilowatt hergestellt und sind in erster Linie für direkte Kuppelung mit langsamlaufenden Dampfmaschinen bestimmt. Aus Fig. 338 ist die Anordnung eines derartigen Aggregats (Maschinenpaares) ersichtlich. Die in diesem Falle von den Bergmann-Elektrizitätswerken, Berlin, erbaute Dynamo leistet bei 110 minutlichen Umdrehungen 800 KW.

In neuerer Zeit werden die langsamlaufenden Dynamomaschinen größerer Leistung mehr

und mehr durch die raschlaufenden *Turbogeneratoren* verdrängt. Es sind dies mit Dampfturbinen gekuppelte Generatoren, deren konstruktive Durchbildung eine vollständige Umwälzung im Bau elektrischer Maschinen mit sich brachte.

Ein Gleichstrom-Turbogenerator muß folgenden Bedingungen entsprechen: größte Sicherheit gegenüber den durch Zentrifugalkräfte hervorgerufenen Materialbeanspruchungen, geregelte Abführung der durch die unvermeidlichen Energieverluste verursachten Wärme, leichte Bedienung des Kommutators und der Bürsten, tunlichste Dämpfung des Maschinengeräusches. Der nachstehend beschriebene Gleichstrom - Turbogenerator wird von den Siemens - Schuckert-Werken gebaut:

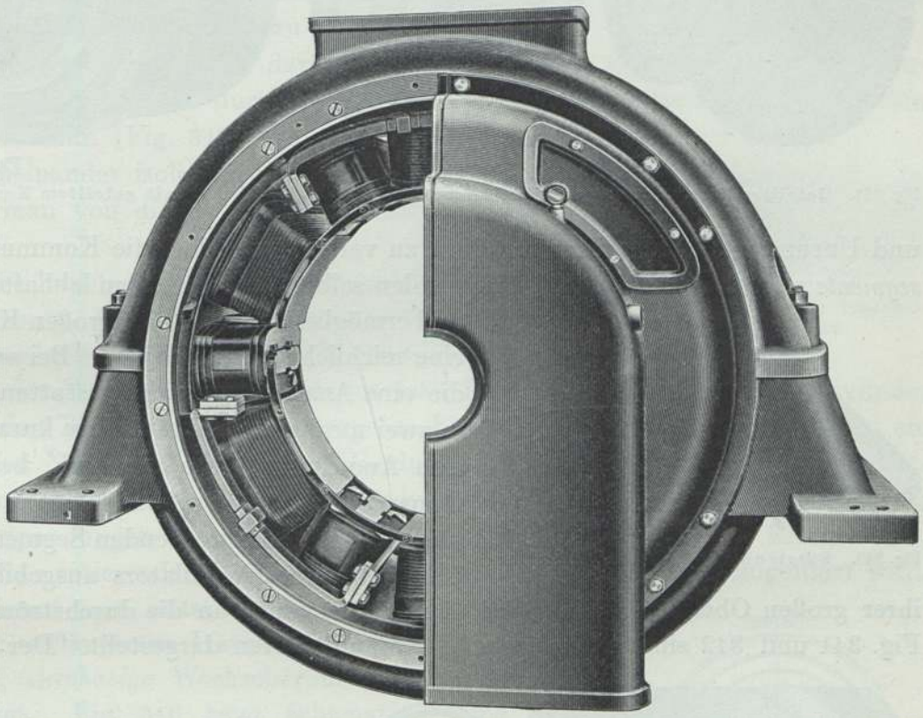


Fig. 339. Magnetgestell und Gehäuse eines Gleichstrom-Turbogenerators mit Wendepolen.

Das feststehende Magnetjoch aus Stahlguß, mit dem die Haupt- und Wendepole verschraubt sind, sitzt (Fig. 339) in einem gußeisernen, durch seitliche Schilde abgeschlossenen Gehäuse, so daß der rotierende Anker und die Wickelung der Pole geschützt sind. Das Gehäuse ist so geformt, daß der Luft für die Ventilation der Maschine bestimmte Bahnen gewiesen werden. Die in einem Filter gereinigte Frischluft strömt durch ein Rohr aus einem in der Regel im Keller liegenden Frischluftkanal zu. Nach Passieren der Maschine kann die erwärmte Luft wahlweise von der Oberseite des Gehäuses frei in das Maschinenhaus strömen, oder von der Unterseite des Gehäuses durch einen Abluftkanal entfernt werden. Die Einkapselung der Maschine bewirkt eine vollkommene Dämpfung des Maschinengeräusches und bietet den Vorteil, daß, abgesehen vom Stromwender und den Bürsten, alle unter Spannung stehenden Teile abgedeckt sind, so daß ihre Berührung ausgeschlossen ist. Die Bleche des Ankers (Fig. 340) werden entweder unmittelbar auf die Welle oder auf eine kräftige Stahlgußnabe gepreßt und in axialer Richtung durch starke Druckplatten gesichert. Die Schablonenwickelung des Ankers ist in Nuten gebettet, die durch seitlich eingetriebene Keile verschlossen werden. Gegen die Zentrifugalkräfte außerhalb des Blechpakets ist die Ankerwickelung durch aufgezogene Bronzekappen geschützt. Das wichtigste Organ der Maschine ist der *Kommutator*, da von ihm die Betriebssicherheit, die Lebensdauer und die überhaupt mögliche Leistung einer Type abhängt. Zur Sicherung gegen die Einflüsse der Fliehkraft dienen stählerne Schrumpfringe, welche die Kommutatorsegmente zusammenspannen. Zwischen den Schrumpfringen und den Segmenten liegt eine Glimmerisolierung. Zur Sicherung der für die Wärmeausdehnung erforderlichen axialen Bewegungsfreiheit ist der

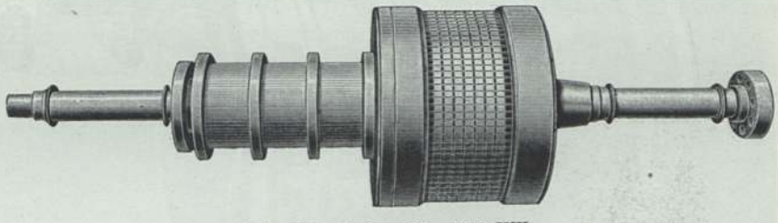


Fig. 340. Anker für 1200 KW.

Kommutator nur da, wo er an den Anker angeschlossen ist, mit der Welle fest verbunden, während er am anderen Ende durch ein federndes Plattenpaar axial gehalten wird. Um ein Krummziehen

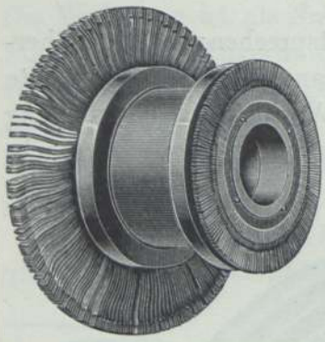


Fig. 341.

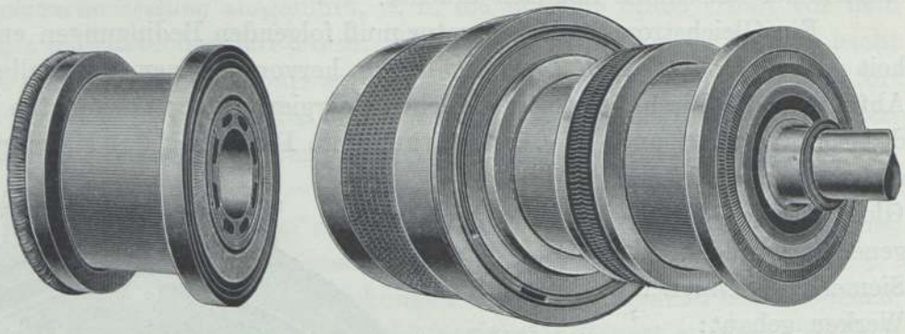


Fig. 342.

Fig. 341. Geteilter Kommutator vor dem Zusammenbau. Fig. 342. Anker mit geteiltem Kommutator und Hohlsegmenten.

und Unrundwerden des Kommutators zu verhindern, sind die Kommutatorsegmente als *Hohlsegmente* ausgebildet (Fig. 342). Sie werden selbsttätig von einem lebhaften Luftstrom durchzogen und ermöglichen infolge der großen Kühlfläche jedes Segments eine reichliche Wärmeabgabe. Bei sehr schmalen Segmenten, die eine Aushöhlung nicht gestatten, wird der Kommutator in zwei mechanisch selbständige kurze Kommutatoren geteilt, eine Anordnung, wie sie auch bei der langsamlaufenden Dynamo Fig. 337 vorhanden war. Die Verbindungsstücke zwischen den entsprechenden Segmenten beider Teile sind als Schaufeln eines Ventilators ausgebildet und können infolge ihrer großen Oberfläche eine reichliche Wärmemenge an die durchströmende Luft abgeben. In Fig. 341 und 342 sind solche geteilte Kommutatoren dargestellt. Der in Fig. 342 veranschaulichte Kommutator ist insofern eine Sonderausführung, als hier zur Erzielung einer ganz besonders guten Wärmeabführung beide Mittel, Hohlsegmente und Teilung des Kommutators, vereinigt wurden. Als Bürsten dienen durchweg Kohlebürsten. Die Bürstenhalter (Fig. 343) gestatten eine äußerst feine Einstellung der Bürsten auch während des Betriebes. Der besonders stabil ausgeführte Bürstenträger ist beiderseits sicher gelagert (Fig. 344). Die Kabelanschlüsse der Bürstenachsen sind zugänglich in dem gußeisernen Tragring angeordnet, dabei aber gegen zufällige Berührung geschützt. Der Bürstenträger ist mittels Schnecke und Rad zentrisch um den Kommutator drehbar (Fig. 344). Die zweiteiligen Lager können sich auf kugelförmigem Sitz nach der

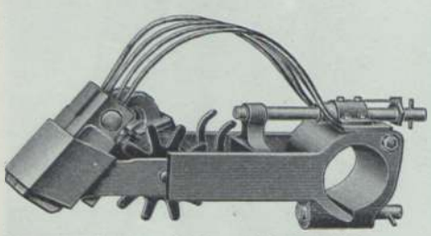


Fig. 343. Bürstenhalter mit Kohlebürsten.

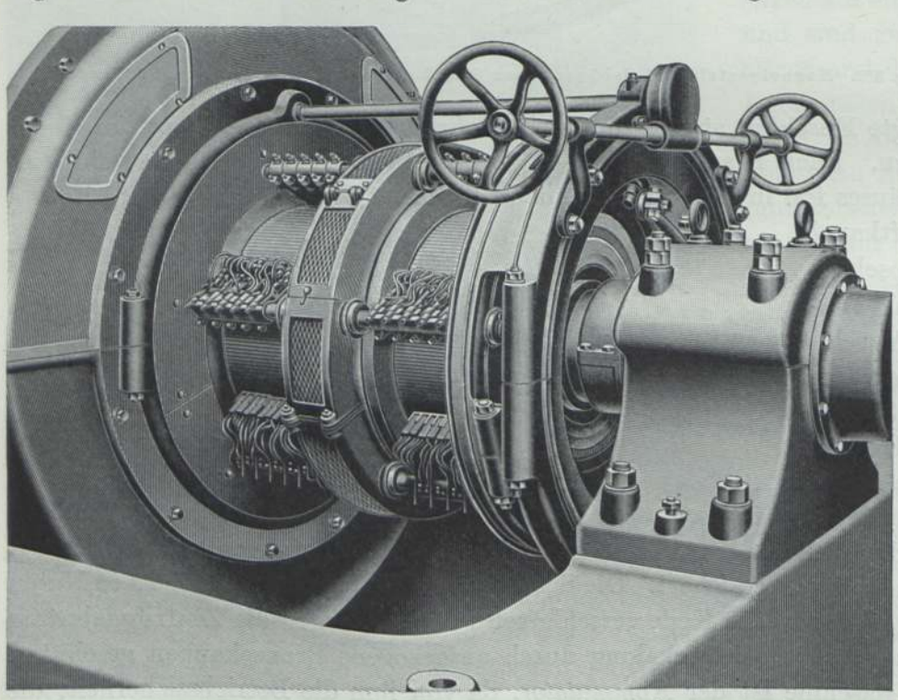


Fig. 344. Geteilter Kommutator mit Kohlebürstenbesetzung.

Wellenlage einstellen. Die Schmierung der Lager geschieht durch Preßöl, das durch eine besondere Rohrleitung von einer durch die Turbine angetriebenen Pumpe zugeführt wird.

Die besprochenen Maschinenmodelle stellen Grundtypen dar, auf die sich fast alle modernen Maschinen zurückführen lassen.

Die üblichen Klemmenspannungen der Gleichstromgeneratoren betragen für Licht- und (damit vereinigte) Kraftanlagen 110, 220 (2×110) und 440 (2×220) Volt, für reine Kraftübertragung (Bahnen) 500 bis 650, auch 750, bisweilen sogar 1000 Volt. Wesentlich höhere Spannungen als 1000 Volt lassen sich mit Gleichstrom nicht erzielen, da dann die Gefahr besteht, daß im Kommutator Kurzschlüsse von Lamelle zu Lamelle stattfinden.

b) Wechselstromgeneratoren. Es sei daran erinnert, daß jede Gleichstrommaschine zunächst Wechselstrom erzeugt, der erst durch den Stromwender (Kommutator) in Gleichstrom verwandelt wird. Führt man (Fig. 345) die Enden der Ankerwickelung zu zwei, voneinander isoliert auf der Welle befestigten Metallringen, so kann man von diesen den Wechselstrom mittels Bürsten abnehmen.

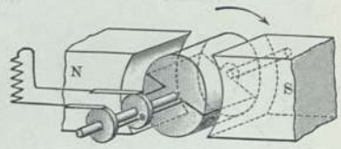


Fig. 345. Prinzip der Wechselstrommaschine.

Auch bei den Wechselstromgeneratoren unterscheidet man Anker- und Magnetwickelung. Während jedoch bei den Gleichstrommaschinen der Anker innerhalb der feststehenden Magnetpole rotiert, ist die Ankerwickelung der Wechselstromgeneratoren fast durchweg in einem als Hohlzylinder ausgebildeten feststehenden Teil, dem *Stator*, untergebracht; in diesem dreht sich der *Rotor*, ein Polrad mit abwechselnden Nord- und Südpolen. Hierdurch kann der Wechselstrom unter Fortfall von Schleifringen und Bürsten von ruhenden Klemmen abgenommen werden, was besonders bei Maschinen für hohe Spannungen wesentlich zur Betriebssicherheit beiträgt. Als Erregerstrom dient Gleichstrom, der den rotierenden Polen mittels Bürsten und Schleifringen zugeführt wird. Den Erregerstrom entnimmt man meist kleineren Gleichstrommaschinen, die häufig auf der verlängerten Hauptwelle angebracht sind.

Der gewöhnliche, *einphasige* Wechselstrom wird in den *Einphasengeneratoren* erzeugt. Fig. 346 zeigt schematisch eine dafür übliche Bauart: Der drehbar gelagerte Rotor und die Statorwickelung sind zweipolig ausgeführt. Letztere ist hier in mehrere offene Nuten eingelegt, die sich am inneren Umfang des Stators befinden und diesen senkrecht zur Papierebene durchdringen. Die oben und unten gleichmäßig verlaufenden Windungen stellen die *Spulenköpfe* der Statorwickelung dar. Der besseren Übersicht halber wurden die die Verbindung der Spulen vermittelnden *Schaltdrähte* fortgelassen. Um den Verlauf der erzeugten elektromotorischen Kraft leichter zu verfolgen, denke man sich den inneren Statorumfang in 360° geteilt und seine Abwickelung in eine Ebene ausgebreitet. Wie bekannt, ist die erzeugte Spannung Null, wenn der Erregerpol sich vor der Spulenmitte (bei I bzw. III) befindet, und ein Maximum, wenn der Pol an den Spulenseiten (bei II bzw. IV) vorbeigeht. Steht der Nordpol bei I, so steigt, bei Drehung des Magnets in Pfeilrichtung, die erzeugte Spannung von Null am Punkte I bis zu einem Maximum bei II, d. h. nach 90° Drehung, und fällt dann wieder auf Null. Der Nordpol ist jetzt bei III angelangt, hat sich also um 180° gedreht. Bei Weiterbewegung des Magnetpoles steigt die Spannung wieder, und zwar in umgekehrter Richtung, da jetzt die anderen Spulenseiten der Wickelung vom Nordpol induziert werden. In IV, d. h. nach 270° Drehung, erreicht die Spannung ihr negatives Maximum, um nach weiteren 90°, bei I, wieder Null zu werden.

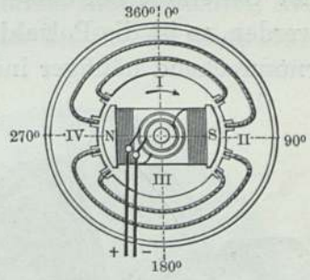


Fig. 346. Einphasengenerator.

Trägt man die Momentanwerte der Spannung — die positiven nach oben, die negativen nach unten — an der Abwickelung auf, so ergibt sich die in Fig. 347 veranschaulichte Kurve, woraus der Verlauf der induzierten elektromotorischen Kraft deutlich hervorgeht.

Selbstverständlich ruft auch der Südpol in der Statorwickelung eine elektromotorische Kraft hervor, deren Richtung allerdings im entgegengesetzten Sinne verläuft wie unter dem

Nordpol. Durch entsprechende Schaltung der Wickelung erreicht man jedoch, daß die elektromotorischen Kräfte aller Drähte sich addieren.

Die Kurve der Fig. 347 entspricht einer *Periode*. Die Maschine hat also während einer Umdrehung eine Periode erzeugt. Da man in der Praxis fast allgemein mit 50 Perioden pro Sekunde rechnet, so müßte die Maschine zu deren Erzeugung mit 50 Umdrehungen in der Sekunde, also mit $50 \cdot 60 = 3000$ Umdrehungen in der Minute, laufen. In Verbindung mit den schnellaufenden

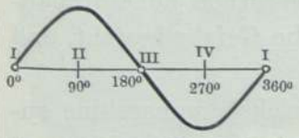


Fig. 347. Verlauf des Wechselstroms.

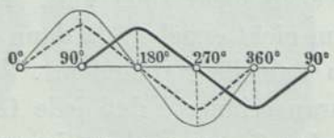


Fig. 348. Prinzip der Phasengleichheit und Phasenverschiebung.

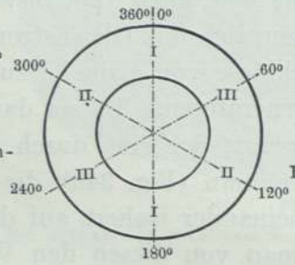


Fig. 349. Wickelungsschema eines Drehstromgenerators.

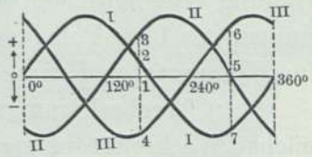


Fig. 350. Verlauf des Drehstroms.

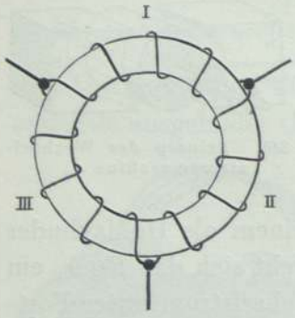


Fig. 351. Dreieckschaltung.

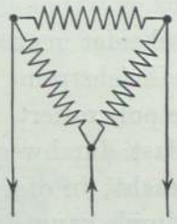


Fig. 352. Dreieckschaltung (schematische Darstellung).

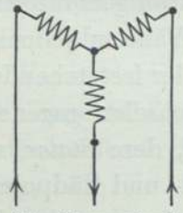


Fig. 354. Sternschaltung (schematische Darstellung).

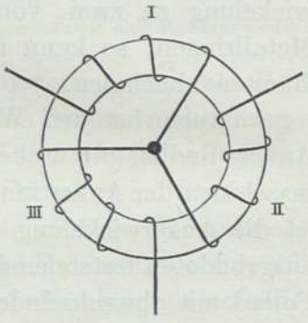


Fig. 353. Sternschaltung.

Dampfturbinen werden solche Maschinen auch tatsächlich als Turbogeneratoren ausgeführt. Soll der Generator bei derselben Periodenzahl von einer langsamer laufenden Maschine angetrieben werden, so ist die Polzahl des Erregermagnets zu erhöhen, wodurch die Wickelung pro Umdrehung entsprechend häufiger induziert wird. Bei 1500 Umdrehungen muß der Magnetkörper demnach vierpolig, bei 750 Umdrehungen achtpolig sein usw.

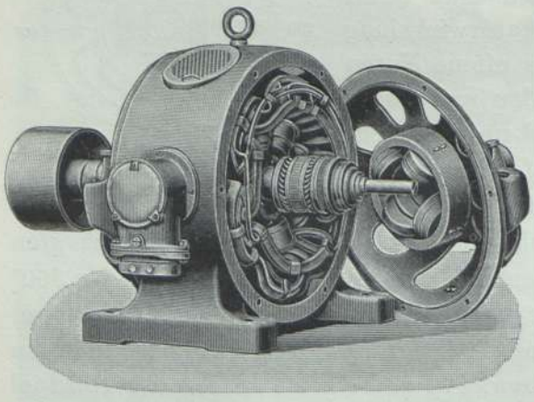


Fig. 355. Drehstromgenerator mit eingebauter Erregermaschine (Lagerschild abgenommen).

Während sich die Leistung eines Gleichstromgenerators als das Produkt aus Spannung und Stromstärke bestimmt, trifft dies beim Wechselstromgenerator nur dann zu, wenn der äußere Stromkreis „induktionsfrei" ist, z. B. bei reiner Glühlampenbeleuchtung. In diesem Falle besitzen Spannung und Strom *Phasengleichheit*, d. h. die einzelnen Phasen ihrer Veränderung vollziehen sich durchaus gleichmäßig. In Fig. 348 bedeutet die dünn ausgezogene Kurve die Spannung, die punktiert gezeichnete die Stromstärke. Beide beginnen bei Null, erreichen zu derselben Zeit ihren höchsten positiven Wert, fallen ab, gehen gleichzeitig durch Null hindurch, erreichen ihr negatives Maximum und werden nach Verlauf von 360° wieder Null. Ganz andere Verhältnisse ergeben sich, wenn im äußeren Stromkreis „induktive" Stromverbraucher liegen, z. B. Motoren. In diesem Falle tritt zwischen Spannung und Stromstärke eine *Phasenverschiebung* auf (Stromstärke = stark ausgezogene Kurve in Fig. 348). Die Spannung erreicht, von Null ansteigend, nach 90° ihr positives Maximum. An diesem Punkte ist die Stromstärke Null; mithin ist das Produkt aus Spannung und Stromstärke ebenfalls Null. Nach 180° ist die Spannung Null, während die Stromstärke ihr positives Maximum innehat; das Produkt ist also wieder Null. Auch nach 270° und 360° ist es Null, da sich beim negativen Verlauf der Spannungs- und Stromkurve dieselben Verhältnisse ergeben. Die gesamte Leistung des Wechselstromes ist demnach gleich Null,

ein Fall, der immer eintritt, wenn die Stromstärke, wie hier, um 90° oder ¼ Periode gegen die sie erzeugende Spannung verschoben ist. Ein Wechselstromgenerator kann also sehr starke Ströme führen und doch mit einer Leistung Null arbeiten. Man spricht in diesem Falle von *wattlosen Strömen*. Man kann also die Leistung eines Wechselstromgenerators nicht durch Messung von Spannung und Stromstärke feststellen, würde vielmehr aus dem Produkt beider Werte nur die „scheinbare Leistung" ermitteln. Um die *wirkliche Leistung* zu erhalten, hat man das Produkt

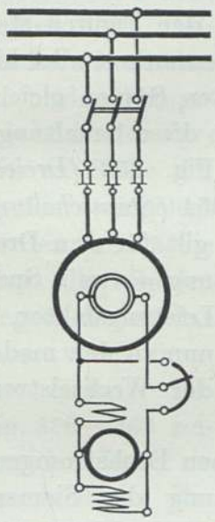


Fig. 356. Schaltschema eines Drehstromgenerators.

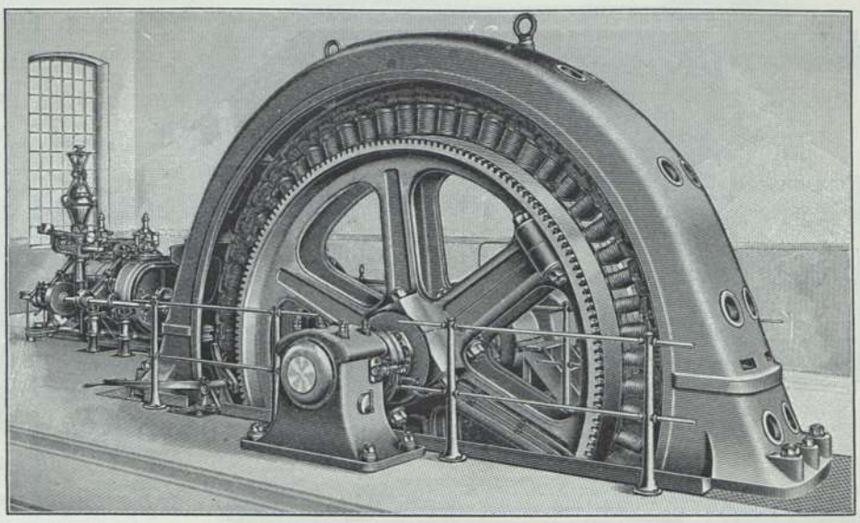


Fig. 357. Langsamlaufender Drehstrom-Schwungradgenerator für direkte Kuppelung mit der Antriebsmaschine.

noch mit dem *Leistungsfaktor* zu multiplizieren, dessen Wert (zwischen 1 und 0) von der Phasenverschiebung abhängig ist. Der Leistungsfaktor ist 1, wenn der Stromkreis induktionsfrei, die Phasenverschiebung also Null ist; er wird Null, wenn die Selbstinduktion des Stromkreises eine Phasenverschiebung von 90° zur Folge hat. Gewöhnlich rechnet man in Wechselstromnetzen mit einem Leistungsfaktor von 0,8—0,9.

Außer dem *einphasigen* Wechselstrom gibt es *mehrphasige* Wechselströme, von denen der *dreiphasige* oder *Drehstrom* besondere Bedeutung erlangt hat:

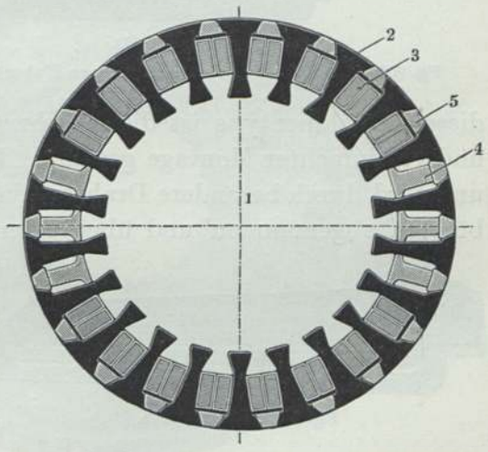


Fig. 358. Zweipoliger Rotor eines Drehstrom-Turbogenerators im Querschnitt.

Der Stator des in Fig. 346 dargestellten Einphasengenerators sei anstatt mit einigen gegenüberliegenden, mit vielen, am inneren Umfang gleichmäßig verteilten Nuten versehen, und in diese seien drei Wickelungen eingebracht, deren Achsen um 120° voneinander entfernt sind. Die Wickelung I (Fig. 349) habe ihre Achse bei 0° und 180°, die Achse der Wickelung II liege bei 120° und 300° und die der Wickelung III bei 240° und 60°. Ein im Stator rotierendes Magnetfeld induziert in diesen drei voneinander unabhängigen Wickelungen drei voneinander unabhängige Spannungen, deren Maximalwerte, ebenso wie die Nullwerte, auch immer nach 120° Drehung auftreten. Trägt man die Momentanwerte der drei Einzelspannungen, wie beim Einphasengenerator, auf, so erhält man Fig. 350; die drei Phasen des Drehstromes sind um 120° ($^1/_3$ Periode) gegeneinander versetzt. Ferner ist die Summe der Momentanströme zweier Phasen gleich dem Momentanstrom der dritten Phase, bildet also jeweils den Rückstrom dieser Phase. Es ist z. B. Strecke 1—2 (Phase I) plus Strecke 1—3 (Phase II) gleich Strecke 1—4 (Phase III), bzw. Strecke 5—6 (Phase III) gleich Strecke 5—7 (Phase I), wobei der Momentanstrom von Phase II Null beträgt. Hieraus folgt, daß für die

Hin- und Rückleitung eines dreiphasigen Wechselstromes drei Leitungen ausreichend sind, da der Strom jeder Phase durch die beiden anderen Phasen oder auch nur durch eine von beiden zurückfließen kann, und umgekehrt. Aus diesem Grunde *verkettet* man die sechs Enden der drei voneinander unabhängigen Phasenwickelungen eines *Drehstromgenerators*, d. h. man faßt sie derart zusammen, daß statt sechs nur drei Klemmen erforderlich sind, von denen dann die Leitungen zu den Stromverbrauchern führen. Dabei kann die Schaltung so erfolgen, daß die drei Wickelungen ein Dreieck (Fig. 351) oder einen Stern (Fig. 353) bilden. In den Figuren stellt jede Wellenlinie die Gesamtheit aller hintereinander geschalteten Spulen gleicher Phase dar. Man gibt diese Schaltungen schematisch gemäß Fig. 352 *(Dreieckschaltung)* und Fig. 354 *(Sternschaltung)* wieder. — Allgemein gilt für den Drehstromgenerator: Leistung = 1,73 × Spannung × Stromstärke × Leistungsfaktor.

Fig. 359.

Fig. 360.

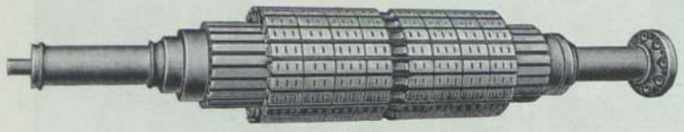


Fig. 361.

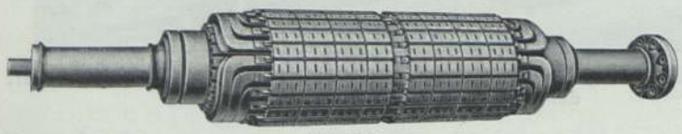


Fig. 362.

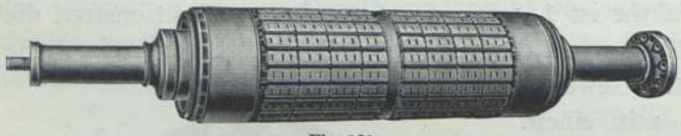


Fig. 363.

Fig. 359—363. Rotor in verschiedenen Fabrikationsstadien.

Wir wenden uns nun zu den modernen Konstruktionen der Wechselstromgeneratoren.

Fig. 355 zeigt einen Drehstromgenerator mittlerer Leistung der Siemens-Schuckert-Werke. Stator und Rotor sind aus dünnen, durch Papier voneinander isolierten, als geschlossene Ringe gestanzten Blechen zusammengesetzt („lamelliert"). Ventilationskanäle sorgen für gute Abkühlung der Maschine. Die Pole und Polschuhe sind ebenfalls lamelliert und in die aus Einzelblechen zusammengesetzte Nabe eingefalzt. Ein besonderes Merkmal dieser Maschinentype ist die *eingebaute Erregermaschine*, die den Vorteil geringeren Platzbedarfs und vereinfachter Montage gewährt. Die Rotorwickelung ist als Schablonenwickelung ausgeführt und wird durch besondere Drahtbandagen zusammengehalten. Der Erregerstrom wird von Kohlebürsten abgenommen und über einen *Magnetregulator* zu den in den Lagerkorb des Antriebsseitenlagers eingebauten Bronze-Schleifringen des Generators geleitet. Ein Nebenschlußregulator erübrigt sich, da die Erregermaschine als Compoundgenerator ausgeführt ist. — Fig. 356 veranschaulicht das Schaltschema eines Drehstromgenerators, und zwar in der für Maschinen und Apparate üblichen Darstellung. Das Schema dürfte ohne weiteres verständlich sein.

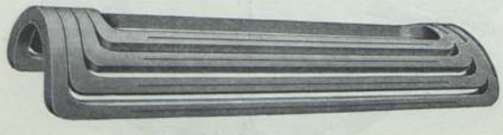


Fig. 364. Rotorspule.

Einen Drehstromgenerator größerer Leistung zeigt Fig. 357. Diese Maschine ist für direkte Kuppelung mit einer 100tourigen Dampfmaschine bestimmt. Das 60polige Magnetrad erfüllt gleichzeitig die Aufgabe eines Schwungrades. Die zur Erregung der Magnete nötige Energie wird von einer besonderen Gleichstromanlage geliefert. Bei derartigen Maschinen (für Leistungen bis 10000 KW und Spannungen bis 20000 Volt) richtet sich die Drehzahl nach der Art der Antriebsmaschine und beträgt für langsamlaufende Typen bis herunter zu 83 Umdrehungen und für schnellaufende bis hinauf zu 1000 Umdrehungen in der Minute. Für Turbinenantrieb werden häufig Generatoren mit vertikaler Welle verwendet.

Auch Wechselstrommaschinen werden oft als *Turbogeneratoren* ausgeführt. Die Figuren

358—367 zeigen Teile eines solchen, wie er von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (A. E. G.) hergestellt wird. Auch hier ist an der Type mit feststehender induzierter Wickelung und rotierendem Magnetfeld festgehalten. Fig. 358 zeigt den Querschnitt eines zweipoligen Rotors. 1 ist die am Umfange mit schwalbenschwanzförmigen Nuten versehene Welle, 2 sind die in die Nuten eingesetzten, mit entsprechend geformten Füßen versehenen Spulenhalter, 3 die dazwischen liegenden Doppelspulen aus Flachkupfer, 4 die Füllstücke, die an den die beiden Hauptpole bildenden Partien an Stelle der Spulen eingelegt werden, und 5 die über die Spulen eingetriebenen, das Ganze verspannenden Keile. Die Fig. 359—363 zeigen den Rotor in verschiedenen Fabrikationsstadien: Fig. 359 die gedrehte, Fig. 360 die mit Nuten versehene Welle. Bei Fig. 361 sind in die Nuten die aus Blechpaketen bestehenden Spulenhalter eingesetzt. Fig. 362 zeigt den Rotor mit eingesetzten Spulen und darüber eingezogenen Keilen, Fig. 363 den fertigen Rotor, bei dem auch die Bandagen über die Wickelungsköpfe gelegt und beiderseits Ventilatoren zur Beförderung der Kühlluft aufgesetzt sind. Die in die Nuten der stählernen Welle eingeschobenen Spulenhalter bestehen aus gestanzten Stahlblechen, die unter hohem Druck zu kurzen Paketen zusammengenietet werden; das Innere läßt einen Kanal für den Luftdurchgang frei. Die Magnetspulen (Fig. 364) sind aus blankem Flachkupfer mit der Maschine gewickelt und sorgfältig isoliert. Das magnetisch wirksame Eisen des Stators besteht aus aufeinander geschichteten dünnen Blechen oder Blechsegmenten, die durch Seidenpapier und Preßspanzwischenlagen voneinander isoliert und durch zahlreiche Luftschlitze in einzelne Pakete unterteilt sind. Diesen Blechkörper umschließt das Gehäuse aus Gußeisen. Die Maschine ist also vollkommen geschlossen (Fig. 365). Die Luftzuführung geschieht wegen der hohen Temperaturen und eventueller Verunreinigung durch Staub, Öl und Dampf nicht direkt aus dem Maschinenraum, sondern durch Kanäle aus dem Freien. Häufig wird die Kühlluft vor ihrem Eintritt in die Maschine noch durch Luftfilter geführt. Das Gehäuse ist so eingerichtet, daß die warme Luft nach oben durch den Kamin unmittelbar ausgeblasen oder auch durch die Gehäusefüße und die Grundplatte geschlossen nach unten abgeführt

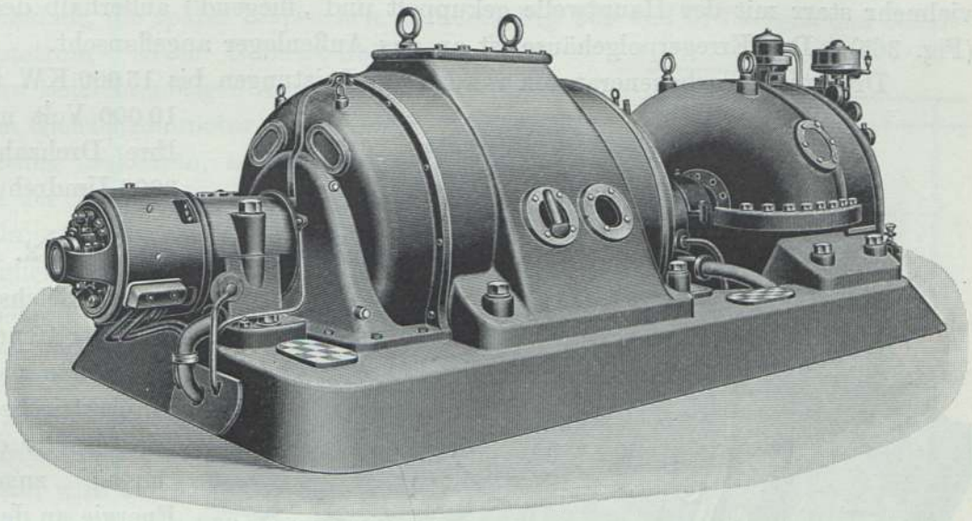


Fig. 365. Drehstrom-Turbogenerator mit A. E. G.-Dampfturbine.

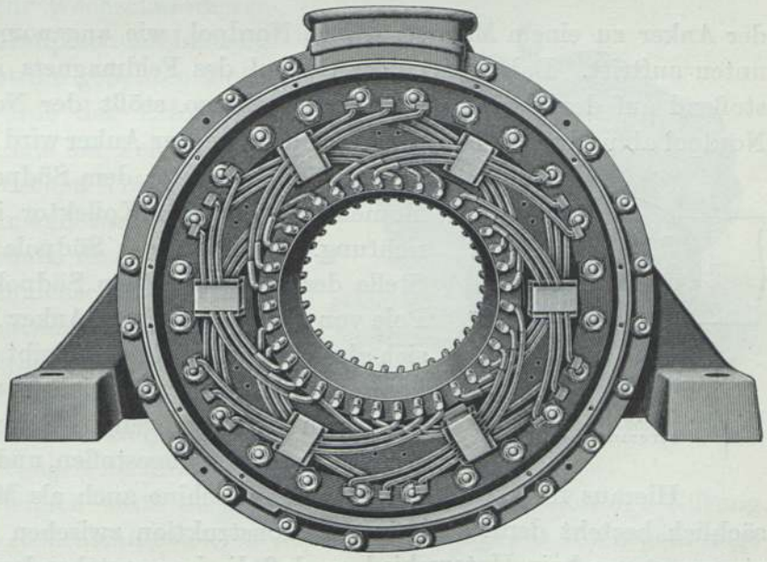


Fig. 366. Statorwickelung (Stabwickelung).

werden kann. Die Statorwickelung ist entweder eine *Stabwickelung* mit einem Stab pro Nut (Fig. 366) oder eine *genähte Wickelung*, die aus mehreren Windungen pro Nut besteht (Fig. 367). Die Stäbe der Stabwickelung sind mit Preßspan umpreßt, die sie verbindenden „Gabeln" werden mit Band und Lack isoliert. Die genähte Wickelung liegt in vorher hergestellten, ganz geschlossenen Mikanitrohren. Die Erregermaschine erhält keine besondere Lagerung. Ihr Anker ist vielmehr starr mit der Hauptwelle gekuppelt und „fliegend" außerhalb des Lagers angeordnet (Fig. 365). Das Erregerpolgehäuse ist an das Außenlager angeflanscht.

Drehstrom-Turbogeneratoren werden für Leistungen bis 15 000 KW und Spannungen bis 10 000 Volt und darüber gebaut. Ihre Drehzahl beträgt maximal 3000 Umdrehungen pro Minute.

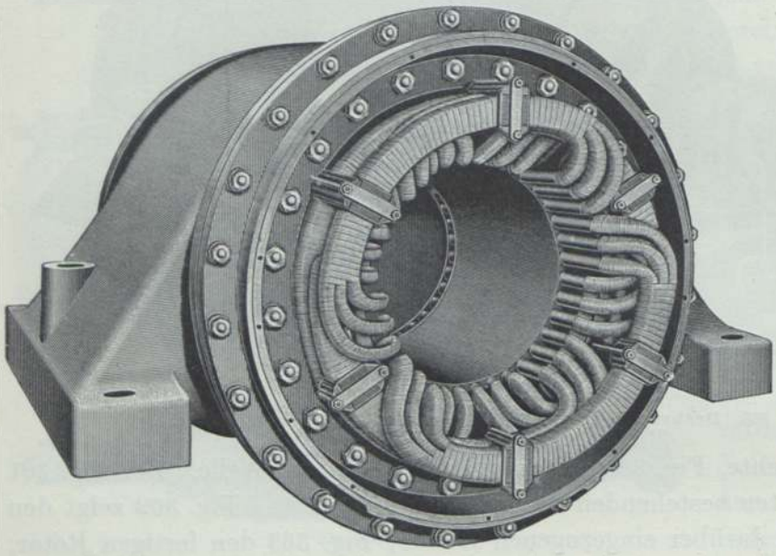


Fig. 367. Statorwickelung (genähte Wickelung).

2. Motoren.

a) Gleichstrommotoren. Während der Generator die von außen zugeführte mechanische Leistung in elektrische umsetzt, gibt der *Elektromotor* die ihm mittels Leitungen zugeführte elektrische Energie an der Welle als mechanische Arbeit ab. Dabei vollzieht sich folgender Vorgang:

Beim Durchgang des Stromes durch Bürsten, Kollektor und Ankerwickelung (Fig. 368) wird der Anker zu einem Magnet, dessen Nordpol, wie angenommen werde, oben und dessen Südpol unten auftritt. Dabei wirkt der Südpol des Feldmagnets anziehend auf den Nordpol und abstoßend auf den Südpol des Ankers; ebenso stößt der Nordpol des Feldmagnets den Anker-Nordpol ab und zieht den Anker-Südpol an. Der Anker wird sich also in der Pfeilrichtung drehen, bis der Nordpol unter dem Südpol steht und umgekehrt. In diesem Moment bewirkt der Kollektor im Anker einen Wechsel der Stromrichtung. An Stelle des Südpols erhält der Anker einen Nordpol, an Stelle des Nordpols einen Südpol. Die einander gegenüberstehenden Pole von Feldmagnet und Anker haben jetzt gleiche Polarität, stoßen sich also ab. Infolgedessen bleibt der Anker in Drehung, die Ankerpole kommen wieder in den Bereich der ungleichnamigen Magnetpole und werden von diesen angezogen, die Stromrichtung im Anker kehrt sich um, die Ankerpole werden abgestoßen, und das Spiel wiederholt sich von neuem.

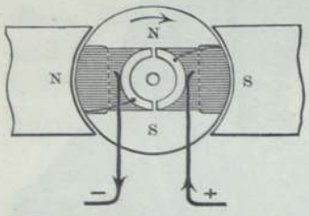


Fig. 368. Prinzip des Gleichstrommotors.

Hieraus folgt, daß eine Dynamomaschine auch als Motor verwendet werden kann. Tatsächlich besteht denn auch in der Konstruktion zwischen Gleichstromgeneratoren und Gleichstrommotoren kein Unterschied, so daß die im vorstehenden Abschnitt enthaltenen Abbildungen auch als Darstellungen von Motoren anzusehen sind.

Ebenso wie die Generatoren lassen sich auch die Motoren in verschiedenen Schaltungen ausführen, und zwar unterscheidet man wieder Hauptstrom-, Nebenschluß- und Compoundschaltung. Beim *Hauptstrommotor* sind Anker und Magnetwickelung hintereinander geschaltet. Die Stärke des Magnetfeldes schwankt daher mit der Belastung, was wiederum eine Veränderung der Drehzahl zur Folge hat. Bei starker Belastung und entsprechend starkem Ankerstrom bzw. Magnetfeld ist die Umlaufzahl klein, bei schwacher Belastung groß. Läuft der Hauptstrommotor „leer", so „geht er durch", d. h. seine Drehzahl nimmt unzulässig hohe Werte an. Dies kann sogar zur Zertrümmerung von Anker und Maschine führen. Ein Hauptstrommotor ist daher für

zeitweise unbelasteten Betrieb nicht geeignet, äußerst brauchbar dagegen an Straßenbahnwagen, Kranen, Ventilatoren usw., zumal da er über ein sehr kräftiges Anzugsmoment verfügt. Beim *Nebenschlußmotor* bleibt die Drehzahl bei konstanter Spannung trotz wechselnder Belastung fast unverändert; deshalb eignet er sich vorzüglich zum Antriebe von Werkzeugmaschinen aller Art. *Compoundmotoren* werden nur wenig benutzt. Zum Anlassen der Motoren bedient man sich sogenannter *Anlaßwiderstände*, die später besprochen werden. Fig. 369 und 370 zeigen das Schaltschema eines Hauptstrom- sowie Nebenschlußmotors nebst den zum Betriebe nötigen Apparaten.

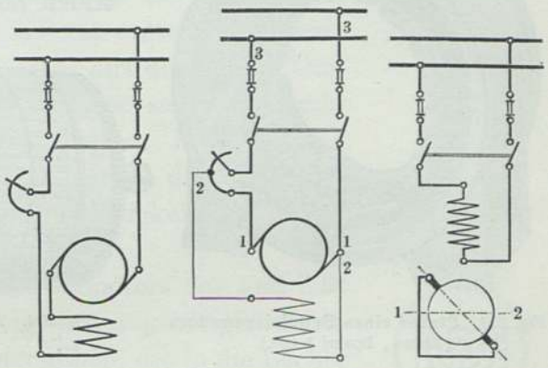


Fig. 369. Fig. 370. Fig. 371.

Fig. 369. Schaltschema eines Hauptstrommotors.
Fig. 370. Schaltschema des Nebenschlußmotors.
Fig. 371. Schaltschema des Repulsionsmotors.

Will man einen Gleichstrommotor *umsteuern*, d. h. seine Drehrichtung umkehren, so kann man dies durch Wechseln der Stromrichtung im Anker oder in den Schenkeln erreichen. Man braucht also nur die beiden bezüglichen Verbindungsdrähte umzulegen, eine Schaltung, die bei häufigem Umsteuern zweckmäßig einem zwangläufig arbeitenden *Wendeanlasser* übertragen wird. Durch Umkehren der Stromrichtung im Anker und zugleich in den Schenkeln, d. h. durch einfaches Vertauschen der Zuleitungen zum Motor, wird ein Wechsel der Drehrichtung nicht erreicht. Der in Fig. 370 schematisch wiedergegebene Nebenschlußmotor würde also durch Umlegen der Drähte 1—1 (Anker) oder von 2—2 (Schenkel), nicht aber von 3—3 (Zuleitungen) umgesteuert werden.

b) Wechselstrommotoren. Da, wie eben erwähnt ist, bei Nichtveränderung der inneren Schaltung die Stromrichtung den Drehsinn eines Gleichstrommotors nicht beeinflußt, ist ein Gleichstrommotor im Prinzip auch für Wechselstrom verwendbar. Besonders geeignet ist die Hauptstromschaltung. Wollte man freilich einen für Gleichstrom gebauten Motor mit Wechselstrom betreiben, so würde der Erfolg nur gering sein, weil die massiven Eisenteile der Feldmagnete und des Ankers (infolge der magnetischen Trägheit oder *Hysteresis*) nicht rasch genug ummagnetisiert werden. Sollen sie dem Wechsel des Magnetismus rasch folgen, so muß man sie aus Eisenblechen zusammensetzen. Werden diese noch durch dünne Papierzwischenlagen voneinander isoliert, so erreicht man gleichzeitig einen wirksamen Schutz gegen Wirbelströme. Meist trägt der Motor außer der Erregerwickelung noch eine Hilfswickelung, die das Auftreten schädlicher Induktionswirkungen im Anker verhindert. Das Statoreisen besitzt vielfach statt ausgeprägter Pole eine gleichförmige Nutung.

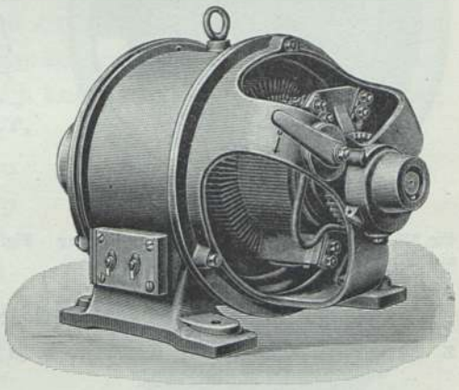


Fig. 372. Einphasen-Repulsionsmotor (Brown, Boveri & Cie.).

Diese sogenannten *Einphasen-Reihenschlußmotoren* werden neuerdings für Hochspannungsbahnbetriebe vielfach verwendet. Sie laufen wie jeder Gleichstrommotor mit voller Last an, erfordern jedoch für größere Leistungen besondere *Anlaßtransformatoren*, die eine allmähliche Erhöhung der an den Motorklemmen wirksamen Spannung und demzufolge ein allmähliches Anlaufen des Motors bezwecken.

Auch der *Repulsionsmotor* gehört zur Klasse dieser *Kommutatormotoren*. Aber man führt hier nur der Feldwickelung den Wechselstrom vom Netz zu; der drehbare Teil ist genau wie ein Gleichstromanker ausgeführt. Die beiden Bürsten sind, wie Fig. 371 zeigt, leitend miteinander verbunden, d. h. „kurzgeschlossen". Bei Stillstand stehen die Bürsten in der neutralen Zone 1—2. In dieser Stellung fließt im Anker auch bei eingeschaltetem Stator kein Strom. Das Anlassen erfolgt dann einfach dadurch, daß die Bürsten aus der neutralen Zone verschoben werden. Dabei

entstehen durch Induktionswirkung des Statorfeldes in der Rotorwickelung Ströme, die durch die Kollektorlamellen über die Bürsten zur Wickelung zurückfließen. Dadurch erzeugt auch der Rotor ein Magnetfeld, dessen Pole je nach der Bürstenstellung mehr oder weniger von den Polen des Feldmagnets angezogen werden und so eine Drehung des Ankers herbeiführen. Die Drehrichtung ist von der Richtung abhängig, in der die Bürsten aus der neutralen Zone verschoben werden, und zwar dreht sich der Rotor entgegen dem Sinne der Bürstenverschiebung. Durch einfaches Zurückstellen der Bürsten in die neutrale Zone und Verschiebung in entgegengesetztem Sinne, läßt sich also der Motor umsteuern. Auch die Repulsionsmotoren laufen mit voller Last an, gehen jedoch, wie die Reihenschlußmotoren, bei vollständiger Entlastung durch.

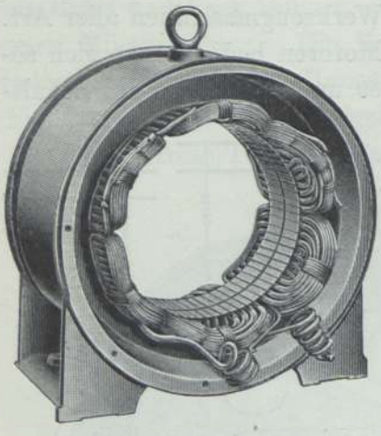


Fig. 373. Stator eines Repulsionsmotors (Brown, Boveri & Cie.).

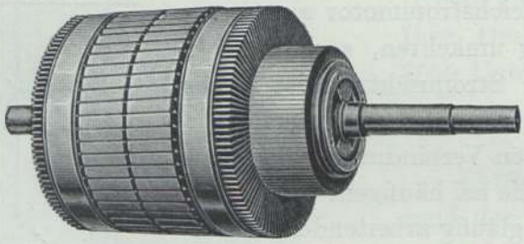


Fig. 374. Anker eines Repulsionsmotors (Brown, Boveri & Cie.).

Fig. 372 zeigt einen Repulsionsmotor der Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., Mannheim, dessen Schaltung insofern von der vorstehend beschriebenen abweicht, als der Motor *zwei* Bürstensysteme besitzt: ein feststehendes und ein bewegliches. Beide sind widerstandslos miteinander verbunden. In Fig. 373—375 sind Teile dieses Motors wiedergegeben.

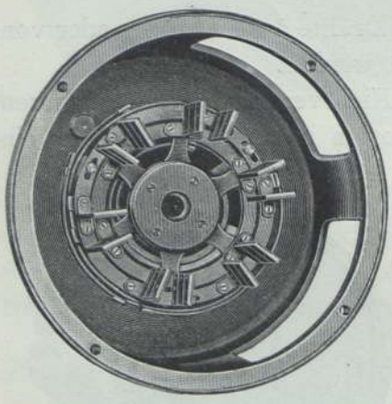


Fig. 375. Lagerschild und Bürstenbesetzung eines Repulsionsmotors (Brown, Boveri & Cie.).

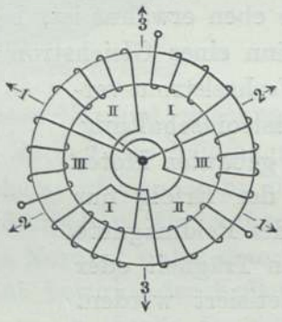


Fig. 376. Drehfeld-Prinzip.

Das Verständnis der nun folgenden *Einphasen-Induktionsmotoren* wird erleichtert, wenn wir zuvor an Hand des *Drehstrommotors* die Bedeutung des *Drehfeldes* erkannt haben.

Von sechs um einen feststehenden Eisenring geführten Spulen seien je zwei einander gegenüberliegende Spulen hintereinander geschaltet, wie Fig. 376 zeigt (Sternschaltung). Schickt man durch eine Spulengruppe, z. B. durch Gruppe I, Gleichstrom, so entsteht ein magnetisches Feld, dessen Richtung durch 1—1 gekennzeichnet ist. Ebenso entsteht durch Erregen der Gruppe II ein Feld von der Richtung 2—2 und durch Erregen der Gruppe III ein solches von der Richtung 3—3. Verbindet man die drei Phasen I, II und III mit den Klemmen eines Drehstromgenerators, so wird in dem Eisenringe ein Magnetfeld auftreten, dessen Achse sich dauernd kreisförmig innerhalb des Ringes bewegt: man erhält ein sogenanntes *Drehfeld*. Bringt man in das Innere eines solchen Ringes einen eisernen Anker, der mit in sich geschlossenen Windungen aus Kupferdraht bewickelt ist, so entstehen in den Drahtwindungen durch die Rotation des Feldes bzw. durch das Vorbeiwandern seiner Pole

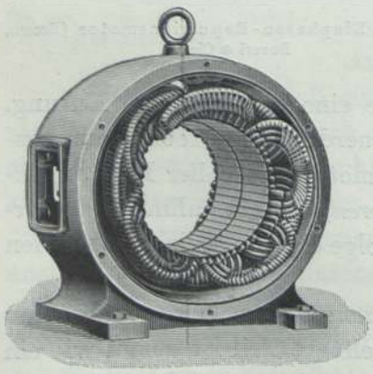


Fig. 377. Stator eines Drehstrommotors (A. E. G.).

Fig. 378. Kurzschlußanker (A. E. G.).

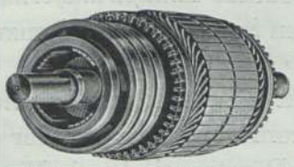


Fig. 379. Schleifringanker (A. E. G.).

Induktionsströme. Zugleich beginnt der Anker infolge der Wechselwirkung zwischen Polen und Strömen sich zu drehen. Er kommt dabei nahezu auf die Geschwindigkeit, mit der die Pole rotieren. Würde der Anker sie ganz erreichen, so würden Pole und Drahtwindungen nebeneinander herlaufen. Es würden dann keine Ströme mehr erzeugt werden, und die Zugkraft würde Null. Sobald der Rotor jedoch etwas langsamer läuft, überholen die Pole die Drahtwindungen und lassen in ihnen Ströme entstehen. Jetzt kann der Motor Arbeit verrichten, und zwar um so mehr, je mehr die Geschwindigkeit nachläßt; denn je schneller die Pole an den Rotorwindungen vorbeigehen, desto stärker werden die in ihnen erzeugten Ströme. Läuft der Motor mit geringer Last, so bleibt seine Drehzahl nur um wenige Umdrehungen hinter der der Pole zurück. Steigt die Belastung, so sinkt die Drehzahl so weit, bis der Motor die erforderliche Zugkraft erreicht hat. Die Änderung der Geschwindigkeit zwischen Leerlauf und Vollast beträgt je nach der Größe des Motors 2—10 Proz. Den Unterschied zwischen der Geschwindigkeit des Feldes und der des Rotors nennt man *Schlüpfung*.

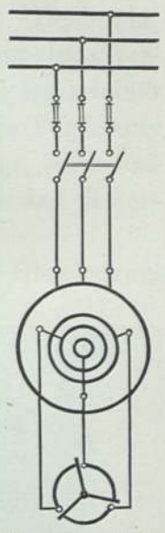


Fig. 380. Schaltschema eines Drehstrommotors mit Schleifringanker.

Fig. 377 stellt den Stator eines derartigen Drehstrommotors dar und läßt die einzelnen Spulengruppen gut erkennen. Fig. 378 zeigt den zugehörigen *Kurzschlußanker*; seine Wickelung besteht aus blanken Kupferstäben, die in die Löcher des Ankereisens eingebettet und an den Stirnflächen durch Kurzschlußringe leitend miteinander verbunden sind. Ein Drehstrommotor mit Kurzschlußanker hat weder Kollektor, noch Bürsten oder Schleifringe, und stellt so den einfachsten Motor dar, den die Elektrotechnik kennt. Leider haftet ihm ein Nachteil an: er nimmt beim Anlassen, das bei kleineren Motoren direkt, bei größeren durch Zwischenschaltung eines *Anlaßtransformators* erfolgt, das Sechs- bis Achtfache seines normalen Stromes auf. Der hierdurch bedingte Stromstoß verursacht im Leitungsnetz unwillkommene Spannungsschwankungen. Um diesem Übelstande abzuhelfen, schaltet man beim Anlassen in die Ankerwickelung Widerstand ein. Zu dem Zwecke führt man die Wickelung zu drei Schleifringen, auf denen drei Bürstenpaare schleifen. Verbindet man einen derartigen *Schleifringanker* (Fig. 379), wie in Fig. 380 schematisch angedeutet, mit einem Anlasser, so werden Stromstöße während der Anlaufperiode nahezu vermieden. Hat der Motor seine normale Umlaufzahl erreicht, so schließt man die Schleifringe durch eine *Kurzschlußvorrichtung* kurz, worauf der Anker als Kurzschlußanker weiter arbeitet. Die Kurzschlußvorrichtung ist mit einer *Bürstenabhebevorrichtung* so verbunden, daß die Bürsten zwangläufig von den Schleifringen abgehoben werden, sobald die Wickelung kurzgeschlossen ist. Fig. 381 veranschaulicht den vorstehend beschriebenen Motor in normaler, d. h. offener Ausführung. Er läßt sich auch ventiliert gekapselt oder vollkommen geschlossen herstellen.

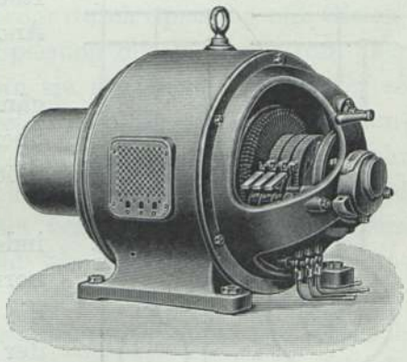


Fig. 381. Drehstrommotor in offener Ausführung (A. E. G.).

Weitere Details über Drehstrommotoren zeigt das aufklappbare Modell des Drehstrommotors.

Einen großen Drehstrommotor für etwa 2000 PS, wie er zum Antriebe von Walzenstraßen verwendet wird, stellt Fig. 382 dar. (Der Motor hat im Bilde provisorisch eingebaute Welle und Lager, weshalb deren Abmessungen nicht der Wirklichkeit entsprechen.)

Die bisher besprochenen Drehstrommotoren nennt man auch *Asynchronmotoren*, weil der Rotor etwas langsamer läuft, als der Periodenzahl des Magnetfeldes entsprechen würde. Im Gegensatz hierzu sind die weiter unten beschriebenen *Synchronmotoren* solche, bei denen Rotor und Magnetfeld gleich schnell, d. h. *synchron*, rotieren.

Wir kehren jetzt zu den Einphasenmotoren zurück: Der *Einphasen-Induktionsmotor* zeigt ein dem Drehstrommotor ganz ähnliches Verhalten. Das Statorfeld erzeugt auch hier in der

Ankerwickelung Ströme, und diese erzeugen wieder im Rotoreisen ein Magnetfeld. Das vorhandene Drehfeld vermag jedoch nicht, den Anker in Rotation zu versetzen. Hierzu bedarf es einer Hilfswickelung, an die man eine *Drosselspule*, d. h. eine Spule mit hoher Selbstinduktion, anschließt. Dadurch wird beim Einschalten des Motors zwischen Hauptwickelung und Hilfswickelung eine Phasenverschiebung hervorgebracht, die den Motor als Mehrphasenmotor anlaufen läßt. Hat der Motor die normale Drehzahl erreicht, so wird die Hilfswickelung zugleich mit der Drosselspule durch einen einpoligen Schalter abgeschaltet, und der Rotor läuft nun als Einphasenanker weiter. Ein Schema für diese Anordnung gibt Fig. 383.

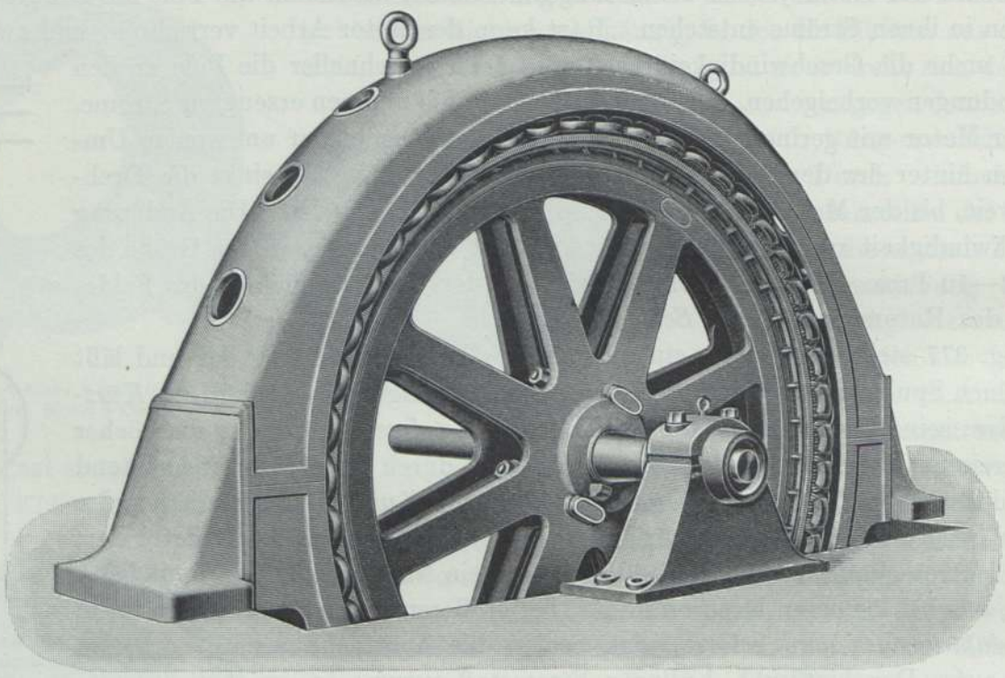


Fig. 382. Drehstrommotor für große Leistungen (Siemens-Schuckert-Werke).

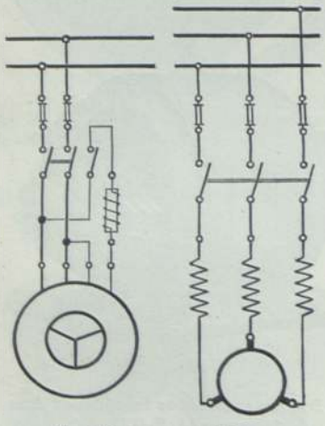


Fig. 383. Fig. 384.

Fig. 383. Schaltschema des Einphasen-Induktionsmotors. Fig. 384. Schaltschema des Drehstrom-Reihenschlußmotors.

Der Einphasen-Induktionsmotor hat den Nachteil, daß er nur gänzlich unbelastet anlaufen kann. Wird er während des Betriebes überlastet, so „fällt er aus dem Tritt", d. h. seine Umlaufzahl fällt plötzlich ab: er bleibt stehen.

Oft vereinigt man auch Repulsions- und Induktionsprinzip, indem man den Motor als Repulsionsmotor anlaufen läßt, bis die normale Drehzahl erreicht ist, dann mittels geeigneter Vorrichtungen die Bürsten abhebt und die Kollektorlamellen kurzschließt, so daß der Motor als Induktionsmotor mit Kurzschlußanker weiterläuft.

Analog den Gleichstromgeneratoren kann man auch Wechsel- bzw. Drehstromgeneratoren als Motoren verwenden, wenn man sie vor dem Einschalten auf eine mit der Periodenzahl des Netzes genau übereinstimmende Drehzahl bringt und ihre Rotoren bzw. Magnetkörper mit Gleichstrom erregt. Sie laufen dann mit einer der Umlaufzahl des Generators entsprechenden Drehzahl weiter, dürfen aber nicht überlastet werden, da sie sonst aus dem Tritt fallen. Diese *Synchronmotoren* haben jedoch in der Praxis wenig Eingang gefunden.

Neuerdings baut man auch regulierbare Drehstrommotoren, sogenannte *Drehstrom-Reihenschlußmotoren*. Sie besitzen einen gewöhnlichen Stator, und als Rotor einen Gleichstromanker, auf dessen Kollektor drei um 120° versetzte Bürsten schleifen. Die Anfänge der drei Statorwickelungen liegen am Netz, während die drei Enden mit je einer Bürste verbunden sind (Fig. 384).

Anlassen und Regulieren der Drehzahl erfolgt durch Verschiebung der drei Bürsten auf dem Kollektor. Diese Motoren laufen mit Last an, gehen aber bei Leerlauf durch.

3. Umformer.

Umformer sind Maschinen, die zur Umwandlung einer Stromart in die andere dienen. Man unterscheidet *Motorgeneratoren* und *Einankerumformer*.

a) **Motorgeneratoren.** Unter Motorgeneratoren versteht man zwei direkt miteinander gekuppelte Maschinen, von denen die eine als Motor, die andere als Dynamo läuft. Beide Maschinen stehen meist auf gemeinsamer Grundplatte und sind durch eine starre Kuppelung verbunden. Man ist auf eine derartige Umformung angewiesen, wenn man Gleichstrom irgendeiner Spannung in Gleichstrom anderer Spannung umformen will. Häufig wird auch die Forderung erhoben, daß im Anschluß an Wechsel- oder Drehstromanlagen Gleichstrom erzeugt, oder daß Einphasenstrom in Drehstrom umgewandelt werden soll. In allen diesen Fällen werden Motorgeneratoren verwendet.

Fig. 385 veranschaulicht einen Motorgenerator, wobei die zur Erzeugung von Gleichstrom dienende Dynamo durch einen Drehstrom-Asynchronmotor angetrieben wird.

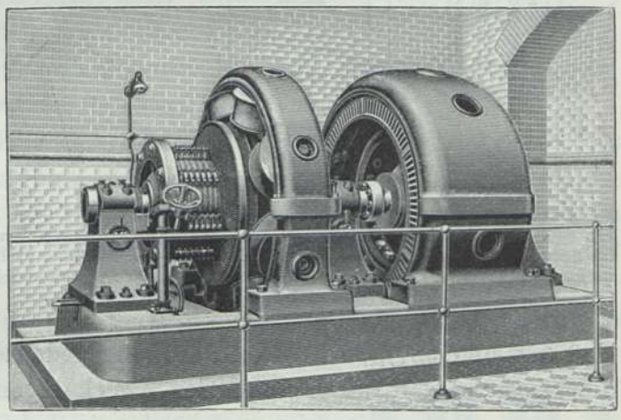


Fig. 385. Motorgenerator.

b) **Einankerumformer.** Der Einankerumformer ist eine Maschine, bei der die Umformung von Ein- und Mehrphasenstrom in Gleichstrom in einem gemeinsamen Anker stattfindet. Verbindet man die unaufgeschnittene Wickelung des Ankers einer normalen Gleichstrommaschine an z. B. drei um 120° versetzten Punkten mit je einem Schleifring, so kann man, beim Betrieb der Maschine als Stromerzeuger, am Kommutator wie gewöhnlich Gleichstrom und gleichzeitig an den Schleifringen Wechselstrom abnehmen. Man kann die Maschine aber auch als Motor betreiben, und zwar entweder durch Speisung mit Gleichstrom über den Kommutator als Gleichstrommotor oder durch Speisung mit Wechselstrom über die Schleifringe als Wechselstrom-Synchronmotor. Betreibt man sie als Gleichstrommotor, so kann man an den Schleifringen Wechselstrom entnehmen; betreibt man sie als Wechselstrommotor, so liefert der Kommutator Gleichstrom. Ein solcher Einankerumformer arbeitet sehr wirtschaftlich. Während bei den Motorgeneratoren erst elektrische Energie in mechanische und diese dann wieder in elektrische Energie der gewollten Stromart verwandelt wird, fällt beim Einankerumformer das mechanische Zwischenglied heraus, und die eine Stromart wird unmittelbar in die andere umgeformt.

Die Spannung des Gleichstromes steht dabei in einem bestimmten Verhältnis zur Wechselstromspannung, und zwar fällt die Wechselstromspannung kleiner aus als die zugehörige Gleichstromspannung; sie beträgt bei Drehstrom etwa das 0,6fache der letzteren. Meist ist das nicht erwünscht; im Gegenteil: der Wechselstrom wird in der Regel gerade deshalb benutzt, um mit hohen Spannungen im Fernleitungsnetz arbeiten zu können. An Ort und Stelle will man aber niedriggespannten Gleichstrom verwenden. In solchen Fällen muß man also dem Einankerumformer einen Transformator vorschalten, der den in der Zuleitung hochgespannten Wechselstrom erst auf die Spannung heruntertransformiert, die der gewünschten Gleichstromspannung entspricht. Trotz dieses Zusatzapparates, d. h. obwohl bei Verwendung von Einankerumformern in der Regel noch ein Transformator nötig wird, stellt sich die Anlage in Herstellung und Betrieb billiger als die Verwendung von Motorgeneratoren. Der Gesamtwirkungsgrad eines Transformators in Zusammenarbeit mit einem Einankerumformer (bei größeren Typen ca. 91 Proz.) ist wesentlich

höher als der Wirkungsgrad eines Hochspannungs-Wechselstrommotors in Zusammenarbeit mit einer Gleichstromdynamo (ca. 85 Proz.).

Das Verhältnis der Wechselstromspannung zur Gleichstromspannung ist, wie betont, eindeutig bestimmt. Eine Regulierung der Gleichstromspannung bei konstanter Wechselstromspannung ist daher am Umformer allein nicht möglich. Schaltet man jedoch zwischen Transformator und Schleifringen des Umformerankers *Drosselspulen* ein (vgl.

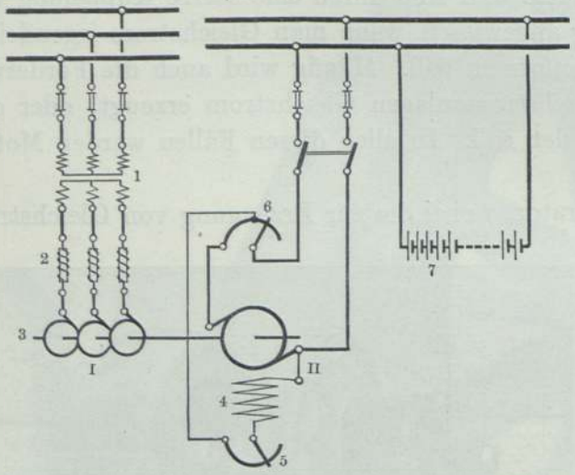


Fig. 386. Schaltschema einer Umformeranlage. Anlassen von der Gleichstromseite. (I Drehstromseite, II Gleichstromseite des Umformers; 1 Drehstromtransformator, 2 Drosselspulen, 3 Schleifringe, 4 Nebenschlußwickelung, 5 Nebenschlußregler, 6 Anlasser, 7 Akkumulatorenbatterie.)

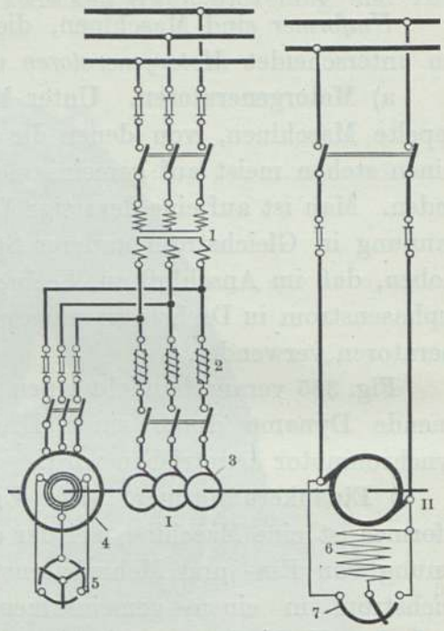


Fig. 387. Schaltschema einer Umformeranlage. Anlassen von der Drehstromseite. (I Drehstromseite, II Gleichstromseite des Umformers; 1 Drehstromtransformator, 2 Drosselspulen, 3 Schleifringe, 4 Anwurfmotor, 5 Anlasser, 6 Nebenschlußwickelung, 7 Nebenschlußregler.)

Fig. 386 und 387), so ist die Anordnung bedeutend regulierfähiger. In neuerer Zeit ersetzt man die Drosselspulen durch für diesen Zweck besonders hergestellte Transformatoren und vereinigt dadurch gewissermaßen Transformator und Drosselspule in einem Apparat.

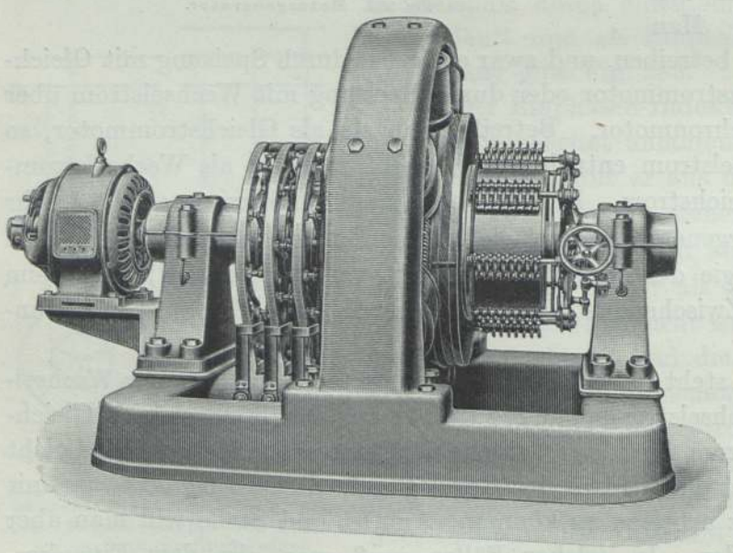


Fig. 388. Einankerumformer mit Anwurfmotor (A. E. G.).

Das Anlassen des Einankerumformers erfolgt bei Vorhandensein eines spannungführenden Gleichstromnetzes am besten von der Gleichstromseite aus in der üblichen Art des Anlassens eines Gleichstrommotors (Fig. 386). Ist ein spannungführendes Gleichstromnetz nicht vorhanden, so muß der Umformer von der Drehstromseite angelassen werden. Man kann hierzu entweder den Umformer als Synchronmotor anlaufen lassen, oder einen besonderen, mit dem Umformer gekuppelten Asynchronmotor als *Anwurfmotor* benutzen (Fig. 387). Dies ist meist ein Drehstrommotor mit Schleifringanker, der durch Widerstand im Rotorkreise auf die vom Einankerumformer verlangte Drehzahl gebracht wird.

Einankerumformer können sehr stark überlastet werden, ohne aus dem Tritt zu fallen. Sie werden meistens zur Umwandlung von Drehstrom in Gleichstrom benutzt. Was ihren mechanischen Aufbau betrifft, so werden sie mit Grundplatte und zwei Lagern ausgerüstet und weichen

im übrigen nicht von der Bauart normaler Maschinen ab. Fig. 388 zeigt einen Einankerumformer der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, der durch einen besonderen, auf einem Sockel der Umformergrundplatte befestigten Asynchronmotor angeworfen wird. Charakteristisch ist die Anordnung der drei Schleifringe.

II. Transformatoren.

Im Gegensatz zu den vorstehend beschriebenen rotierenden Umformern sind *Transformatoren* ruhende Umformer, die ohne mechanische Bewegung eines ihrer Teile Wechsel- oder Drehstrom einer bestimmten Spannung in Wechsel- bzw. Drehstrom einer anderen Spannung umzuformen gestatten. Ihre Wirkungsweise beruht auf dem Prinzip der gegenseitigen Induktion.

Auf einem in sich geschlossenen Eisenkern seien zwei getrennte Wickelungen angebracht (Fig. 389). Davon habe die eine wenige Windungen starken, die andere viele Windungen schwachen Drahtes. Schickt man durch die erste Wickelung einen Wechselstrom bestimmter Spannung, so induziert das im Eisen entstehende Wechselfeld in der schwachen Wickelung eine bedeutend höhere, ebenfalls wechselnde elektromotorische Kraft, die bei geschlossenem Stromkreise auch einen Strom entstehen läßt. Den hineingeschickten Strom nennt man den *primären*, den aus dem Transformator entnommenen den *sekundären Strom*. Ebenso unterscheidet man primäre und sekundäre Spannung. Die primäre und sekundäre Leistung ist, wenn man von den Energieverlusten absieht, gleichgroß. Da die Leistung das Produkt aus Strom und Spannung darstellt, muß, wenn die Sekundärspannung höher ist als die primäre, der sekundäre Strom kleiner werden als der primäre, denn es ist: $E \cdot J_{primär} = E \cdot J_{sekundär}$.

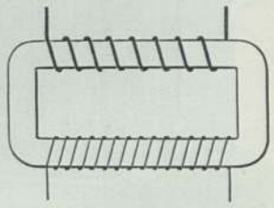


Fig. 389. Prinzip des Transformators.

Die primäre Spannung verhält sich zur sekundären genau, wie sich die Windungszahlen der primären zu denen der sekundären Wickelung verhalten. Will man z. B. einen Wechselstrom von 100 Volt Spannung in einen solchen von 1000 Volt verwandeln, so muß die Sekundärwickelung zehnmal so viel Windungen haben wie die primäre. Das Verhältnis der primären zur sekundären Wickelung nennt man das *Übersetzungsverhältnis* des Transformators. Wird einem Transformator, obwohl ihm Primärspannung zugeführt ist, kein Strom entnommen, so spricht man von *Leerlauf* des Transformators.

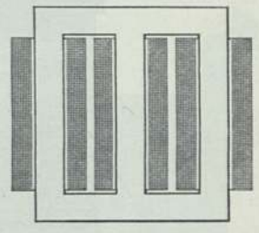


Fig. 390. Drehstromtransformator (Anordnung 1).

Je nachdem die Spulen um den Eisenkern gewickelt sind oder das Eisengestell die Spulen umgibt, unterscheidet man *Kern-* und *Manteltransformatoren*. Zur Vermeidung von Wirbelströmen bestehen die Eisenkörper aus durch Papier voneinander isolierten Blechen. Die Wickelungen des Transformators werden gewöhnlich übereinandergeschoben, wobei auf sorgfältige Isolierung der Niederspannungswickelung von der Hochspannungswickelung zu achten ist. Um bei hohen Spannungen die Isolation vor Durchschlagen zu schützen, setzt man die Transformatoren vielfach unter Öl *(Öltransformatoren)*.

Für Drehstromtransformatoren gilt das bisher Gesagte in analoger Weise. Sie besitzen drei Paar voneinander unabhängige Wickelungen, die in Stern oder Dreieck geschaltet sein können. Je eine Primär- und Sekundärwickelung umschließen einen Eisenkern. Die drei Eisenkerne können entweder senkrecht nebeneinander (Fig. 390) oder wagerecht übereinander (Fig. 391) oder im gleichseitigen Dreieck (Fig. 392) angeordnet sein. Statt eines Drehstromtransformators lassen sich auch drei Einphasentransformatoren verwenden.

Fig. 393 zeigt einen Drehstromtransformator für 6750 Kilovoltampere der Siemens-Schuckert-Werke. Der Transformator ist von 6600 auf 66000 Volt übersetzt und gehört zur Manteltype. Sein Gesamtgewicht beträgt 38000 kg. Zur Abführung der entwickelten Wärme ist Ölkühlung vorgesehen. Das Öl wird mittels einer elektrisch angetriebenen Pumpe durch Kühlschlangen gedrückt, die von fließendem Wasser umgeben sind.

Um in Schaltanlagen bei Meßinstrumenten, die der zufälligen Berührung ausgesetzt sind, die gefährliche Hochspannung zu vermeiden, verbindet man die Instrumente mittels kleiner *Meßtransformatoren* mit der Hochspannungsleitung, und zwar kommen für Spannungsmessungen sogenannte *Spannungstransformatoren*, für Strommessungen *Stromtransformatoren* in Betracht. Bei ersteren liegt die viele Windungen dünnen Drahtes enthaltende Hochspannungswickelung an zwei Polen der Hochspannungsleitung, während der niedriggespannte Sekundärstrom den Zeigerausschlag am Instrument bewirkt. Bei den Stromtransformatoren durchfließt der ganze Leitungsstrom die aus wenigen Windungen starken Drahtes bestehende Primärwickelung. Die Sekundärwickelung umfaßt mehrere Windungen schwächeren Drahtes und ist mit dem Instrument direkt verbunden. Eine Änderung des Primärstromes bewirkt natürlich auch eine Änderung des den Stromzeiger beeinflussenden Sekundärstromes.

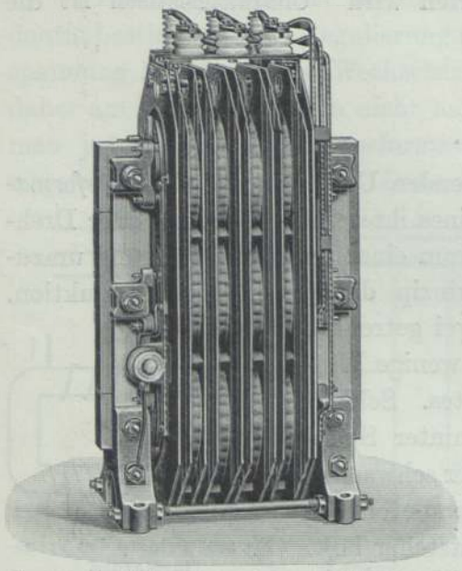


Fig. 391. Drehstromtransformator (Anordnung 2; Siemens-Schuckert-Werke).

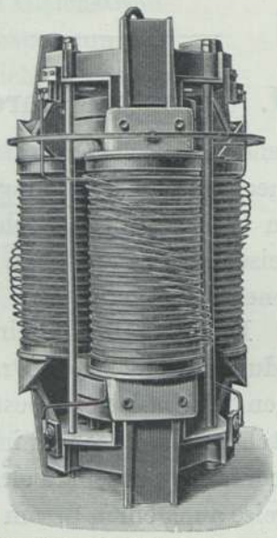


Fig. 392. Drehstromtransformator (Anordnung 3).

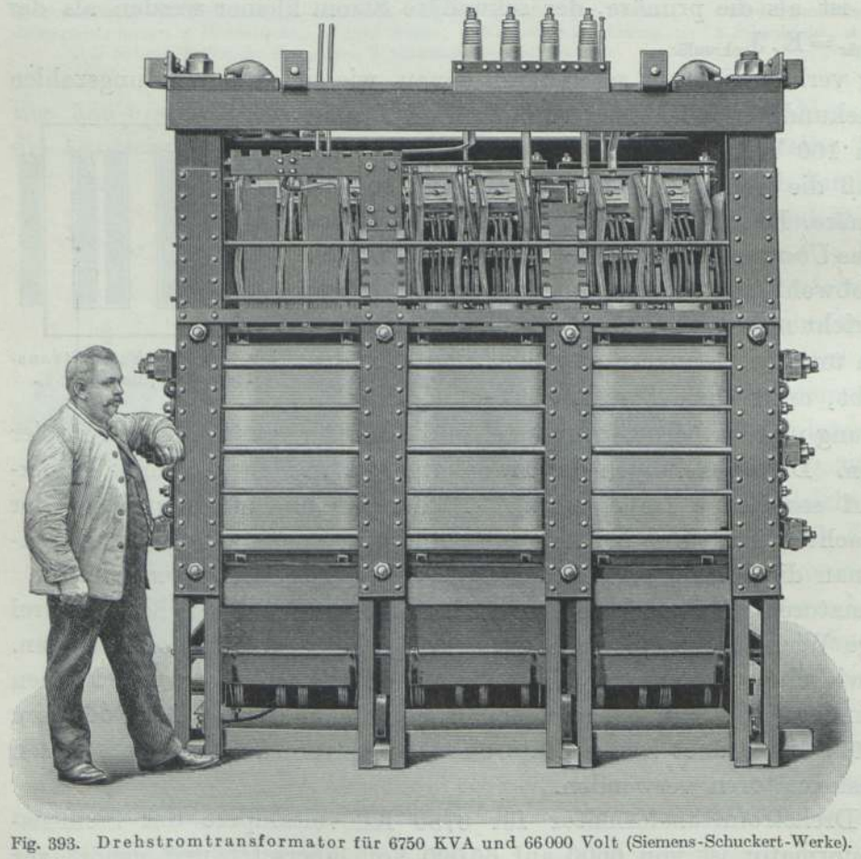


Fig. 393. Drehstromtransformator für 6750 KVA und 66000 Volt (Siemens-Schuckert-Werke).

III. Akkumulatoren.

Elektrische *Akkumulatoren* sind Apparate, die infolge eines chemischen Umwandlungsprozesses elektrische Energie in sich aufnehmen und nach Bedarf wieder abzugeben vermögen. Um das Prinzip eines solchen Akkumulators zu verstehen, greifen wir auf die bereits im Kapitel „Elektrotechnische Grundbegriffe“ (S. 152) behandelte Erscheinung der *Polarisation* zurück:

Leitet man durch eine sogenannte *Zersetzungszelle*, die aus zwei in verdünnter Schwefelsäure befindlichen Platinblechen bestehen möge, einen Gleichstrom, so scheidet sich an der negativen Elektrode Wasserstoff und an der positiven Sauerstoff ab. Beide Elektroden erhalten dadurch einen Spannungsunterschied. Unterbricht man den Strom und verbindet die Elektroden durch einen Leiter, so läßt sich mittels eines Meßinstrumentes ein dem ursprünglichen

entgegengerichteter Strom nachweisen. Das Element ist jetzt imstande, so lange elektrischen Strom abzugeben, wie Wasserstoff und Sauerstoff an den beiden Elektroden vorhanden sind. Den so gewonnenen Strom nennt man *Polarisationsstrom*, das Element selbst ein *sekundäres Element* oder einen *elektrischen Akkumulator*.

Gaston Planté verwendete zuerst statt der Platinbleche Bleiplatten. Taucht man zwei Bleiplatten in verdünnte Schwefelsäure, so wird letztere bei Stromdurchgang von der positiven zur negativen Platte zersetzt, und zwar verbindet sich der Sauerstoff mit dem an der positiven Platte vorhandenen Blei zu Bleisuperoxyd. Der Wasserstoff hingegen wandert mit dem Strom zur negativen Platte, entzieht ihr den dort (in Form einer Oxydschicht) stets vorhandenen Sauerstoff und bildet reines Blei. In diesem Zustand, den man als *Ladezustand* zu bezeichnen pflegt, kann das Element längere Zeit verharren. Beim Entladen, d. h. beim Entstehen des durch *Schließen* eines solchen Elementes auftretenden Polarisationsstromes, ergeben sich dieselben chemischen Vorgänge in umgekehrter Weise. Die Schwefelsäure wird wiederum zerlegt, und zwar bildet sich an der positiven Platte Wasserstoff und an der negativen Sauerstoff. Dies hat zur Folge, daß beide Bleiplatten sich in Bleioxyd und weiter durch Einfluß der Schwefelsäure in Bleisulfat umwandeln. Sind beide Platten an der Oberfläche in Bleisulfat verwandelt, so hört die Stromlieferung auf: das Element ist entladen. Man kann es jetzt durch Hindurchleiten eines Gleichstromes von neuem aufladen. Dabei bildet sich an der positiven Platte wieder Bleisuperoxyd; an der negativen Platte wird das beim Entladen gewonnene Bleisulfat in schwammiges Blei verwandelt.

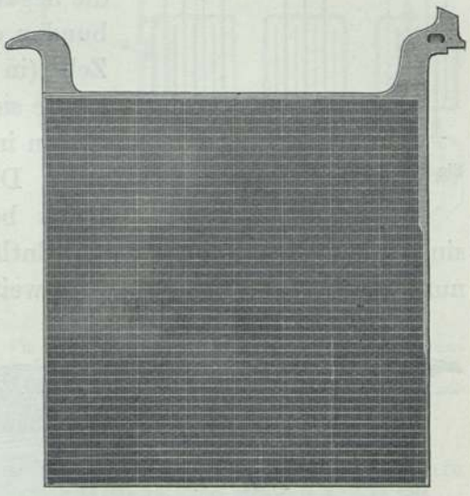


Fig. 394. Positive (Rillen-) Platte eines Bleiakkumulators.

Zur Herstellung eines solchen Elementes würde sich die Verwendung von nur zwei Bleiplatten wenig lohnen, denn der so gewonnene Polarisationsstrom ist nur von kurzer Dauer. Um seine Dauer zu erhöhen, verwendete Planté das *Formierungsverfahren*, indem er die Zellen monatelang lud und entlud. Hierdurch bildete sich allmählich eine bis 1 mm tiefe Schicht von Bleischwamm auf der einen und Bleisuperoxyd auf der anderen Plattenoberfläche. Faure verbesserte dieses zeitraubende Verfahren dadurch, daß er feinverteiltes Blei und Bleisuperoxyd (*aktive Masse*) von vornherein auf besonders hergerichtete Platten auftrug. Einen weiteren Fortschritt bedeutete die Verwendung von Mennige statt des teuren Bleisuperoxyds und von Bleioxyd statt feinverteilten Bleies. Beide Substanzen lassen sich durch die erste längere Ladung in Bleisuperoxyd und Bleischwamm verwandeln.

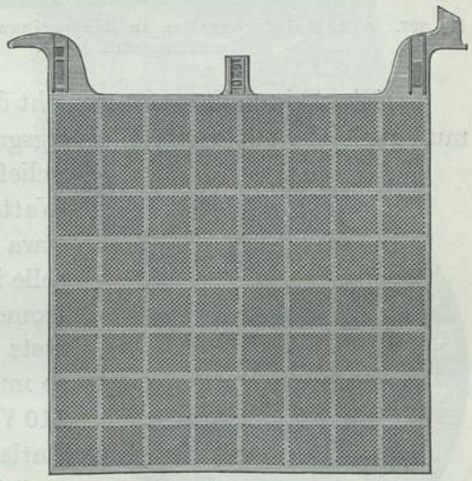


Fig. 395. Negative (Gitter-) Platte eines Bleiakkumulators.

Das moderne Verfahren zur Herstellung von Akkumulatoren hat auch diesen Weg verlassen und verwendet statt der einfachen Platten solche mit Rillen bzw. Gittern. Die Rillenplatten (Fig. 394) sind für den positiven Pol bestimmt und werden nach dem alten Planté-Verfahren formiert; die gitterartig geformten Platten (Fig. 395) bilden den negativen Pol und dienen zur Aufnahme von Bleioxyd. Dieses wird erst nach Aufstellung der *Akkumulatorenbatterie* in metallisches Blei verwandelt, und zwar dadurch, daß der eigentlichen Inbetriebnahme eine zweitägige Ladung vorausgeht. Auf diese Weise stellt z. B. die Akkumulatorenfabrik Hagen ihre Akkumulatoren her.

Um einem Akkumulator größere Elektrizitätsmengen entnehmen zu können, verwendet

man Zellen mit mehreren positiven und negativen Platten. Man stellt die Platten gewöhnlich so in ein Gefäß aus Glas, Ebonit oder mit Pech ausgegossenem Holz, daß jede positive (+) Platte zwischen zwei negativen (—) Platten steht, also stets eine —-Platte mehr vorhanden ist als +-Platten. Fig. 396 zeigt schematisch von oben drei Akkumulatorenzellen mit je sieben Platten, von denen die drei positiven mit dicken, die vier negativen mit zarten Linien ausgezogen sind. Auf der einen Seite der Zellen werden die positiven, auf der anderen die negativen Platten durch angelötete Bleistreifen miteinander verbunden, sodann die +-Platten der einen an die —-Platten der anderen Zelle (in Hintereinanderschaltung) angeschlossen. Fig. 397 zeigt drei aus je sieben Platten bestehende Elemente der Akkumulatorenfabrik Hagen in Ansicht.

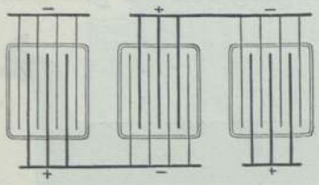


Fig. 396. Schaltschema von drei Akkumulatorzellen.

Die aus einem Bleiakkumulator erhältliche elektromotorische Kraft beträgt nach vollendeter Aufladung anfangs 2,1 Volt und sinkt allmählich auf 1,8 Volt. Entlädt man den Akkumulator noch weiter, so wird die Spannung rasch Null. Eine derartig weitgehende Entladung schädigt jedoch die Platten; man muß daher die Entladung abbrechen, wenn die Spannung auf 1,8 Volt gesunken ist.

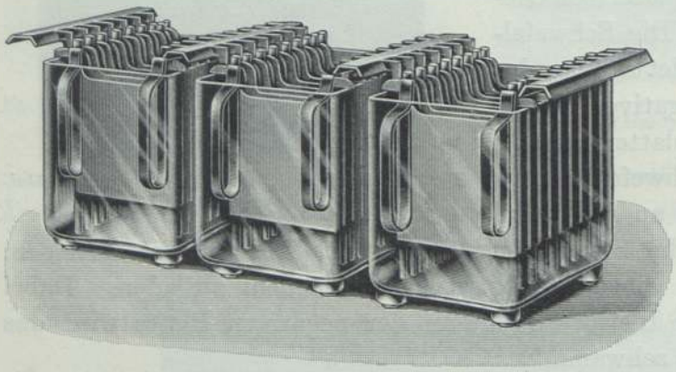


Fig. 397. Akkumulatorenzellen in Hintereinanderschaltung (Akkumulatorenfabrik A.-G.).

Die elektromotorische Gegenkraft des Bleiakkumulators beträgt bei Beginn der Ladung etwa 2,1 Volt; sie steigt während der Ladung allmählich bis auf 2,7 Volt. Hiermit ist das Ende der Ladung erreicht. Würde man dem Akkumulator weiter Energie zuführen, so würde nur noch eine Zersetzung der Flüssigkeit stattfinden. Man muß daher die Ladung unterbrechen, sobald ein lebhaftes Emporsteigen von Gasblasen (*Kochen* des Akkumulators) bemerkbar wird.

Ein Akkumulator kann nicht die volle ihm zugeführte Energiemenge zurückerstatten. Man muß auch hier mit einem Wirkungsgrade rechnen, der durch das Verhältnis der bei der Entladung gelieferten zu der bei der Ladung aufgenommenen Leistung (in Wattstunden) bestimmt ist. Er beträgt bei guten Akkumulatoren etwa 75 Proz. Die *Kapazität*, d. h. die Leistung einer Akkumulatorzelle in Amperestunden, richtet sich nach ihrer Größe. Die elektromotorische Kraft ist jedoch hiervon unabhängig; sie beträgt stets im Mittel 2 Volt. Will man höhere Spannungen erhalten, so muß man mehrere Elemente zu einer Batterie vereinigen. Für 110 Volt z. B. würde man 55 Zellen benötigen. Da jedoch bei der Entladung die Spannung jeder Zelle allmählich bis auf 1,8 Volt zurückgeht, so würden die 55 Zellen schließlich nur noch eine Spannung von $1{,}8 \times 55$, d. h. 99 Volt, besitzen. Man muß also weitere Zellen hinzuschalten, um wieder die gewünschte Spannung von 110 Volt zu erhalten. Aus diesem Grunde versieht man eine Akkumulatorenbatterie stets mit einer Reihe abschaltbarer Zellen, den *Schaltzellen*. Sie werden, wenn die Spannung der *Stammbatterie* allmählich abnimmt, nach und nach mittels sogenannter Zellenschalter zugeschaltet.

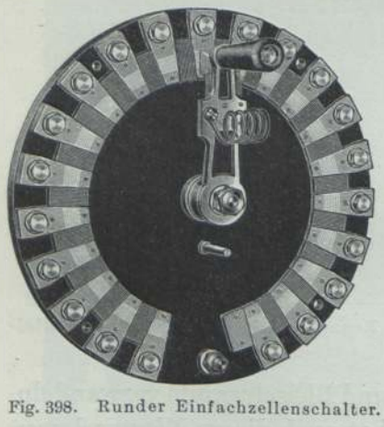


Fig. 398. Runder Einfachzellenschalter.

Ein derartiger *Zellenschalter* (Fig. 398) besteht aus einer Reihe kreisförmig auf einer Schieferplatte angeordneter Kontakte, auf denen ein Kontakthebel schleift. Die Kontakte sind mit den Schaltzellen durch die *Zellenschalterleitungen* verbunden. Die Wirkungsweise des Zellenschalters geht aus Fig. 399 hervor. Da die Bürste des Kontakthebels beim Vorschube gleichzeitig zwei

Kontakte berührt, so wird die zwischen ihnen liegende Zelle kurzgeschlossen; dadurch tritt eine Stromstärke von übernormaler Höhe auf, die der Zelle schadet und an den Kontaktteilen Brandstellen verursacht. Um die Stärke des Kurzschlußstromes in gewissen Grenzen zu halten, teilt man die Schleifbürste, wobei jede Hälfte etwas schmaler als die Hälfte der Kontaktteilung ausgeführt wird. Steht die eine Hälfte der Bürste symmetrisch zu einem Kontakt, so steht die andere symmetrisch zur Kontaktlücke. Zwischen beiden Bürsten ordnet man einen sogenannten *Zwischenwiderstand* an, der gewöhnlich aus einem gewellten oder spiralförmig gebogenen Rheotanstreifen besteht.

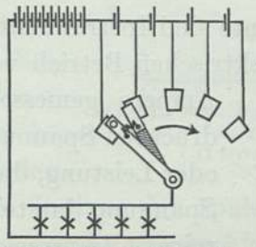


Fig. 399. Schaltschema eines Einfachzellenschalters mit Zwischenwiderstand.

Der in Fig. 398 dargestellte Zellenschalter läßt sich nur für Ladung oder Entladung verwenden. Will man eine Akkumulatorenbatterie laden und gleichzeitig zur Stromlieferung heranziehen, so benötigt man zwei solcher Zellenschalter, eine Anordnung, die in Fig. 400 schematisch wiedergegeben ist. Gewöhnlich werden beide Apparate zu einem *Doppelzellenschalter* vereinigt, der dann mit zwei Kontakthebeln ausgerüstet ist (Fig. 401).

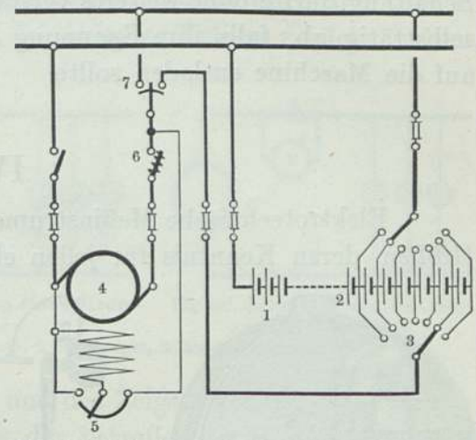


Fig. 400. Schaltschema einer Akkumulatorenanlage. (1 Stammbatterie, 2 Schaltzellen, 3 Doppelzellenschalter, 4 Nebenschlußdynamo, 5 Nebenschlußregler, 6 Rückstromschalter, 7 Umschalter.)

Statt der runden Zellenschalter werden insbesondere für hohe Stromstärken vielfach geradlinige Zellenschalter verwendet, deren Bedienung von Hand (Fig. 402) oder auch durch automatische Antriebsvorrichtung erfolgen kann.

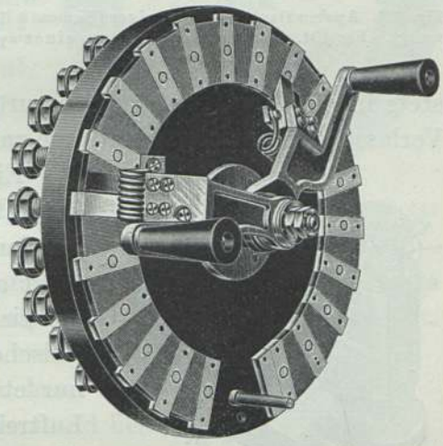


Fig. 401 Runder Doppelzellenschalter.

Wie bereits erörtert, erfordert eine Spannung von 110 Volt 60 Elemente. Um diese zu laden, ist also eine maximale Ladespannung von $60 \times 2{,}7 = 160$ Volt erforderlich. Diese Spannung läßt sich dadurch erreichen, daß man die Spannung der Dynamo durch Erhöhung der Drehzahl steigert. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, daß man die Dynamo von vornherein für die höchste Ladespannung bemißt und bei normalem Betriebe die Spannung durch einen besonderen Nebenschlußregler erniedrigt. Schließlich kann man auch die Dynamo mit der normalen Spannung betreiben und eine zweite sogenannte *Zusatzdynamo* aufstellen, die in Hintereinanderschaltung mit der Hauptdynamo die Steigerung der Spannung bis zur maximalen Ladespannung ermöglicht.

Die Vorteile des Gleichstrombetriebes in Verbindung mit Akkumulatoren machen sich besonders in kleineren Anlagen geltend, denn selbst bei Aufstellung nur einer einzigen Dynamo läßt sich eine verhältnismäßig große Betriebssicherheit erreichen: Bei plötzlichem Versagen der Maschinenanlage kann die Akkumulatorenbatterie den Lichtbetrieb für einige Zeit allein übernehmen. Ferner kann die Maschine zur Nachtzeit stillgesetzt werden, wobei die Batterie allein, ohne daß sie besonderer Wartung bedürfte, den Strom liefert. Endlich läßt sich zu Zeiten gesteigerten Verbrauchs durch

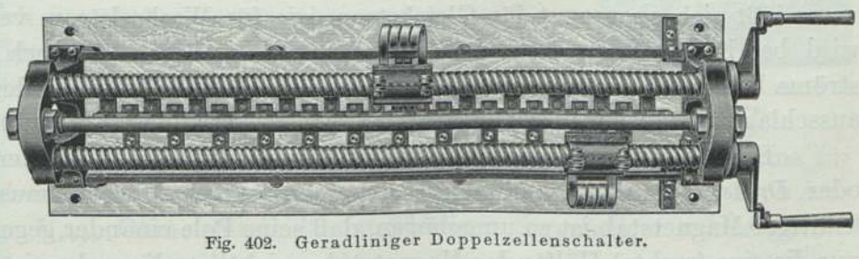


Fig. 402. Geradliniger Doppelzellenschalter.

Parallelschalten von Batterie und Dynamo eine über das normale Maß der Dynamo wesentlich hinausgehende Energieabgabe erreichen. Eine Anordnung, wie sie bei Verwendung von Dynamo und Akkumulatorenbatterie besonders in kleineren Anlagen üblich ist, zeigt Fig. 400. Die Schaltung dürfte ohne weiteres verständlich sein. Der *Rückstromschalter* 6 schaltet die Dynamo 4 selbsttätig ab, falls ihre Spannung etwa unter die der Batterie sinken, also die Batterie sich auf die Maschine entladen sollte.

IV. Meßinstrumente.

Elektrotechnische Meßinstrumente sind Instrumente zur Bestimmung gewisser elektrischer Größen, deren Kenntnis für jeden elektrischen Betrieb von höchstem Wert ist, nämlich der in Ampere gemessenen Stromstärke, der in Volt ausgedrückten Spannung und der in Watt gemessenen Arbeit oder Leistung, die sich als Produkt aus Stromstärke und Spannung darstellt. Man unterscheidet demnach Stromzeiger *(Amperemeter)*, Spannungszeiger *(Voltmeter)* und Leistungszeiger *(Wattmeter)*. Hierzu kommen noch die *Zähler*, die den elektrischen Energieverbrauch messen.

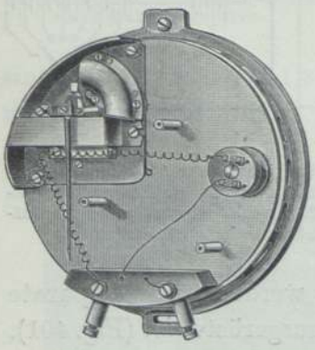


Fig. 403.

Fig. 404.

Fig. 403. Aperiodischer Stromzeiger (Siemens & Halske), zerlegt. Fig. 404. Bewegliches System eines aperiodischen Stromzeigers.

1. Strom-, Spannungs- und Leistungszeiger.

Die einfachsten *Stromzeiger* bilden Instrumente, bei denen das im Innern einer stromdurchflossenen Spule vorhandene magnetische Feld einen Kern aus weichem Eisen beeinflußt. Durch eine Vorrichtung, die den Eisenkörper stets in die Gleichgewichtslage zurückzuführen sucht, beispielsweise durch ein Gewicht, das beim Verlassen der Gleichgewichtslage zu heben ist, erhält man ein zur Strommessung geeignetes System.

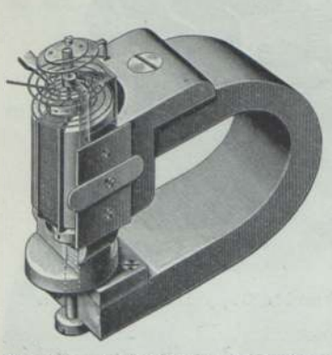


Fig. 405. Präzisionsstromzeiger, zerlegt (Siemens & Halske).

Einen nach diesem Prinzip von Siemens & Halske A.-G., Berlin, hergestellten Stromzeiger zeigt Fig. 403. Ein mit einem Zeiger verbundener und in Saphiren drehbar gelagerter Weicheisenkern (Fig. 404) trägt an einem hakenförmig gebogenen Drahte eine kleine Scheibe, die sich in einem gekrümmten Rohr bewegt. Der Zwischenraum zwischen dem Scheibenrand und der inneren Rohrwandung beträgt nur etwa 0,5 mm, so daß die Scheibe bei ihrer Bewegung durch die Luftreibung eine starke Dämpfung erfährt. Wird die Spule vom Strom durchflossen, so dreht sich das exzentrisch zur Achse befestigte Eisenplättchen so weit, bis sein Gewicht der elektromagnetischen Kraft das Gleichgewicht hält, und der Zeiger gibt auf einer geeichten Skala die entsprechende Stromstärke an. Gegen äußere Beeinflussungen durch Starkströme ist das ganze System mit Eisenblech umgeben. Ein derartiges Instrument läßt sich ebensogut für Gleichstrom wie für Wechselstrom verwenden, denn der Eisenkern wird bei beiden Stromarten in die Spule hineingezogen. Jedoch muß die Skala für Wechselströme besonders geeicht sein, wobei zu beachten ist, daß verschiedene Periodenzahlen den Zeigerausschlag verschieden beeinflussen.

Die Ablenkung einer Spule durch einen Magneten nach dem Prinzip Deprez d'Arsonval oder *Drehspulensystem* benutzen Instrumente, deren Mechanismus Fig. 405 zeigt: Ein flacher kräftiger Magnetstab ist so umgebogen, daß seine Pole einander gegenüberstehen. In der Figur ist nur die eine (rechte) Hälfte des Magnetstabes sichtbar, die andere ist der größeren Anschaulichkeit halber fortgelassen. Die beiden Pole des Magnets besitzen massive Polschuhe (nur der rechte ist sichtbar) mit halbzylindrischem Ausschnitt. Zwischen den Polschuhen bleibt ein zylindrischer Raum frei für einen eisernen Hohlzylinder, der rings von den Wandungen der Polschuhe einen 2 mm

breiten Abstand hat. In dem hierdurch geschaffenen Zwischenraum dreht sich die bewegliche Spule. Sie besteht aus zahlreichen Windungen dünnen Kupferdrahtes, die von einem in Edelsteinen gelagerten Aluminiumrahmen gestützt werden. Die Wickelungsenden sind an zwei Spiralfedern befestigt, die der Stromzuführung dienen und gleichzeitig die Gegenkraft für die magnetischen Wirkungen des Kraftlinienfeldes bilden, indem sie Spule und Zeiger in der Nullage zurückzuhalten suchen. Die Wirkungsweise des Instrumentes ist folgende: Die im Felde des permanenten Magnets drehbar gelagerte Spule hat bei Stromdurchgang das Bestreben, sich so einzustellen, daß ihre Kraftlinien mit denen des Magnetfeldes parallel und in gleicher Richtung verlaufen. Die Spule wird also eine zu den Kraftlinien des Magnetfeldes senkrechte Lage einzunehmen suchen. Die Spiralfedern wirken dieser Bewegung entgegen. Die Stellung der Spule und des Zeigers kennzeichnet mithin die jeweilige Gleichgewichtslage, wobei der Zeigerausschlag der betreffenden Stromstärke proportional ist. Dieses System hat den Vorzug, daß Spule und Zeiger sich fast aperiodisch (d. h. ohne Hin- und Herschwingen) einstellen und die Skalenteilung über die ganze Skala hinweg gleichmäßig ist. Nach ihm bauen fast alle größeren Fabriken sogenannte *Präzisionsinstrumente*. Durch die Spule darf nur ein sehr schwacher Strom hindurchfließen (höchstens 0,15 Ampere). Die Instrumente können daher niemals direkt in den Stromkreis eingeschaltet, sondern müssen an einen Parallelwiderstand, auch *Shunt* genannt, von geringer Ohmzahl gelegt werden.

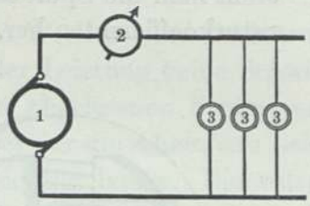


Fig. 406. Schaltung eines Stromzeigers.

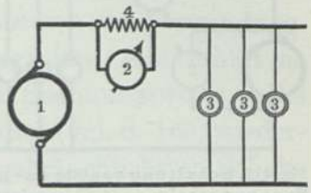


Fig. 407. Schaltung eines Stromzeigers mit Shunt.
(1 Dynamo, 2 Stromzeiger, 3 Bogenlampen, 4 Shunt.)

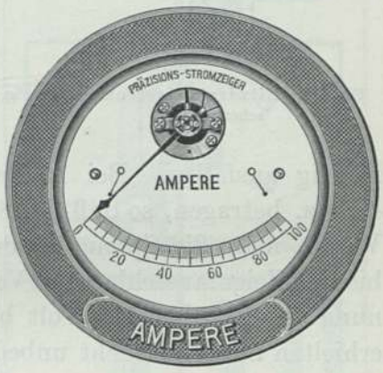


Fig. 408. Präzisionsstromzeiger für 100 Ampere (Siemens & Halske).

Stromzeiger werden mit der Maschine oder den Stromverbrauchern, deren Strom gemessen werden soll, in Reihe geschaltet. Da indessen durch diese Anordnung (Fig. 406) infolge der hohen Ströme häufig sehr starke Zuleitungen zu den Meßinstrumenten erforderlich wären, so werden die meisten Stromzeiger, besonders die für große Stromstärken, in den Nebenschluß zu einem Widerstand (Shunt) von bestimmter Größe gelegt. Die Schaltung ist aus dem in Fig. 407 dargestellten Beispiel ersichtlich: Drei Bogenlampen sollen einen Strom von 15 Ampere verbrauchen. Der Stromzeiger selbst habe einen Widerstand von 1 Ohm, der Widerstand des Shunts betrage $^1/_{99}$ Ohm. Dann fließt nach dem Gesetz von der Stromverzweigung durch den Shunt ein Strom von 14,85 Ampere, während der im Nebenschluß liegende eigentliche Stromzeiger nur $^1/_{99}$ dieses Betrages, d. i. 0,15 Ampere, führt, einen Strom, den z. B. das oben beschriebene Präzisionsinstrument gerade noch vertragen würde. Die Instrumentenskala würde in diesem Falle natürlich für 15 Ampere geeicht werden.

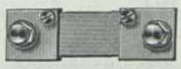


Fig. 409. Shunt des Präzisionsstromzeigers Fig. 408.

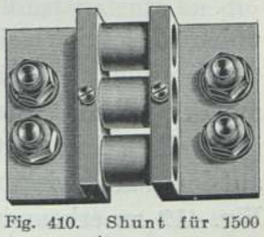


Fig. 410. Shunt für 1500 Ampere.

Je kleiner man den Widerstand des Shunts macht, desto größere Ströme kann man mit dem Instrumente messen. Die Präzisionsinstrumente von Siemens & Halske erhalten normal für Ströme bis 50 Ampere eingebaute, darüber hinaus getrennte Shunts. Fig. 408 zeigt einen Stromzeiger genannter Firma für 100 Ampere; Fig. 409 veranschaulicht den zugehörigen Shunt, Fig. 410 einen Shunt für 1500 Ampere. Sein Widerstand beträgt $^1/_{9999}$ Ohm; durch den zugehörigen Stromzeiger würde mithin maximal wiederum ein Strom von nur 0,15 Ampere gehen.

Die besprochenen Stromzeiger lassen sich auch als *Spannungszeiger* verwenden, nur ist die Skala dann in Volt zu eichen. Da der für die Spannungsmessung benutzte Strom, wie aus Schaltschema Fig. 411 hervorgeht, für den Nutzstrom verloren ist, so muß der Meßstrom so klein wie

möglich gehalten werden. Spannungszeiger erhalten daher einen Widerstand aus vielen Windungen dünnen Drahtes, Stromzeiger dagegen nur wenige Windungen dicken Drahtes. Während die Angaben der Stromzeiger durch Temperaturänderungen nicht merkbar beeinflußt werden, müssen bei Spannungszeigern Vorkehrungen getroffen werden, um das System gegen Wärmeschwankungen praktisch unempfindlich zu machen. Zu diesem Zwecke stellt man die Spule aus einem Metall mit möglichst kleinem Temperaturkoeffizienten her. Unter dem Temperaturkoeffizienten versteht man die Widerstandszunahme (in Prozent), die 1 Ohm pro 1 Grad Temperaturerhöhung erfährt. Der Temperaturkoeffizient des Kupfers beträgt nun 0,4, d. h. der Widerstand wächst pro Grad Temperaturerhöhung um 0,4 Proz. Bei 2,5° Temperaturerhöhung ändert sich der Widerstand einer Kupferspule demnach schon um 2,5 . 0,4, d. h. 1 Proz. Die Angaben eines damit ausgerüsteten Spannungszeigers würden also 1 Proz. zu niedrig ausfallen. Bei 10 Proz. Temperaturerhöhung würde der Fehler im Ausschlag schon 4 Proz. betragen, so daß der Spannungszeiger z. B. statt 110 Volt nur 105,6 Volt angeben würde. Würde man die Spannung der Maschine jetzt so weit hinaufregulieren, bis der Zeigerausschlag 110 Volt beträgt, so würde die tatsächliche Spannung bereits über 115 Volt betragen; etwa angeschlossene Glühlampen erhielten also eine nicht unbedenkliche Überspannung. Daher stellt man nur einen kleinen Teil des Widerstandes, nämlich die das System betätigende Spule, aus Kupferdraht her, den größeren Teil jedoch aus Manganindraht, den man in Form eines Vorschaltwiderstandes anordnet. Durch die Verwendung von *Manganin*, einer Legierung aus Kupfer, Nickel und Mangan mit sehr kleinem Temperaturkoeffizienten, erreicht der Temperaturkoeffizient des Gesamtwiderstandes einen Wert, der praktisch unberücksichtigt bleiben kann. Das vorstehend über den Spannungszeiger Gesagte gilt auch für Stromzeiger mit Shunt, da beide Meßinstrumente auf demselben Prinzip beruhen.

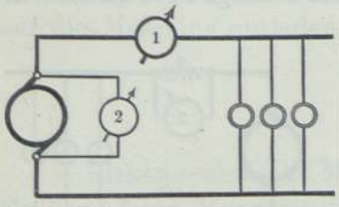


Fig. 411. Schaltung von Strom- und Spannungszeiger. (1 Stromzeiger, 2 Spannungszeiger.)

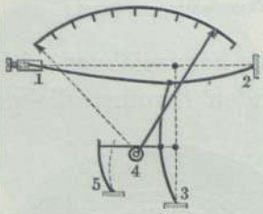


Fig. 412. Hitzdraht-Instrument, schematisch.

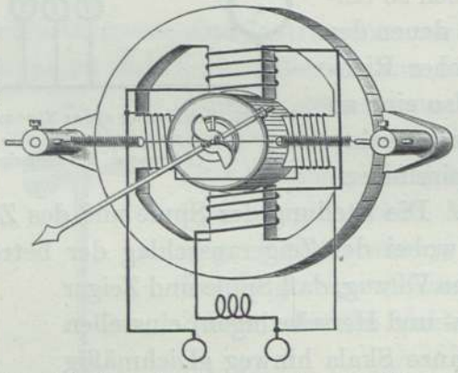


Fig. 413. Ferraris-Instrument, zerlegt (Siemens & Halske).

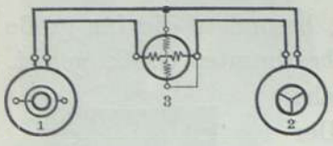


Fig. 414. Schaltung eines Leistungszeigers für Wechselstrom. (1 Generator, 2 Motor, 3 Leistungszeiger.)

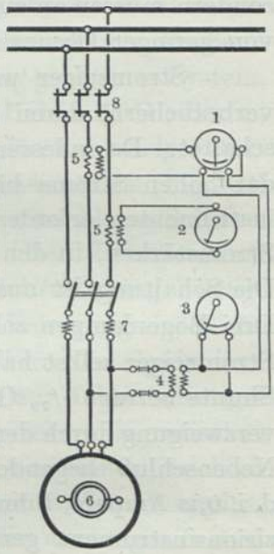


Fig. 415. Schaltung von Meßinstrumenten in Verbindung mit Meßtransformatoren. (1 Leistungszeiger, 2 Stromzeiger, 3 Spannungszeiger, 4 Spannungstransformator, 5 Stromtransformatoren, 6 Drehstromgenerator, 7 Maximalausschalter [statt Sicherungen], 8 Trennschalter.)

Eine dritte Art von Instrumenten, die *Hitzdrahtinstrumente*, beruhen auf der Wärmewirkung des elektrischen Stromes. Ihre Einrichtung ist aus Fig. 412 zu erkennen: Ein aus einer Platin-Silberlegierung bestehender, 0,06 mm starker Draht ist an seinen beiden Enden 1 und 2 fest eingeklemmt. Etwa in seiner Mitte ist ein nichtstromführender Messingdraht von 0,05 mm Durchmesser befestigt, dessen anderes Ende bei 3 festgeklemmt ist. Von der Mitte des zweiten Drahtes führt ein Kokonfaden, der um eine kleine Rolle 4 geschlungen ist, zur Feder 5, welche die Drähte stets gespannt hält. Die gestrichelten Linien in Fig. 412 zeigen den stromlosen Zustand. Wird der Platindraht von einem Strom durchflossen, so dehnt er sich infolge der Erwärmung aus (ausgezogene Linien der Fig. 412); der von der Feder ausgeübte Zug bewirkt eine Ausbuchtung beider Drähte. Dabei wird Rolle 4, auf

deren Achse ein Zeiger befestigt ist, gedreht. Hat man die Zeigerstellung für verschiedene Stromstärken ermittelt und die Skala entsprechend geeicht, so kann man das Instrument zu Messungen benutzen. Um dasselbe von der Temperatur der umgebenden Luft unabhängig zu machen, ist die Platte, worauf der Hitzdraht ausgespannt ist, nach dem Prinzip der Kompensationspendel aus zwei Metallen (Messing und Eisen) zusammengesetzt, so daß der Ausdehnungskoeffizient der Platte dem des Hitzdrahtes gleich ist.

Leistungszeiger gelangen hauptsächlich in Wechsel- und Drehstromnetzen zur Verwendung. In Gleichstromnetzen macht das Bestimmen der Leistung keine Schwierigkeiten; man erhält sie durch Multiplikation der an Meßinstrumenten abgelesenen Strom- und Spannungswerte. Bei Wechselstrom würde eine derartige Messung aber nur die scheinbare Leistung (vgl. S. 169) wiedergeben, den Leistungsfaktor hingegen unberücksichtigt lassen. Eines der gebräuchlichsten Schalttafelinstrumente für Leistungsmessungen in Wechsel- und Drehstromnetzen ist das von Siemens & Halske hergestellte *Ferraris-Instrument:* Strom und Spannung wirken auf ein feststehendes System von zwei Spulen, deren Achsen senkrecht aufeinander stehen (Fig. 413). In den Stromkreis der Spannungsspule ist eine Selbstinduktion eingeschaltet, die den Strom der Spannungsspule gegen die an den Spannungsklemmen des Instrumentes wirkende Spannung um 90° verzögert. Infolgedessen entsteht, ähnlich wie gelegentlich des Einphaseninduktionsmotors besprochen ist, ein Drehfeld. Dieses lenkt eine innerhalb der Spulen angeordnete, mit Zeiger versehene Aluminiumtrommel so weit aus ihrer Nullage ab, bis die Zugkraft einer der Ablenkung entgegenwirkenden Spiralfeder der vom Drehfeld ausgeübten gleichkommt. Fig. 414 zeigt das Schaltschema eines Leistungszeigers für Wechselstrom.

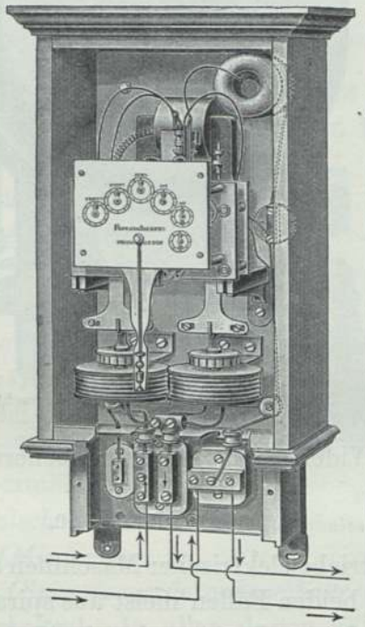


Fig. 416. Uhrzähler von Aron.

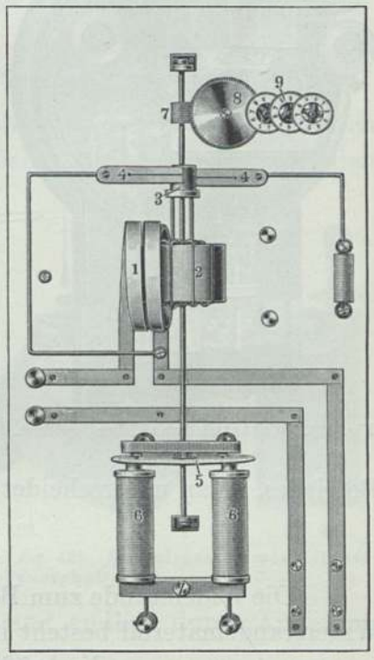


Fig. 417. Prinzip des Motorzählers (A.E.G.).

Sollen hochgespannte Ströme aus Meßinstrumenten ferngehalten oder die Führung von starken Kupferschienen zu den Instrumenten vermieden werden, so legt man die Meßinstrumente an die Sekundärseite kleiner Meßtransformatoren (vgl. S. 180), wobei die Schaltung der Fig. 415 entspricht.

2. Zähler.

Die Zähler haben das Produkt aus Spannung und Stromstärke zu ermitteln. Behält die erstere, wie in Beleuchtungsanlagen, stets den gleichen Wert, so genügt es, die Strommenge zu zählen, die in einer gewissen Zeit an die Verbrauchsstelle geliefert wurde; durch Multiplikation mit der bekannten Netzspannung erhält man dann die gelieferte Leistung in Watt. Derartige Zähler nennt man *Amperestundenzähler.*

Der Uhrzähler von Aron (Fig. 416) besteht aus zwei Pendeln gleicher Schwingungsdauer, von denen jedes, wie bei Pendeluhren, ein Uhrwerk betreibt. Während das eine Pendel in normaler Weise schwingt, wird der Gang des anderen von einer stromdurchflossenen Spule beeinflußt. Um nach Verlauf einer bestimmten Zeit den Stromverbrauch zu bestimmen, braucht man nur festzustellen, wieviel die beeinflußte Uhr in bezug auf die normale nachgeht. Diese Differenz wird selbsttätig von einem Differentialgetriebe auf ein Zählwerk übertragen.

Eine zweite Art von Elektrizitätszählern bilden die *Motorzähler;* sie sind wegen ihrer Einfachheit allen anderen Konstruktionen überlegen. Der Aufbau eines solchen, von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft hergestellten Zählers ist aus Fig. 417 ersichtlich. In dem Wirkungsbereich einer festen, vom Verbrauchsstrom durchflossenen Spule 1 rotiert ein Spulensystem 2, das mit einem mehrteiligen Kommutator 3 verbunden ist. Auf diesem schleifen Bürsten 4, die den Spulen einen der jeweiligen Spannung entsprechenden Strom zuführen. Auf der Achse des Systems ist eine Aluminiumscheibe 5 angeordnet, die zwischen den Polen eines Magnets 6 hindurchläuft und auf diese Weise dämpfend auf die Bewegung wirkt. Die Umdrehungen werden mittels Schnecke 7 und Schneckenrad 8 auf ein Zählrad 9 übertragen. Die Ausführung des Zählers zeigen Fig. 418 und 419. Ein derartiger Zähler arbeitet also in Abhängigkeit von Strom und Spannung und kann demnach die verbrauchten Watt direkt angeben *(Wattstundenzähler).*

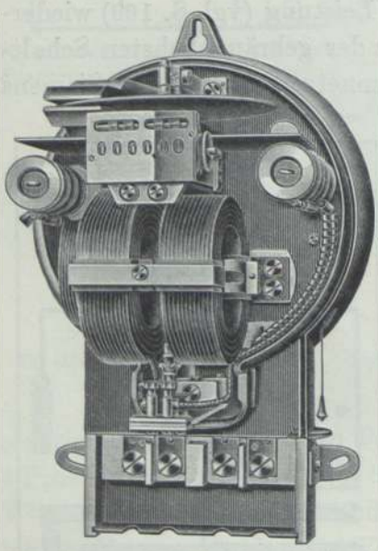


Fig. 418. Wattstundenzähler, geöffnet.

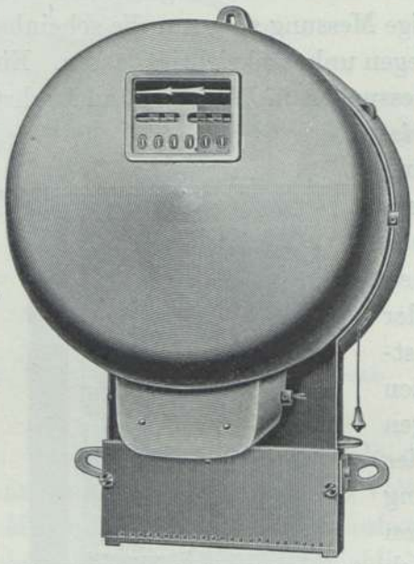


Fig. 419. Wattstundenzähler, geschlossen.

V. Apparate.

1. Hilfsapparate.

Hilfsapparate sind Vorrichtungen zur Durchführung eines technisch einwandfreien Betriebes. Man unterscheidet Widerstände, Schalter, Sicherungen und Blitzschutzvorrichtungen.

a) Widerstände.

Die Widerstände zum Betriebe elektrischer Maschinen zerfallen in *Regler* und *Anlasser.* Das Widerstandsmaterial besteht in beiden Fällen meist aus spiralförmig angeordneten Metalldrähten, die bei kleineren Stromstärken häufig auf Porzellanrollen aufgewickelt sind.

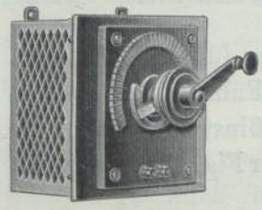


Fig. 420. Erregerstrom-Regler.

α) **Regler.** Regler sind Widerstände, die durch Vorschaltung vor die Magnetwickelung von Maschinen eine Veränderung des magnetischen Feldes und damit der Maschinenspannung (falls Dynamo) bzw. der Drehzahl (falls Motor) gestatten. Gewöhnlich schleift ein drehbarer Kontakthebel über einer Bahn aus mehreren Kontakten, die mit den einzelnen Widerstandsstufen leitend verbunden sind (vgl. Fig. 328). „Nebenschlußregler" benötigen einen *Kurzschlußkontakt,* der im Falle eines plötzlichen Abschaltens der Erregung dem in der Erregerwickelung auftretenden Induktionsstrom einen unschädlichen Verlauf ermöglicht. Derartige Regler finden auch bei Wechselstromgeneratoren Verwendung zur Regulierung des von der Erregermaschine erzeugten Erregerstromes (Fig. 420). Häufig werden die Nebenschlußregler automatisch bedient, wobei ein kleiner Hilfsmotor den Kontakthebel mittels Schneckenradübersetzung betätigt. Die Steuerung dieses Motors erfolgt durch sogenannte *Relais,* das sind kleine, von der geringsten Spannungsschwankung beeinflußte Magnete.

β) **Anlasser.** Um Motoren bei der Inbetriebnahme vor zu starken, durch das Anlaufen hervorgerufenen Stromstößen zu schützen, benutzt man Anlasser, die ein stufenweises Einschalten des Ankerstromkreises gestatten. Ihre Schaltung ist aus Fig. 370 ersichtlich. Der innere Aufbau der Anlasser gleicht dem der Regler, doch werden vielfach, besonders wo auf gute Instandhaltung des Anlassers nicht zu rechnen ist, *Flüssigkeitsanlasser* verwendet (Fig. 421). Es sind dies Widerstände,

bei denen sichelförmige Eisenplatten in mit Sodalösung gefüllte Gefäße tauchen. Fig. 422 zeigt einen *Ölanlasser*, dessen Widerstandsmaterial zwecks besserer Abkühlung in einem mit Öl gefüllten Gefäß untergebracht ist. — Auch die Anlasser lassen sich automatisch betätigen *(Selbstanlasser)*.

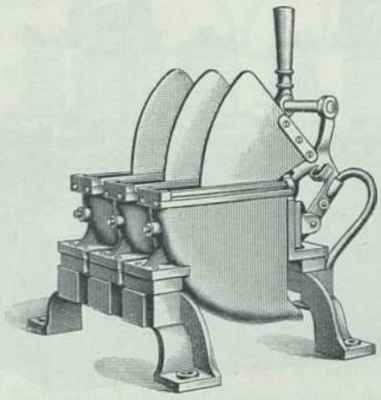


Fig. 421. Flüssigkeitsanlasser, geöffnet.

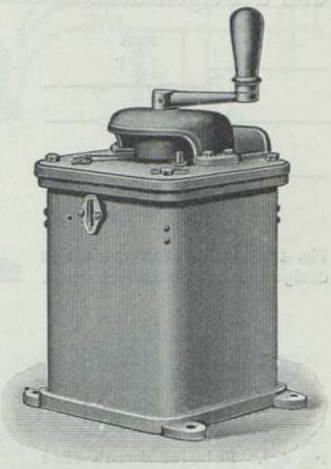


Fig. 422. Ölanlasser.

b) Schalter.

Schalter dienen zum Öffnen und Schließen von Stromkreisen. Je nachdem die Betätigung von Hand oder automatisch erfolgt, unterscheidet man Handschalter und automatische Schalter. Sie werden *einpolig* oder auch *mehrpolig* ausgeführt.

α) **Handschalter.** Fig. 423 zeigt einen *Drehschalter* für Hausinstallationen. Sein Prinzip besteht darin, daß eine kleine Metallwalze zwischen federnden Kontakten gedreht wird. Die Leitungen werden durch die vorn sichtbaren Löcher eingeführt und mit den betreffenden Kontakten verschraubt. Der einpolige *Momenthebelausschalter* Fig. 424 ist so eingerichtet, daß ein plötzliches Abreißen des Unterbrechungsfunkens stattfindet; Fig. 425 ist ein *doppelpoliger Umschalter*. Für größere Spannungen verwendet man *Ölschalter*, bei denen alle stromführenden Teile unter Öl liegen.

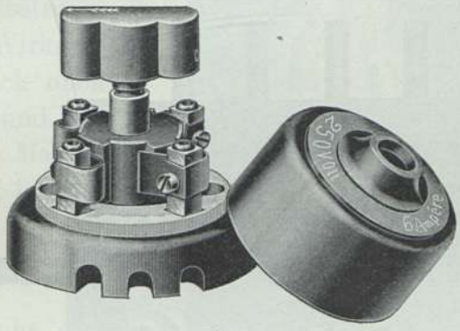


Fig. 423.

Fig. 424.

Fig. 423. Drehschalter. Fig. 424. Einpoliger Moment-Hebelausschalter.

β) **Automatische Schalter.** Bei diesen erfolgt das Ausschalten selbsttätig. Es kann hervorgerufen werden durch ein übermäßiges Anwachsen der Spannung *(Maximalschalter)*, durch Ausbleiben der Spannung *(Minimalschalter)*, durch Spannungsrückgang *(Spannungsrückgangsschalter)* und endlich durch Änderung der Spannungsrichtung *(Rückstromschalter)*. In allen diesen Fällen beruht die Wirkung auf der Betätigung eines Magnets, der den Schalter durch eine geeignete mechanische Vorrichtung auslöst. Fig. 426 zeigt einen zweipoligen Maximalausschalter der Siemens-Schuckert-Werke. Auch die Ölschalter können automatisch bedient werden. Fig. 427 bringt das Schaltschema eines dreipoligen Maximalölschalters. Übersteigt in einer Phase der Strom die zulässige Grenze, so wird der Auslöser 1 angezogen; die Sperrklinke 2 löst aus, und der Schalter 3 wird durch die Kraft der Feder 4 betätigt. Fig. 428 gibt den Schalter in Ansicht wieder.

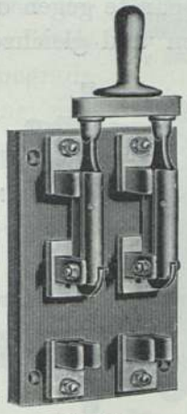


Fig. 425.

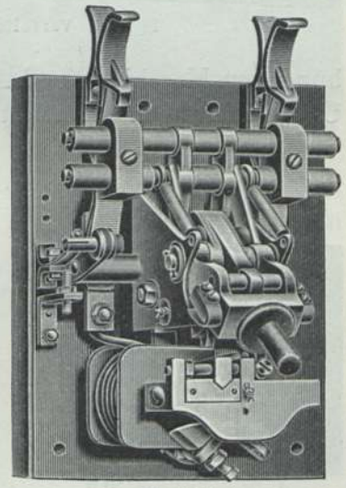


Fig. 426.

Fig. 425. Doppelpoliger Moment-Hebelumschalter.
Fig. 426. Zweipoliger Maximalausschalter.

c) Sicherungen.

Sicherungen sind Vorrichtungen zum Schutze elektrischer Leitungen gegen Überlastung. Sie bestehen aus einem leicht schmelzbaren Metall und werden in die Leitung eingebaut, um, sobald der Strom eine unzulässige Höhe erreicht, infolge der dadurch bedingten Wärmeentwickelung abzuschmelzen und so den Strom selbsttätig zu

unterbrechen. Die Hauptbestandteile der Sicherungen bilden der *Sockel* mit den Leitungsanschlüssen und der eigentliche *Schmelzeinsatz*. Bei den für Hausinstallationen viel verwendeten *Stöpselsicherungen* ist der Schmelzeinsatz weiter unterteilt in *Stöpsel* und *Stöpselkopf* (Fig. 429). Diese Zweiteiligkeit bietet den Vorteil, daß beim Durchschmelzen nur die Patrone, die den Schmelzdraht in Isoliermaterial eingebettet enthält, ersetzt zu werden braucht. Durch verschiedene Durchmesserabstufungen der Fußkontakte, entsprechend den Stromstärken, und verschiedene Längenabstufungen, entsprechend den Spannungen, erhält man unverwechselbare Stöpselsicherungen, die jetzt ausschließlich verwendet werden. Die Stöpsel besitzen vielfach farbige Kennvorrichtungen, die beim Durchschmelzen der Sicherung abspringen. Meist werden die Sicherungen mehrerer Stromkreise auf einer *Verteilungstafel* (Fig. 430) zusammengestellt.

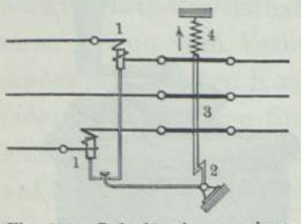


Fig. 427. Schaltschema eines dreipoligen Maximalölschalters.

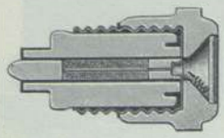


Fig. 429. Schnitt durch eine durchgebrannte Patrone mit Stöpselkopf.

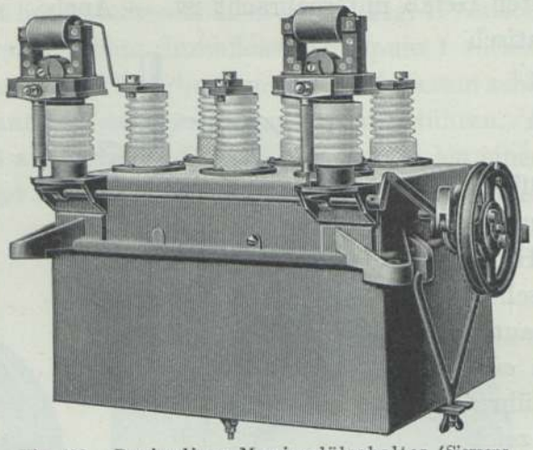


Fig. 428. Dreipoliger Maximalölschalter (Siemens-Schuckert-Werke).

Bei *Schalttafelsicherungen* (Fig. 431) ist ein Blei-, Zinn- oder Silberstreifen über einer feuerfesten Unterlage ausgespannt. Für Hochspannungen werden die Schmelzeinsätze meist in Porzellanröhren eingeschlossen und in Kontaktstücke eingeschoben, die an Hochspannungsisolatoren befestigt sind (Fig. 432).

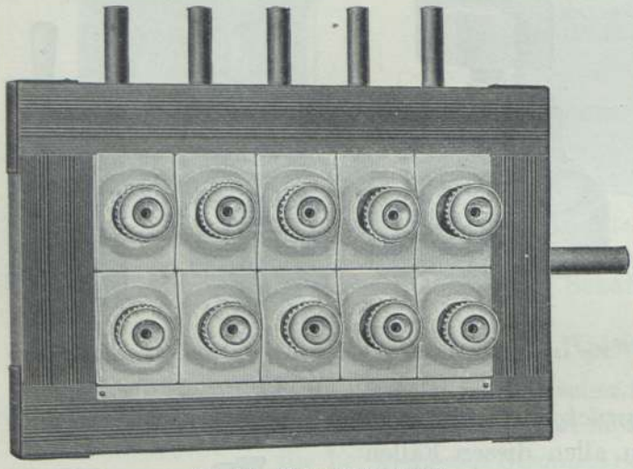


Fig. 430. Verteilungstafel.

d) Blitzschutzvorrichtungen.

Blitzschutzvorrichtungen haben elektrische Leitungen, um die mit ihnen verbundenen Maschinen und Apparate gegen die Wirkung von Blitzschlägen und sonst auftretenden Überspannungen zu schützen und gleichzeitig einen etwa durch den Blitzschlag eingeleiteten, über die sogenannte *Funkenstrecke* gehenden Maschinenstrom zum Verschwinden zu bringen. Die Funkenstrecke ist eine wenige Millimeter betragende Luftstrecke, wie sie z. B. beim *Hörnerblitzableiter* (Fig. 433) durch die Entfernung der beiden hörnerartig gebogenen Drahtstücke gegeben ist. Der Blitz ist eine sich etwa in dem tausendsten Teil einer Sekunde vollziehende Entladung von schwingendem Charakter. Bei sehr raschen elektrischen Schwingungen erschwert die Selbstinduktion den Stromdurchgang bedeutend. Eine Funkenstrecke wird daher der atmosphärischen Entladung trotz des überaus großen Luftwiderstandes einen besseren Weg bieten als einige Meter spiralförmig aufgerollten Kupferdrahtes mit hoher Selbstinduktion. Diese Tatsache benutzt man, indem man Funkenstrecke

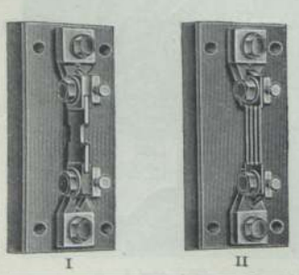


Fig. 431. Schalttafelsicherung. (I mit Zinn-Schmelzstreifen, II mit Silberdraht-Schmelzstreifen.)

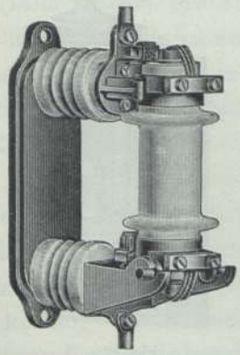


Fig. 432. Hochspannungs-Röhrensicherung (Siemens-Schuckert-Werke).

und Selbstinduktion ähnlich wie in Fig. 434 gruppiert; es handelt sich dabei um eine Drehstromanlage. Der Strom wird vom Generator 1 erzeugt und von der Fernleitung 2 fortgeleitet. Vor Austritt aus der Zentrale hat der Strom jedoch in jeder Phase eine *Drosselspule* 3 zu passieren, eine Spule von großer Selbstinduktion bei sehr kleinem Ohmschen Widerstande, letzteres, um dem dauernd durchfließenden Nutzstrom einen möglichst geringen Widerstand zu bieten. Endlich enthält die Anlage drei Hörnerblitzableiter 4, die durch eine gemeinsame Erdplatte 5 geerdet sind. Schlägt der Blitz in die Fernleitung ein, so findet er infolge der in den Drosselspulen auftretenden Selbstinduktion keine Zeit, bis zur Maschine zu gelangen und dort Unheil zu stiften; er überspringt vielmehr den geringen Luftzwischenraum der Hörnerblitzableiter und geht zur Erde, wobei er den Maschinenstrom mitzureißen sucht. Es bildet sich infolgedessen zwischen der Funkenstrecke ein Lichtbogen, der, durch die elektrodynamische Wirkung des Stromes und den aufsteigenden Luftstrom nach oben getrieben, die Hörner entlang wandert (Fig. 435) und schließlich (nach etwa 1 Sekunde) abreißt, da die Maschinenspannung den immer größer werdenden Abstand nicht mehr überwinden kann.

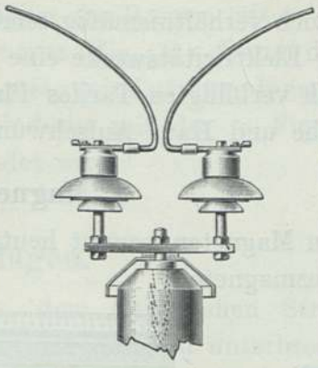


Fig. 433. Hörnerblitzableiter.

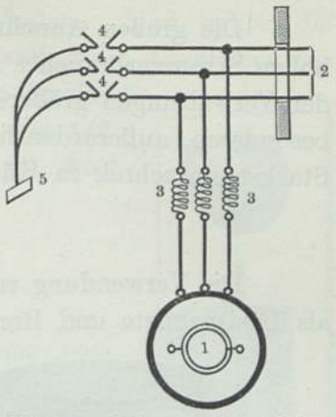


Fig. 434. Schema einer Blitzschutzanlage.

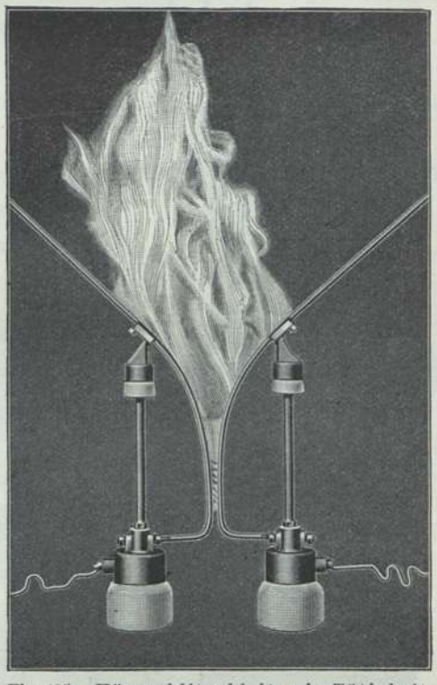


Fig. 435. Hörnerblitzableiter in Tätigkeit.

2. Koch- und Heizapparate.

Das elektrische Kochen und Heizen beruht auf der Anwendung Joulescher Wärme. Die *Heizkörper* bestehen gewöhnlich aus Metalldrähten oder -bändern, die auf verschiedene Art mit Isoliermaterial vereinigt sein können. Die Apparate nach dem *Prometheus-System* besitzen Heizkörper aus Glimmerstreifen, die mit einer feinen Edelmetallschicht überzogen sind. Bei den regulierbaren Apparaten sind die Heizkörper in mehrere Gruppen unterteilt, so daß man mittels von außen bedienbarer Kontakte verschiedene Wärmegrade erreichen kann. Beliebt ist die dreistufige Regulierung, deren Anordnung Fig. 436 schematisch wiedergibt. Die in der Figur punktiert angedeutete Leitung ist an den einen Pol, die beiden ausgezogenen Leitungen sind an den zweiten Pol anzuschließen. Bei Schaltung I sind beide Heizkörpergruppen parallel geschaltet: es entwickelt sich die stärkste Hitze. Bei Schaltung IIa und IIb ist nur eine Gruppe eingeschaltet; Resultat: mäßige Hitze. Schaltung III ergibt, da beide Gruppen hintereinander geschaltet sind, die geringste Wärmewirkung und dient besonders zum Warmhalten von Speisen. Einen elektrischen Kochtopf zeigt Fig. 437.

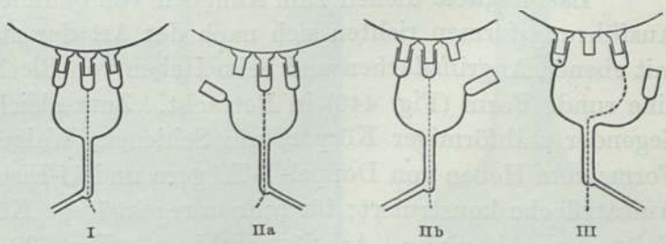


Fig. 436. Schaltung elektrischer Kochapparate.

Fig. 438 veranschaulicht einen *elektrischen Zimmerofen.* Derartige Öfen sind Widerstandsöfen und enthalten Heizelemente verschiedener Form (Fig. 439).

Die großen Annehmlichkeiten des elektrischen Kochens und Heizens werden infolge des hohen Stromverbrauches noch verhältnismäßig teuer erkauft. Jedoch macht sich neuerdings in den Verwaltungen größerer Elektrizitätswerke eine Richtung bemerkbar, durch Schaffung eines besonderen, außerordentlich verbilligten Tarifes für Koch- und Heizzwecke diesem Zweige der Starkstromtechnik in Küche und Haus Aufschwung zu verschaffen.

3. Magnete.

Die Verwendung von Magneten kommt heutzutage immer mehr in Aufnahme, besonders als Lastmagnete und Bremsmagnete.

Fig. 437. Elektrischer Kochtopf, System Prometheus.

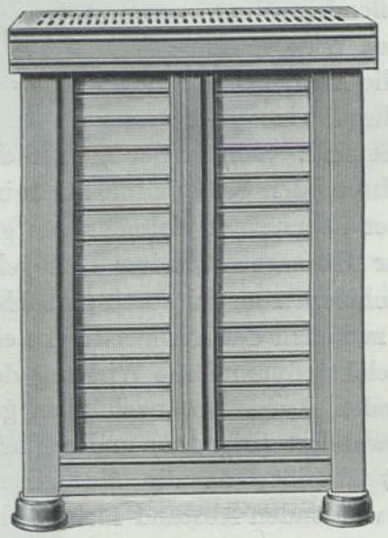


Fig. 438. Elektrischer Zimmerofen, System Prometheus.

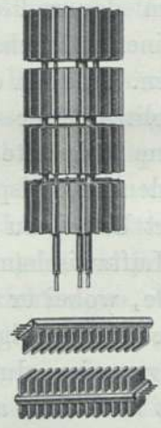


Fig. 439. Heizelemente elektrischer Öfen.

Fig. 440. Lastmagnet (Siemens-Schuckert-Werke).

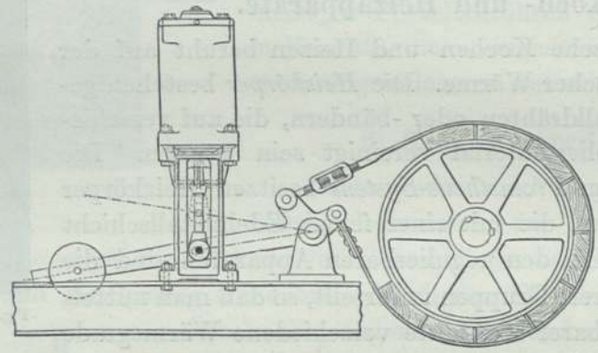


Fig. 441. Bremsmagnet mit Bremsvorrichtung.

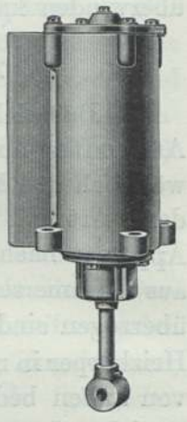


Fig. 442. Bremsmagnet.

Lastmagnete dienen zum Anheben von Schmiedeeisen-, Stahl- und Graugußkörpern. Die Ausführungsformen richten sich nach der Art der zu hebenden Stücke. Bei massiven Körpern mit ebenen Angriffsflächen und beim Heben von Blechen und Schweißpaketen kommt gewöhnlich eine runde Form (Fig. 440) in Betracht. Zum gleichzeitigen Anheben mehrerer nebeneinanderliegender stabförmiger Körper, wie Schienen, Walzeisen usw., eignet sich besser eine längliche Form; zum Heben von Doppel-**T**-Trägern und **U**-Eisen hat man besondere Magnete mit schmaler Aufsatzfläche konstruiert; für sehr unregelmäßige Körper Magnete mit mehreren verschieblichen Polen (vgl. Abteilung „Arbeitsmaschinen", Fig. 538, S. 234).

Zum Betriebe der Kranlastmagnete ist Gleichstrom erforderlich. In Drehstromnetzen ist zu ihrer Verwendung die Aufstellung eines Drehstrom-Gleichstromumformers notwendig. Der Energieverbrauch der Magnete ist außerordentlich gering. Beispielsweise verbraucht ein Magnet von 820 kg Tragkraft nur 120 Watt, d. h. etwa 1,1 Ampere bei 110 Volt.

Bremsmagnete sind Elektromagnete, die bremsend zu wirken haben. Man richtet die Schaltung meist so ein, daß der erregte Magnet die Bremse lüftet, damit beim Ausbleiben des Stromes die Bremse auf alle Fälle in Tätigkeit tritt (Fig. 441). Damit die Bremse stoßfrei arbeitet, versieht man die Bremsmagnete mit Luftdämpfung. Fig. 442 zeigt einen Bremsmagnet, wie er in Verbindung mit der in Fig. 441 dargestellten Bremsvorrichtung vielfach verwendet wird.

VI. Schaltanlagen.

Eine Schaltanlage hat die Aufgabe, dem elektrischen Strome vorgeschriebene Bahnen zu weisen und ihn gegebenenfalls zu unterbrechen. Sie enthält die Meßinstrumente zur Kontrolle der Maschinen sowie in größeren Anlagen die zur Bedienung der Maschinen erforderlichen Regulierapparate, endlich die zum Schutze der Leitungen nötigen Schutzvorrichtungen.

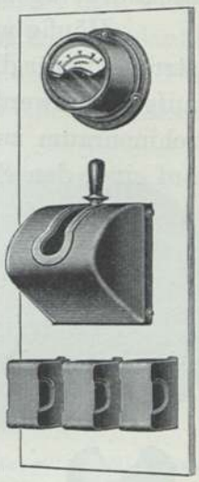


Fig. 443. Motorschalttafel.

Fig. 443 zeigt eine *Motorschalttafel.* Sie besitzt einen Momenthebelausschalter, unverwechselbare Patronensicherungen und Stromzeiger und wird nahe dem zu betätigenden Motor an der Wand befestigt. Derartige Schaltvorrichtungen werden auch als *Schaltkasten* ausgeführt, bei denen ein eisernes Gehäuse alle stromführenden Teile umgibt. In Hochspannungsanlagen werden *Ölschaltkasten* verwendet, bei denen Schalter und Sicherungen unter Öl liegen.

In größeren Betrieben werden einzelne Marmor- oder Schieferfelder mit darauf montierten Apparaten zu einer *Schaltanlage* (Fig. 444) vereinigt. Diese muß übersichtlich sein und sowohl die Sicherheit des Betriebes wie die des Betriebspersonals in jeder Beziehung gewährleisten.

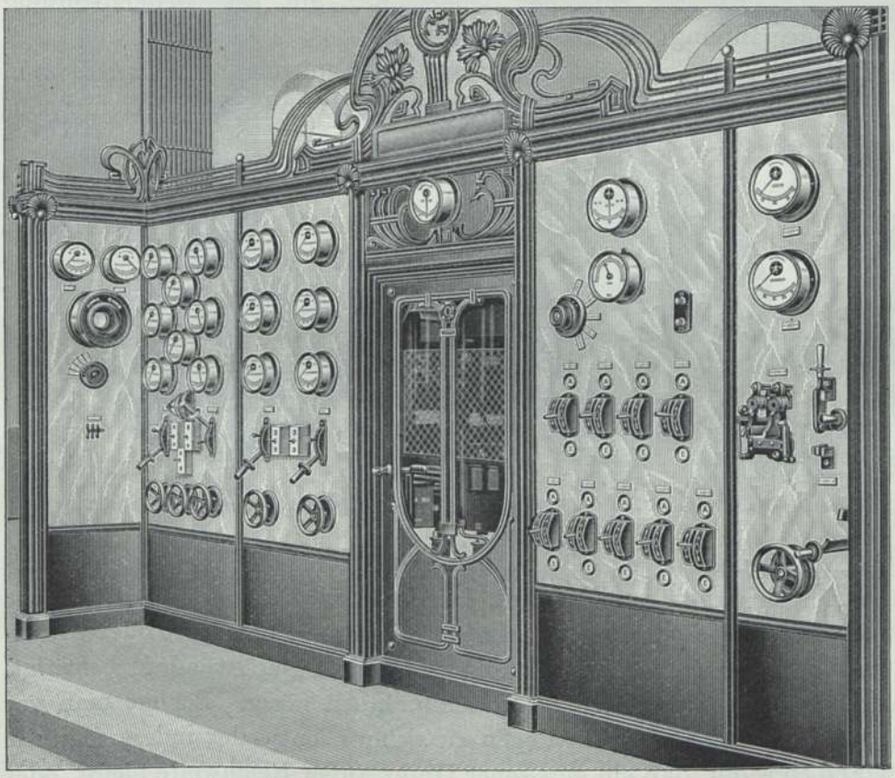


Fig. 444. Schalttafel des Kreis-Elektrizitätswerkes Schwelm (Siemens-Schuckert-Werke).

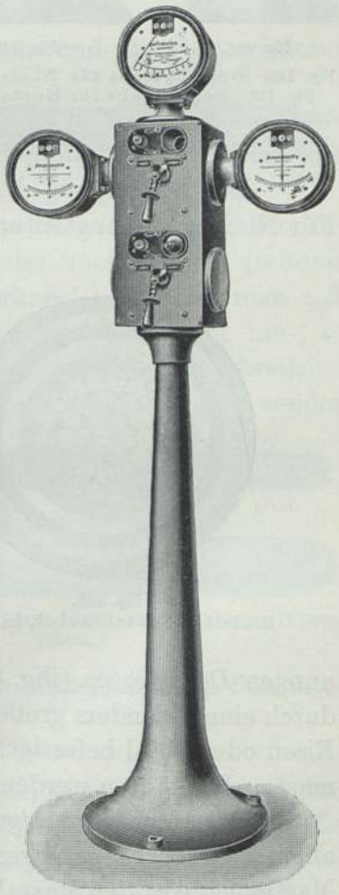


Fig. 445. Schaltsäule (A. E. G.).

Bei Hochspannungsanlagen vermeidet man die Anbringung hochspannungführender Teile auf der Vorderseite der Schalttafel, wo sie der Berührung während des Betriebes zugänglich sind.

Vielmehr finden vorn nur die an der Niederspannungsseite der Meßtransformatoren angeschlossenen Instrumente und die Schalthebel zur Betätigung der Ölschalter Platz. Das die Hochspannungsapparate tragende Gerüst wird meistens in einem besonderen abgeschlossenen Raum untergebracht.

Häufig wird eine vorteilhafte Anordnung dadurch erreicht, daß man die Apparate und Instrumente für die Generatoren in *Schaltsäulen* (Fig. 445) unterbringt, die so auf dem Schaltpodium aufgestellt werden, daß der Schalttafelwärter bei der Beobachtung der Instrumente dem Maschinenraum zugewendet ist. Die Apparate und Instrumente der Abzweigungen werden dann auf einer den Schaltsäulen gegenüberliegenden Wand untergebracht.

VII. Leitungen.

Als Leitungsmaterial verwendet man meistens Kupfer, bei hohen Kupferpreisen auch Aluminium. Für die gleiche Stromstärke müssen Aluminiumleitungen wegen des höheren spezifischen Widerstandes wesentlich stärker sein als Kupfer. So entspricht z. B. einer Kupferleitung von 50 qmm Querschnitt eine Aluminiumleitung von 82 qmm. In beiden Fällen ergibt sich der Widerstand von 1000 m Länge zu 0,35 Ohm. Während das Kupfergewicht in diesem Falle jedoch 445 kg beträgt, wiegt das Aluminium nur 214 kg, ist also um mehr als die Hälfte leichter.

Fig. 446.

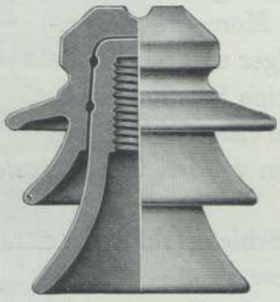


Fig. 447.

Fig. 446. Doppelglocke für Niederspannung.
Fig. 447. Deltaglocke für Hochspannung.

1. Freileitungen.

Freileitungen sind aus blankem, hartgezogenem Kupferdraht bestehende oberirdische Leitungen. Als geringster zulässiger Querschnitt gilt bei Niederspannung ein solcher von 6 qmm, bei Hochspannung von 10 qmm.

Die Befestigung der Leitungen an den Leitungsträgern erfolgt mittels *Porzellanisolatoren*. Für Niederspannungsleitungen werden *Doppelglocken* nach Fig. 446 verwendet, für höhere Spannungen *Deltaglocken* (Fig. 447), bei denen die einzelnen Glocken weit voneinander abstehen, wodurch eine besonders große Betriebssicherheit erreicht wird. Der Isolator wird auf einer Stütze aus Eisen oder Stahl befestigt. Als Leitungsträger dienen Holzmaste, eiserne Rohrmaste oder Gittermaste. In Städten werden die Leitungen vielfach an Wandkonsolen oder Dachständern befestigt.

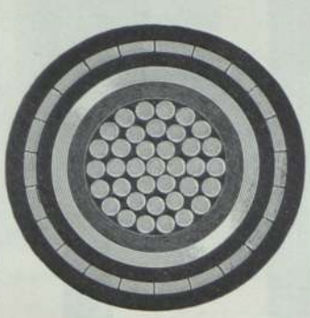


Fig. 448.
Einleiter-Schachtkabel, im Schnitt.

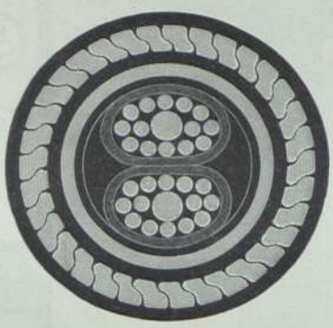


Fig. 449.
Zweileiter-Flußkabel, im Schnitt.

Fig. 450.
Drehstromkabel, im Schnitt.

Bei Hochspannungsleitungen sind besondere Schutzmaßnahmen nötig. So hat man vor allem Wegübergänge gegen das Herabfallen von Leitungen zu sichern, entweder indem man die Mastlänge bzw. den Mastabstand so wählt, daß ein gerissener Draht außer Reichweite bleibt, oder durch Anbringung von *Fangnetzen* unterhalb der Leitungen.

2. Kabel.

In Fällen, wo man von der oberirdischen Verlegung elektrischer Leitungen absehen und die Leitungen im Erdboden oder gar in Seen und Flüssen verlegen muß, verwendet man *Kabel*.

Den stromleitenden Teil eines Starkstromkabels bildet die *Kabelseele*, eine Anzahl blanker Kupferdrähte, die in steilen Schraubenlinien umeinandergelegt sind. Die Seele erhält eine Umspinnung von mit isolierender Masse getränkter Jute. Dann wird das Kabel mit einem nahtlosen Bleimantel umpreßt, und darüber kommt eine aus Eisendrähten oder Eisenband bestehende *Armatur*. Diese wird mit einer mehrfachen Umspinnung von Faserstoff bedeckt, die letztere mit Isoliermasse getränkt und das Ganze endlich, um das Kleben der Oberfläche zu verhindern, durch ein Bad von Kalkmilch gezogen. Ein solches Kabel zeigt Fig. 448 im Schnitt; es ist ein sogenanntes *Einleiter-Schachtkabel* mit rundem Leiter für 700 Volt Gleichstrom.

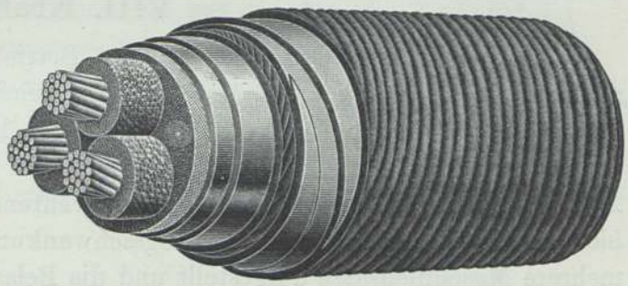


Fig. 451. Verseiltes Dreileiterkabel mit doppeltem Bleimantel und Eisenbandarmierung.

Man unterscheidet blanke Bleikabel, asphaltierte Bleikabel und asphaltierte Bleikabel mit Armatur. *Blanke Bleikabel* besitzen als einzigen Schutz den Bleimantel; der Bleimantel der *asphaltierten Bleikabel* ist durch eine zwischen zwei neutralen Kompositionsschichten eingebettete Papierumspinnung und eine asphaltierte Juteschicht geschützt. Die *armierten asphaltierten Bleikabel* erhalten außer dem vorerwähnten Schutz eine Armatur aus Bandeisen oder Eisendrähten und darüber wiederum einen Überzug von asphaltierter Jute, der die Eisenbänder vor dem Verrosten schützen soll.

Fig. 452. Gummiaderleitung.

Nach der Anzahl der im Kabel enthaltenen Leitungen unterscheidet man *Einleiter-*, *Zweileiter-* und *Dreileiterkabel*. Die Leitungen sind miteinander verseilt oder (seltener) konzentrisch zueinander angeordnet. Zweileiterkabel verwendet man z. B. für Einphasenwechselstrom, wobei die eine Leitung den Strom hin-, die andere ihn zurückleitet. Fig. 449 zeigt ein solches verseiltes Zweileiter-(Fluß-)Kabel im Schnitt, wobei die Leitungen nicht runde, sondern sektorförmige Form haben, eine Anordnung, die eine bessere Ausnutzung des stromführenden Teiles gestattet. Fig. 450 veranschaulicht ein Drehstromkabel von Felten & Guilleaume in Mülheim a. R. Fig. 451 zeigt ein Kabel mit nach und nach abgenommenen Schichten.

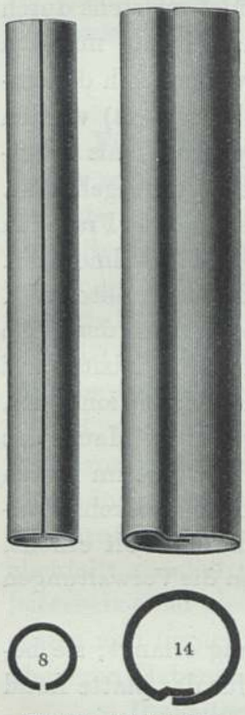


Fig. 453. Stahlrohre, System Peschel.

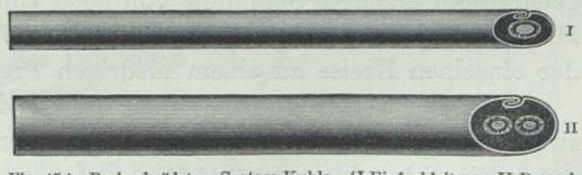


Fig. 454. Rohrdrähte, System Kuhlo. (I Einfachleitung, II Doppelleitung.)

3. Leitungen innerhalb von Gebäuden.

In geschlossenen Räumen gelangen hauptsächlich isolierte Leitungen zur Verwendung (Fig. 452). Ihre Verlegungsart ist eine sehr verschiedene. Wo der Anblick der offen verlegten Leitung nicht stört, genügt die Verlegung auf Isolierrollen. Viel häufiger ist jedoch die Verwendung von Rohren, in die der isolierte Leiter eingezogen wird. Diese Verlegungsart schützt am besten gegen mechanische Beschädigungen und gestattet eine unauffällige Verlegung. Die Rohre können aus Hartgummi, aus Papier mit dünnem Metallmantel bzw. starkem Eisenmantel, oder ohne isolierende Einlage einfach aus Metall bestehen. Zu Rohren der letzteren Art gehören *Stahlrohre*

System Peschel (Fig. 453). Außerdem verwendet man, als unauffälligste Verlegungsart, *Rohrdrähte* (Fig. 454) aus Einfach- oder Mehrfachgummiaderleitungen, die mit einem Schutzmantel aus Messing oder verbleitem Eisen dicht umpreßt sind. Der Metallmantel der Rohrdrähte kann als Rückleiter benutzt werden, so daß bei Verwendung dieses Systems eine bedeutende Ersparnis an Leitungsmaterial erzielt wird.

VIII. Kraftstationen.

In der Kraftstation sind alle zum Betriebe einer elektrischen Anlage erforderlichen Maschinen und Apparate zu einem Ganzen vereinigt.

Die elektrische Energie der Kraftstation kann von einem oder mehreren Maschinensätzen geliefert werden. Damit im ersteren Falle eine möglichst gute wirtschaftliche Ausnutzung der Anlage erreicht wird, muß die Belastung während der ganzen Betriebszeit annähernd gleichgroß bleiben. Treten wesentliche Belastungsschwankungen für längere Zeiträume ein, so werden besser mehrere Maschinensätze aufgestellt und die Belastung so verteilt, daß jeder Maschinensatz möglichst voll ausgenutzt wird. Bei einer derartigen Anordnung ist auch die nötige Reserve vorhanden, falls einmal ein Maschinensatz infolge notwendig werdender Reparaturen u. dgl. stillgesetzt werden muß. In größeren Kraftstationen werden stets mehrere Maschinensätze verwendet.

Die Verbindung zwischen den Dynamomaschinen und der Schalttafel findet meistens durch Kabel statt. Bei Vorhandensein mehrerer Maschinen werden diese durch Ausschalter mit den hinter der Schalttafel befindlichen *Sammelschienen* verbunden. Von diesen zweigen sich die einzelnen Leitungen nach den Versorgungsgebieten ab. Auf der Schalttafel (vgl. Fig. 444) werden alle zum geregelten Betriebe der Anlage erforderlichen Instrumente und Apparate, als Spannungs-, Strom- und Leistungszeiger, Schalter, Sicherungen, Widerstände usw., untergebracht.

Als Kraftmaschinen kommen hauptsächlich Dampf- und Wasserkraftmaschinen in Frage; in neuerer Zeit werden Dampfturbinen viel verwendet, für kleinere Anlagen auch Gas- und Dieselmotoren.

Die billigste Antriebskraft bleibt das Wasser (vgl. Abteilung „Wind- und Wassermotoren"). Die Ausnutzung der Wasserkräfte hat denn auch im letzten Jahrzehnt eine außerordentliche Steigerung erfahren. Selbst in die kleinsten Gebirgsortschaften hat sich die Elektrizität auf diese Weise Eingang verschafft. Der Bau von Talsperren nimmt immer größere Dimensionen an. In der Urfttalsperre-Heimbach, südöstlich von Aachen, wird z. B. durch eine gewaltige Mauer das Tal der Urft kurz vor der Mündung in die Ruhr abgesperrt und das Gefälle für eine im ersten Ausbau auf 12000 Pferdestärken bemessene Kraftstation ausgenutzt. Die in sechs Drehstromgeneratoren erzeugte Spannung von 5000 Volt wird in Öltransformatoren auf 35000 Volt erhöht. Mit dieser Spannung wird die Energie in das Verteilungsgebiet geleitet, wo sie an die Verwaltungen der einzelnen Kreise zu einem niedrigen Preise abgegeben wird.

In den letzten Jahren haben die *Überlandzentralen* eine große Bedeutung erlangt; sie bezwecken eine Zentralisierung elektrischer Energie zu Licht- und Kraftzwecken für das platte Land unter Einschluß kleinerer Städte.

IX. Kraftübertragung und Kraftverteilung.

1. Kraftübertragung.

Bei der *elektrischen Kraftübertragung* wird die an einem Ort erzeugte elektrische Energie zu einem oder mehreren Arbeitsorten geleitet, um dort wieder verbraucht zu werden.

Mit der Entfernung des Erzeugungsortes vom Verbrauchsort wachsen die Kosten für die die Kraftübertragung vermittelnden Leitungen. Infolgedessen sucht man den Leitungsquerschnitt möglichst zu verringern, was aber voraussetzt, daß auch die zu übertragende Stromstärke entsprechend niedrig gewählt wird. Da sich nun die elektrische Leistung als Produkt aus Spannung und Stromstärke bestimmt, ist man, um mit niedrigen Stromstärken zu arbeiten, an hohe

Spannungen gebunden. Es ist dies der einzige Weg, größere Energiemengen auf weite Entfernung zu übertragen. Deshalb ist zur Kraftübertragung Drehstrom viel geeigneter als Gleichstrom. Denn während man bei Gleichstrom nur selten über Spannungen von 1000 Volt hinausgeht, kann man bei Drehstrom durch Verwendung von Transformatoren Spannungen von 10000 und 20000 Volt und darüber erreichen. Beispielsweise werden bei der von den Siemens-Schuckert-Werken gebauten Anlage von Molinar am Flusse Jucar 30000 PS nach Madrid, Valencia, Cartagena und Alcoy übertragen, wobei eine Spannung von 66000 Volt angewendet wird. Die 240 km lange Leitung nach Madrid, die mit 2×3 Kupferdrähten von 50 qmm Querschnitt projektiert wurde, hat allein ein Gewicht von etwa 650 t. Ist auch die Spannung von 66000 Volt außerordentlich hoch, so ist sie doch nicht die äußerste, die für Hochspannungsanlagen in Frage kommt. Neuerdings wurde für die Kraftübertragungsanlage Riesa-Gröba der Aktiengesellschaft Lauchhammer eine Spannung von 110000 Volt gewählt.

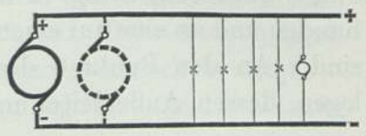


Fig. 455. Zweileitersystem.

2. Kraftverteilung.

Während die Kraftübertragung elektrische Energie von der Erzeugungsstelle zur Verbrauchsstelle zu leiten hat, fällt der *Kraftverteilung* die Aufgabe zu, die Energie zweckmäßig zu verteilen. Dies kann sowohl durch Gleichstrom wie durch Wechselstrom geschehen.

a) Gleichstromsysteme.

Für Einzelanlagen und städtische Zentralen kleineren Umfanges wird fast durchgängig Gleichstrom verwendet. Als Verteilungssysteme kommen besonders das Zweileiter- und das Dreileitersystem in Frage.

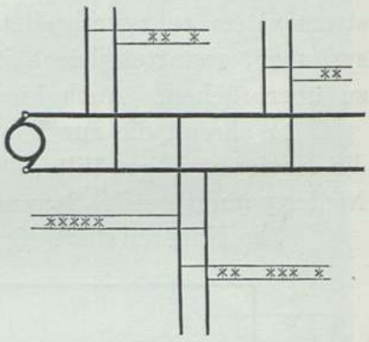


Fig. 456. Zweileiternetz.

α) **Zweileitersystem.** Dieses (Fig. 455) ist das meistverwendete Verteilungssystem. Die gebräuchlichsten Spannungen betragen 110, 220, 440 und 500 Volt. Sämtliche Stromverbraucher, als Lampen, Motoren, Heizkörper usw., werden parallel geschaltet, so daß, wenn man von dem in den Leitungen auftretenden Spannungsabfall absieht, an den Polen der Stromverbraucher stets die gleiche Spannung herrscht. Dabei ist eine Lampe bzw. ein Motor unabhängig von dem anderen, kann also nach Belieben ein- und ausgeschaltet werden. Sind in der Kraftstation mehrere Maschinen vorhanden, so werden diese ebenfalls parallel geschaltet. Fig. 456 veranschaulicht das Zweileiternetz einer kleinen Ortschaft. Die Querschnitte der Leitungen stufen sich immer mehr ab, je nachdem sie in der Hauptstraße, in kleineren Nebenstraßen oder endlich in Häusern verlegt werden.

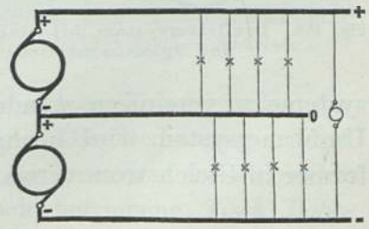


Fig. 457. Dreileitersystem mit zwei Maschinen.

β) **Dreileitersystem.** Dieses ist eine Kombination von zwei Zweileitersystemen, deren Stromerzeuger hintereinander geschaltet sind (Fig. 457). Haben die Maschinen je 110 Volt Spannung, so herrscht zwischen ihren äußeren Klemmen eine Spannung von 220 Volt. Die beiden inneren Leitungen werden zu einem gemeinsamen *Mittelleiter* vereinigt, den man auch *Nulleiter* nennt, weil er bei gleichmäßiger Belastung der beiden Netzhälften stromlos ist; bei ungleicher Belastung vermittelt er den Ausgleich der Ströme. Er erhält gewöhnlich nur den halben Querschnitt der *Außenleiter*. Da die günstigste Spannung der Glühlampen 110 Volt beträgt, so werden diese zwischen den Null- und einen Außenleiter eingeschaltet. Motoren hingegen legt man mit beiden Polen an die Außenleiter, da im anderen Falle das Netz zu ungleich belastet würde.

Das Dreileitersystem läßt sich auch mit nur einer Maschine betreiben; die Spannungsteilung erfolgt dann durch eine Akkumulatorenbatterie oder durch einen besonderen *Spannungsteiler*.

Im ersten Falle (Fig. 458) teilt man die Akkumulatorenbatterie, die aus einer der Maschinenspannung entsprechenden Elementenzahl bestehen muß, in zwei gleichgroße Teile 1 und 2; den positiven Pol der einen Hälfte 1 verbindet man mit dem positiven, den negativen Pol der anderen Hälfte 2 mit dem negativen Pol einer Nebenschlußmaschine 3 und legt die beiden noch freien Pole der Batteriehälften an die Ausgleichsleitung. — Der zweite Fall (Fig. 459) sieht eine *Dreileitermaschine* 1 vor. Diese unterscheidet sich von einer normalen Maschine nur durch zwei Schleifringe 2 und 3, die mit zwei diametralen Punkten der Ankerwickelung verbunden und an eine auf einen Eisenring aufgewickelte Spule, den Spannungsteiler 4, angeschlossen sind. An den Punkt 0 des Spannungsteilers kann man den Nulleiter eines Dreileiternetzes legen, dessen Außenleiter mit den Klemmen der Maschine verbunden sind. Während nun bei ungleicher Belastung der Netzhälften die vom Nulleiter geführten Gleichströme über den Spannungsteiler ungehindert zum Anker zurückfließen, d. h. sich ausgleichen können, ist den in den Ankerspulen erzeugten Wechselströmen ein derartiger Ausgleich infolge der hohen, im Spannungsteiler auftretenden Selbstinduktion unmöglich gemacht.

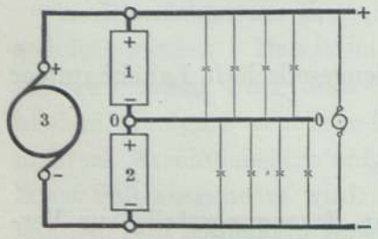


Fig. 458. Dreileitersystem mit einer Maschine und Akkumulatorenbatterie.

b) Drehstromsystem.

Von den Wechselstromsystemen ist vor allem das Drehstromsystem sehr verbreitet. Es unterscheidet sich im Prinzip nicht von den Gleichstromsystemen, gestattet jedoch infolge der Verwendung von Transformatoren, weitere Entfernungen zu überbrücken. Auch hier werden Stromerzeuger und Stromverbraucher parallel geschaltet.

Während die zur Kraftübertragung verwendete Hochspannung jeden mit Rücksicht auf die Entfernung gewählten Wert annehmen kann, bevorzugt man zur Kraftverteilung auf der Niederspannungsseite Spannungen von 120, 220 und 500 Volt.

Ein Nachteil dieses Systems liegt darin, daß, da die Verwendung von Akkumulatoren ausgeschlossen ist, der Betrieb in der Zentrale unter Umständen nur einer einzigen Lampe wegen die ganze Nacht aufrecht erhalten werden muß; ein weiterer Nachteil darin, daß die Transformatoren auch dann Energie verbrauchen, wenn sie sekundär nicht belastet sind, d. h. *leerlaufen*. Hierdurch geht ein nicht unbeträchtlicher Teil der in der Zentrale erzeugten Energie nutzlos verloren.

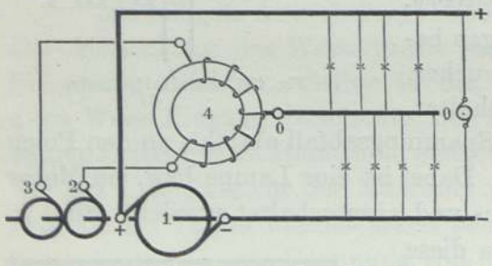


Fig. 459. Dreileitersystem mit einer Maschine und Spannungsteiler.

c) Kombiniertes System.

Um die Vorteile der Gleichstrom- und Drehstromsysteme zu vereinigen, wendet man kombinierte Systeme an. Bei dem Drehstrom-Gleichstrom-Umformersystem wird hochgespannter Drehstrom zu *Unterstationen* geführt, wo er durch Umformer in Gleichstrom verwandelt wird, der nun die Verwendung von Akkumulatoren gestattet.

X. Verwendungsgebiete der Elektromotoren.

Der Elektromotor ist unzweifelhaft die vollkommenste Antriebsmaschine der Gegenwart. Er ist stets betriebsbereit und durch einen äußerst einfachen Schaltmechanismus zu betätigen; er läuft mit Last an und gestattet eine weitgehende Änderung seiner Drehzahl. Er bedarf fast keiner Bedienung und Wartung und zeigt in allen Teilen größte Einfachheit; er benötigt zur Aufstellung nur einen geringen Raum und läßt sich selbst an Decken und Wänden montieren. Diese Vorzüge haben dem Elektromotor auf fast allen Gebieten des modernen Wirtschaftslebens Eingang verschafft und ihn für weite Kreise der Industrie unentbehrlich gemacht.

Der Bergbau hat dem Elektromotor über und unter Tage eine dominierende Stellung

eingeräumt; der elektrische Antrieb von Fördermaschinen, Grubenventilatoren, Gesteinsbohrmaschinen und Wasserhaltungen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Ebenso vielseitige Verwendung hat der Elektromotor in Hütten- und Walzwerken gefunden, z. B. als Antrieb großer Walzenstraßen.

Besonders geeignet ist der elektrische Antrieb für Vorrichtungen, die mit häufigen Unterbrechungen arbeiten, und für solche, die großen Kraftschwankungen unterliegen, Bedingungen, wie sie beim Betriebe von Hebezeugen und Transportvorrichtungen gegeben sind. Hier ist der Antrieb durch Dampfmaschinen oder Explosionsmotoren weniger rentabel und wegen der großen Belastungsschwankungen und starken Überlastungen oft nicht durchführbar. Die schweren Laufkrane in Maschinenfabriken, alle neueren Krane in Hafenanlagen werden elektrisch betätigt.

An der gegenwärtigen Verbreitung der Personen- und Lastenaufzüge hat die Einführung des elektrischen Betriebes wesentlichen Anteil. Der Elektromotor zeigt sich in bezug auf Einfachheit und Wirtschaftlichkeit den früher verwendeten Betriebsmitteln erheblich überlegen. Dabei sind die Steuerapparate und Sicherungsvorrichtungen so zuverlässig und einfach in der Handhabung, daß jedermann einen Fahrstuhl selbst bedienen kann.

Die früher übliche Art der Kraftübertragung mittels Transmissionen wird ihrer vielen Nachteile wegen immer mehr verlassen. Neben einem großen Anlagekapital erfordern derartige Betriebe unverhältnismäßig hohe Unterhaltungskosten. In den vielen Lagern werden durch Reibung große Energiemengen nutzlos vergeudet; Ölverbrauch und Riemenverschleiß sind bedeutend. Auch macht eine größere Transmissionsanlage den Betrieb unübersichtlich und verdunkelt die Arbeitsräume. Durch den elektrischen Antrieb werden diese Übelstände beseitigt. In größeren Betrieben wird daher häufig die mechanische Energie der Dampfmaschine in elektrische verwandelt und ohne erhebliche Kraftverluste dem für jede Arbeitsmaschine vorgesehenen Einzelmotor zugeführt.

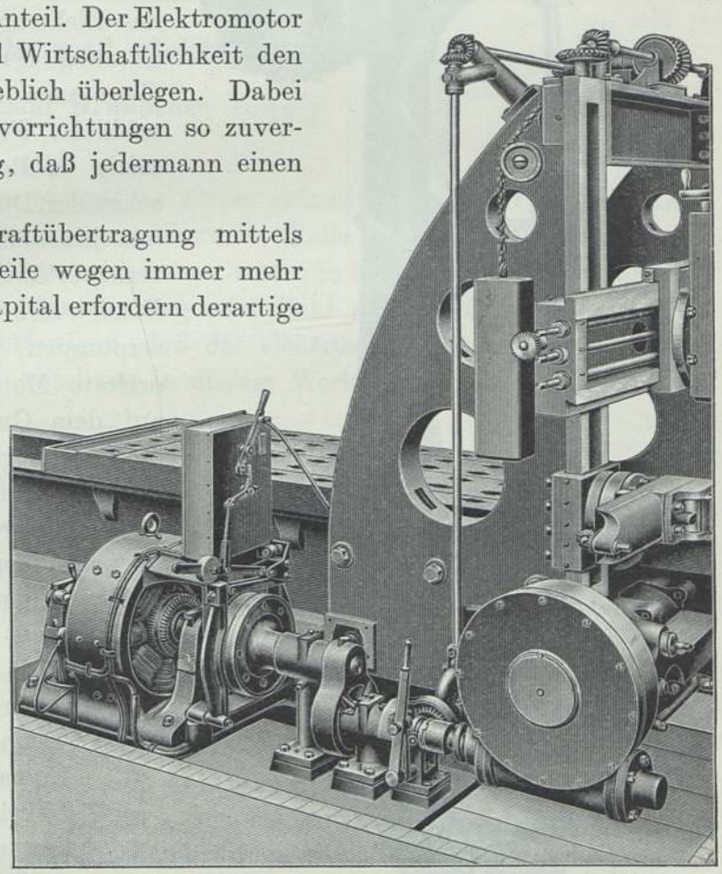


Fig. 460. Hobelmaschine mit direktem elektrischen Antrieb.

Fig. 460 stellt eine *Hobelmaschine* mit direktem elektrischen Antrieb dar und läßt die einzelnen Zubehörteile, wie Schneckengetriebe, Schalt- und Bremsvorrichtung, deutlich erkennen. Die Bedienung erfolgt von der anderen Seite der Maschine, wo sich zu diesem Zwecke ein besonders konstruierter Umsteuerapparat befindet. Fig. 461 veranschaulicht eine elektrisch betriebene *Tisch-Bohrmaschine* mit beweglicher Bohrspindel.

Vom gesundheitlichen Standpunkt außerordentlich wichtig sind die elektrischen *Kleinventilatoren*, wie man sie zur Lüftung in Wohnräumen, Hörsälen, Krankenhäusern, Werkstätten usw. verwendet. Sie werden als Tisch-, Wand- oder Deckenventilatoren ausgeführt.

Sehr verbreitet ist der Elektromotor im Druckereibetriebe. Die Regelung der Umlaufzahl ließ sich bei dem früher üblichen Transmissionsbetrieb nur umständlich und in wenigen Abstufungen vornehmen, wogegen die elektrische Regulierung auf einfache Weise durch Vorschalten von Widerständen bzw. durch Feldschwächung erfolgt.

Besondere Vorzüge in hygienischer Beziehung bietet die Reinigung von Wohn- und Arbeitsräumen durch elektrisch betriebene *Staubsaugeapparate*, sogenannte Entstäubungspumpen, die,

entweder fahrbar oder ortfest, durch eine Schlauch- oder Rohrleitung mit einem Staubsauger verbunden sind. Die Pumpe saugt durch die Öffnung des Staubsaugers einen kräftigen Luftstrom hindurch, der die auf seinem Wege lagernden Staubteile mit sich reißt. Der Staub wird von dem in der Pumpe zirkulierenden Wasser aufgenommen und auf diese Weise unschädlich gemacht.

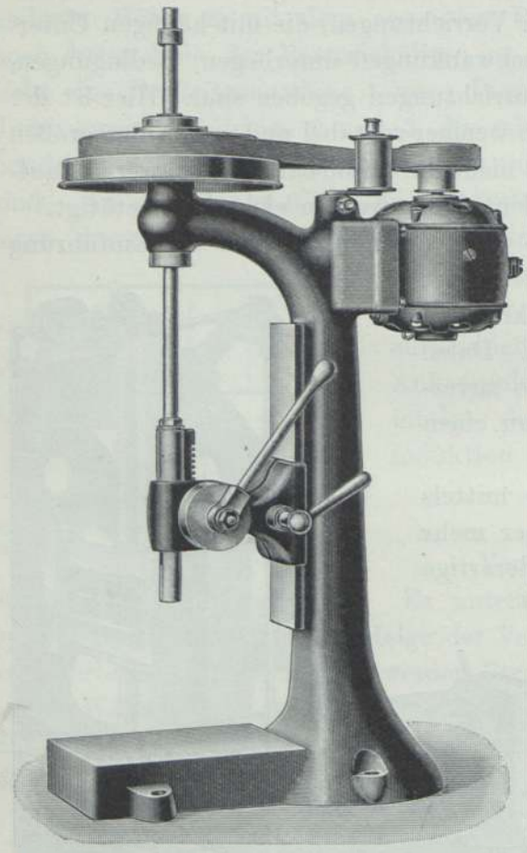


Fig. 461. Tisch-Bohrmaschine mit elektrischem Antrieb.

Die großen Vorteile, welche die Einführung des elektrischen Betriebes den industriellen Unternehmungen brachte, hat sich auch die Landwirtschaft gesichert. Der Landwirt erzielt durch Verwendung des Elektromotors eine bessere Einteilung und Ausnutzung der Arbeitszeit, eine Ersparnis an Leuten, Gespannen und Zeit und somit eine bessere Rentabilität. Für diejenigen Maschinen, die nicht gleichzeitig im Betriebe sind, wie Schrotmühlen, Rübenschneider, Düngermühlen, Häckselmaschinen, Molkereimaschinen, Schafscheren usw., richtet man die Motoren transportabel ein; dagegen sind für Maschinen, deren Betrieb sich über den ganzen Tag erstreckt, wie Wasserpumpen, Kühlanlagen, Brennereimaschinen usw., ortfeste Motoren am Platze. Für kleinere Arbeiten auf dem Gutshofe genügen in der Regel tragbare Motoren, sogenannte *Motortragen* (Fig. 462), während für den Antrieb von Dreschkasten fahrbare Motoren verwendet werden, die den Ausdrusch des Getreides je nach den Witterungsverhältnissen auf freiem Felde, in der Feldscheune oder auf dem Gutshofe ermöglichen.

Zu den landwirtschaftlichen Arbeiten, welche die größten Ansprüche an Mensch und Vieh stellen, gehört das Pflügen. Es hat sich daher bei der Bestellung schweren Bodens und beim tiefen Pflügen frühzeitig der Dampfpflug Eingang verschafft. Durch den Bau der Überlandzentralen ist es möglich geworden, den elektrischen Strom auch zum Betriebe größerer Pflüge zu benutzen. Hierdurch läßt sich nicht nur gegebenenfalls der Dampfpflug vollständig ersetzen, sondern es können nunmehr auch solche Arbeiten (wie z. B. Schälen, Eggen, Walzen) maschinell und vor allem wirtschaftlich vorgenommen werden, für die der schwere Dampfpflug ungeeignet ist. Der für das Pflügen verwendete Strom bildet anderseits eine günstige Belastung für das Elektrizitätswerk und trägt mithin wesentlich dazu bei, den Betrieb des Werkes rentabler zu machen.

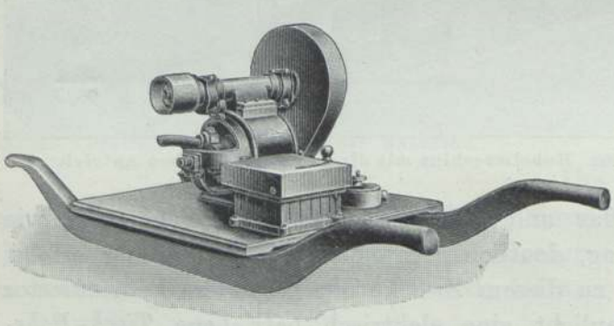


Fig. 462. Motortrage (Bergmann-Elektrizitätswerke).

Elektrotechnik. II.

(Elektrisches Licht und elektrische Bahnen.)

Von Ingenieur **H. Blücher,** Leipzig.

Unter allen Anwendungen, die der elektrische Strom gefunden hat, steht die *elektrische Beleuchtung* an Wichtigkeit obenan. Unbedingt an die zweite Stelle hat man die Bedeutung der Elektrizität zum Betriebe von Bahnen zu setzen, und zwar treten in neuerer Zeit zu den allerorts betriebenen *elektrischen Straßenbahnen* in immer steigender Zahl auch *elektrische Fernbahnen* hinzu. Diese Umstände dürften es rechtfertigen, daß der elektrischen Beleuchtung und dem elektrischen Bahnbetrieb eine besondere Abteilung in diesem Werke zufällt.

A. Elektrisches Licht.

Eine Erzeugung von Licht durch elektrische Energie ist auf verschiedene Weise möglich. Entweder erhitzt der Strom gewisse Körper so hoch, daß sie Lichtstrahlen aussenden, oder die Lichterzeugung erfolgt durch andersartige Stromwirkung, ohne daß die lichtausstrahlenden Körper nennenswert erwärmt würden. Lichtquellen der ersteren Art nennt man *Temperaturleuchter*, solche der letzteren Art *Lumineszenzleuchter* oder *kalte Flammen*.

Lichtquellen, die auf Lumineszenz beruhen, sind z. B. die bekannten *Geißlerschen Röhren*. Auf demselben Prinzip beruht das sogenannte *Moore-Licht*, bei dem auch hochgespannte Elektrizität unter sehr niedrigem Druck stehende Gase zum Leuchten bringt. Obwohl das Moore-Licht nach vielen Versuchsjahren jetzt endlich Boden zu gewinnen scheint, ist seine praktische Bedeutung doch noch so gering, daß diese Beleuchtungsart hier nicht berücksichtigt ist.

Zu den elektrischen Temperaturleuchtern gehören die *Bogenlampen* und die *Glühlampen*. Eine besondere Art von Bogenlampen bildet die *Quecksilberdampflampe*, bei der die Elektroden nicht fest (Kohle), sondern flüssig (Quecksilber) sind. Übrigens sind die Quecksilberdampflampen keine reinen Temperaturleuchter, und dasselbe gilt von den sogenannten Effektbogenlampen, deren Kohlen Metallsalze beigemischt enthalten. Hier tritt außer dem Temperaturleuchten auch Lumineszenzleuchten auf.

I. Bogenlampen.

Unterbricht man eine vom elektrischen Strom durchflossene Drahtleitung, etwa mittels eines Ausschalters, so beobachtet man an der Öffnungsstelle des Stromkreises, d. h. zwischen den sich voneinander entfernenden Kontakten, einen *Funken*. Dieser ist um so länger, je höher die Spannung der Stromquelle ist; stehen die Kontakte einander sehr nahe, so bleibt er andauernd sichtbar. Hierzu ist aber nötig, daß die vorherigen Kontaktstellen immer in der gleichen Entfernung bleiben, d. h. man muß sie, weil sie unter der Stromwirkung schnell abschmelzen, fortwährend in gleichem Maß einander wieder nähern. Diese 1821 von Davy zuerst beobachtete Erscheinung nennt man *elektrischen Lichtbogen* oder *Davyschen Lichtbogen*. Zu seiner Entstehung

ist immer nötig, daß der Stromkreis zunächst geschlossen und dann erst an einer Stelle geöffnet wird, während die Stromquelle andauernd wirksam bleibt. Unter diesen Umständen kann der Lichtbogen zur Beleuchtung dienen; diese Beleuchtungsart nennt man *elektrisches Bogenlicht*, die Vorrichtungen zu ihrer Erzeugung *Bogenlampen*.

Als Körper, zwischen denen man in den Bogenlampen den Lichtbogen entstehen läßt *(Elektroden)*, verwendet man *Kohlenstäbe*, und zwar teils solche aus gleichmäßig gepreßter harter Kohlenmasse *(Homogenkohlen)*, teils solche aus einem festen Kohlenmantel mit lockerem, die elektrische Leitfähigkeit erhöhendem Kern oder „Docht" *(Dochtkohlen)*. Damit der Lichtbogen entsteht, muß bei dem kürzesten Lichtbogen (1 mm lang) bei Gleichstrom eine Spannung von mindestens 36 Volt, bei Wechselstrom eine solche von etwa 28 Volt vorhanden sein. Die nötige Spannung steigt mit der zunehmenden Länge des Bogens; sie beträgt z. B. bei einem 7—8 mm langen Lichtbogen mindestens 70 Volt. Am üblichsten sind Lichtbogen von 1—3 mm Länge. Die Temperatur des Lichtbogens liegt zwischen 2000 und 4000°; das hauptsächlich Leuchtende sind die weißglühenden Enden der Kohlenstäbe, nicht der eigentliche Flammenbogen zwischen ihnen. Von den Kohlen fliegen glühende Kohleteilchen fort, jedoch ist bei Gleichstrom diese *Zerstäubung* nicht bei beiden Elektroden gleich, vielmehr bei der positiven Kohle viel stärker. Deshalb höhlt sich diese, die auch eine viel höhere Temperatur als die negative Kohle annimmt, kraterförmig aus, während sich die negative Elektrode zuspitzt (Fig. 463). Darum setzt man bei *Gleichstrombogenlampen* mit übereinanderstehenden Kohlen die positive nach oben, weil der Krater dann gewissermaßen als Reflektor wirkt und die größte Lichtmenge nach unten wirft. Da die positive Kohle schneller abbrennt als die negative, macht man sie dicker, damit beide Kohlenstäbe gleiche Länge haben. Als positive Kohle dient Dochtkohle, als negative dagegen Homogenkohle. Beim Betriebe mit Wechselstrom brennen beide Kohlen gleichmäßig und spitz ab; man verwendet deshalb in *Wechselstrombogenlampen* Dochtkohlen gleicher Stärke.

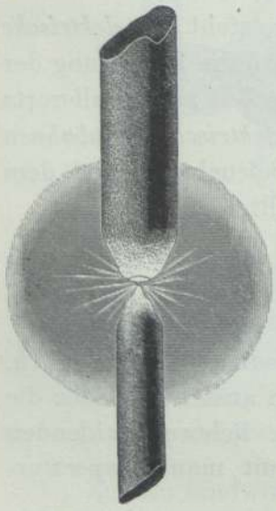


Fig. 463. Elektrischer Lichtbogen (Gleichstrom).

1. Regulierungsvorrichtungen.

Da die Elektroden beim Betriebe abbrennen, während anderseits der Lichtbogen nur bei einem bestimmten, geringen Abstand beider erhalten bleibt, muß jede Bogenlampe Vorrichtungen enthalten, durch die die Kohlen nachgeschoben und in passendem Abstand erhalten werden. Die Regulierung, die man dem Strome selbst überträgt, muß auch dafür sorgen, daß beim „Einschalten" der Lampe beide Kohlen in Berührung kommen (oder daß sie sich außerhalb der Brennperiode überhaupt ständig berühren), weil dies und die erst nach Stromschluß erfolgende Entfernung der Kohlenspitzen voneinander nötig ist, um den Lichtbogen zu bilden. Weiter muß die Regelung etwaige Schwankungen in der Stromstärke ausgleichen, indem sie den Abstand der Kohlen, d. h. den Widerstand der Lampe, vergrößert, wenn der Strom zu stark wird; dagegen den Abstand verringert, wenn der Strom zu schwach wird. Die Regelung darf dabei nicht ruckweise erfolgen, was ein flackerndes Brennen und Zucken ergäbe, vielmehr muß die Kohlenbewegung ganz allmählich geschehen, dabei aber doch sofort auf alle Änderungsfaktoren reagieren.

Als Mittel zur Regulierung bedient man sich des Elektromagnetismus, und zwar im besondern der Tatsache, daß eine mit isolierten Drahtwindungen versehene Hohlspule *(Solenoid)* einen passenden Kern aus Weicheisen in ihr Inneres hineinzieht, wenn die Drahtwindungen vom Strom durchflossen werden. Nach der Art der Schaltung der Reguliervorrichtung unterscheidet man Hauptstromlampen, Nebenschlußlampen und Differentiallampen.

In der *Hauptstrombogenlampe* (Fig. 464) steht die positive Elektrode 3 durch eine Stange 5 mit dem Hebel 6 in Verbindung und kann gehoben und gesenkt werden. An dem einen Ende des Hebels 6 hängt der Eisenkern 7, der vom Solenoid 8 angezogen werden kann. Auf der anderen

Seite des um 9 drehbaren Hebels 6 sitzt das Gegengewicht 10. Der positive Strom kommt von 1, fließt durch die Wickelung des Elektromagnets 8 in die positive Elektrode 3, durch die negative Kohle 4 und von ihr durch 2 zur Stromquelle zurück. Passende Einstellung des Gegengewichtes 10 bewirkt, daß bei einer bestimmten Stromstärke der Kern 7 in eine beabsichtigte Stellung zur Spule 8 kommt und entsprechend der Lichtbogen bei einer bestimmten Bogenlänge eine bestimmte Spannung zeigt. Wenn unter diesen Verhältnissen die Bogenlampe normal funktioniert und die Kohlenspitzen dann allmählich abbrennen, wird der Lichtbogen länger, also sein Widerstand größer, was zu einer Verringerung der Stromstärke führt. Hierdurch wird der Elektromagnetismus des Solenoids 8 geschwächt; Kern 7 wird weniger angezogen, Gegengewicht 10 bringt die rechte Hebelseite zum Sinken, und entsprechend sinkt auch die positive Elektrode 3. Hierbei wird die Lichtbogenlänge kleiner, der Widerstand geringer und dementsprechend die Stromstärke größer, so daß der Elektromagnetismus in 8 wieder wächst und 7 mehr angezogen wird. So regelt sich die Lampe, und zwar bleibt der Reguliermechanismus in Ruhe, wenn die Stromstärke ihren normalen Wert erreicht hat, auf den das Gegengewicht 10 eingestellt war. Die Hauptstromlampe reguliert *auf konstante Stromstärke.* Schaltet man die Lampe aus, so wird auch 8 stromlos und verliert seine Anziehungskraft, so daß sich 7 hebt und Kohle 3 auf Kohle 4 herabsinkt. Beide bleiben in Berührung, bis der Strom wieder eingeschaltet wird, wodurch dann 7 aufs neue angezogen und entsprechend 3 gehoben wird, so daß sich der Lichtbogen bildet.

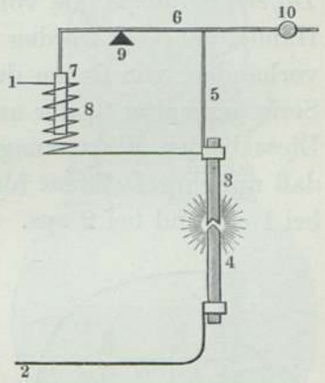


Fig. 464. Schema der Hauptstrombogenlampe.

Derartige Hauptstromlampen sind nur brauchbar, wenn nicht noch andere Lampen in demselben Stromkreis brennen; sie versagen sofort, wenn zwei Lampen hintereinander geschaltet werden. Denn wenn hier die eine Lampe normal brennt, während bei der zweiten die Elektrodenentfernung zu groß ist, nähert die Regulierung die Kohlen der zweiten Lampe einander und verstärkt so den gesamten Strom. Dies führt dann zu einem übergroßen Kohlenabstand in der ersten Lampe usw. — kurz, eine Lampe stört immer die andere, und beide gleichzeitig kommen nicht zum normalen Brennen. Diese Übelstände vermeiden die Nebenschlußlampe und die Differentiallampe.

In der *Nebenschlußbogenlampe* (Fig. 465) wird nur ein abgezweigter Teil des Stromes zur Regulierung benutzt. Der Maschinenstrom tritt bei 1 ein und bei 2 aus; 3 ist die positive, 4 die negative Kohle. Erstere hängt an dem Halter 5 und durch diesen am Hebel 6, der um 9 drehbar ist. 10 ist das Gegengewicht des Hebels, das mit 5 zusammen dem anderen Hebelende nicht ganz das Gleichgewicht hält. Der Hebelausschlag wird durch 11 begrenzt. Das Solenoid 8 liegt zum Hauptstrom im Nebenschluß, d. h. in einer Stromabzweigung zwischen 9 und 12; 7 ist der Eisenkern. Berühren sich bei Stromschluß die Kohlen nicht (da das Gewicht von 7 überwiegt), so läuft der Strom von 1 über 9 und das Solenoid 8 nach 12 und 2. Hierdurch wird der Eisenkern 7 in 8 hineingezogen, so daß die Kohlen 3 und 4 zur Berührung kommen. Dann findet aber der Strom den weniger Widerstand bietenden Weg 1, 9, 5, 3, 4, 2, so daß Spule 8 stromlos wird und 7 sich senkt. Der Lichtbogen zwischen 3 und 4 bildet sich und wird zum ruhigen Brennen geregelt. Diese Lampe, bei der also Lichtbogen und Reguliervorrichtung parallel geschaltet sind, kann auch bei Bruch der Kohlen usw. niemals den ganzen Stromkreis öffnen, da der Strom dann den Weg durch die Regulierspule findet. Ist der Lichtbogen gebildet, so steht die Nebenschlußspule unter der Spannung des Lichtbogens. Das Gegengewicht wird so eingestellt, daß bei einer beabsichtigten Lichtbogenlänge eine bestimmte Lichtbogenspannung vorhanden ist und der Reguliermechanismus sich in Ruhe befindet. Die Nebenschlußlampe reguliert *auf konstante Spannung.* Bei den Nebenschlußlampen sind äußere Stromschwankungen von viel geringerem Einfluß als bei den Hauptstromlampen, aber in gewissem Grade störend

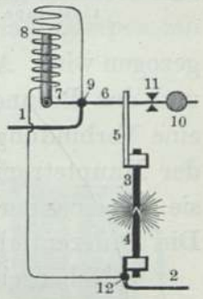


Fig. 465. Schema der Nebenschlußbogenlampe.

machen sich auch hier noch Stromschwankungen bemerkbar. Wird z. B. aus äußeren Ursachen der in die Lampe eintretende Strom zu stark, so werden auch die Ströme in den beiden Stromzweigen zu stark, d. h. das Licht brennt stärker als normal, und die gleichzeitig stärker wirkende Regulierspule bringt die Kohlen noch näher zusammen, so daß also das schon zu starke Licht noch stärker wird. Umgekehrt ist es bei zu schwachem Strom. Die Regelung gleicht also die äußeren Stromschwankungen nicht vollständig aus, wenn sie auch viel besser wirkt als diejenige der Hauptstromlampen.

Die Möglichkeit, viele Lampen in einem Stromkreis hintereinander zu schalten, ohne daß diese im geringsten durch äußere Stromschwankungen beeinflußt werden, verdankt man der *Differentiallampe*, die von v. Hefner-Alteneck erfunden und von Siemens & Halske zuerst in den Handel gebracht worden ist. Bei der Differentialbogenlampe (Fig. 466) sind zwei Elektromagnete vorhanden, von denen der eine in den Hauptstrom eingeschaltet (d. h. mit dem Lichtbogen „in Serie geschaltet"), der andere parallel dazu geschaltet ist (also in einer Stromabzweigung liegt). Diese beiden Elektromagnete beeinflussen die Kohlenentfernung in entgegengesetzter Weise, so daß nur ihre *Differenz* (daher „Differentiallampe") zur Wirkung kommt. Der Strom tritt wieder bei 1 ein und bei 2 aus. 3 ist die obere, 4 die untere Kohle, 5 und 6 sind die beiden Spulen, von denen die erstere mit wenigen Windungen dicken, letztere mit vielen Windungen dünnen Drahtes versehen ist. In die Spulen ragen die Enden des Eisenkernes 7 hinein. Der Kern 7 hängt an dem einen Ende des um 9 drehbaren Hebels 8—10, mit dessen anderem Ende Kohle 3 verbunden ist. Berühren sich anfangs die Kohlen 3 und 4, so geht der Strom durch 1, 11, 5, 9, 10, 3, 4, 2, während 6 viel größeren Widerstand bietet und deshalb stromlos bleibt. Der Strom zieht jetzt 7 in 5 hinein, wodurch sich die mit dem anderen Hebelende verbundene Kohle 3 hebt und der Lichtbogen erscheint. Nunmehr besteht zwischen 3 und 4 ein erheblicher Luftwiderstand, und deshalb zweigt sich bei 11 ein Teil des Stromes nach 6, 2 ab, so daß Kern 7 nach oben mehr in 6 hineingezogen wird. Auf diese Weise regelt die verbundene Wirkung beider Spulen die Kohlenentfernung und das Brennen der Lampe in sehr vollkommener Weise. Die Differentialschaltung ist also eine Verbindung von Hauptstromschaltung und Nebenschlußschaltung. Herrscht die Wirkung der Hauptstromspule vor, so müssen sich die Kohlen im stromlosen Zustande berühren, während sie voneinander entfernt sein müssen, wenn die Wirkung der Nebenschlußspule überwiegt. Die Differentiallampe reguliert auf *konstanten Widerstand des Lichtbogens*.

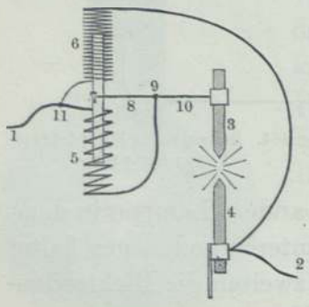


Fig. 466. Schema der Differentiallampe.

Nebenschlußlampen sowie Differentiallampen müssen, wenn sie zu mehreren hintereinander geschaltet werden, noch eine Vorrichtung erhalten, durch die eine Lampe ganz aus dem Stromkreise ausgeschaltet wird, wenn sie durch irgendwelche Umstände (z. B. Abbrechen einer Kohle) überhaupt erlischt. Ohne eine solche Ausschaltevorrichtung ginge nämlich der gesamte Strom durch die Zweigleitung des Solenoids und würde diese schwachen Drahtwindungen stark erhitzen (oder ganz durchbrennen), dabei anderseits durch den Widerstand der Spulenwindungen selbst so geschwächt werden, daß die übrigen Lampen erlöschen. Die erwähnte automatische Ausschaltevorrichtung besteht gewöhnlich aus einem kleinen Magnet, der beim Erlöschen der Lampe dem Strom einen weniger Widerstand bietenden Weg unter Umgehung der dünnen Regulierspule schafft.

2. Lampen mit offenem Lichtbogen.

Lampen mit übereinanderstehenden Elektroden. Die mechanische Anordnung der Teile in den Bogenlampen ist verschieden. Bei fast allen Lampen sind die beiden Kohlenhalter durch eine Kette oder Schnur verbunden, die über eine Rolle geführt ist. Das Übergewicht des einen Kohlenhalters treibt dann ein mit der Seilrolle verbundenes Rädergetriebe an; ein Flügelrad, das zugleich Sperrad ist, wirkt dabei hemmend bzw. verlangsamend. Dadurch, daß man nicht nur die eine Kohle, sondern beide beweglich macht, erreicht man einen wesentlichen Vorteil: Ist nur die obere Kohle

beweglich, so sinkt das Lichtzentrum der Lampe mit dem Abbrennen der Kohlen immer tiefer. Diesen *Lampen mit beweglichem Brennpunkt* stehen die *Fixpunktlampen (Lampen mit festem Brennpunkt)* gegenüber, bei denen sich nicht nur die obere Kohle beim Regulieren senkt, sondern die untere Kohle gleichzeitig um ebensoviel gehoben wird; bei geeignetem Verhältnis der Kohlenstärken und passender Bewegungsübersetzung bleibt dann der Brennpunkt immer an derselben Stelle. Die Seilrolle und das ganze Uhrwerk, das den Regelungsmechanismus ausmacht, ruhen meistens in einem schwingenden Rahmen. Dieser trägt auch den Anker des Regelelektromagnets, folgt daher der Zugkraft dieses Elektromagnets oder einer gegenüber angebrachten Feder (je nachdem die eine oder die andere Kraft überwiegt) und gibt dadurch, wenn die Sperrklinke das Flügelrad verläßt, das Uhrwerk und den Nachschub frei, während er bei entgegengesetzter Bewegung das Flügelrad sperrt und damit den Nachschub hemmt. Die Seil- oder Kettenrolle ruht in dem schwingenden Rahmen exzentrisch, d. h. nicht auf seiner Drehachse, und zwar so, daß die Kohlenspitzen sich in der einen Grenzlage des schwingenden Rahmens eben berühren, bei Bewegung in die andere Grenzlage (ohne Drehung der Rolle) gerade auf die gewünschte Lichtbogenlänge auseinandergehen.

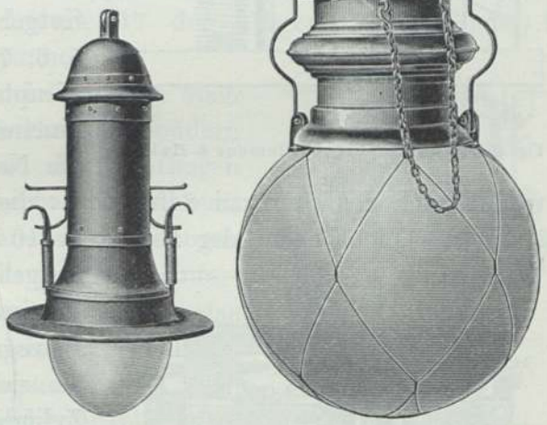


Fig. 468. Fig. 467.

Fig. 467 und 468. Bogenlampen (Außenansicht).

Die Außenansicht einer gewöhnlichen Bogenlampe zeigt Fig. 467, die einer solchen kleinerer Form Fig. 468. In dem oberen Teil der Lampen befindet sich, gegen Witterungseinflüsse und Staub geschützt, der Regelungsmechanismus. Derartige Bogenlampen nennt man *Lampen mit offenem Lichtbogen*, weil der Lichtbogen dauernd in atmosphärischer Luft brennt; die Glocke verhindert nicht den Luftaustausch, sondern schützt den Lichtbogen nur vor dem Winde.

In Fig. 469 ist der Reguliermechanismus der Nebenschlußbogenlampe von Körting & Mathiesen dargestellt. Im stromlosen Zustande berühren sich die Kohlen nicht, so daß beim Einschalten der Strom nur durch die Nebenschlußspule des Elektromagnets geht, den Anker anzieht und das Flügelrad und Regulierwerk freigibt, bis die Kohlen sich berühren. Dann fließt der Strom durch die Kohlen, so daß die Federkraft überwiegt und den Rahmen in die andere Grenzlage bringt; hierdurch wird der Lichtbogen „gezogen" und Flügelrad nebst Nachschub gesperrt. Erst bei Abbrand der Kohlen nimmt mit der Verlängerung des Lichtbogens die Anziehungskraft des Elektromagnets zu, so daß

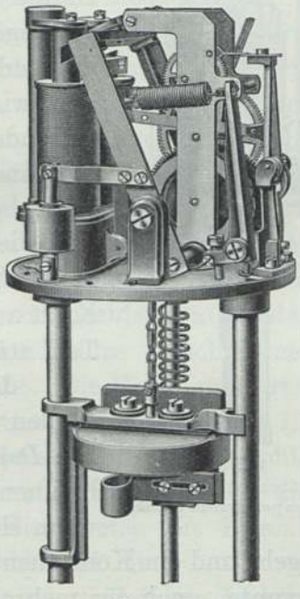


Fig. 469. Nebenschlußbogenlampe von Körting & Mathiesen.

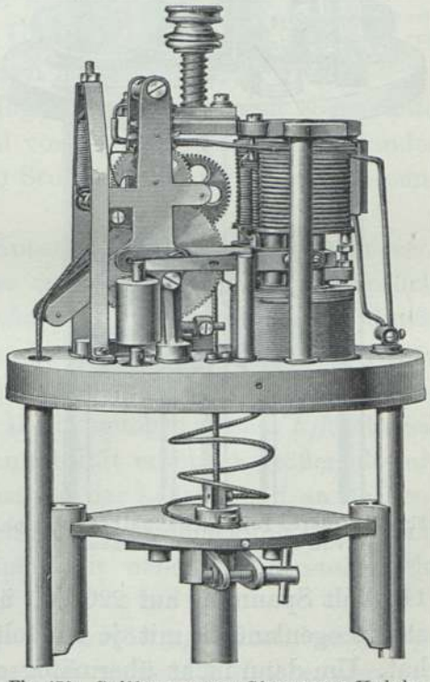


Fig. 470. Seillampe von Siemens & Halske.

er die Federkraft überwindet und Flügelrad und Nachschub freigibt, bis die gewünschte Bogenlänge wieder erreicht ist.

Unter den Differentiallampen besonders verbreitet ist die *Seillampe* von Siemens & Halske; ihren Reguliermechanismus zeigt Fig. 470 in perspektivischer, Fig. 471 in schematischer Darstellung.

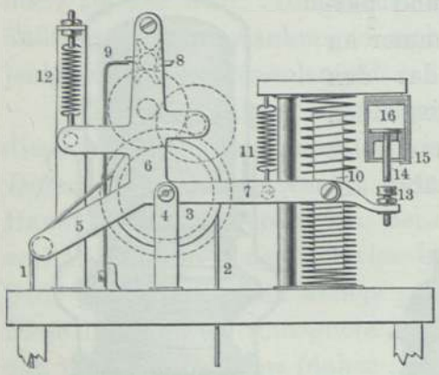


Fig. 471. Seillampe von Siemens & Halske.

Ein Kupferseil 1, 2, das am rechten Ende die obere positive Kohle, am linken die untere negative trägt, läuft über die genutete Seilscheibe 3, die bei 4 in dem dreiarmigen Hebel 5, 6, 7 ruht. Das Übergewicht der positiven Kohle würde die Scheibe 3 so lange im Sinne des Uhrzeigers drehen, bis sich beide Kohlen berühren, wenn nicht 3 mit einem Räderwerk verbunden wäre, dessen Sternrad 8 durch die Blattfeder 9 festgehalten wird. Der rechte Arm 7 des dreiarmigen Hebels 5, 6, 7 trägt den Eisenkern 10, dessen oberes Ende in die Hauptstromspule, dessen unteres in die Nebenschlußspule hineinragt. Wird der Kohlenabstand zu groß, so überwiegt die Nebenschlußspule und zieht den Eisenstab 10 herunter, womit auch das Sternrad 8 frei wird: die Kohle sinkt dann, bis durch den verringerten Widerstand des Lichtbogens der Eisenkern 10 sich wieder hebt und Sternrad 8 durch 9 aufs neue festgehalten wird. Die Spiralfedern 11 und 12 dienen zur Verringerung der Reibungswiderstände. Eine zu schroffe Bewegung der oberen Kohle verhindert die Stellschraube 13, die sich beim Heben von 7 gegen den Stift 14 eines im Zylinder 15 laufenden Ventilkolbens 16 legt.

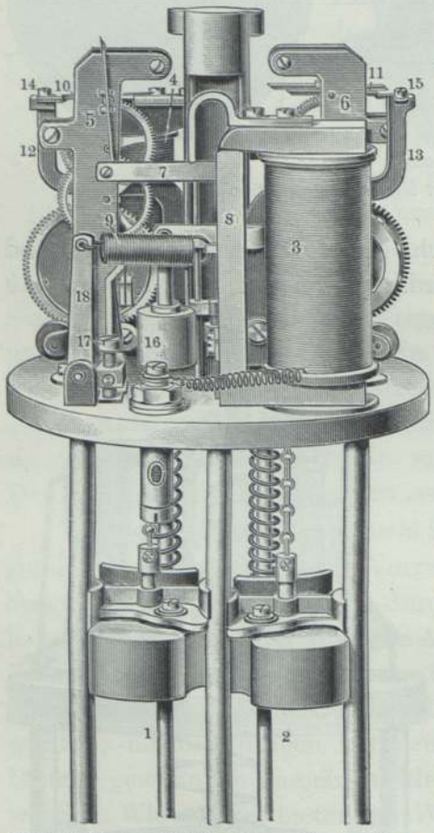


Fig. 473. Oberer Teil der Doppelbogenlampe von Körting & Mathiesen.

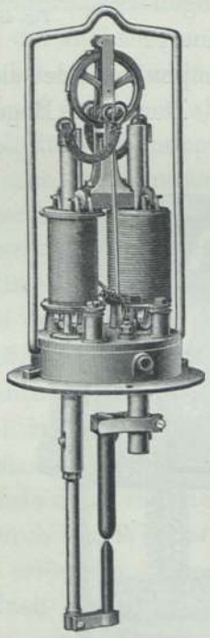


Fig. 472. Differentialbogenlampe, System Krizik.

Von besonders einfacher Konstruktion ist die Differentiallampe System Krizik, deren Mechanismus Fig. 472 zeigt. Der Antrieb erfolgt ohne Räderwerk, durch Übergewicht des oberen Kohlenhalters. Die Hauptstromspule zieht den Lichtbogen und verlängert ihn, während die Nebenschlußspule ihn verkürzen will. Sehr sinnreich ist die Art, wie das konstante Verhältnis der anziehenden Kräfte auch für die durch den Abbrand verschieden gewordenen Kohlenlängen gewahrt bleibt. Zu diesem Zwecke sind die im Innern der Röhren befindlichen Magnetkerne zugespitzt, so daß die anziehende Kraft auf einen Teil der Kerne (den dickeren Teil) stärker ist als auf den dünneren.

Lampen mit mehreren Kohlenpaaren werden zu verschiedenen Zwecken gebaut. Die *Doppelbogenlampen* mit zwei gleichzeitig brennenden Lichtbogen kommen in Betracht, wenn ein vorhandenes Beleuchtungsnetz von 110 Volt Spannung auf 220 Volt übergeht und ein Konsument bis dahin zwei gewöhnliche Gleichstrombogenlampen mit je 40 Volt brannte, auch für mehr als zwei Lampen keine Verwendung hat. Um dann nicht übermäßig große Vorschaltwiderstände verwenden zu müssen, benutzt man zwei Doppellampen mit je zwei gleichzeitig brennenden Kohlenpaaren, die zur Erzeugung derselben Lichtstärke mit etwas mehr als der halben Stromstärke der früheren Lampen gebrannt werden. Den Reguliermechanismus einer derartigen Doppelbogenlampe von Körting & Mathiesen (in schon

älterer Konstruktion) stellt Fig. 473 dar; die Lampe ist nichts anderes als eine verdoppelte Nebenschlußlampe. Die Regelwerke beider Kohlenspitzenpaare 1 und 2 sind auf gemeinschaftlicher Platte angeordnet; die Kohlen hängen an Ketten, die über Scheiben gehen. 3 und 4 sind die Elektromagnete, deren Spulen sich im Nebenschluß befinden; 5 und 6 sind die Laufwerke, die durch die Zugstange 7 mit dem an der einen Elektromagnetseite befindlichen Anker 8 verbunden sind. Die der Bewegung des Ankers entgegenwirkende Kraft liefert die Spiralfeder 9. Das Laufwerk wird, wie bei der Seillampe von Siemens & Halske, gehemmt und ausgelöst durch das Flügelrad 10 (für das andere Kohlenpaar durch Flügelrad 11), das frei wird, wenn der Anker 8 bei zu stark werdendem Zweigstrome die an dem zweiarmigen Hebel 12 (bzw. 13) sitzende Zunge 14 (bzw. 15) von 10 (bzw. 11) zurückzieht. Die Laufwerke sind mit Luftdämpfern 16 versehen, die stoßweise Bewegungen verhindern. Um die zur Regulierung führende Spannung des Lichtbogens nach Bedürfnis ändern zu können, läßt sich durch die Schraube 17 der Träger 18 der Feder 9 etwas zurückziehen und dadurch die Feder stärker spannen.

Andere Lampen mit mehreren Kohlenpaaren enthalten zwar auch zwei Lichtbogen, jedoch brennen sie nicht beide gleichzeitig, sondern nacheinander. Bei derartigen *Ersatzbogenlampen* sind die Lichtbogen und Regulierwerke beider Kohlenpaare *parallel* geschaltet, während die Doppelbogenlampen für zwei gleichzeitig brennende Lichtbogen naturgemäß die Brenn- und Regulierteile beider Kohlenpaare in Hintereinanderschaltung aufweisen. Ersatzbogenlampen benutzt man, um das Auswechseln der Kohlen erst in größeren Zwischenräumen vornehmen zu müssen. Zur Einschaltung des zweiten Kohlenpaares nach dem Abbrennen des ersten können mechanische oder elektrische Mittel dienen. Zwecks elektrischer Umschaltung reguliert man beispielsweise die Nebenschlußspule des erst später abbrennen sollenden Kohlenpaares um wenige Volt höher ein als die Nebenschlußspule des zuerst zum Brennen bestimmten Kohlenpaares. Beim Erlöschen der abgebrannten ersten Kohlen steigt die Lampenspannung soweit an und löst dann die der Zündung des zweiten Lichtbogens dienenden Mechanismen aus. Übrigens werden Ersatzbogenlampen wegen der verwickelteren und teueren Konstruktion nicht eben häufig gebraucht. Auch nicht allgemein eingebürgert haben sich sogenannte *Magazinlampen*, die nicht nur zwei, sondern eine ganze Anzahl von revolvermäßig nacheinander zur Wirkung gelangenden Lichtbogen enthalten und bis zu 600 Stunden ununterbrochene Brenndauer ohne Kohlenersatz ermöglichen.

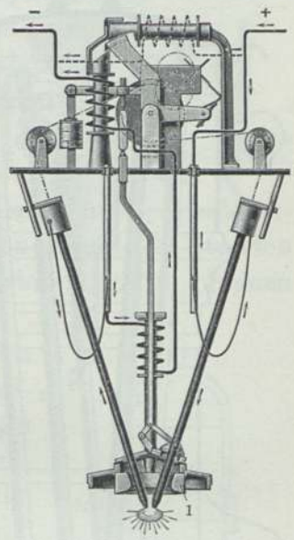


Fig. 474. Bogenlampe mit horizontalem Lichtbogen von Körting & Mathiesen.

Lampen mit nebeneinanderstehenden Elektroden. Die Konstruktion dieser jetzt sehr verbreiteten Bogenlampen wurde, wenn auch ihre Anfänge weiter zurückreichen, doch namentlich veranlaßt durch die Erfindung der sogenannten *Flammenbogenlampen (Effektbogenlampen)* durch Bremer im Jahre 1899. Bei Flammenbogenlampen bestehen die Elektroden nicht aus reiner Kohlenmasse, sondern enthalten Leuchtsalze verschiedener Art (Kalziumsalze, Strontiumsalze, Magnesiumsalze, Fluoride) beigemischt. Die Menge und Art der Beimengungen solcher *Effektkohlen* bestimmen Lichtintensität und Lichtfarbe; immer ist die Lichtintensität erheblich größer als mit Elektroden aus reiner Kohle. Ein Übelstand der Effektkohlen ist nur der hohe Gehalt an Aschenbestandteilen, der bei übereinanderstehenden Kohlen zu schneller Verschlackung führt und sogar Erlöschen bewirken kann. Hier treten die Bogenlampen mit nebeneinanderstehenden, V-förmig angeordneten Elektroden helfend ein.

Eine derartige Bogenlampe mit horizontalem Lichtbogen (von Körting & Mathiesen) zeigt Fig. 474. Die Konstruktion entspricht fast ganz der Seillampe von Siemens & Halske, deren in Fig. 471 (S. 206) dargestellte Teile man in Fig. 474, wenn auch in anderer Lage zueinander, leicht wiedererkennt. Bei fast allen Effektbogenlampen brennen die Elektroden in sogenannten *Sparern* (1 in Fig. 474), die aus Schamotte, Magnesia oder Porzellan bestehen. Um eine hohe Lichtausbeute

zu erzielen, enthalten viele dieser Lampen sogenannte *Blasmagnete*, d. h. bis dicht an den Lichtbogen ist der Kern eines Elektromagnets herangeführt, unter dessen Einwirkung der Lichtbogen weggeblasen und nach unten sichelförmig ausgestülpt wird.

Die starke Entwickelung von Aschenstaub in den Flammenbogenlampen macht es nötig, den Reguliermechanismus sehr sorgfältig abzuschließen. Einen großen Fortschritt bedeuten daher die sogenannten *regelwerklosen Bogenlampen*, deren Regulierung ohne jedes Uhrwerk erfolgt. Das Vorbild dieser Lampen bildet die *Becklampe* (Fig. 475). Sie ist eine Stützkohlen-Effektbogenlampe mit festem, ständig gleichbleibendem Elektrodenabstand. Von den beiden Kohlen 1 und 2, die im spitzen Winkel nebeneinander stehen, hat die eine (1) die übliche Form der Rundkohle; dagegen besitzt die andere (2) eine hervorragende Abbrennrippe aus Kohle. Das Hauptgerüst der Lampe besteht aus der Gußkappe 3, aus der Lampenplatte (Brennerkopf) 4 und aus den diese beiden Teile verbindenden Stangen 5 und 6. Isoliert am Brennerkopf befestigt ist die Metallauflage 7, auf die sich die Abbrennrippe der Kohle 2 aufstützt. Bei Gleichstromlampen ist die unterstützte Kohle 2 immer die negative. Der Strom gelangt von der positiven Klemme durch ein leicht bewegliches Kabel zum positiven Kohlenhalter 8, durchläuft die Rundkohle 1 und den Lichtbogen, fließt von der Spitze der gestützten negativen Kohle 2 über die Unterstützungsstelle in die Auflage 7 und von dieser nach Passieren einiger anderer Teile in den Hauptstrommagnet 9 und dann zur negativen Klemme. Nach Einschalten des Stromes wird also 9 erregt und zieht einen Kern nach oben, mit dem gelenkig die Zugstange 10 verbunden ist. Diese greift unten in einen Gabelhebel, dessen Bewegung auf eine Schieberplatte übertragen wird und das Ausschwenken der Rundkohle 1 (und damit die Bildung des Lichtbogens) besorgt. Nach einer kurzen Brennperiode lockert sich dann infolge des Verzehrens der unteren Kohlenspitze, und somit auch der Rippe, der Kontakt zwischen Kohle und Auflage. Damit wächst zwischen beiden Teilen der Übergangswiderstand, so daß momentan an der Berührungsstelle ein stärkeres Aufglühen eintritt. Hierdurch wird ein gleichmäßiges Nachgleiten der negativen und damit auch der mit ihr durch eine besondere Vorrichtung zwangläufig gekuppelten positiven Kohle hervorgerufen. Ein Blasmagnet bläst den Lichtbogen sichelförmig nach unten. Der ganze Mechanismus beschränkt sich also auf den Elektromagnet.

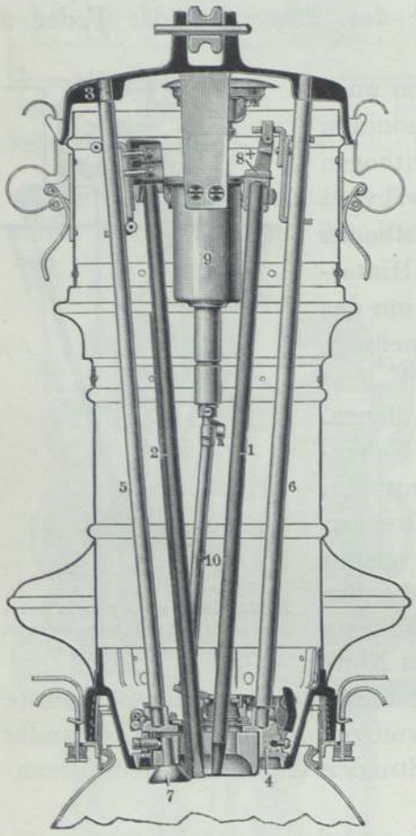


Fig. 475. Becklampe.

Die Bogenlampen mit nebeneinanderstehenden Elektroden werden nicht nur für Effektkohlen benutzt; z. B. verwendet die Becklampe für Innenbeleuchtung gewöhnliche Dochtkohlen. Die Effektbogenlampen enthalten Lüftungsvorrichtungen, damit sich die Glocken nicht mit Aschenbestandteilen beschlagen.

Außer der Becklampe, die auch als Mehrfachlampe gebaut wird, gibt es noch mehrere andere regelwerklose Bogenlampen, jedoch kann auf sie hier nicht eingegangen werden.

3. Lampen mit eingeschlossenem Lichtbogen.

Die Brenndauer einer Bogenlampe ist selbstverständlich abhängig von der Länge und Dicke der eingesetzten Kohlenstäbe. Gewöhnlich wählt man die Kohlen so lang, daß die Lampe 6—10 Stunden brennt. Die Notwendigkeit, dann jedesmal wieder neue Kohlen einzusetzen, wird vielfach als lästig empfunden. Man hat deshalb versucht, die Brenndauer der Kohlen wesentlich zu verlängern, und erreicht das dadurch, daß man den Lichtbogen in ganz kleinen Glasglocken

entstehen läßt und den Zutritt des Luftsauerstoffes möglichst erschwert. Solche *Dauerbrandlampen* erreichen eine Brenndauer bis zu 150 Stunden; die Spannung ist bei solchen Lampen viel höher als bei offenem Lichtbogen, und zwar beträgt sie 70—80 Volt.

Eine ältere Dauerbrandlampe ist die *Reginalampe*, deren Prinzip aus Fig. 476 hervorgeht. Der positive Strom tritt bei 1 ein und bei 2 aus. Er durchläuft die Spule 3, in der sich der Eisenkern 4 auf und ab bewegt. Dann läuft er durch die Kohlen 5 und 6, von denen 5 zwischen den Rollen 7 hin und her gleiten kann, und durch den Widerstand 8 nach 2. Die Kohlenspitzen befinden sich in einem besonderen kleinen Glasbehälter, der nur durch eine enge, unten befindliche Öffnung mit der äußeren Luft in Verbindung steht. Der Bogen erhitzt die in dem Glasbehälter befindlichen Gase so stark, daß ein großer Teil infolge der starken Ausdehnung ausgetrieben wird, der Bogen sich somit in einem stark luftverdünnten Raum befindet und eine höhere Temperatur und größere Länge erhalten kann. Hier nimmt außer den Kohlenspitzen auch der Lichtbogen selbst in erheblichem Maße an der Lichterzeugung teil, was sich an dem mehr violetten Lichte der Lampe zeigt. Das Licht der Reginalampe ist aber nicht sehr ruhig. Außer dem inneren Glasbehälter besitzt die Lampe noch eine äußere Glasglocke.

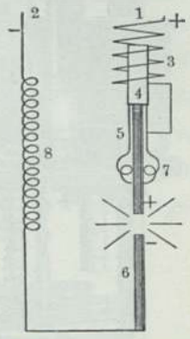


Fig. 476. Schema der Reginalampe.

Neuerdings findet man es vielfach vorteilhafter, den Luftzutritt zwar zu beschränken, aber nicht gar zu sehr abzuschließen. Man erhält dadurch sogenannte *Sparbogenlampen*, die nur von einer einzigen Glocke umgeben sind, eine Brenndauer von nur 20—24 Stunden aufweisen, aber viel weißeres Licht zeigen, ruhiger als die eigentlichen Dauerbrandlampen brennen und durch einen ökonomischen Stromverbrauch ausgezeichnet sind.

Nach vielen Versuchen ist es auch gelungen, Effektkohlen in Lampen mit eingeschlossenem Lichtbogen zu brennen. So erreicht die *Dauerbrand-Flammenbogenlampe* der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft mit einem Kohlenpaar durch weitgehenden Abschluß des Brennraumes eine Brenndauer von 80 Stunden. Bemerkenswert ist bei dieser Lampe (Fig. 477) die Gestaltung der Glocke. Diese besteht aus zwei zusammenhängenden Teilen 1 und 2, die an der Berührungsstelle stark eingeschnürt sind. 1 ist gewöhnlich Klarglas, 2 Opalüberfangglas. Durch diese Glockenform in Verbindung mit dem darüber liegenden Kondensationsraum 3 wird bewirkt, daß sich der starke Aschenniederschlag nicht auf dem den Lichtbogen umgebenden und hauptsächlich der Lichtausstrahlung dienenden Klarglasteil 1 absetzt, sondern infolge der in der Lampe herrschenden Temperaturverteilung entweder in den Kondensationsraum 3 oder in den Opalglasteil 2 gelangt.

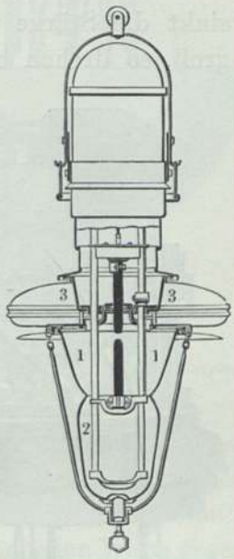


Fig. 477. Dauerbrand-Flammenbogenlampe der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft.

4. Wechselstrombogenlampen.

Soweit bei den bisher besprochenen Lampen das Regelwerk eingehender erörtert wurde, war im wesentlichen immer die Verwendung von Gleichstrom vorausgesetzt. Aber Bogenlampen lassen sich ja, wie schon eingangs erwähnt wurde, ebensogut mit Wechselstrom betreiben. In diesem Falle brennen dann beide Elektroden spitz zu und gleichschnell ab; man benutzt hier für beide Elektroden Dochtkohlen. Auch die Regelung der Wechselstromlampen kann im Grunde ebenso wie bei den Gleichstromlampen erfolgen. Denn man benutzt zur elektrischen Regelung ja stets die Anziehungskraft eines Elektromagnets gegenüber seinem Anker oder diejenige einer Spule gegenüber einem Eisenkern. Die magnetische Anziehung wird aber von der Stromrichtung bzw. der Polarität des entstehenden Magnetismus nicht beeinflußt. Also kann die Regelungsart bei Wechselstrombogenlampen die gleiche bleiben; nur muß man das Eisen des Elektromagnets wegen der entstehenden Wirbelströme zerteilen.

Aber man kann sich bei Wechselstromlampen doch auch anderer Regulierungsarten

bedienen und tut dies sogar mit Vorliebe. So verwendet die Wechselstrom-Nebenschlußlampe von Körting & Mathiesen (Fig. 478) statt der Anziehungskraft der Elektromagnete auf Eisenkerne deren abstoßende Wirkung gegenüber geschlossenen Eisenringen.

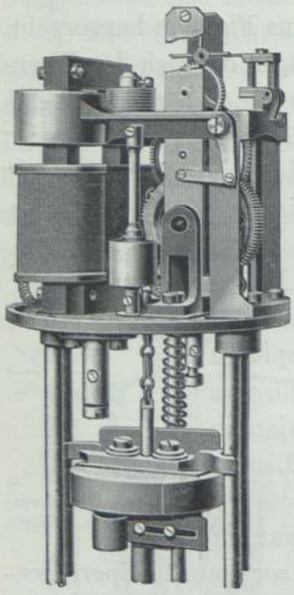


Fig. 478. Nebenschlußlampe für Wechselstrom von Körting & Mathiesen.

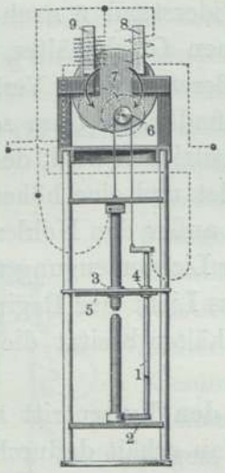


Fig. 479. Wechselstrombogenlampe von Schuckert.

Weiter sind die sogenannten *Motorlampen* beliebt, bei denen die Abstoßung einer zwischen den Polen eines Elektromagnets beweglichen Aluminiumscheibe zur Regulierung dient. Hierher gehört z. B. die Wechselstrombogenlampe von Schuckert, die in Fig. 479 schematisch dargestellt ist, während Fig. 480 ihren Regelungsmechanismus schaubildlich wiedergibt. Die Kohlen hängen an einer Schnur; die obere Kohle sowie der Halter 1—2 der unteren gehen durch die Specksteinringe 3 und 4 des Reflektors 5, der das Licht nach unten wirft. Die die Schnur haltende Rolle 6 ist durch Zahnradübersetzung mit der Aluminiumscheibe 7 verbunden, gerät also mit dieser zusammen in Drehung. In eine solche Drehung kommt 7, wenn sich der Magnetismus des Hauptstromelektromagnets 8 oder des Nebenschlußelektromagnets 9 ändert, da dann der Magnetismus in 7 Ströme erregt, auf die die Magnete abstoßend wirken. Beim Abbrennen der Kohlen sinkt die Stärke von 8, während die von 9 wächst. Wird also der Abstand der Kohlen zu groß, so drehen beide Magnete die Scheibe 7 so, daß der Abstand sich wieder verringert.

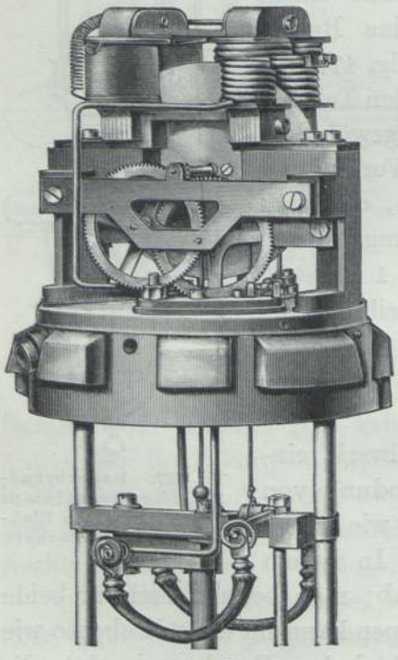


Fig. 480.

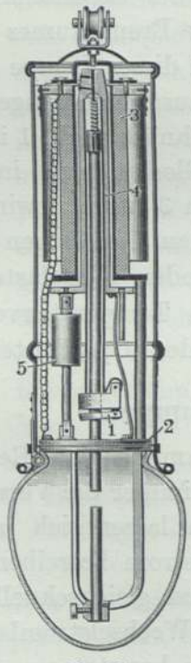


Fig. 481.

Fig. 480. Wechselstrombogenlampe von Schuckert. Fig. 481. Liliputlampe der Siemens-Schuckert-Werke.

Kleinbogenlampen. Bogenlampen für Helligkeiten von nur 100—200 Kerzen werden von verschiedenen Firmen nach dem Prinzip der Dauerbrandlampen gebaut und haben zum Teil sehr kleine Dimensionen, so daß sie sogar als Stehlampen verwendbar sind. Hierher gehört z. B. die *Liliputlampe* der Siemens-Schuckert-Werke, deren Inneres Fig. 481 zeigt. Der Mechanismus enthält kein Laufwerk, vielmehr werden die Kohlen nur durch magnetische Wirkung geklemmt und so in ihrer Bewegung reguliert. In der stromlosen Lampe sitzt die Klemmplatte 1 auf der Führungsplatte 2 auf, so daß die obere Kohle frei beweglich ist und auf die untere herabsinkt. Beim Einschalten des Stromes zieht Spule 3 den Anker 4 und damit auch die Klemmplatte 1 an. Diese stellt sich daher schräg und klemmt die obere Kohle fest, die dementsprechend mit dem Anker gehoben wird. So bildet sich der Lichtbogen. Beim Abbrand wird durch den erhöhten Widerstand der Lampenstrom schwächer und läßt den Anker 4 allmählich los; Klemmplatte 1 setzt sich auf Platte 2 auf, so daß die obere Kohle wieder nachrückt, bis sie bei richtigen Stromverhältnissen aufs neue geklemmt wird. Das Sinken der Kohle wird dadurch verlangsamt, daß sie gleichzeitig den Kolben einer Luftpumpe 5 in Bewegung setzt.

Die Kleinbogenlampen haben sehr an Bedeutung und Verbreitung verloren, seitdem es gelungen ist, hochkerzige Metallfadenglühlampen zu bauen.

5. Verwendung der Bogenlampen.

Da die meisten Bogenlampen 30—45 Volt Spannung brauchen, so schaltet man sie in Beleuchtungsnetzen von 110 Volt zu je zwei, in Netzen von 220 Volt zu je vier hintereinander. Dabei bleibt jedoch ein Teil der Spannung übrig, der verbraucht bzw. beseitigt werden muß. Es geschieht dies durch Einschaltung eines *Zusatzwiderstandes*, den man auch als *Beruhigungswiderstand* bezeichnet, weil er gleichzeitig den Stromverbrauch und Lichteffekt konstanter macht, als es das Regelwerk allein bewirken würde. Ein solcher Widerstand pflegt 20 bis 30 Volt zu vernichten, die nutzlos verloren gehen. Bei Wechselstrombogenlampen gibt es noch ein anderes Mittel, den Lampenstrom auf die richtige Spannung zu bringen; man kann nämlich eine *Drosselspule* einschalten, also einen Elektromagnet mit kleinem Bewickelungswiderstand, durch dessen Eisenkern die Selbstinduktion der Rolle sehr hoch gemacht wird. In dieser entstehen daher starke Induktionsströme, die den Wechselströmen des Netzes entgegenwirken und so die Spannung herabsetzen. Hiermit ist aber nicht, wie mit der Einschaltung eines Beruhigungswiderstandes, ein großer Verlust an Effekt verbunden, vielmehr geht nur ein geringer Teil verloren. Ein weiteres Mittel, die Spannung dem Bedürfnis der Wechselstromlampe anzupassen, besteht in der Benutzung sogenannter *Kleintransformatoren*, von denen jede Lampe einen erhält.

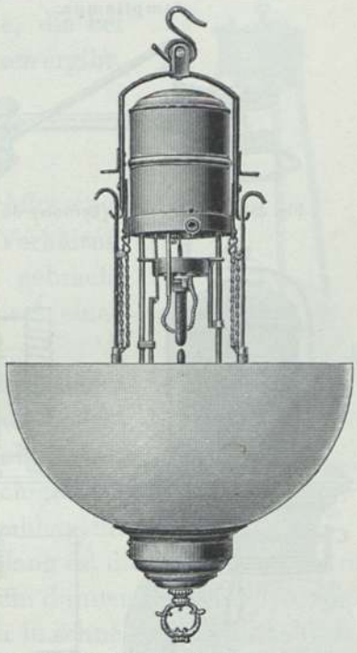


Fig. 482. Halbindirekte Bogenlampen-Beleuchtung.

Die Helligkeit des Bogenlichtes hängt von der Stromstärke ab, also entsprechend von der Länge des Lichtbogens, ferner auch von der Art der Kohlen. So bewegt sich die Lichtstärke von wenigen hundert Kerzen aufwärts bis zu Millionen von Kerzen. Am Blinkfeuer von Helgoland wurde z. B. die Lichtstärke der gewaltigen Bogenlampe, freilich unterstützt von dem zugehörigen Scheinwerfer, in einer Entfernung von 1200 m bei einem Stromaufwand von 34 Ampere und 45 Volt Spannung zu fast 43 Millionen Kerzen gemessen.

Die Bogenlampe dient hauptsächlich zur Beleuchtung im Freien, ferner von Sälen, großen Läden usw., neuerdings auch in steigendem Maße für Fabrikräume, Unterrichts- und Bibliothekräume usw. Für Zwecke der letztgenannten Art benutzt man sie namentlich in Form der *indirekten Beleuchtung*, wobei das Licht der von einem undurchsichtigen Unterteil umgebenen Lampe gegen die weiße Decke (oder einen großen weißen Reflektor) geworfen wird und erst von dort als mildes, diffuses Licht nach unten zurückstrahlt. Noch beliebter ist die *halbindirekte Beleuchtung* (Fig. 482), bei der der größte Teil des Lichtes in der beschriebenen Weise gegen die weiße Decke geworfen und von dort zerstreut wird, während der übrige Teil direkt nach unten gelangt, jedoch auch gemildert und zerstreut durch die halbkugelförmige Milchglasglocke der Lampe.

Was den Stromverbrauch der Bogenlampen anlangt, so legt man als praktisches Maß ihrer Leistung die *mittlere untere hemisphärische Lichtstärke* zugrunde, d. h. die direkte Beleuchtung des Raumes unterhalb einer durch die Lichtquelle gelegten Horizontalebene. Dabei soll die Bogenlampe von einer Klarglasglocke umgeben sein. Diese Lichtstärke wird verglichen mit dem Stromverbrauch. So erhält man als Verhältnis beider den sogenannten *praktischen spezifischen Effektverbrauch*, d. h. den Stromverbrauch, der sich auf die praktisch nutzbar gemachte Lichtstärke von 1 Hefnerkerze bezieht. Im allgemeinen rechnet man hiernach mit einem Stromverbrauch der Bogenlampen von 0,45—0,6 Watt auf eine Kerze. Bei Effektbogenlampen bewegt sich der Stromverbrauch pro Kerze zwischen 0,17 und 0,34 Watt, während er bei Kleinbogenlampen und Sparbogenlampen auf 0,6—1 Watt steigen kann.

6. Quecksilberdampflampen.

Als Quecksilberdampflampen bezeichnet man Beleuchtungsquellen, die auch zu den Bogenlampen gerechnet werden müssen. Der Unterschied gegenüber den gewöhnlichen Bogenlampen besteht darin, daß diese feste Elektroden enthalten, während die Elektroden der Quecksilberlampe aus Quecksilber bestehen. Da die Lampe ihre brauchbare Form durch Cooper-Hewitt erhielt, wird sie auch als *Hewitts Lampe* bezeichnet. In der einfachsten Form (Fig. 483) ist sie ein langes, fast luftleeres, etwas Quecksilber enthaltendes Glasrohr mit an den Enden eingeschmolzenen Stromzuführungen 1 und 2. Um die Lampe in Betrieb zu setzen, bedient man sich der sogenannten *Kippzündung*, d. h. das Glasrohr wird in horizontale Lage gebracht, so daß das Quecksilber sich über die ganze Röhrenlänge erstreckt und als Metallfaden die beiden Stromzuführungen verbindet. Wird dann das eine Rohrende wieder gesenkt, so bildet sich zwischen den sich teilenden Elektroden der Lichtbogen und erfüllt die ganze Röhre. Das Licht ist sehr hell, aber es hat einen bläulichgrünen Ton, der die Gesichter fahl erscheinen läßt, auch den Augen unangenehm ist.

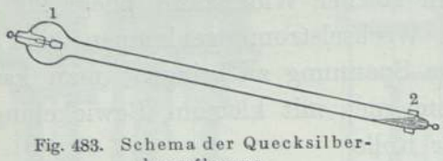


Fig. 483. Schema der Quecksilberdampflampe.

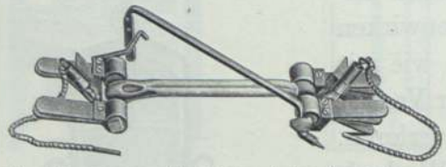


Fig. 485. Quarzrohr (Brenner) der Quarzlampe.

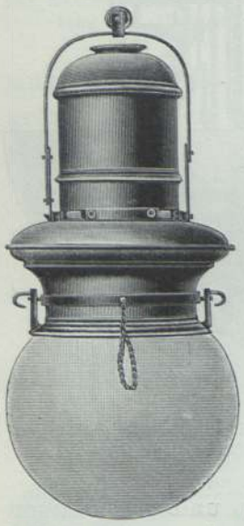


Fig. 484. Quarzlampe, Außenansicht.

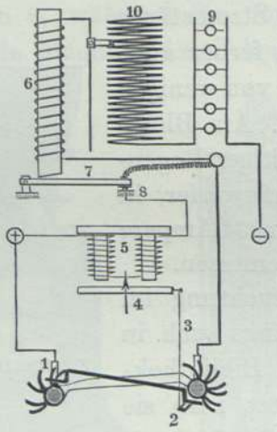


Fig. 486. Schema des Kippmechanismus der Quarzlampe.

Der Reichtum des Lichtes der Quecksilberdampflampe an violetten und ultravioletten Strahlen macht diese Lampe sehr geeignet für photographische Zwecke und ganz besonders für medizinische Anwendung, d. h. zur elektrischen Lichtbehandlung (gegen Hautkrankheiten usw.). Hierfür muß aber das Rohr aus Quarzglas (in geschmolzenem Zustande verarbeiteter Quarz) bestehen, weil gewöhnliches Glas die ultravioletten Strahlen nicht hindurchläßt. Derartige *Quarzlampen*, auch *Uviollampen* genannt, werden jetzt aber auch allgemein zu Beleuchtungszwecken verwendet, da das Quarzglas nicht springt und bei seinem sehr hochliegenden Schmelzpunkt starker Erwärmung ausgesetzt werden kann. Deshalb macht sich der Gebrauch solcher Lampen, trotz des sehr hohen Preises von Quarzglas, doch schließlich bezahlt. So erreicht die Temperatur in den Quarzlampen mehrere tausend Grad, und man erzielt Lichtstärken bis zu 3000 Hefnerkerzen, wobei der Stromverbrauch nur etwa 0,55 Watt pro Kerze beträgt. Das Quarzrohr ist gegenüber dem Rohr der gläsernen Quecksilberlampen beträchtlich verkürzt. Von außen gleichen derartige Quarzlampen (Fig. 484) gewöhnlichen Bogenlampen. Die Form des Quarzrohres zeigt Fig. 485; dieser sogenannte *Brenner* der Lampe hat ⊢⊣-Form, d. h. er ist mit zwei quer angesetzten Endgefäßen (ebenfalls aus Quarzglas) versehen, welche die Quecksilberelektroden enthalten. Diese Gefäße tragen außen Metallfächer, die als Kühler dienen, indem sie die Wärme von den Polgefäßen aufnehmen und ausstrahlen. Der Aufsatz der Lampe enthält einen automatischen *Kippmechanismus*, dessen Prinzip und Schaltung Fig. 486 erkennen läßt. Der Brenner 1—2, der von einer quer über dem Leuchtrohr liegenden Achse in zwei Lagern getragen wird, ist durch die Zugstange 3 mit dem Anker 4 des Nebenschlußelektromagnets 5 verbunden und wird beim Einschalten der Lampe durch die Anziehung von 4 selbsttätig um seine Achse gekippt, so daß von einem zum anderen Polgefäß Quecksilber überfließt und eine stromleitende Verbindung herstellt. Der Hauptstrom magnetisiert jetzt die Drosselspule 6, die ihren Anker 7 anzieht und dadurch den Nebenstromkreis des Kippmagnets bei 8 unterbricht. Brenner 1—2

fällt also wieder in seine Anfangslage zurück, das Quecksilber trennt sich im Leuchtrohr und bildet an der Trennungsstelle den Lichtbogen. Die aus Eisendraht bestehenden Vorschaltwiderstände 9 und 10 lassen sich für verschiedene Netzspannungen einstellen. Die Drosselspule 6 dient nicht nur dazu, nach dem Zünden des Brenners den Nebenschluß zu unterbrechen, sondern sie hat auch durch ihre Induktionswirkung den Brenner unempfindlicher gegen plötzlichen Spannungsabfall zu machen, wie er z. B. beim Einschalten großer Motoren eintreten kann. Unmittelbar nach dem Anzünden gibt der Brenner nur wenig Licht; erst nach etwa acht Minuten, wenn seine Polgefäße durchwärmt sind, erreicht er die volle Lichtstärke.

Soweit die Quarzlampen nicht für Heilzwecke bestimmt sind, müssen sie von einer äußeren Glasglocke umgeben sein, welche die den Augen schädlichen ultravioletten Strahlen zurückhält. Durch indirekte Beleuchtung, getönte Glocken oder gleichzeitiges Mitbrennen von elektrischen Glühlampen beseitigt man die unangenehme Farbe des Lichtes, soweit es sich nicht um beabsichtigte Reklameeffekte handelt. Derartige Quarzlampen, die als *Metalfalampe* und ganz ähnlich als *Saturnlampe* in den Handel gebracht werden, haben eine sehr kompendiöse Form. So zeigt Fig. 487 eine solche, für niedrige Räume bestimmte Lampe, die bei 220 Volt mit 2,5 Ampere brennt und eine Lichtstärke von etwa 1500 Kerzen ergibt.

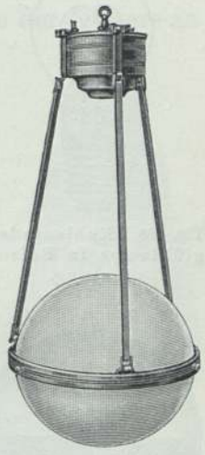


Fig. 487. Quarzlampe *Saturn* für automatische Zündung.

II. Glühlampen.

Das *elektrische Glühlicht* beruht darauf, daß ein vom Strom durchflossener Leiter nach dem Jouleschen Gesetz erhitzt und bei passendem Verhältnis zwischen Stromstärke und Widerstand zum Glühen und Leuchten gebracht wird. Die in einem elektrischen Leiter mit dem Widerstande W durch einen Strom J in der Zeit t erzeugte Wärmemenge hat die Größe $W . J^2 . t$.

Zuerst versuchte man auf diese Weise Glühlampen herzustellen, deren Glühkörper aus dünnem Platindraht bestand; jedoch ist bei wirklich hellem Leuchten die Gefahr des Abschmelzens sehr nahe gerückt, und auch abgesehen davon wird eine solche Lampe schnell unbrauchbar, da das Platin brüchig wird.

Nach vielen Versuchen hielt man sämtliche Metalle für unbrauchbar für den genannten Zweck und wandte sich anderen Stoffen zu. *Edison* gelang es, die erste brauchbare elektrische Glühlampe zu konstruieren; ihr Glühkörper besteht aus einem dünnen Kohlenfaden, und diese *Kohlenfadenglühlampe*, die 1881 in den Handel kam, eroberte sich in schnellem Zuge die Welt.

1. Kohlenfadenglühlampen.

Da glühende Kohle sich begierig mit dem Sauerstoff der Luft verbindet und verbrennt, so ist es nötig, für den beabsichtigten Zweck den Glühkörper von der Luft abzuschließen, indem man ihn in ein Glasgefäß einschmilzt, aus dem die Luft ausgepumpt wird.

Als Kohlenfaden verwendete Edison zuerst gepreßten Graphit, dann hufeisenförmig geschnittene Kartonstücke, die unter Luftabschluß verkohlt wurden, und endlich zu Bügeln oder Schleifen gebogene feine Bambusfasern, die er in luftabschließenden Muffeln einer Temperatur von 200° aussetzte. Jetzt dient als Material des Glühfadens ausschließlich künstlich hergestellte reine Zellulose, die durch Düsen zu feinen Fäden gepreßt wird. Die getrockneten und schleifenförmig gebogenen Fäden werden zunächst verkohlt und dann *karbonisiert*. Sie sind nämlich nie überall genau gleich dick, und um diesen Fehler auszugleichen, werden sie in kohlenwasserstoffreichen Gasen (z. B. Leuchtgas) durch den elektrischen Strom zum Glühen gebracht. Hierbei zersetzen sich die Kohlenwasserstoffe bei der Berührung mit dem glühenden Kohlenfaden, und es schlägt sich strukturlose Kohle auf dem Faden nieder und erhöht dessen Elastizität und Festigkeit. Gleichzeitig werden aber auch alle Querschnittsdifferenzen ausgeglichen, denn der Faden kommt da zum hellsten Glühen, wo er den größten elektrischen Widerstand bietet, also am dünnsten ist, und dort muß sich dementsprechend auch mehr Kohle niederschlagen als an den dickeren, weniger

glühenden Fadenstellen. Auch flüssige Kohlenwasserstoffe werden zum Karbonisieren benutzt. Der Kohlenfaden läßt sich nicht luftdicht in Glas einschmelzen, da Kohle und Glas verschiedene Ausdehnungskoeffizienten haben. Man verwendet daher zur Durchführung durch das Glas kurze Platindrähte, die mit dem Kohlenbügel durch ein dem Karbonisieren entsprechendes Niederschlagen von Kohlenstoff an der Verbindungsstelle vereinigt werden.

Fig. 488 zeigt eine Kohlenfadenlampe gewöhnlicher Form, worin 1 der Kohlenbügel ist. Die von den Enden des Fadens ausgehenden Platindrähte führen zu zwei voneinander isolierten Metallstücken *(Kontakten)* außen am Lampenkörper. Zum Gebrauch wird jede Lampe in eine sogenannte *Fassung* eingesetzt, die sich an den Beleuchtungskörpern befindet, und zu der die Stromleitungsdrähte führen; diese Zuleitungen müssen in der Fassung voneinander isoliert sein. Die am meisten gebräuchliche Fassung ist die *Edisonfassung*. Der Lampenkörper trägt dann (Fig. 488) ein metallisches Schraubengewinde *(Edisongewinde)* 2, mit dem der eine Platindraht verbunden ist. Davon durch Gips isoliert trägt der Boden ein Metallstück 3, zu dem der andere Platindraht führt. Die zugehörige eigentliche Fassung enthält die passende Schraubenmutter und davon isoliert eine Metallfeder, so daß nach dem Einschrauben der Lampe diese Feder mit dem Metallstück 3, dagegen die Schraubenmutter mit dem Lampengewinde 2 in leitender Verbindung steht. Diese Fassung gibt vorzüglichen Kontakt und die Möglichkeit, Lampen schnell und bequem auszuwechseln.

Fig. 488. Kohlenfadenglühlampe in Edisonfassung.

Fig. 491. Reflektorlampe.

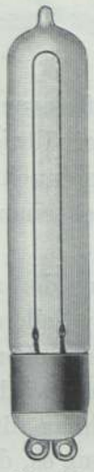


Fig. 489. Röhrenlampe.

Fig. 490. Kerzenlampe.

Fig. 489—491. Formen elektrischer Glühlampen.

Außer in der dargestellten Birnenform fertigt man Glühlampen auch in Kugelform und Röhrenform (Fig. 489) und als Kerzenlampen (Fig. 490), ferner auch mattiert, mit zum Teil spiegelnder Hülle (*Reflektorlampen*, Fig. 491), farbig usw., und alle diese in sehr verschiedener Größe.

Die Leuchtkraft der Glühlampen hängt außer von der Stromstärke ab von dem Widerstand des Kohlenfadens. Der letztere nimmt bei der Erwärmung beträchtlich ab, und zwar beträgt er bei weißglühendem Faden nur etwa die Hälfte von dem Widerstande in kaltem Zustand. Jede Glühlampe darf nur mit einem Strom passender Stärke gespeist werden; ist der Strom zu stark, so *zerstäubt* der Kohlenfaden sehr schnell, oder er brennt überhaupt sofort durch. Ist anderseits der Strom zu schwach, so gerät die Lampe nicht bis zur hellen Weißglut. Für jede Glühlampe gibt es daher eine normale Stromstärke, mit der sie gebrannt werden muß. Man gibt jedoch gewöhnlich nicht diese an, sondern die Spannung des speisenden Stromes, denn da der Widerstand der Lampe in der Fabrikation gegeben, also von vornherein bekannt ist, so folgert aus der normalen Spannung auch die normale Stromstärke.

Die üblichsten Spannungen für Glühlampen sind 110 und 220 Volt, doch baut man auch Lampen für viel niedrigere Spannungen, z. B. Miniaturlämpchen für 2 und 4 Volt. Die gewöhnlichen 110- und 220voltigen Lampen werden für eine Lichtstärke von 16 Kerzen (gewissermaßen die „Normallampe"), 25 und 32 Kerzen hergestellt, doch auch für geringere und größere Helligkeit. Glühfäden, die bei 220 Volt dieselbe Lichtstärke ergeben sollen wie bei 110 Volt, müssen erheblich dünner und länger sein und lassen sich nur in Form mehrfach gewundener Schleifen oder als Doppelbügel in der Birne unterbringen. Wird eine Kohlenfadenlampe nie mit stärkerem als dem für sie normalen Strom gespeist, so hat sie durchschnittlich eine Brenndauer von 600—800 Stunden, jedoch nimmt die Lichtstärke in dieser Zeit um 20—25 Proz. ab. Der Stromverbrauch der Kohlenfadenlampen schwankt zwischen 2,5 und 3,5 Watt pro Hefnerkerze; übrigens nimmt der Verbrauch gegen Ende der Brenndauer wesentlich zu. Man kann Kohlenfadenlampen konstruieren, die sehr hoch erhitzt werden und dementsprechend viel Licht geben; solche Lampen werden, weil sie einen

verhältnismäßig niedrigen Stromverbrauch (bis 1,5 Watt pro Kerze herab) haben, *niederwattige Lampen* genannt. Aber solche Lampen haben nur eine äußerst kurze Brenndauer, während *hochwattige Lampen* mehr Strom verbrauchen, aber auch viel länger halten. Ob man Glühlampen mit Gleichstrom oder Wechselstrom brennt, ist ohne wesentlichen Einfluß.

Da die Glühlampe einen verhältnismäßig sehr hohen Widerstand hat, bedarf sie auch hoher Spannung, dagegen nur geringer Stromstärken. Deshalb wählt man für Glühlampen fast ausnahmslos *Parallelschaltung*. Nur bei Anwendung kleinkerziger Illuminationslämpchen usw. kommt auch Hintereinanderschaltung in Frage.

2. Metallfadenglühlampen.

Neuerdings ist der Kohlenfadenlampe in der Metallfadenlampe ein so starker Konkurrent erwachsen, daß man ein allmähliches Verschwinden der Kohlenfadenlampe als wahrscheinlich hinstellen kann. Drei Metalle sind es, die man bisher in großem Maßstabe als Fadenmaterial elektrischer Glühlampen verwendet hat, nämlich *Osmium*, *Tantal* und *Wolfram*. Diese drei Metalle können in Fadenform erheblich höher erhitzt werden als der Kohlenfaden, ohne wie der letztere zu zerstäuben und auch noch ohne zu schmelzen. Glühlampen mit Fäden aus diesen Metallen brennen viel ökonomischer als Kohlenfadenlampen, beträgt doch z. B. der Stromverbrauch der Tantallampen nur etwa 1,5, der Wolframlampen wenig über 1—1,1 Watt pro Hefnerkerze.

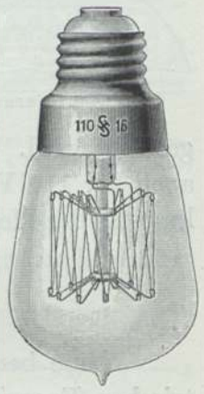


Fig. 492. Tantallampe.

Die von Auer erfundene *Osmiumlampe* ist wegen mancherlei Übelstände wieder aus dem Handel verschwunden; um so mehr vergrößern Tantal- und Wolframlampe ihr Feld. Wegen des gegenüber Kohle viel geringeren elektrischen Widerstandes der Metalle müssen die Metallfäden viel länger sein als Kohlenfäden, und man muß, um den langen Draht in der Glühbirne unterzubringen, eine Art von Zickzackwickelung wählen, wie dies Fig. 492 bei der *Tantallampe* zeigt. Dadurch, daß die Drahthalter in eine gläserne Mittelsäule eingeschmolzen sind, wird Kurzschluß zwischen den einzelnen Windungsstücken verhindert. Auch die Metallfadenlampen befinden sich in einer luftleeren Glashülle.

Die *Wolframlampen* haben, wie erwähnt, noch erheblich geringeren Stromverbrauch als die Tantallampen, und wenn sie diese dennoch nicht zu verdrängen vermögen, so liegt das an ihrer hohen Empfindlichkeit gegen Stöße usw. Die Wolframlampen wurden bis in die letzte Zeit meistens nach dem *Spritzverfahren* hergestellt, bei dem man das Metall in kolloidaler Form mit Wasser zu einer Paste anrührt und diese durch feine Düsen hindurch in Fadenform preßt. Dagegen läßt man beim *Substitutionsverfahren* einen Kohlenfaden in einem Gemisch aus Wolframoxychloriddampf mit Wasserstoff glühen, wobei sich das Wolfram auf dem Kohlenfaden niederschlägt; durch nachherige Erhitzung auf Weißglut wird die Kohle des Fadens verflüchtigt, so daß reines Wolfram in Fadenform zurückbleibt. Nach einem dieser Verfahren hergestellte Wolframfäden sind nun eben gegen Erschütterungen sehr empfindlich, so daß sie beispielsweise in den Wagen von Straßenbahnen nicht verwendet werden können und auch für Tisch- und Zuglampen nicht empfehlenswert sind. Viel besser verhalten sich gegen mechanische Einflüsse die Tantallampen, deren Fäden direkt aus dem kompakten Tantalmetall *gezogen* werden. Jetzt werden aber auch Wolframlampen nach demselben Verfahren, also aus gezogenem Wolframdraht, hergestellt, die ebenfalls haltbarer sind als die nach anderen Verfahren erhaltenen.

Wolframlampen kommen unter zahlreichen Phantasienamen in den Handel, z. B. als *Osramlampe*, *Kuzellampe*, *Kolloidlampe*, *Omegalampe* usw., auch als *Metallfadenlampe* schlechthin; Wolframlampen mit gezogenem Faden als *Wotanlampe* und *Metalldrahtlampe*.

Auch gezogene Metallfäden sind immerhin noch stoßempfindlicher als Kohlenfäden, so daß zunächst der Kohlenfadenlampe noch gewisse Gebiete verbleiben. Hierzu trägt auch bei, daß die Metallfadenlampen wesentlich teurer sind als Kohlenfadenlampen, wenngleich der Preis schon sehr ermäßigt worden ist.

Auf andere Metallfadenlampen, wie die *Helionglühlampe* (Kohlenfaden mit einem Mantel von Siliziummetall) und die *Zirkonlampe*, kann hier nicht eingegangen werden.

3. Nernstlampe.

Eine besondere Stellung unter den Glühlampen nimmt die Nernstlampe ein, da ihr Glühkörper aus *Metalloxyden* besteht und — ebenfalls im Gegensatz zu Kohlenfaden- und Metallfadenlampen — *in freier Luft* glüht. Die Form des Nernstglühkörpers ist die eines *Stäbchens* aus Magnesia mit Zer- und Thoroxyd. Da die Oxyde dieser Erdmetalle bei niedriger Temperatur außerordentlich hohen elektrischen Widerstand haben und erst in erhitztem Zustande den Strom leiten, ist es nötig, das Glühstäbchen der Nernstlampe vorzuwärmen: Der Strom bringt (Fig. 493) eine Heizspirale 1—2 zum Glühen und erhitzt dadurch das im Innern sitzende Glühstäbchen 3. Hierdurch wird der Widerstand des Glühkörpers geringer, so daß er selbst den Strom leitet und nun in Weißglut gerät. Jetzt wird die parallel zum Glühstäbchen geschaltete Heizspirale 1—2 stromlos, und zwar dadurch, daß der Hauptstrom, weil er das Glühstäbchen 3 passieren kann, auch die Windungen des kleinen Elektromagnets 4 durchfließt, so daß der Anker 5 angezogen und der Heizstromkreis geöffnet wird. Die Nernstlampe ist vor allem eine Hochspannungslampe für 220 Volt, wird aber auch für 110 Volt gebaut; ihr Stromverbrauch ist 1,5 Watt pro Hefnerkerze. Unter der Konkurrenz der Metallfadenlampe verschwindet die Nernstlampe allmählich aus dem Verkehr.

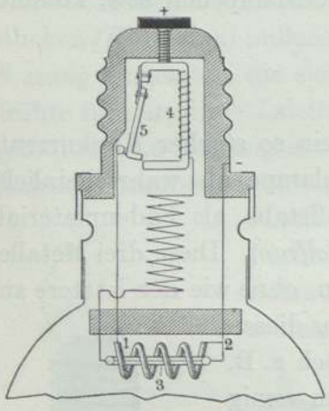


Fig. 493. Nernstlampe.

B. Elektrische Bahnen.

Eine besondere Form der elektrischen Kraftübertragung bildet die Ausnutzung der elektrischen Energie zum Transport von Fahrzeugen. Dies gilt wenigstens für die gebräuchlichsten Systeme elektrischer Bahnen. Ohne Fernübertragung arbeiten nur solche Bahnen, die ihre Stromquelle mit sich führen, also Akkumulatorenwagen und benzolelektrische Triebwagen.

Die Möglichkeit, elektrische Energie den Fahrzeugen von weither zuzuführen, bietet große Vorteile gegenüber der Verwendung anderer Energieformen, bei denen es fast ausnahmslos nötig ist, daß das bewegte Fahrzeug die ganze Energiequelle mit sich führt. Das gilt vor allem für die Dampfeisenbahnen, bei denen der Heizstoff und das Wasser sowie der Dampfkessel außer der eigentlichen Dampfmaschine mittransportiert werden müssen. Wo dies nicht nötig ist, wie z. B. bei der feuerlosen Lokomotive (vgl. Abteilung „Eisenbahn"), beschränkt sich die Verwendung auf sehr kurze Strecken.

Zum Betriebe einer elektrischen Eisenbahn genügt es, an einem oder einigen Punkten der zu betreibenden Strecke ortfeste Kraftquellen zu schaffen (Dampfmaschinen, Wasserturbinen usw.) und durch sie elektrische Generatoren treiben zu lassen. Die gewonnene elektrische Energie führt man durch Leitungen den Triebwagen der Bahn zu; die Wagen enthalten Elektromotoren, die die zugeführte elektrische Energie wieder in mechanische umwandeln und auf die Räder übertragen. Die Schwierigkeiten liegen dabei darin, den in Bewegung begriffenen Wagen den Strom sicher zuzuführen, also darin, daß die Stromleitung wegen der wechselnden Entfernung zwischen Stromquelle und Fahrzeug eine fortwährend wechselnde Länge haben muß.

W. v. Siemens, der Erfinder der elektrischen Bahnen, benutzte zuerst (1879) zur Stromzuführung die Schienen, und zwar zur Zuführung eine isolierte Mittelschiene, auf der eine Kontaktvorrichtung des Wagens schleifte, während die Stromrückführung durch die Räder und Außenschienen erfolgte. Dieses System ist aber wenig betriebssicher, da schon bei feuchter Witterung ein Stromübergang zwischen Mittel- und Außenschienen unvermeidlich ist, auch jeder quer auf das Gleis fallende Leiter Kurzschluß hervorruft. Zudem verbietet die Anordnung jede Verwendung höherer Spannungen wegen der Lebensgefahr bei etwaiger Berührung der Schienen.

Man teilt die elektrischen Bahnen nach der Art der Stromzuführung, d. h. nach der Form der *Arbeitsleitungen*, ein in: 1. *Bahnen mit oberirdischer Stromzuführung*, 2. *Bahnen mit unterirdischer Stromzuführung*, 3. *Bahnen mit dritter (Strom-) Schiene* und 4. *Bahnen ohne äußere Stromzuführung*.

Nach der Art des Verwendungszweckes unterscheidet man *Straßenbahnen*, *Stadtbahnen*, *Vollbahnen (Fernbahnen)* und *Industriebahnen*.

I. Elektrische Straßenbahnen.

1. Straßenbahnen mit oberirdischer Stromzuführung.

Für Straßenbahnen kommt die oberirdische Stromzuführung am meisten in Betracht. Das Schema einer Straßenbahn mit Oberleitung zeigt Fig. 494. In Wirklichkeit ist die Anordnung nicht so einfach, denn sonst würde ein Drahtbruch an irgendeiner Stelle den Betrieb auf der ganzen Strecke unterbrechen, was nicht geschehen darf. Man führt deshalb vom Generator längs der Strecke eine Hauptstromleitung *(Speiseleitung)*, die aber nicht von den Wagenkontakten berührt wird, sondern vor allen Beschädigungen geschützt liegt. Der eigentliche *Fahrdraht (Trolleyleiter)*, über den Gleismitten, wird in Abständen von je 100 bis 300 m mit Strom aus der Speiseleitung versorgt (Schema Fig. 495), so daß bei Störung der Fahrleitung nur eine kurze Strecke stromlos wird.

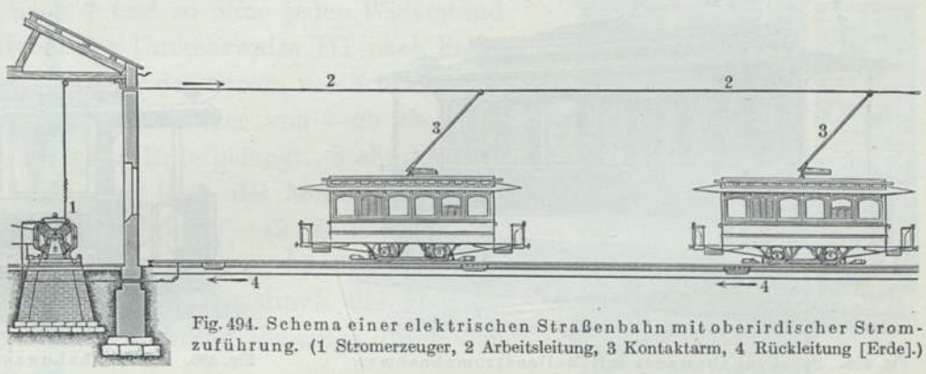


Fig. 494. Schema einer elektrischen Straßenbahn mit oberirdischer Stromzuführung. (1 Stromerzeuger, 2 Arbeitsleitung, 3 Kontaktarm, 4 Rückleitung [Erde].)

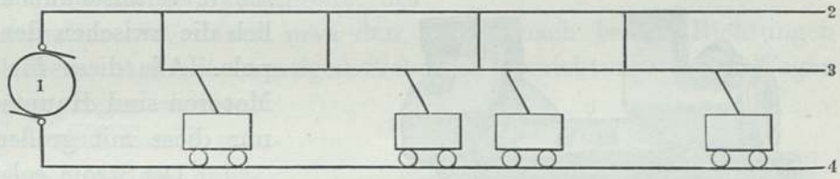


Fig. 495. Schema einer elektrischen Straßenbahn mit oberirdischer Stromzuführung und besonderer Speiseleitung. (1 Stromerzeuger, 2 Speiseleitung, 3 Arbeitsleitung [Fahrdraht], 4 Rückleitung [Schiene].)

Der Fahrdraht (Siliziumbronzedraht) ist isoliert an Querdrähten aus Stahl und mittels dieser, nochmals isoliert, zwischen Rohrmasten aufgehängt (Fig. 496), an deren Stelle oftmals auch Wandrosetten oder Auslegermasten treten.

Als Stromabnehmer vom Fahrdraht dient eine *Kontaktrolle* (*Trolley*, Fig. 497), deren Haltestange auf dem Wagendach mittels eines Gelenkes befestigt ist (wegen der wechselnden Höhe des Fahrdrahtes) und durch Federn gegen den Draht gedrückt wird. Einen Straßenbahnwagen mit Rollenkontakt zeigt Fig. 498. Da die Rolle nicht selten vom Fahrdraht abspringt, verwendet man häufig statt ihrer einen *Gleitbügel* (Fig. 499). Für hohe Geschwindigkeiten ist der Bügelstromabnehmer die einzig mögliche Kontaktvorrichtung; namentlich wird durch sie die Führung der Drähte über Kurven und Weichen viel einfacher.

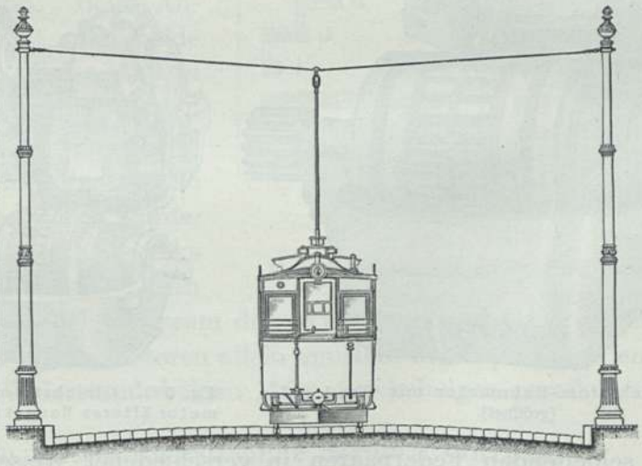


Fig. 496. Aufhängung der Leitung zwischen Rohrmasten.

Fig. 497. Kontaktrolle.

Der unten im Wagengestell sitzende Elektromotor ist, um gegen Beschädigungen, Staub und Schmutz geschützt zu sein, vollständig eingekapselt *(Kapselmotor)*. Die Übertragung von ihm auf die Radachsen geschieht durch Zahnräder (einfaches Stirnradvorgelege 1:4 bis 1:6). Für Straßenbahnen kommt meistens Gleichstrom von 500—1000 Volt Spannung zur Anwendung. Einen älteren Gleichstrom-Bahnmotor zeigt (geöffnet) Fig. 500. Neuerdings rüstet man die

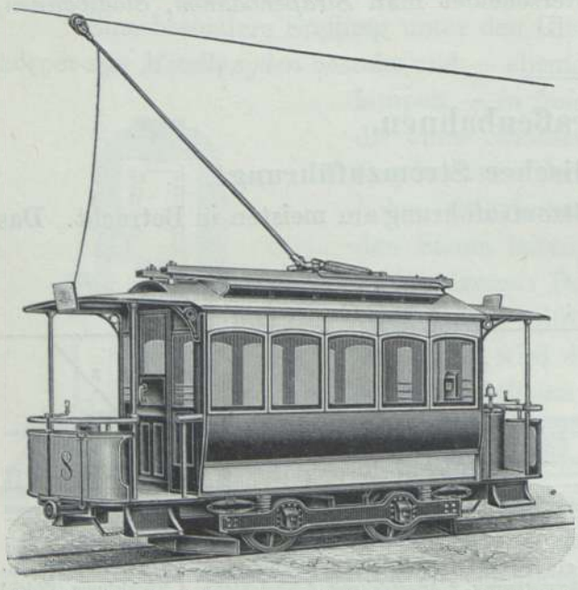


Fig. 498. Straßenbahnwagen mit Rollenstromabnehmer.

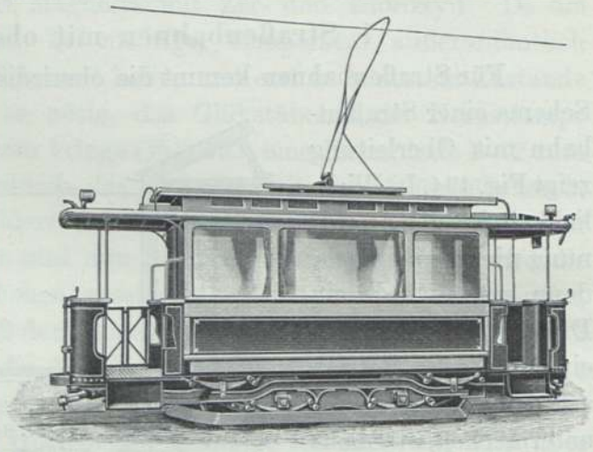


Fig. 499. Straßenbahnwagen mit Bügelstromabnehmer.

Motoren mit Wendepolen (vgl. S. 160) aus, und zwar zu dem Zweck, die Funkenbildung an den Bürsten zum Verschwinden zu bringen; einen solchen Motor der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft veranschaulicht Fig. 501; man erkennt deutlich die zwischen den Hauptpolen liegenden Wendepole. Alle diese für den Bahnbetrieb verwendeten Motoren sind Hauptstrommotoren (vgl. S. 172), da nur diese mit großer Zugkraft anlaufen.

Der Strom gelangt von dem Schleifkontakt aus nicht direkt zum Motor, sondern muß vorher einen *Fahrschalter (Kontroller)* passieren, der am Platze des Wagenführers angeordnet ist und dazu dient, die Geschwindigkeit des Wagens zu regeln sowie bei Bedarf auch die Fahrtrichtung umzukehren. Einen Fahrschalter zeigt (geöffnet) Fig. 502. Auf einer Walze, die vom Wagenführer mittels Kurbel gedreht wird, sitzt übereinander eine Reihe von Kontaktstücken, auf denen Federn schleifen können. Die Kontaktstücke werden mit den Ankerdrähten, mit der Magnetwickelung und mit Drahtwiderständen je nach den schleifenden Federpaaren in verschiedener Weise verbunden. Die Geschwindigkeit verändert man durch Einschaltung von Widerständen in den Stromkreis oder dadurch, daß man die mehrfach unterteilte Magnetwickelung parallel oder hintereinander schaltet. Damit der Motor rückwärts läuft, muß man die Stromrichtung im Anker oder in den Magneten (nicht in beiden

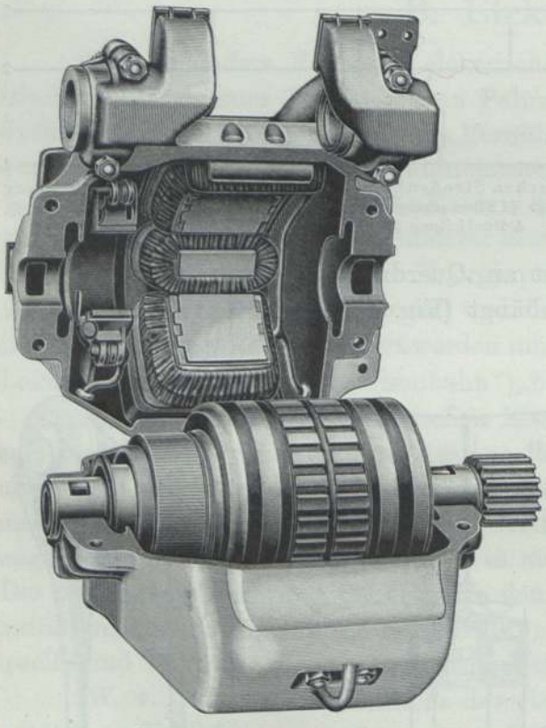


Fig. 501. Gleichstrom-Bahnmotor mit Wendepolen (geöffnet).

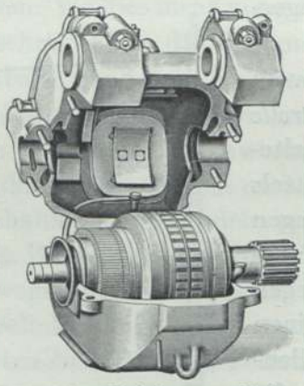


Fig. 500. Gleichstrom-Bahnmotor älterer Bauart (geöffnet).

gleichzeitig!) umkehren, wozu der Kontroller noch eine zweite Walze *(Reversierwalze)* enthält, die nur bei Fahrtrichtungsänderungen benutzt wird. Das Schema eines ganz einfachen Fahrschalters mit Reversierwalze zeigt Fig. 503; die Geschwindigkeitswalze ist mit I, die Reversierwalze mit III bezeichnet; II ist das System der Schleiffedern. Der Strom gelangt zuerst nach 1; bei der ersten Stellung von I geht er von 1 nach 10, 11, 2, dann durch alle fünf zwischen 2 und 7 eingeschalteten Widerstände und darauf erst zum Motor, der aus der Magnetwickelung 19 und dem Anker 20 besteht. Durch Weiterdrehen der Kurbel I werden die Widerstände nach und nach ausgeschaltet, so daß der Wagen immer schneller läuft. Schleift z. B. Kontakt 16 auf 7, so geht der Strom von 1 über 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 nach 7 und so ohne jeden Widerstand zum Motor. Steht der Hebel der Umkehrwalze III nach links, so läuft der Motor vorwärts, indem der Strom von 7 über +19, —19, 21, 22, 23, 26, dann durch den Anker von —20 bis +20, nach 27, 24, 25, 28, 8, 17, 18, 9 zur Erde gelangt. Steht dagegen der Hebel von III nach rechts, so läuft der Motor rückwärts, denn der Strom gelangt von 7 über +19, —19, 21 nach 29, 31, 27, durch den Anker von +20 nach —20, 26, 30, 32, 28, 8, 17, 18, 9 zur Erde, d. h. die Stromrichtung durch die Magnetwindungen ist dieselbe geblieben, während diejenige durch den Anker umgekehrt worden ist.

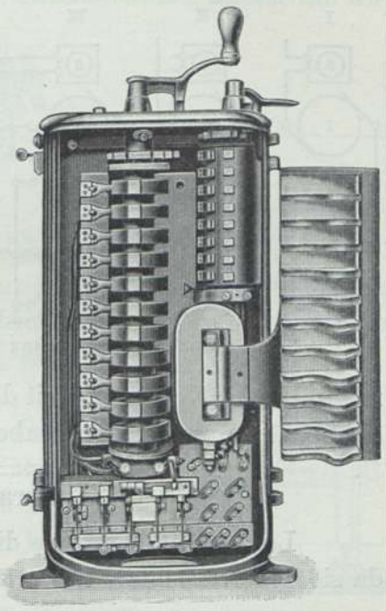


Fig. 502. Fahrschalter, geöffnet.

Da an den Kontaktstücken der Fahrschalter leicht Lichtbogen entstehen, so enthält der Fahrschalter noch eine magnetische Ausblasevorrichtung. Auch weist jede Stirnseite des Wagens einen besonderen Fahrschalter auf, damit man den Wagen nach beiden Richtungen führen kann, ohne ihn umzudrehen. Auf die sonstigen Sicherheitsvorrichtungen der Wagen soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden.

Größere Straßenbahnwagen sind immer mit mehreren Motoren ausgestattet; auch hat das Fahrgestell sehr häufig mehr als zwei Achsen.

Enthält der Wagen mehrere Motoren, so legt man sie zusammen in eine Schaltung (Fig. 504); in der Figur bezeichnet 1 den ersten Motor, 2 den zweiten Motor und 3 den Widerstand. Beim Anfahren (Stellung I der Figur) schaltet man beide Anker und beide Magnete mit dem Widerstand in Reihe. Zur Erhöhung der Geschwindigkeit werden die Widerstände allmählich abgeschaltet; ist dies ganz erfolgt (II), so hat die Geschwindigkeit die Hälfte des Wertes, den jeder Motor erreichen würde, wenn er allein an der Spannung läge. Zwecks weiterer Geschwindigkeitssteigerung schaltet man nun beide Motoren parallel und legt dabei wiederum den Widerstand vor (III). Letzterer wird dann wieder allmählich abgeschaltet, bis die Motoren allein am Netz liegen (IV), und endlich kann man für größte Tourenzahlen den Widerstand beiden Magnetwickelungen parallel schalten (V).

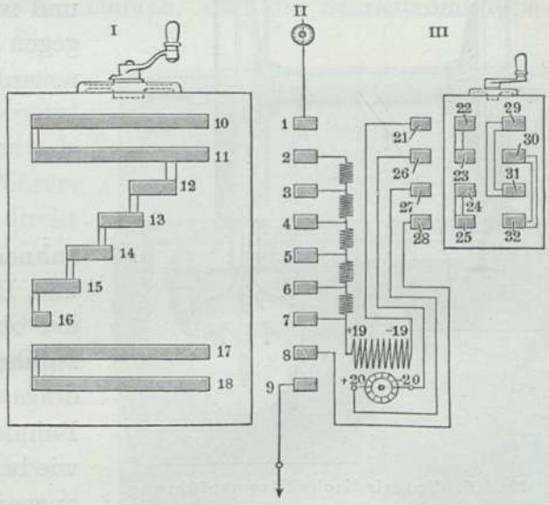


Fig. 503. Schema eines einfachen Fahrschalters.

2. Straßenbahnen mit unterirdischer Stromzuführung.

Solche sind in der Anlage viel teurer als Bahnen mit Oberleitung und werden nur noch verhältnismäßig selten angelegt. Bei diesem System bestehen die beiden Arbeitsleitungen (Hin- und Rückleitung) aus schmiedeeisernen, meist **T**-förmigen Profileisen, die unterirdisch liegen, und

zwar dient zu ihrer Aufnahme ein im Straßenkörper liegender Kanal aus Beton, in dem die Profileisen auf Isolatoren ruhen. Gewöhnlich liegt der Kanal unter einer der Fahrschienen, so daß diese, die dann zweiteilig ausgeführt wird, die Decke des Kanals bildet und im Scheitel einen Schlitz von ca. 30 mm Breite freiläßt. Der Schlitz dient zur Einführung des unterirdischen Stromabnehmers und außerdem als Spurrille für die Spurkränze der Räder (Fig. 505). Zwei bewegliche (federnde) Zungen des Stromabnehmers legen sich nach Durchführung durch den Schlitz auf die Stromschienen auf und gleiten während der Fahrt auf ihnen entlang; sie führen Strom den Motoren zu und wieder zurück (*zweipolige* Ausführung). In Amerika findet sich ein ähnlicher Schlitzkanal häufig in der Mitte zwischen beiden Fahrschienen angeordnet. Daß die unterirdische Stromzuführung wenig verbreitet ist, erklärt sich nicht nur durch die Kostspieligkeit der Anlage, sondern auch dadurch, daß in Gegenden, die mit größeren Schneefällen zu rechnen haben, leicht Betriebsstörungen eintreten.

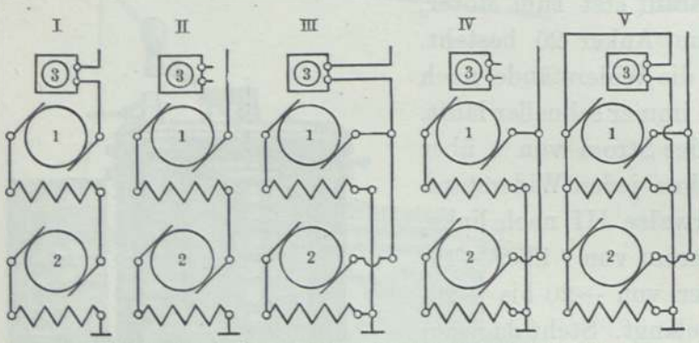


Fig. 504. Zusammenschaltung zweier Wagenmotoren.

3. Straßenbahnen mit Akkumulatorenwagen.

Lange Zeit herrschte die Tendenz, elektrische Oberleitungen in den Städten zu verbieten, da sie das Straßenbild beeinträchtigen sollten. Unter diesen Umständen versuchte man, Straßenbahnen mit Akkumulatoren zu betreiben. Die Akkumulatorenbatterie war unter den Sitzen angebracht und wurde an den Endpunkten der Fahrstrecke geladen. Diese Betriebsart hat sich aber als durchaus unwirtschaftlich erwiesen und ist für Straßenbahnen ganz wieder verschwunden. Dagegen beginnen sich Akkumulatorenwagen für andere Zwecke neuerdings einzuführen; wir kommen darauf Seite 226 zurück.

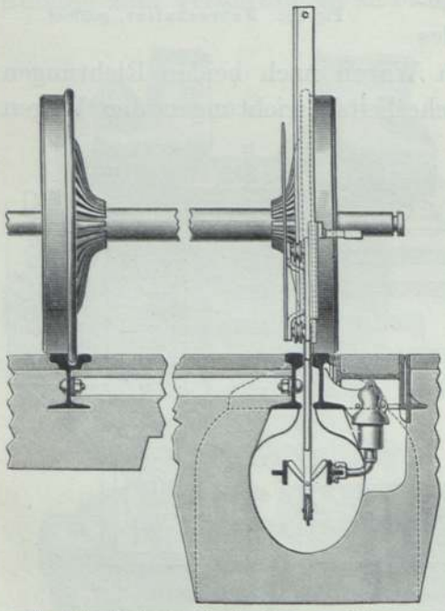


Fig. 505. Unterirdische Stromzuführung.

II. Elektrische Fernbahnen.

Unter *Fernbahnen*, als Gegensatz zu den Straßenbahnen, sind hier auch die elektrisch betriebenen Stadt- und Ringbahnen zu verstehen. Bei diesen kommt außer der oberirdischen Stromzuführung vorzugsweise die Stromzuführung *mittels dritter Schiene* in Betracht, wobei allerdings ein besonderer, von anderem Verkehr abgeschlossener Bahnkörper Bedingung ist. Die Stromschiene ist aber nicht, wie bei der ersten Siemensschen Bahn, zwischen den Schienen angeordnet, sondern seitwärts vom Gleis und etwas erhöht, so daß zufällige Kurzschlüsse kaum zu befürchten sind. Wo solche doch möglich sind, wird die Stromschiene einseitig überdacht. Fig. 506 zeigt die Anordnung der Stromschiene, Fig. 507 die Art der Stromabnahme; dabei ist meist jeder Stromabnehmer doppelt am Wagen vorhanden.

Bei der oberirdischen Stromzuführung der Fernbahnen legt man besonderen Wert darauf, daß der Fahrdraht keinen starken Durchhang hat. Vielmehr muß der Draht möglichst wagerecht liegen, damit die Stromabnehmerbügel trotz der großen Geschwindigkeit sicher am Draht entlang gleiten. Dieser Durchhang wäre aber bei einfacher Aufhängung um so mehr zu erwarten, als der Fahrdraht bei langen Strecken und mit Rücksicht auf die erforderliche Festigkeit verhältnismäßig stark genommen werden muß, also hohes Gewicht hat. Deshalb verbindet man neuerdings

(Fig. 508) den Fahrdraht mit einem über ihm in Form einer Kettenlinie aufgehängten stählernen Tragedraht oder Trageseil in kurzen Abständen. Diese Aufhängung macht außerdem im Fall eines Drahtbruches das Herabfallen des stromführenden Fahrdrahtes auf die Erde unmöglich.

1. Vollbahnen mit Gleichstrom.

Als man anfing, den elektrischen Betrieb über das Gebiet der Straßenbahnen hinaus auf die Vollbahnen zu übertragen, benutzte man naturgemäß auch hier zunächst Gleichstrom. Dabei ließ man die Züge durch eine vorgespannte *elektrische Lokomotive* ziehen, die die Motoren enthielt, und der der Strom durch Oberleitung oder eine Seitenschiene zugeführt wurde. Diese Versuche hatten jedoch, wenigstens bei eigentlichen Fernbahnen, wenig Erfolg, und man beschränkte sich daher auf Stadt- und Vorortbahnen.

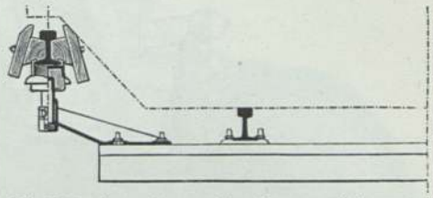


Fig. 506. Anordnung der Stromschiene.

Die Lokomotive nahm dann die Form des *Triebwagens* an, der nur in kleinen Stirnabteilungen die elektrischen Bedienungsapparate enthält, im übrigen aber gleichzeitig als Personenwagen dient. Ein oder mehrere Triebwagen ziehen eine Reihe anderer, nicht mit Elektromotoren ausgestatteter *Beiwagen (Anhängewagen)*.

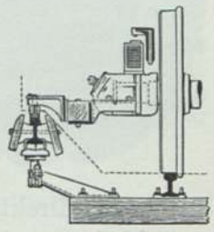


Fig. 507. Stromabnehmer auf der Stromschiene.

Bei solchen Zügen, deren Triebkraft sich auf mehrere Triebwagen verteilt, ist die Anordnung eines gewöhnlichen Kontrollers im Führerstand schwierig und wird bei größeren Zügen ganz unmöglich, weil dann der Kontroller für die große Stromstärke sämtlicher Motoren des Zuges zu bemessen wäre, und weil alle Wagen durch zahlreiche Starkstromkuppelungen verbunden werden müßten. Man ordnet deshalb bei größeren Zügen in jedem Triebwagen Fahrschalter unter den Sitzen oder Wagenkasten an, versieht die Walzen mit kleinen Motoren und regelt diese alle zugleich vom jeweiligen vorderen Führerstande aus mittels eines kleineren Fahrschalters für die schwachen Steuerströme. Hierbei ist die Leitungskuppelung für die Steuerströme einfach, und die Starkstromkuppelungen können größtenteils oder ganz erspart werden. Statt der Schaltwalzen für die Motorströme ordnet man auch Einzelschalter, sogenannte *Schützen*, an *(Schützensteuerung)* und öffnet oder schließt sie elektromagnetisch oder mittels Druckluftkolben; die *Meisterwalze* (Steuerschalter) im Führerstande steuert dabei die Elektromagnete der Schützen direkt oder aber die mit Elektromagneten versehenen Ventile des Druckluftantriebes.

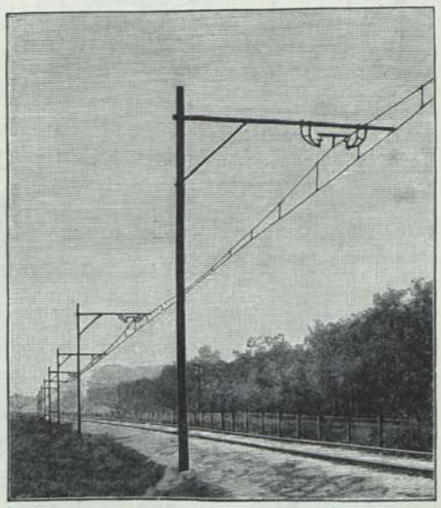


Fig. 508. Kettenaufhängung der Fahrleitung.

Zum Bremsen werden die Motoren von der Oberleitung abgeschaltet und durch regelbare Widerstände kurzgeschlossen. Die Motoren arbeiten dann als Generatoren, deren Antriebskraft die lebendige Kraft des Wagens ist; man bezeichnet diese Anordnung als *elektrische Bremse* oder *Kurzschlußbremse*. Sie wirkt bei schneller Fahrt rasch verlangsamend, muß aber zum Anhalten sowie zur Hemmung auf fallender Strecke durch eine mechanische Bremse unterstützt werden. Beim Betrieb mit Anhängewagen führt man vielfach durch Kuppelungen den beim Bremsen erzeugten Strom statt in Widerstände in Magnetbremsen des Anhängewagens. Die *Magnetbremse* besteht aus Ankerscheiben, die auf den Wagenachsen festgekeilt sind, also mit umlaufen; in geringer Entfernung vor den Ankerscheiben sitzt am Untergestell ein unbewegliches Elektromagnetsystem, das bei Erregung durch den Bremsstrom die Ankerscheibe anzieht und die Drehung der Wagenachse hemmt.

2. Vollbahnen mit Wechselstrom.

Für die elektrische Kraftübertragung auf größere Entfernungen eignet sich (vgl. S. 197) nur hochgespannter Wechselstrom. Zuerst verfiel man für den Bahnbetrieb auf den *dreiphasigen* Wechselstrom (Drehstrom), da es zu jener Zeit (um 1900) Einphasenmotoren für den Bahnbetrieb noch nicht gab. Es bliebe freilich auch der Weg, den hochgespannten Wechselstrom zu besonderen, an der Bahnstrecke gelegenen Unterstationen zu leiten und ihn dort in Gleichstrom umzuwandeln, der dann den Arbeitsleitungen zugeführt wird. Aber solche Unterstationen sind teure Anlagen und müssen in verhältnismäßig geringen Entfernungen vorhanden sein.

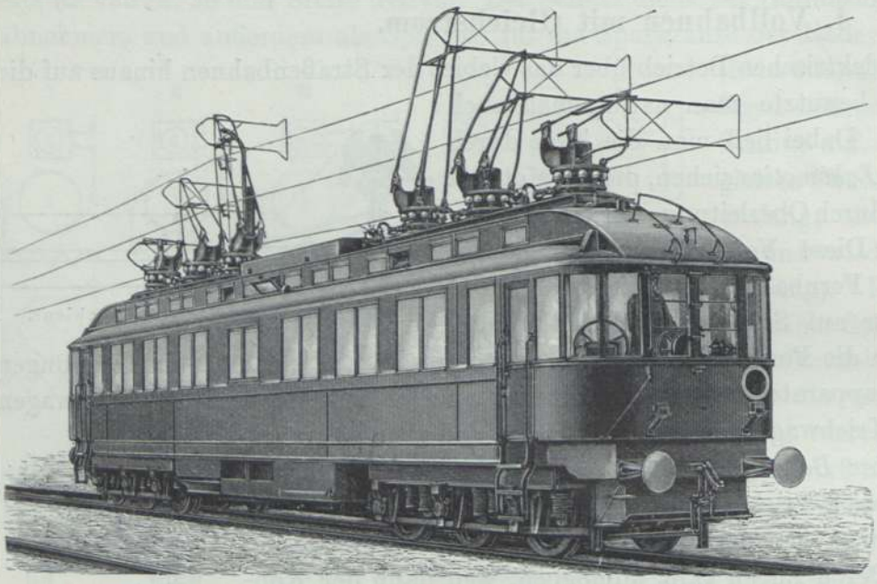


Fig. 509. Wagen der elektrischen Versuchsschnellbahn.

Bei direkter Verwendung des Wechselstroms in den Bahnmotoren kann man wieder noch verschieden verfahren: Entweder wandelt man die Hochspannung in Transformatoren in Niederspannung um, die mittels der Arbeitsleitungen den Wechselstrommotoren der Fahrzeuge zugeführt wird. Oder man führt die Hochspannung den Arbeitsleitungen und Fahrzeugen direkt zu und transformiert erst im Wagen nur für die zu bedienenden Apparate und den entsprechenden Teil der Motoren den jeweils nötigen Stromteil in Niederspannung.

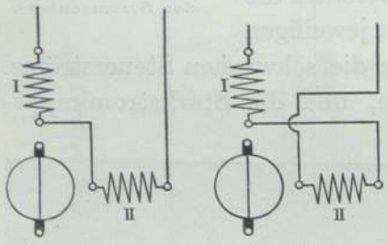


Fig. 510. Fig. 511.

Schema des Repulsionsmotors mit zwei Wickelungen. Fig. 510 Rechtslauf, Fig. 511 Linkslauf.

Der Drehstrom hat aber viele Nachteile. Vor allem verlangt er drei Leitungen, was bei großen Strecken eine erhebliche Verteuerung der Anlage nach sich zieht; außerdem hat der Drehstrommotor die Eigenschaften des Gleichstrom-Nebenschlußmotors, d. h. seine Geschwindigkeit läßt sich weniger gut regulieren als die eines Hauptstrommotors.

Drehstrombahnen sind immerhin in großer Zahl gebaut worden, und man hat mittels dieses Systems auch die höchsten bisher überhaupt erreichten Eisenbahnfahrgeschwindigkeiten erzielt. Dies geschah bei Schnellbahnversuchen auf der Militärbahn zwischen Marienfelde und Zossen in den Jahren 1901—03, wo man mit Motorwagen der in Fig. 509 abgebildeten Form Stundengeschwindigkeiten bis zu 210 km erreichte. Die Wagen, die mit zweimal drei Kontaktarmen ausgerüstet waren, hatten beim Anfahren einen Kraftbedarf zwischen 550 und 1000 PS, während dieser in gleichförmiger Fahrt bei einer Geschwindigkeit von 90 km sich auf 245 PS, bei 140 km Geschwindigkeit sich bereits auf 707 PS belief.

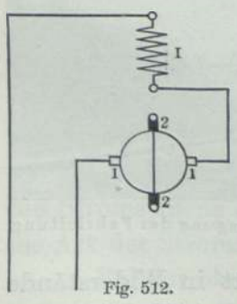


Fig. 512.

Schema des Winter-Eichberg-Motors.

Seitdem man brauchbare Einphasenmotoren besitzt, wird der Drehstrom für den Bahnbetrieb immer mehr durch den einphasigen Wechselstrom verdrängt. Die Induktionsmotoren für Einphasenstrom sind für den Bahnbetrieb unverwendbar, weil sie den Forderungen nicht genügen: mit voller Last anzugehen und in Tourenzahl und Drehungsrichtung weitgehend verändert werden zu können. Um so mehr eignen sich dafür die

Kommutatormotoren (vgl. S. 173), und zwar sowohl in der Form des Serienmotors als des Repulsionsmotors. Das Schema des letzteren ist in Fig. 371, S. 173, dargestellt. Will man einen Repulsionsmotor umsteuern, wie dies ja für Bahnbetriebe oft nötig ist, so muß man die Bürstenbrücke nach der entgegengesetzten Seite verschieben. Gewöhnlich trifft man aber eine andere Anordnung: Man bringt zwei Statorwickelungen an, die aufeinander senkrecht stehen (Zweiphasenwickelung), und schaltet beide Wickelungen hintereinander (Fig. 510). Wickelung I will ein Feld in vertikaler Richtung, Wickelung II ein Feld in horizontaler Richtung hervorrufen; die Ankerbürsten stehen vertikal. Der Strom, der von Wickelung I (Induktionswickelung) aus durch Transformation im Anker erzeugt wird, bewirkt in dem von der Wickelung II (Erregerwickelung) hervorgerufenen Felde eine Drehung. Grundsätzlich ist zwischen dem Repulsionsmotor mit einfacher und dem mit zweifacher Statorwickelung kein Unterschied, denn wenn von zwei Spulen die eine ein schwingendes Feld in senkrechter Richtung, die andere ein solches in wagerechter Richtung erzeugen will und beide von demselben Strome durchflossen werden, so ruft dies eine Schwingung in schräger Richtung (gegenüber den Ankerbürsten) hervor. Um die Drehrichtung eines solchen Motors umzukehren, vertauscht man einfach die Anschlüsse der Spule II, so daß das Schaltschema Fig. 511 entsteht.

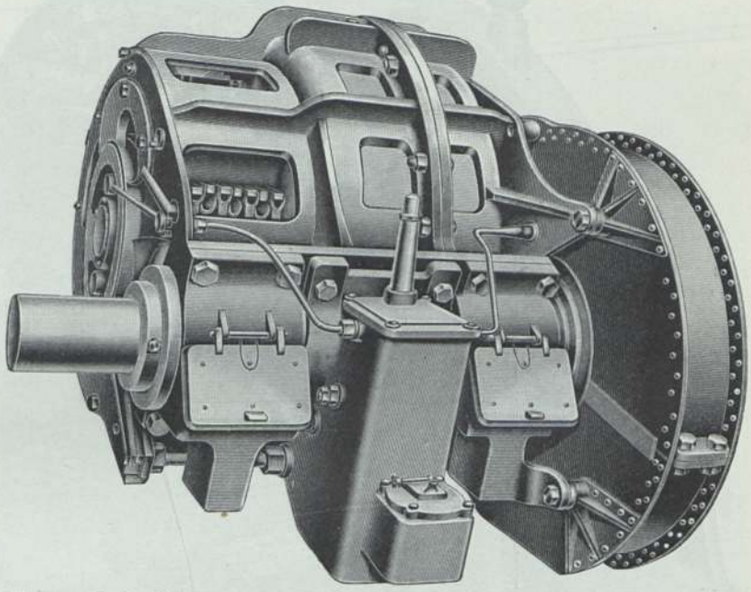


Fig. 513. Wechselstrommotor, Bauart Winter-Eichberg (350 PS Stundenleistung, 25 Perioden).

Ganz besondere Bedeutung für den Bahnbetrieb hat eine Abart dieser Motoren erlangt, nämlich der *Repulsionsmotor* mit *Ankererregung*, wie er von Eichberg und Winter, anderseits von Latour konstruiert worden ist. Der Winter-Eichberg-Motor hat statt der Statorwickelung II des Repulsionsmotors (Fig. 510) auf dem Anker ein zweites Bürstenpaar 1, 1 in horizontaler Richtung, das mit der Wickelung I hintereinander geschaltet ist, so daß das Schema Fig. 512 entsteht. Dadurch, daß Strom den Anker von der rechten zur linken Bürste 1, 1 durchfließt, entsteht im Anker ein Feld in horizontaler Richtung, gleich als ob eine Erregerwickelung II vorhanden wäre; 2, 2 sind die Bürsten der Kurzschlußwickelung. In Wirklichkeit benutzen Winter und Eichberg zur Ankererregung nicht unmittelbar den Motorstrom, sondern bringen ihn durch Zwischenschaltung

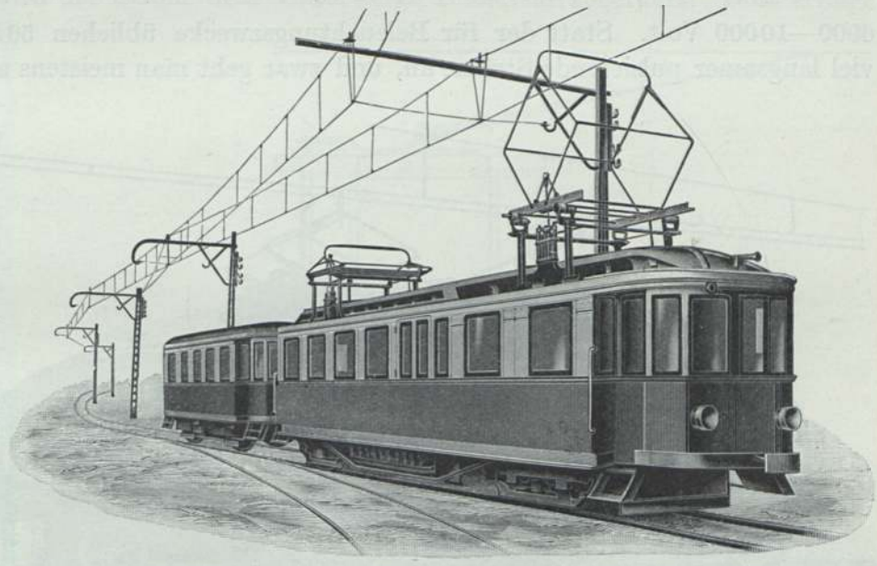


Fig. 514. Triebwagen mit Anhängewagen der A. E. G. (Wechselstrombahn Padua–Fusina).

eines sogenannten Erregertransformators auf einen anderen Wert; hierdurch wird die Abhängigkeit der Statorwickelung von der Ankerwickelung beseitigt, und der Motor behält die Eigenschaft des Repulsionsmotors, für höhere Spannungen ausführbar zu sein. Durch Änderung des Übersetzungsverhältnisses können in gewissen Grenzen Drehzahl, Leistungsfaktor und Kurzschlußspannung unter den Bürsten reguliert werden. Die Außenansicht eines großen Wechselstrommotors der Bauart Winter-Eichberg für 350 PS Stundenleistung zeigt Fig. 513.

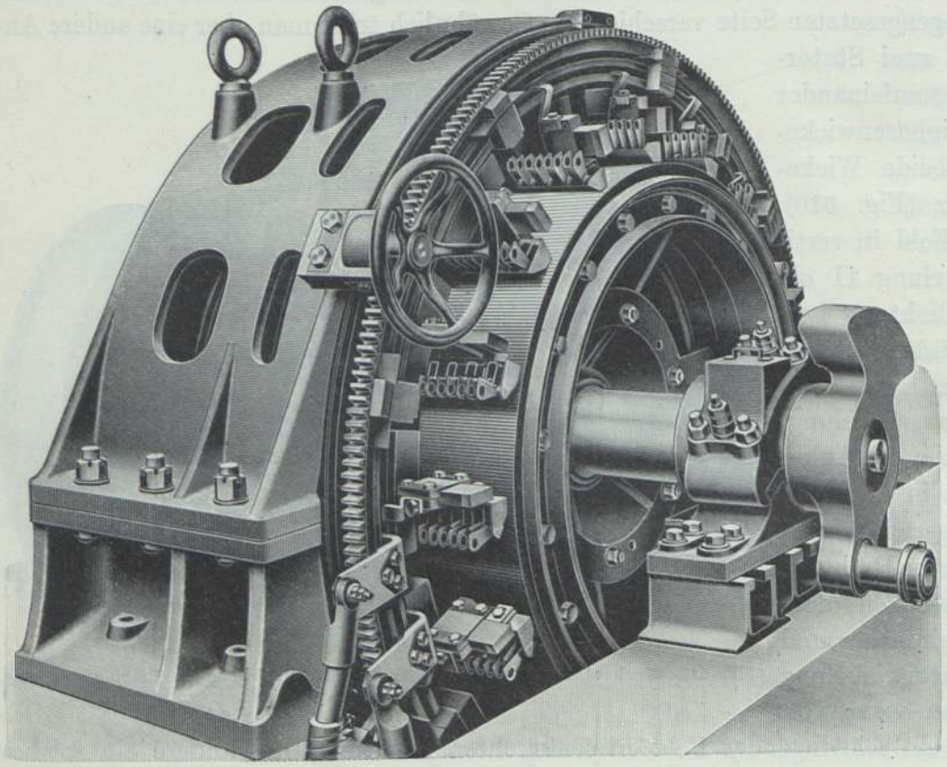


Fig. 515. Lokomotivmotor der Siemens-Schuckert-Werke (1600 PS, 15 Perioden, 10000 Volt, 400 Umdrehungen in der Minute).

Der Einphasenstrom kommt für den Bahnbetrieb mit recht hoher Spannung zur Verwendung, und zwar mit 6000—10000 Volt. Statt der für Beleuchtungszwecke üblichen 50 Perioden wendet man jetzt viel langsamer pulsierende Ströme an, und zwar geht man meistens auf ⅓ der üblichen Perioden, d. h. auf 15—16⅔ Perioden pro Sekunde, herab. Für Vorortbahnen vereinigt man noch immer die Motoren und Bedienungsapparate mit Personenwagen zu *Triebwagen;* einen solchen der Bahn Padua–Fusina (erbaut von der A. E. G.) zeigt Fig. 514.

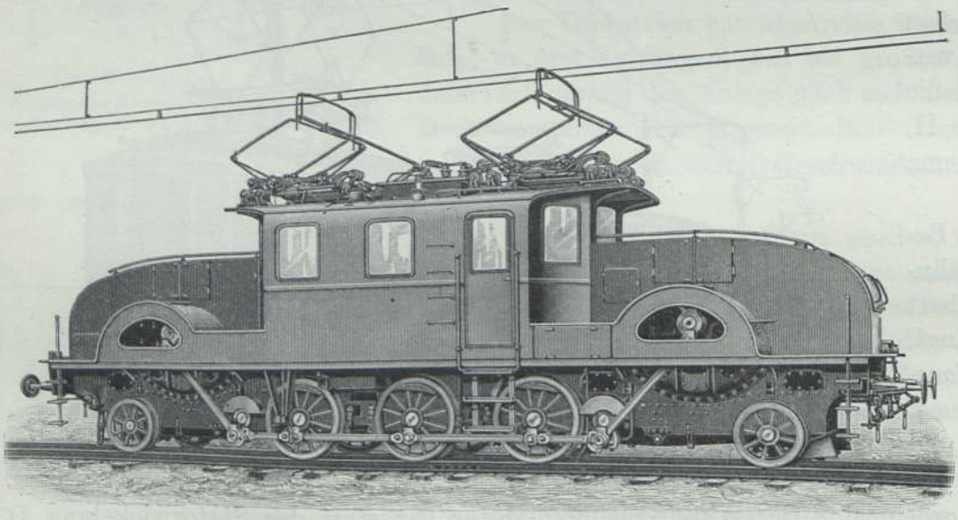


Fig. 516. Wechselstromlokomotive der Siemens-Schuckert-Werke (1–C–1, 1050 PS).

Zum Ziehen schwerer Vollbahnzüge muß man besondere *elektrische Lokomotiven* bauen. Die neueren Lokomotivmotoren erreichen hohe Leistungen und nehmen entsprechend viel Platz fort. Einen solchen Motor für 1600 PS Stundenleistung bei 15 Perioden, 10000 Volt, 400 Umdrehungen in der Minute, erbaut von den Siemens-Schuckert-Werken, zeigt Fig. 515. Für derartig große Motoren eignet sich die Zahnradübersetzung nicht mehr; man lagert die Motoren vielmehr hoch und fest im Lokomotivgestell und läßt sie

mittels einer Blindwelle und eines Parallelkurbelgetriebes auf die Triebräder wirken. Die Wechselstromlokomotive der Badischen Staatsbahn (Fig. 516) für 1050 PS läßt dies deutlich erkennen; sie enthält an jedem Ende einen Motor und in dem Raum dazwischen die Bedienungsapparate. Auch die eigenartige Form der Stromabnehmer ist daraus zu ersehen.

Die erste elektrisch betriebene Hauptbahnstrecke Deutschlands bildet die Wechselstrombahn Dessau–Bitterfeld, die 1911 eröffnet wurde; sie ist nur ein 27 km langer Teil der für elektrische Zugförderung vorgesehenen Strecke Magdeburg – Halle – Leipzig (118 km) und hat Schnell-, Personen- und Güterzugverkehr, der ausschließlich elektrisch erfolgt. Der Generator erzeugt Einphasenstrom von 3000 Volt und 15 Perioden. Transformatoren bringen den Strom auf 60 000 Volt, und mit dieser Spannung wird der Strom dem Unterwerke Bitterfeld zugeführt. Dort erfolgt die Rücktransformierung auf 10 000 Volt, und diese Spannung wird in die Fahrdrahtleitung geschickt. In Fig. 517 ist eine Güterzuglokomotive dieser Bahn wiedergegeben; bei ihr sind sämtliche Achsen als Triebachsen gekuppelt, um hohe Zugkraft zu erzeugen. Die Anordnung der Schnellzuglokomotiven legt mehr Wert auf die Erzielung hoher Zuggeschwindigkeiten; es werden mühelos solche von 110 km in der Stunde erreicht.

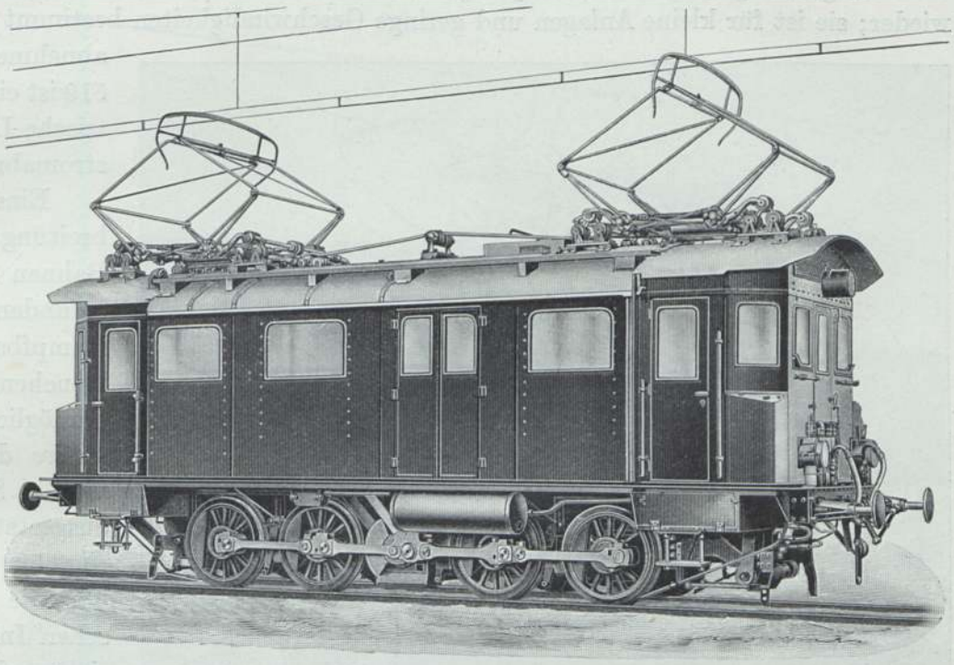


Fig. 517. Elektrische Güterzuglokomotive der Einphasenstrombahn Dessau–Bitterfeld.

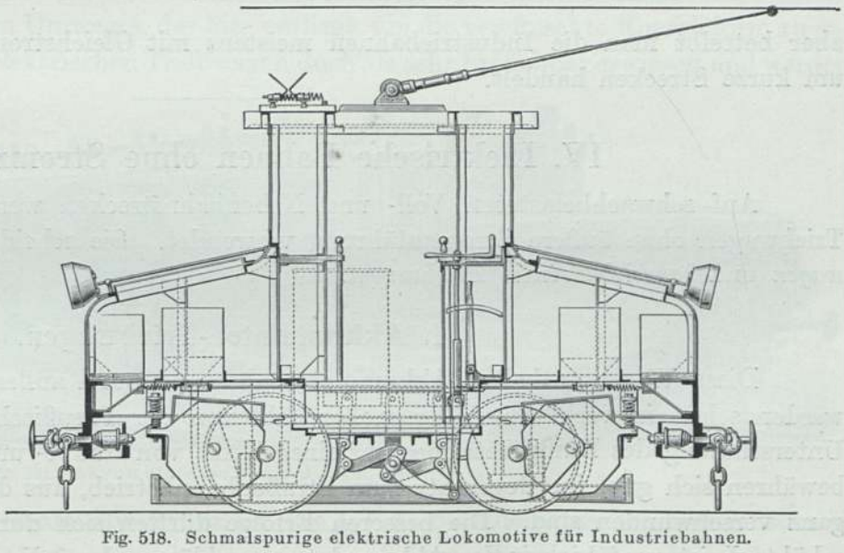


Fig. 518. Schmalspurige elektrische Lokomotive für Industriebahnen.

Die elektrische Lokomotive hat gegenüber der Dampflokomotive den Vorteil, stets betriebsbereit zu sein und beliebig lange Strecken ununterbrochen durchfahren zu können, während die Dampflokomotive nach ca. 200 km gewechselt werden muß und überhaupt durch Anheizen, Kohle- und Wassernehmen, Ausschlacken usw. über 50 Proz. der Zeit außer Dienst steht. Deshalb werden bei Einführung des elektrischen Betriebes zur Bewältigung eines gegebenen Fahrplanes nur halb so viel Lokomotiven wie bei Dampf erforderlich.

Auf die zum Teil recht verwickelten Schaltungs- und Regulierungseinrichtungen der Wechselstrombahnen kann hier nicht eingegangen werden.

III. Elektrische Industriebahnen.

Elektrische Bahnen werden für industrielle Zwecke immer mehr benutzt, da sie sich leicht anlegen lassen, ohne Schwierigkeit bedienbar sind und auch sonst mannigfache Vorteile bieten.

Fig. 518 gibt eine schmalspurige elektrische Lokomotive für Industriebahnen im Schnitt wieder; sie ist für kleine Anlagen und geringe Geschwindigkeiten bestimmt und mit Rollenstromabnehmer ausgestattet. In Fig. 519 ist eine normalspurige elektrische Lokomotive mit Bügelstromabnehmer dargestellt.

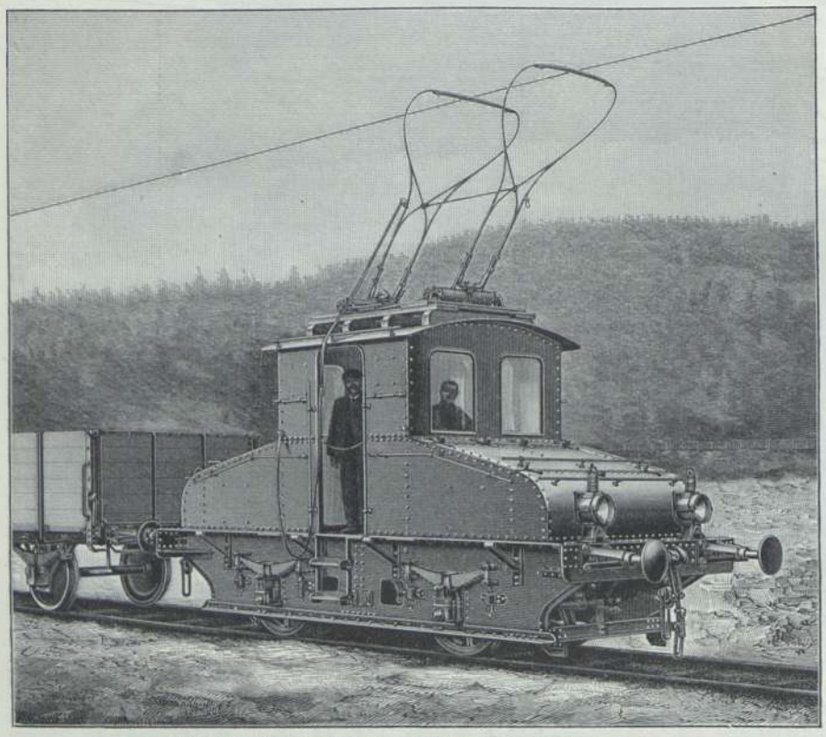


Fig. 519. Normalspurige elektrische Lokomotive.

Eine besonders große Verbreitung haben die elektrischen Bahnen im Bergbaubetriebe gefunden; unter Tage sind ja Dampfbahnen wegen der Rauchentwickelung so gut wie unmöglich. Eine *Grubenlokomotive* der A. E. G., die mit vier Stromabnehmerbügeln ausgestattet ist, wird durch Fig. 520 veranschaulicht.

Die Stromart der elektrischen Industriebahnen richtet sich nach den gegebenen Verhältnissen. Wo Wechselstrom ohnehin verfügbar ist, verwendet man das System der Wechselstrommotoren. Sonst aber betreibt man die Industriebahnen meistens mit Gleichstrom, da es sich gewöhnlich nur um kurze Strecken handelt.

IV. Elektrische Bahnen ohne Stromzuleitung.

Auf schwachbelasteten Voll- und Nebenbahnstrecken werden jetzt vielfach elektrische Triebwagen ohne äußere Stromzuführung verwendet. Sie scheiden sich in *Akkumulator-Triebwagen* und *benzolelektrische Triebwagen*.

1. Akkumulator-Triebwagen.

Diese Wagen enthalten Akkumulatorenbatterien und außerdem die Antriebsmotoren; sie werden schon in verhältnismäßig großer Zahl von der Preußischen Staatsbahnverwaltung zur Unterstützung des Dampfbetriebes auf einer Reihe von Haupt- und Nebenstrecken benutzt und bewähren sich gut, im Gegensatz zum Straßenbahnbetrieb, aus dem sie ja (vgl. S. 220) wieder ganz verschwunden sind. Die besseren Erfolge dürften sich durch die Vervollkommnung und erhöhte Leistungsfähigkeit der Akkumulatoren erklären, denn die Versuche mit Akkumulatorenwagen auf Straßenbahnen liegen bereits eine Reihe von Jahren zurück.

Der in Fig. 521 abgebildete *Akkumulatoren-Doppelwagen* für Vollbahnen der A. E. G. hat die außergewöhnliche Länge von 25,6 m. Charakteristisch sind die beiden zweiachsigen Einzelwagen, die unter sich kurz gekuppelt sind, und die beiderseitigen niedrigen Vorbaue, welche die Akkumulatorenbatterien mit je 84 Elementen enthalten. Die Stromsammler sind also, entgegen früheren Bauarten, von dem Aufenthaltsorte der Reisenden vollständig getrennt, so daß diese in keiner Weise durch Säuredämpfe belästigt werden können. Die Maximalgeschwindigkeit beträgt

50 km in der Stunde; der Doppelwagen enthält ein Abteil dritter und ein solches vierter Klasse, beide zusammen fassen 100 Plätze. Angetrieben wird der Doppelwagen durch zwei Hauptstrommotoren, von denen jeder eine Stundenleistung von 85 PS bei einer Betriebsspannung von 300 Volt besitzt.

Naturgemäß sind Akkumulatorenwagen von den Ladestationen abhängig und können nur verhältnismäßig kurze Strecken bis zur Neuladung durchfahren. Daß sie dennoch sich einer immer steigenden Beliebtheit erfreuen, liegt an ihrer großen Sauberkeit und außerordentlichen Betriebssicherheit.

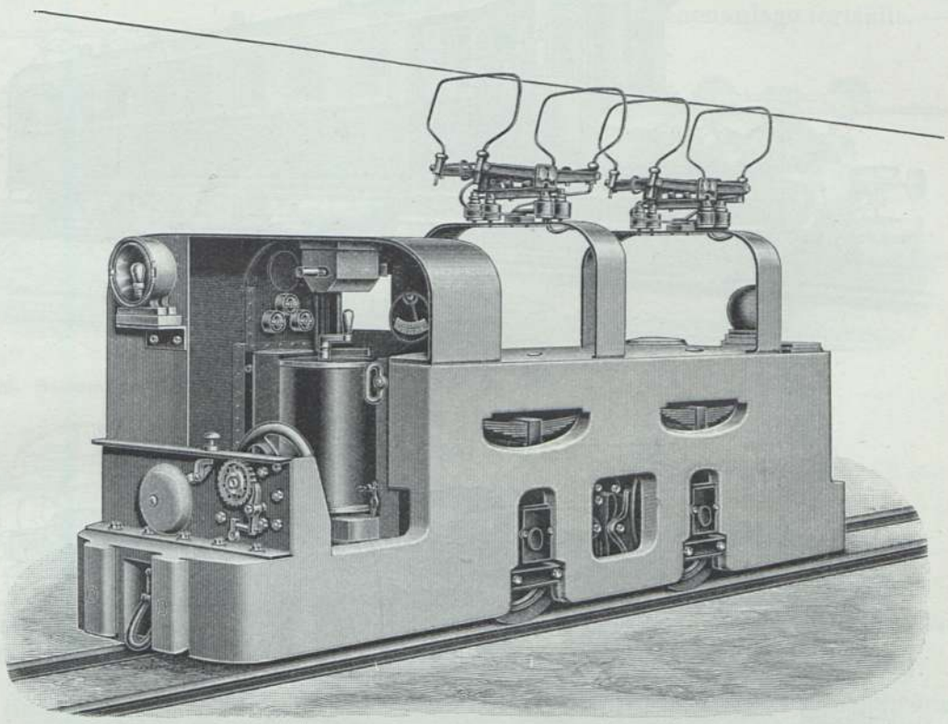


Fig. 520. Elektrische Grubenlokomotive der A. E. G. mit vier Stromabnehmern.

2. Benzolelektrische Triebwagen.

Bei diesen Wagen dient zur Energieerregung eine Verbrennungsmaschine, nämlich ein Benzolmotor, der einen elektrischen Generator antreibt. Die von letzterem erzeugte elektrische Energie wird Elektromotoren zugeführt, die ihrerseits auf die Triebräder wirken. Trotz des großen Umweges, der hier vorliegt, um die gewünschte Energieform zu gewinnen, haben sich die benzolelektrischen Triebwagen doch als sehr brauchbar erwiesen und werden

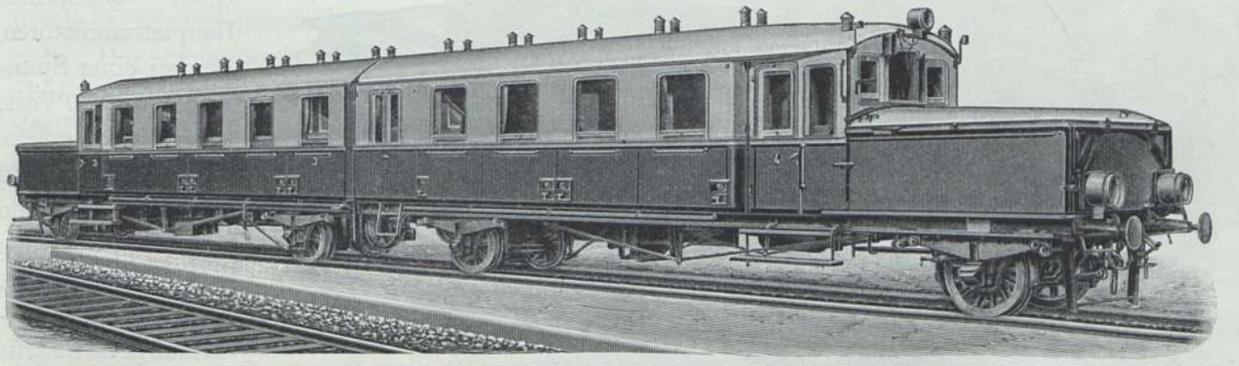


Fig. 521. Akkumulatoren-Doppelwagen der A. E. G.

auch von der Preußischen Staatsbahn mit verwendet. Die A. E. G. baut derartige Triebwagen sowohl mit größerer Leistung für Vollbahnen als auch mit geringerer Leistung für Neben- und Kleinbahnen.

Fig. 522 stellt den benzolelektrischen Triebwagen der A. E. G. für Vollbahnen dar. Er ruht auf zwei Drehgestellen, und sein Untergestell ist 20,75 m lang. Anordnung und Größe der Personenabteile entsprechen denen des beschriebenen Akkumulatorenwagens. Jedes Ende enthält einen Führerstand; der den Verbrennungsmotor tragende vorspringende Teil des Untergestells ist durch eine ausziehbare Schutzhaube abgedeckt. Das Maschinendrehgestell mit Benzolmotor und Dynamo ist in Fig. 523 wiedergegeben. Der Motor hat 100 PS Nennleistung und sechs Zylinder; er macht bei Vollbelastung 700 Umdrehungen. Das Benzolreservoir ist geheizt, damit der Brennstoff

im Winter nicht erstarrt. Die Kühlung des Motors erfolgt durch rückgekühltes Wasser, das durch eine Zentrifugalpumpe in Umlauf gesetzt wird. Die Pumpe fördert das Wasser durch einen im Wagendach liegenden Wabenkühler, der durch einen darunter angeordneten Ventilator gelüftet wird. Das Anlassen der Maschine erfolgt durch Druckluft. Die mit dem Benzolmotor direkt gekuppelte Nebenschlußdynamo hat eine Stundenleistung von 66 Kilowatt bei 700 Umdrehungen in der Minute, 300 Volt Spannung und 220 Ampere normaler Stromstärke. Den Strom für die Erregung liefert eine kleine Compoundmaschine von 3,5 Kilowatt bei 70 Volt Spannung. Den Wagenantrieb besorgen zwei wasserdicht gekapselte Hauptstrommotoren, die bei einer Spannung von 300 Volt, einer Stromstärke von 230 Ampere und 680 Umdrehungen eine Stundenleistung von 82 PS besitzen. Bei einem Übersetzungsverhältnis von 1 : 4,315 können die Motoren dem Wagen auf ebener Strecke bis 70 km Stundengeschwindigkeit verleihen. Das Motorendrehgestell des Wagens ist in Fig. 524 dargestellt.

Fig. 522. Benzolelektrischer Triebwagen der A. E. G.

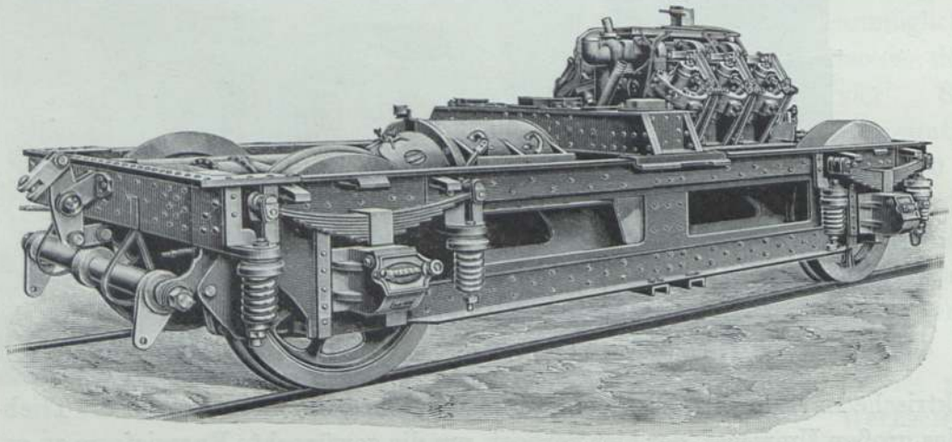


Fig. 523. Maschinendrehgestell des benzolelektrischen Triebwagens.

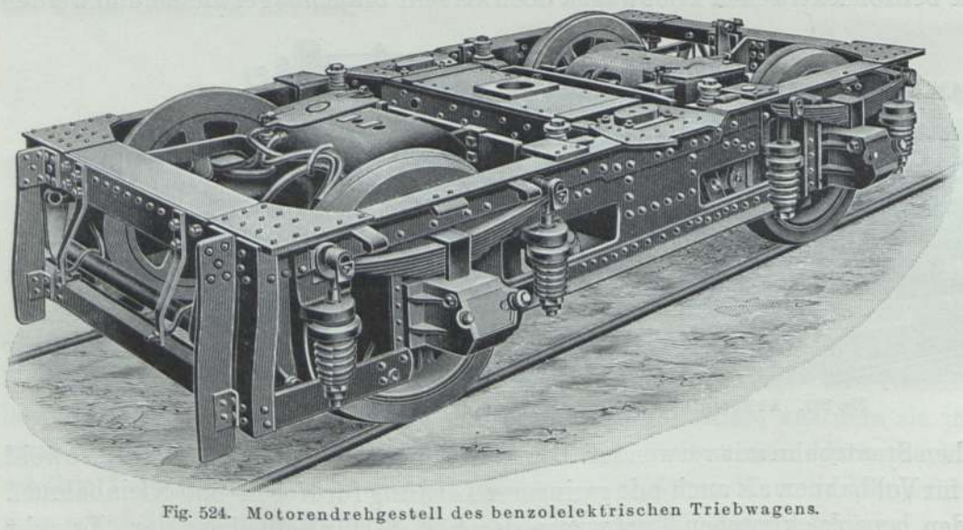


Fig. 524. Motorendrehgestell des benzolelektrischen Triebwagens.

V. Gleislose elektrische Bahnen.

Die aus Amerika stammende gleislose Bahn steht in der Mitte zwischen den elektrisch betriebenen, Akkumulatoren mitführenden Motorwagen (Elektromobilen) und den elektrischen Schienenbahnen. Sie entnimmt den Strom oberirdisch gespannten Fahrdrähten mittels einer auf

diesen schleifenden Kontaktvorrichtung, bewegt sich aber im übrigen auf dem Fahrdamm der Straße ohne Gleisführung. Die Wagen sind also von dem Verlauf der Fahrdrahtleitung abhängig, jedoch weniger als die Schienenbahn, denn die Beweglichkeit des Stromabnehmers gestattet dem Wagen, seitlich auszubiegen. Gegenüber den Elektromobilen besteht der Vorteil, daß die Wagen keine schwere Akkumulatorenbatterie mitzuführen haben; gegenüber den Schienenbahnen dagegen der, daß die teuere Schienenanlage fortfällt. — Dafür muß die Fahrleitung aus zwei isoliert nebeneinanderlaufenden Drähten für Hin- und Rückführung des Stromes bestehen, da ja die Gleise fehlen, die bei den Schienenbahnen der Rückleitung dienen. Trotzdem wird die Anlage hierdurch nicht teurer, denn auch die (fast stets zweigleisigen) Schienenbahnen brauchen für jede Fahrtrichtung eine Fahrleitung. Sich entgegenkommende gleislose Bahnen tauschen — je nach dem System — die Stromabnehmer aus, oder der eine Wagen löst seinen Fahrkontakt und läßt den anderen Wagen passieren, um dann den Kontakt wiederherzustellen.

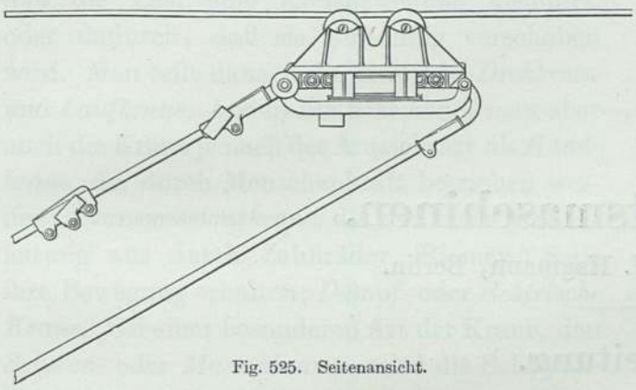


Fig. 525. Seitenansicht.

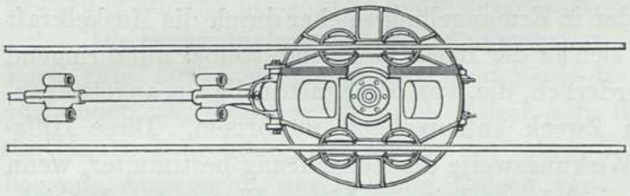


Fig. 526. Oberansicht.

Fig. 525 und 526. Stromabnehmer einer gleislosen Bahn (System Stoll).

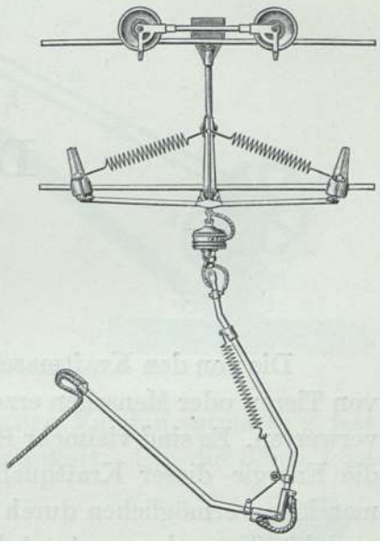


Fig. 527. Stromabnehmer für gleislose Bahnen (System Lloyd-Köhler).

Die zweipoligen Stromabnehmer bestehen beim System Stoll (Fig. 525 und 526) aus einem vierräderigen Wägelchen, das auf den beiden, parallel nebeneinander ausgespannten Fahrdrähten läuft. Diese Anordnung ist jedoch nur eine von vielen. Bei dem System Lloyd-Köhler laufen die beiden Fahrdrähte übereinander (Fig. 527). Von dem oberen Drahte wird der Strom durch zwei Laufrollen abgenommen, von dem unteren durch einen Doppelschleifbügel.

Fig. 528. Gleisloser elektrischer Omnibus (System Schiemann).

In erster Linie werden gleislose Bahnen für Personenbeförderung benutzt. So zeigt Fig. 528 einen gleislosen elektrischen Omnibus nach dem System Schiemann & Co., Wurzen. Aber auch für Lastenbeförderung ist die gleislose Bahn mit Erfolg versucht worden, und ihr hoher Vorzug für ländliche Gegenden liegt gerade darin, daß die gleiche Leitung von Omnibussen und Lastfahrzeugen benutzt werden kann. In neuester Zeit will man diese Bahnen auch mit einphasigem Wechselstrom betreiben, wodurch weitere Entwickelungsmöglichkeiten gegeben sind.

Die Arbeitsmaschinen.

Von Ingenieur **H. Hagmann**, Berlin.

Einleitung.

Die von den Kraftmaschinen (Motoren) oder in Ermangelung solcher durch die Muskelkraft von Tieren oder Menschen erzeugte Energie läßt sich in der Regel nicht unmittelbar nutzbringend verwerten. Es sind vielmehr Hilfsmaschinen erforderlich, die, von der Kraftquelle aus angetrieben, die Energie dieser Kraftquelle dem jeweiligen Zweck entsprechend umformen. Diese Hilfsmaschinen ermöglichen durch ihre Bauart und Wirkungsweise die Verrichtung bestimmter, wenn auch häufig eng begrenzter Arbeiten; man nennt sie daher *Arbeitsmaschinen*. Eine andere Bezeichnung, *Zwischenmaschinen*, rührt daher, daß diese Maschinen gewissermaßen ein Zwischenglied zwischen dem Antriebsmotor und der Leistung bezw. dem fertigen Produkt bilden. Im weiteren Sinne rechnet man zu den Arbeitsmaschinen die Hebemaschinen für feste und flüssige Körper (Lasthebemaschinen bezw. Pumpen), die Gebläse, Kompressoren, sowie die große Zahl der zur Gestaltsveränderung von Materialien dienenden Maschinen. Letztere bezeichnet man zum Teil nach ihrer Wirkungsweise, wie z. B. die Brechmaschinen zum Zerkleinern von Steinen, Erz, Kohle u. dgl.; zum Teil nach der Art der zu verarbeitenden Rohstoffe als Stein-, Holz-, Metallbearbeitungsmaschinen. Dabei geht die Umformung häufig in der Weise vor sich, daß das Material erst in verschiedene Zwischenstufen *(Halbfabrikate)* übergeführt wird, ehe die endgültige Form *(Fertigform, Endprodukt)* des Gebrauchsgegenstandes entsteht. Dieser Fall tritt z. B. bei der Herstellung von Mehl aus Getreidekörnern ein. Die Metallbearbeitungsmaschinen scheiden sich nach der Wirkungsweise ihrer Werkzeuge in *umformende Maschinen*, die das Arbeitsstück lediglich durch Umlagerung der Materialfaser, z. B. durch Walzen, Schmieden, Ziehen, Pressen, entstehen lassen, und in *eigentliche Werkzeugmaschinen*, die mittels schneidender Werkzeuge vom Material Späne abheben, also die Faser in manchen Fällen durchschneiden und so die Fertigform erzeugen. Man bezeichnet diese Art von Arbeitsmaschinen auch nach der Form des Werkzeuges; insbesondere spricht man bei den Maschinen zur Bearbeitung von Stein, Holz, Metall von: Hobel-, Bohr-, Fräs-, Säge-, Schleifmaschinen. Jedoch wird diese Bezeichnung, namentlich bei Metallbearbeitungsmaschinen, nur dann angewendet, wenn die Maschine allgemein für die bezeichneten Arbeiten benutzbar ist. Ist dagegen mittels der Maschine nur eine ganz bestimmte Art von Werkstücken herstellbar, z. B. Schrauben, Muttern, Zahnräder usw., so heißen diese Arbeitsmaschinen *Spezialmaschinen* und fallen damit aus dem Rahmen der eigentlichen Werkzeugmaschinen heraus. Die neuere Technologie bezeichnet auch solche Arbeitsmaschinen, die ein Vorprodukt durch Veränderung der Lage der Materialteilchen in die Fertigform überführen, als *Verarbeitungsmaschinen* (Walzwerke, Drahtziehmaschinen, Biegemaschinen, Pressen usw.), wogegen die spanabhebenden Maschinen, z. B. Drehbänke, Bohr-, Fräsmaschinen, dann *Bearbeitungsmaschinen* genannt werden.

A. Lasthebemaschinen.

1. Krane.

Unter Kranen versteht man Lasthebemaschinen, die die Last in senkrechter Richtung heben und in wagerechter Ebene versetzen. Die Fortbewegung vom Ort kann dadurch geschehen, daß die Last eine Kreisbewegung ausführt, oder dadurch, daß sie geradlinig verschoben wird. Man teilt danach die Krane in *Drehkrane* und *Laufkrane*. Anderseits bezeichnet man aber auch die Krane je nach der Antriebsart als *Handkrane*, die durch Menschenkraft betrieben werden; *Transmissionskrane*, die von einer Wellenleitung aus durch Zahnräder, Riemen, Seile ihre Bewegung erhalten; *Dampf-* oder *elektrische Krane*. Bei einer besonderen Art der Krane, den *Scheren-* oder *Mastenkranen*, wird die Schwenkbewegung um eine horizontale Achse ausgeführt.

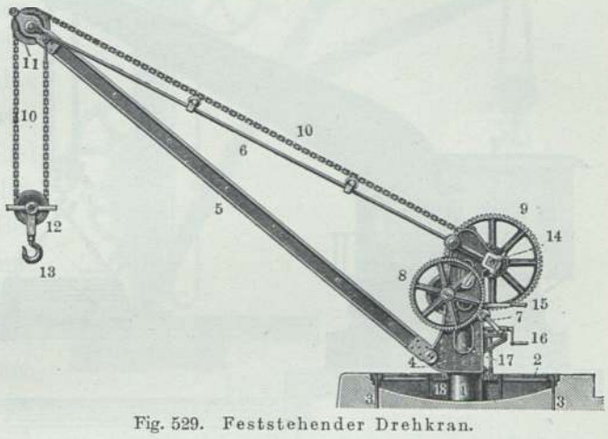


Fig. 529. Feststehender Drehkran.

Die *Drehkrane* bestehen in der einfachsten Form (Fig. 529) aus einer senkrechten Säule 1, die mit einer eisernen Fundamentplatte 2 fest verbunden ist. Letztere ist durch Bolzen 3 in dem Fundament verankert. Um die Säule 1 ist die Haube 4 drehbar; mit ihr ist der schräg liegende Ausleger 5 durch einen Bolzen verbunden. Oben an der Haube 4 greift die Zugstange 6 an, die den Ausleger 5 in seiner schrägen Lage erhält. Die Lastkette 10 ist am oberen Ende des Auslegers 5 befestigt und führt über die Lastrolle 12, die den Haken 13 trägt, über die feste Rolle 11 zur Windentrommel 14. Zum Anziehen der Kette 10 dreht man die Kurbel 7, deren kleines Stirnrad in das große Rad 8 greift; dieses treibt wiederum mittels eines kleinen Stirnrades ein großes Rad 9, das auf der Trommelachse verkeilt ist. Ist die Last gehoben, so erfolgt das Schwenken durch Drehen der Kurbel 16, die ein auf der senkrechten Welle 17 festes Rad gegen den Zahnkranz 18 der Fundamentplatte 2 abwälzt. Beim Senken der Last zieht man die Bremse mittels des Handhebels 15 nach Bedarf an.

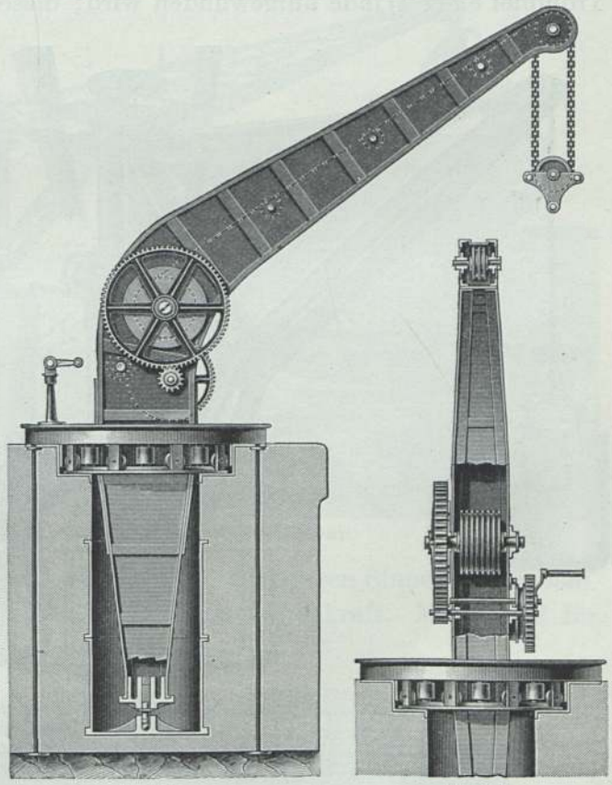


Fig. 530. Fig. 531.

Fig. 530 und 531. Fairbairn-Kran. (Fig. 531 Ansicht von vorn und Schnitt durch den Ausleger.)

Von diesen Kranen, die als Gebäude-, Magazin- oder Gießereikrane vielfach verwendet werden, unterscheiden sich die *Schacht-* oder *Fairbairnkrane* (Fig. 530 und 531) durch einen tief in das Fundament hineinragenden Zapfen, der mit dem Ausleger starr verbunden ist. Zur Verminderung der Reibung besitzt die mit dem Ausleger drehbare Platte Rollenlager. Der Ausleger, der bei den freistehenden Kranen häufig aus Profileisen besteht, wird bei den Schachtkranen als Hohlträger ausgebildet, um größeren Beanspruchungen widerstehen zu können. Man ordnet auch an Stelle des unterirdischen Teiles eine breite Fundamentplatte an, die samt dem auf ihr aufgebauten Ausleger auf einem Rollenkranz drehbar ist (Fig. 532). Wo der Kran an verschiedenen

Orten verwendet werden soll, wie z. B. auf Bahnhöfen, bei Hafenanlagen usw., setzt man ihn auf ein fahrbares Untergestell, das aus einem Wagen oder einem Schiffskörper bestehen kann; man nennt derartige Krane daher auch transportable, fahrbare Krane, Rollkrane, Schwimmkrane. Der Eisenbahnkran läuft auf Schienen, der Lokomotivkran erhält von der auf ihm befindlichen Maschine seine Weiterbewegung. — Das Untergestell (Wagen, Schiffskörper) muß infolge seines Eigengewichtes ein Umkippen des Krans verhindern. In größeren Fabrikanlagen, wo man einen fahrbaren Kran nicht anwenden kann, benutzt man einen Drehkran, der von einem stärkeren Laufkran örtlich versetzt wird. Die Träger, Säulen usw. des Gebäudes müssen dann mit Lagern zur Aufnahme des oberen und des unteren Zapfens ausgerüstet sein. In anderen Fällen bedient man sich des *Velozipedkrans* (Fig. 533), der auf nur einer unteren Schiene läuft und seine zweite Führung durch Schienen erhält, die an der Decke des Gebäudes usw. befestigt sind. In der Regel wird bei den Drehkranen die Last mittels einer über den Ausleger geführten Kette gehoben, die auf die Trommel einer Winde aufgewunden wird; diese Trommel ist bei drehbarer Kransäule an dieser, bei feststehender Kransäule an dem sie umgebenden Obergestell gelagert. Zum Schwenken des Krans ist meist ein besonderes Getriebe vorgesehen, oder eine Kette, die vom Auslegerende herunterhängt. Die freistehenden Drehkrane werden fast ausschließlich zum Be- und Entladen von Fahrzeugen (Schiffen, Eisenbahn- und Straßenwagen) benutzt, wozu außer der Heb- und Senkbewegung der Last das Herumschwenken im Kreise meist genügt. Es ist daher bei diesen Kranen im allgemeinen keine Vorrichtung zur radialen Verschiebung des Aufhängepunktes der Last vorgesehen. Wird dagegen ein genaues Einstellen der Last gefordert, wie z. B. in Montierungswerkstätten, Gießereien usw., so wird der Ausleger oben mit einem wagerechten Gleis versehen, auf dem ein Wagen *(Laufkatze)* mit der herunterhängenden, die Last aufnehmenden Kettenschleife radial hin und her läuft. Einen derartigen Kran zeigt Fig. 534. An der unten im Spurlager 1, oben im Halslager 2 drehbar gelagerten Kransäule 3 ist eine Räderwinde 4 und der Ausleger 5 angebracht, auf dessen oberer wagerechter Führung die Laufkatze 6 verschiebbar ist. Die Lastkette 7 geht von der Windentrommel über eine feste Rolle 8 und hängt zwischen den beiden Rollen 9 der Katze 6 in einer, die lose Lastrolle 10 mit dem Haken 11 tragenden Schleife herab. Das Ende der Lastkette 7 ist bei 12 am Bock 13 des Auslegers 5 befestigt, wobei der Bock die äußerste Lage der Laufkatze 6 begrenzt. Durch Verschieben der Katze 6 wird der Aufhängepunkt der Last mit

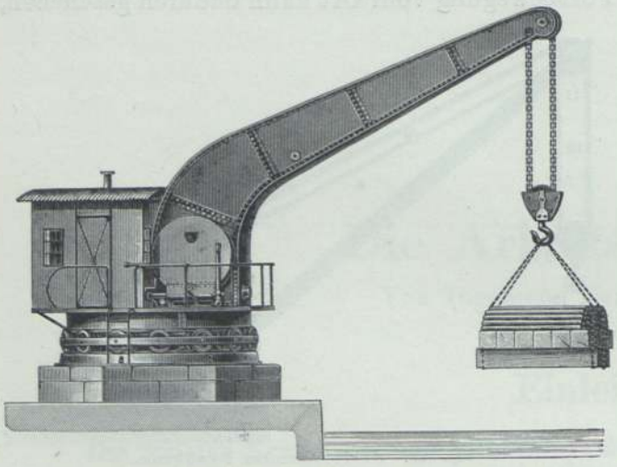


Fig. 532. Hydraulischer Uferkran mit Flaschenzug.

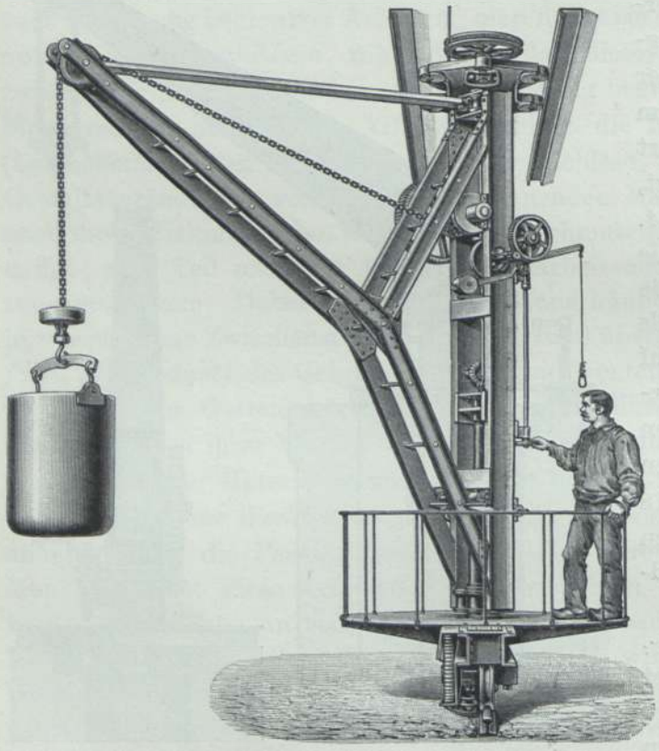


Fig. 533. Velozipedkran (mit Transmissionsbetrieb).

verschoben, ohne daß dadurch die Höhenlage der Last geändert würde. Zum Hin- und Herbewegen der Laufkatze 6 dient eine über zwei Rollen 14, 15 geführte Kette 16; letztere wieder erhält ihre Bewegung durch Ziehen an der Handkette 17: diese dreht durch die Scheibe 18 ein Rädervorgelege 19, dessen letztes Zahnrad mit der Rolle 14 fest verbunden ist. Bei den *Portalkranen*, die feststehend oder fahrbar sein können, ist der Drehkran auf einem Joch angeordnet (Fig. 535); das Portal ist so hoch und breit, um das An- und Abfahren beladener Güterwagen zu gestatten. Man muß bei diesen Kranen wie auch bei den gewöhnlichen fahrbaren Kranen das Gleichgewicht bei höchster Belastung aufrecht erhalten. In vielen Fällen ordnet man die Maschine an einer entsprechenden Stelle an; zweckmäßig ist jedoch die Anbringung besonderer Gegengewichte, die sich selbsttätig einstellen können. Auf Bahnhöfen usw. benutzt man auch oft den *Halbportalkran;* er besitzt ein ⌐-förmiges Untergestell, dessen senkrechter Schenkel auf einer Schiene zu ebener Erde läuft, während sich der wagerechte, den Drehkran tragende Schenkel auf eine in Stockwerkshöhe am Gebäude befestigte Schiene stützt.

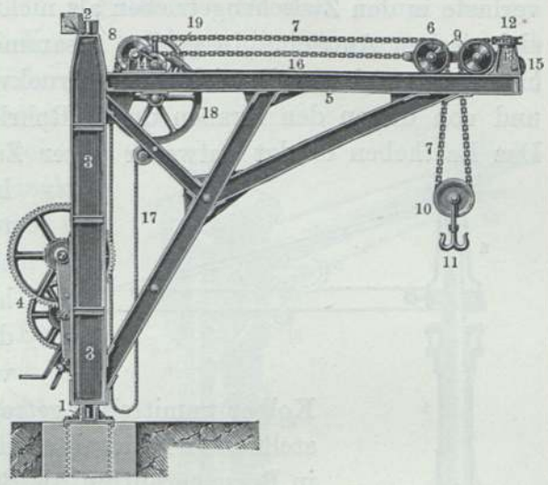


Fig. 534. Gießereikran.

Die *Laufkrane* besitzen einen beiderseitig unterstützten Balken (Bühne, Brücke), auf dem die Laufkatze verschiebbar ist. Beim *Bockkran* ist die Brücke an ihren Enden auf mit ihr verbundenen Stützen gelagert (stationärer Bockkran); die Stützen können zuweilen auf Schienen quer zur Brücke verschoben werden (fahrbarer Bockkran). In großen Montagehallen ordnet man zur Verschiebung der Brücke in geeigneter Höhe, meistens nicht weit unter der Bedachung, Schienen an (Laufkrane im engeren Sinne, s. Fig. 536).

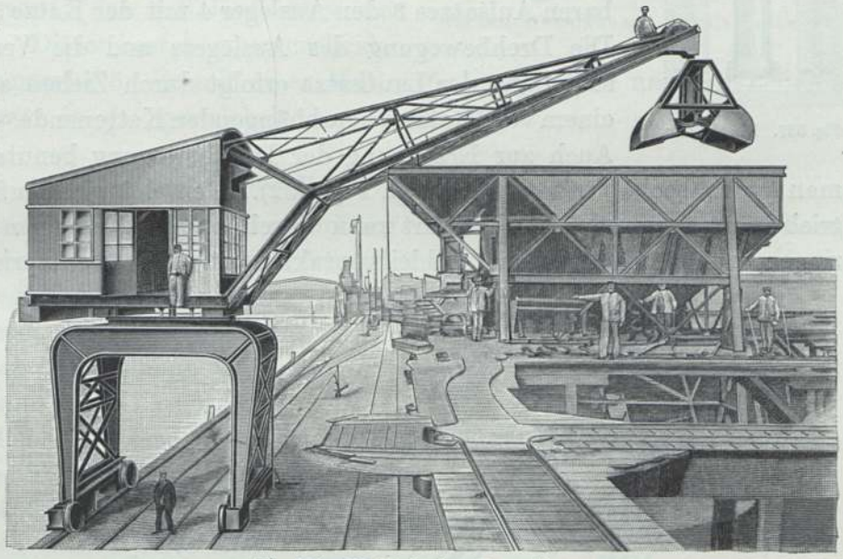


Fig. 535. Elektrischer Portalkran.

Der Antrieb der Krane erfolgt bei kleinen Lasten durch Menschenkraft. Meist sind für

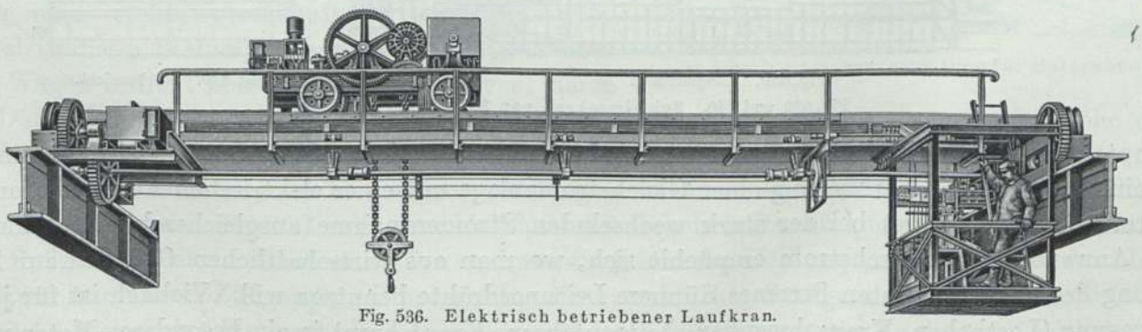


Fig. 536. Elektrisch betriebener Laufkran.

diesen Zweck Kurbeln oder Haspelräder vorgesehen. Besser ist die Anwendung von Elementarkraft, besonders wo es sich um Dauerbetrieb handelt. Für im Freien stehende Drehkrane empfiehlt

sich die Montierung einer Dampfmaschine nebst ihrer Kesselanlage auf der Drehscheibe. Der Riemenantrieb, der eine Zeitlang für Laufkrane in Anwendung war, hat sich wegen der Reibungsverluste in den Zwischengetrieben als nicht vorteilhaft erwiesen; man benutzt fast allgemein den elektrischen Antrieb. In großen zusammenhängenden Anlagen, wie z. B. im Hamburger Freihafen, hat sich der Betrieb durch Druckwasser bewährt, das in Akkumulatoren aufgespeichert und von diesen den Kranen durch Rohrleitungen zugeführt wird. Das Lastheben erfolgt entweder unter Zuhilfenahme eines durch hydraulische Kraft bewegten sogenannten umgekehrten Flaschenzugs wie beim hydraulischen Aufzug, oder durch Heben des von einem vertikalen, hydraulischen Kolben unmittelbar getragenen Auslegers. Fig. 537 stellt einen hydraulischen Kran dar, der besonders in Bessemerhütten als *Blockkran* Verwendung findet. In dem feststehenden Zylinder 1 kann der Kolben 2 durch Druckwasser gehoben werden. Dieser trägt mittels eines glockenartigen, drehbaren Aufsatzes 3 den Ausleger 4 mit der Katze 5. Die Drehbewegung des Auslegers und die Verschiebung der Laufkatze erfolgt durch Ziehen an einem von letzterer herabhängenden Kettenende.— Auch zur Erzeugung der Drehbewegung benutzt man hydraulische Treibzylinder (vgl. Fig. 532). Den elektrischen Strom, der jetzt häufig als Antriebskraft verwendet wird, führt man durch blanke Leitungen den Drehkranen mit Schleifringen, den Laufkranen mit Schleifkontakten zu. Dabei entspricht Gleichstrom, verwendet in

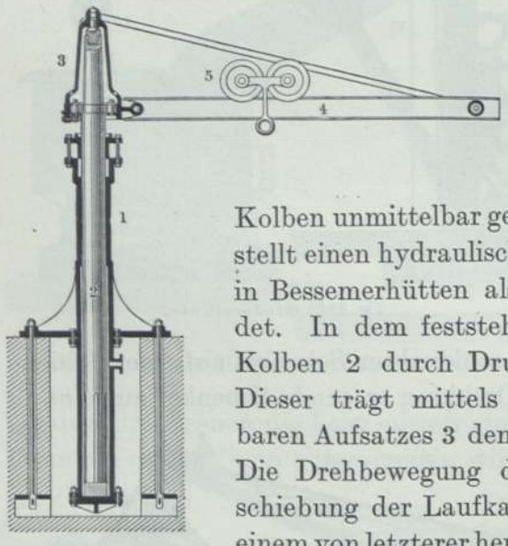


Fig. 537. Blockkran.

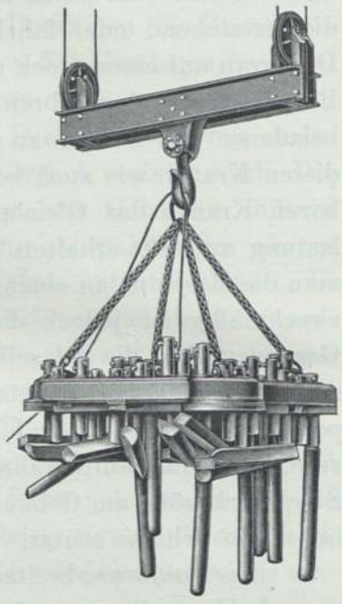


Fig. 538. Hebemagnet mit vielen beweglichen Polen.

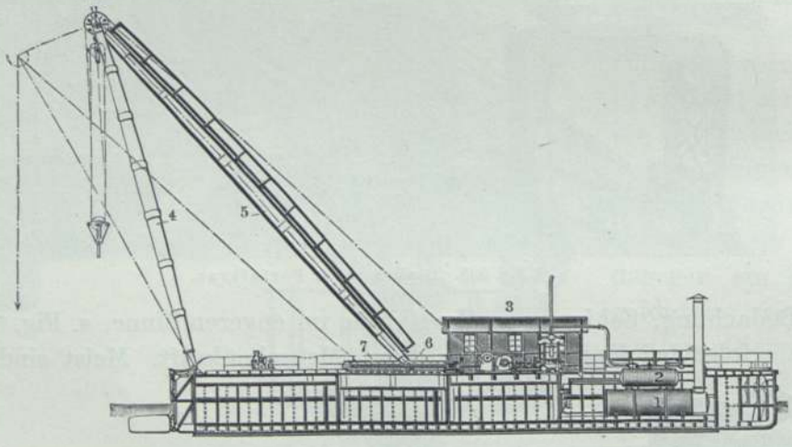


Fig. 539. Längsschnitt.

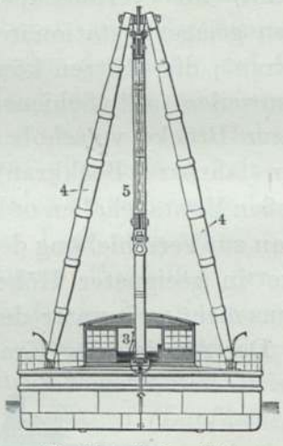


Fig. 540. Rückansicht.

Fig. 539 und 540. Schwimmkran von 100 t Tragfähigkeit.

Hauptstrom- oder in Nebenschlußmotoren, den besonderen Betriebsanforderungen recht gut, zumal da eine unmittelbare Verbindung einer Gleichstromanlage mit einer elektrischen Akkumulatorenbatterie (Pufferbatterie) bei der stark wechselnden Stromentnahme ausgleichend wirken kann. Die Anwendung von Drehstrom empfiehlt sich, wo man aus wirtschaftlichen Gründen zur Zuleitung des hochgespannten Stromes dünnere Leitungsdrähte benutzen will. Vielfach ist für jede Bewegung (Lastheben, Kranschwenken, Katzenfahren, Kranfahren) je ein besonderer Motor vorgesehen. — Der elektrische Strom wird auch benutzt, um Elektromagnete zu erregen, die dann Eisenteile von verschiedener Form, z. B. Schrott, heben und versetzen können (Fig. 538, *Hebemagnet*).

Der Elektromagnet wird an den Lasthaken angehängt. Durch Unterbrechen des elektrischen Stromes werden die anhaftenden Teile losgelassen (vgl. S. 192).

Die *Scheren-* oder *Mastenkrane* bestehen aus einem sogenannten Dreifuß, einem aus drei Stützen bestehenden pyramidenförmigen Gestell. Diese Krane, bei denen die Wippbewegung zum Versetzen der Last benutzt wird (daher auch *Wipp-* oder *Schwingkrane* genannt), werden zum Einsetzen von Masten in Schiffe, zum Heben von Lasten aus Schiffen, auch zum Heben gesunkener Fahrzeuge benutzt. Einen solchen, auf einem Prahm montierten Schwingkran zeigen Fig. 539 und 540. Der Antrieb erfolgt durch eine Zwillingsmaschine, die von einem vorn im Ponton eingebauten Feuerrohrkessel 1 mit darüberliegendem Dampfsammler 2 gespeist wird. Die stehende umsteuerbare Dampfmaschine kann sowohl die Nutzlast heben als auch den Ausleger neigen oder einziehen. Das Hubwerk 3 besteht aus einer Stirnräderwinde, welche die Maximallast (100 t bei 5 m und 50 t bei 9 m Ausladung) mit einer Geschwindigkeit von 1,4 m in der Minute zu heben und mittels einer Sperradbremse schwebend zu erhalten vermag. Als Tragorgan dient ein Stahldrahtseil, das auf eine mit Rillen versehene Trommel aufgewickelt wird; das Seil läuft über eine zweifache Flasche am Ausleger. Dieser besteht aus den beiden Druckstützen 4, 4 und der Zugstrebe 5, die mit einer Mutter 6 die Spindel 7 umgreift. Beim Neigen des Krans gelangt dieser in die gestrichelt gezeichnete Lage.

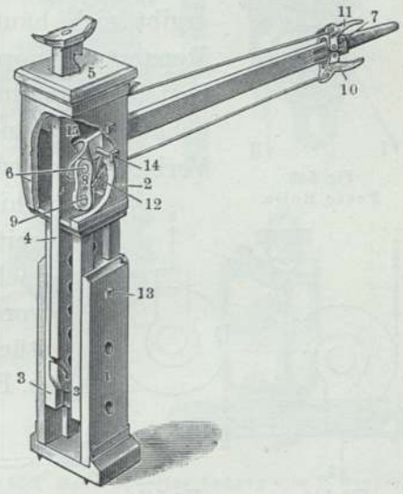


Fig. 541. Hebelade mit Hebelschaltwerk.

2. Hebeladen.

Hebeladen sind Vorrichtungen, die infolge der Wirkung von Hebeln ein Anheben der Last um kurze Strecken ermöglichen. In der einfachsten Form tritt uns die Hebelade als sogenannte Brechstange (Brecheisen) entgegen, einer schmiedeeisernen, unten flach geschlagenen und abgekröpften Stange. Derartige Vorrichtungen benutzt man beim Transport, z. B. zum Kanten von Kisten, auch zum Anheben von Türen. Ebenso dienen Hebeladen zum Aufhelfen schwerer Säcke auf den Rücken des Trägers (Sackaufhelfvorrichtungen). Häufig bestehen sie dann aus einem doppelarmigen Hebel, dessen eines Ende zur Aufnahme des Sackes entsprechend gekrümmt ist. Diesen Hebel — die eigentliche Hebelade — schwingt man um 180°, so daß der fortzutragende Sack oben steht; vorteilhaft verriegelt man den Hebel in dieser Stellung. Zum Anheben der Achsen von Wagen bedient man sich der *Hebekarren*, deren als Doppelhebel ausgebildete Hebelade mit Rädern versehen ist und mit einem in der Höhe verstellbaren gegabelten, winklig zu ersterem liegenden Arm die betreffende Achse erfaßt.

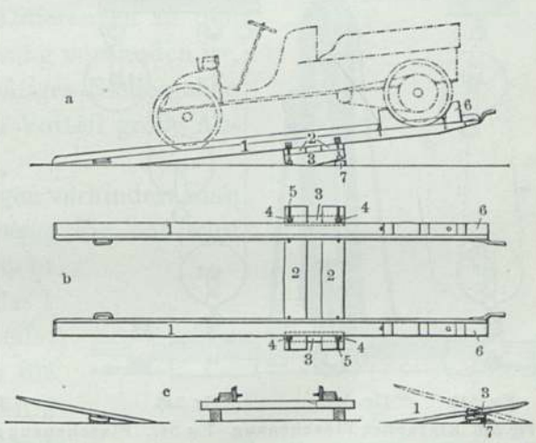


Fig. 542a, b, c. Hebevorrichtung für Motorwagen.

Vielfach benutzt man Hebeladen, um Wagen an einzelnen Stellen, z. B. den Radachsen, oder ganz zu heben. Fig. 541 zeigt eine Hebelade mit Hebelschaltwerk und ausrückbaren Klinken. Das Fußgestell 1 ist an einer Seite offen und mit einer inneren Höhlung versehen, in die das obere Gehäuse 2 mit zwei Zungen 3, 3 hineingreift. Eine senkrechte Stange 4 geht durch die Öffnung des Gehäusedeckels 5 hindurch; in ihre Zahnung 15 greift ein Bolzen 6 ein, an den zwei seitlich zum Handhebel 7 sitzende Laschen 8 angelenkt sind. Bewegt man den um den Drehzapfen 14 schwingenden Hebel 7 nach unten, so hebt der in die Zahnung 15 greifende Bolzen 6 die Stange 4 empor, bis

die Sperrung 9 in einen Zahn faßt und eine Rückwärtsbewegung der Stange 4 verhindert. Sowohl die Laschen 8 als auch die Sperrung 9 können vom Heft des Handhebels 7 aus durch Niederdrücken der kleinen Hebel 10 bzw. 11 entgegen der Wirkung einer Feder 12, welche die Sperrung und die Laschen gegen die Stange 4 zu pressen sucht, zurückgezogen werden. Will man die Höhe der Hebelade vergrößern, so zieht man die Stifte 13 aus den oberen Löchern heraus und verstellt die Zungen 3, 3 nebst ihrem Gehäuse 2 um eine Lochteilung. Bei Fahrzeugen, Automobilen usw., ergibt sich häufig die Notwendigkeit, sie anzuheben, um die Ausführung von Reparaturen von unten her zu ermöglichen. Derartige Hebeladen (Fig. 542, a—c) bestehen aus einem Schienenpaar 1, 1, das durch die Querträger 2, 2 zusammengehalten wird und durch dieselben mit den Schwingstücken 3, 3 verbunden ist. Die Verbindungsbolzen 4, 4 dieser drei Teile sind in Schlitzen 5 der Querstücke 2, 2 verschiebbar, so daß man die Schienen 1, 1 zwecks Veränderung der Spurweite auseinander- bzw. zusammenstellen kann. Die Vorrichtung wird, nachdem der Wagen heraufgeschoben und durch Blöcke 6, 6 festgestellt worden ist, gekippt; unter das nun angehobene Ende der Schwingstücke legt man Klötze 7, bis man die gewünschte Höhe erreicht hat (s. Fig. 542, c). Danach stützt man die Enden der Schienen ab.

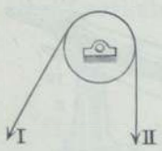


Fig. 543.
Feste Rolle.

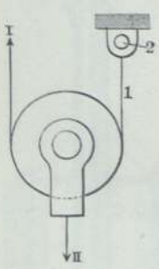


Fig. 544.
Lose Lastrolle.

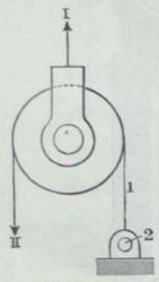


Fig. 545.
Lose Treibrolle.

3. Flaschenzüge.

Flaschenzüge *(Rollenzüge)* sind Lasthebevorrichtungen, die aus einer oder mehreren Rollen bestehen, über die ein Seil oder eine Kette geschlungen ist. Die Achse der Rolle kann ortfest sein; in diesem Falle wird lediglich die Richtung der Kraft verändert, während die ziehende Kraft I von gleicher Größe wie die zu hebende Last II ist (Fig. 543). Die Rolle wirkt daher lediglich als Leitrolle. Die lose Rolle kann sowohl als Lastrolle wie auch als Treibrolle benutzt werden. In Fig. 544 greift die Last II an der Rolle an, während an dem Seil 1, das mit einem Ende durch das Lager 2 festgehalten wird, die Kraft I wirkt. Zieht man am freien Trum, so legt die Kraft I beim Heben der Last II den doppelten Weg zurück wie letztere. Greift die Kraft I am Zapfenlager der Rolle an (Fig. 545), während die Last II am freien Trum des Seiles 1 hängt, das über die Rolle gelegt und mit einem Ende am Lager 2 befestigt ist, so wird die Rolle zur Treibrolle.

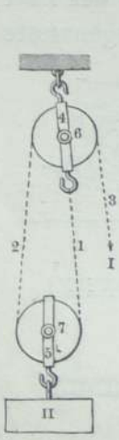


Fig. 546.

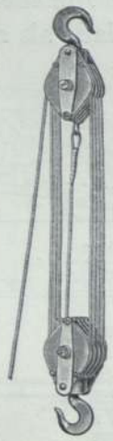


Fig. 547.

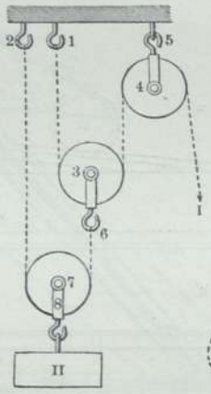


Fig. 548.

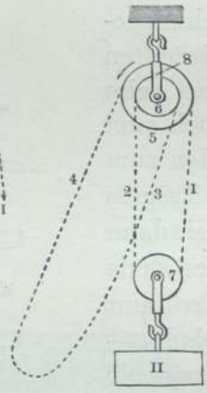


Fig. 549.

Fig. 546. Einfacher Flaschenzug. Fig. 547. Flaschenzug mit mehreren Rollen. Fig. 548. Potenzflaschenzug. Fig. 549. Differentialflaschenzug.

Die Flaschenzüge sind zum Teil tragbar, zum Teil werden sie als sogenannte *Flasche* in Verbindung mit Kranen benutzt *(Kranrollenzüge)*. Einen tragbaren Rollenzug zeigt Fig. 546. Der Kloben 4 der festen Rolle 6 ist mit einem Haken an einem ortfesten Teil aufgehängt; der Kloben 5 der losen Rolle 7 trägt die Last II. Das Seil ist am unteren Haken des Klobens 4 befestigt und führt über beide Rollen 6 und 7. Die Last verteilt sich auf die beiden Seilteile 1 und 2 so, daß jeder Teil die halbe Last II zu tragen hat (wobei unberücksichtigt geblieben ist, daß 1 und 2 nicht genau parallel laufen). Es ist daher eine am Seilende 3 ziehende, der Last II das Gleichgewicht haltende Kraft $I = {}^{II}/_{2}$ erforderlich; hierzu kommen jedoch noch die Reibungs- und die Seil- bzw. Kettenwiderstände. Häufig sieht man eine Anzahl nebeneinanderliegender Rollen im festen und im beweglichen Kloben vor (Fig. 547). Das Seil wird dabei am Haken der einen (hier der oberen) Flasche befestigt und abwechselnd um eine lose und eine feste Rolle geführt. Es ist dabei die zum Heben

einer Last erforderliche Kraft $= \frac{\text{Last}}{\text{Anzahl sämtlicher Rollen}}$. Wegen der mit der Rollenzahl wachsenden Widerstände ist die Anordnung von mehr als vier Rollen nicht empfehlenswert. Beim *Potenzflaschenzug* (Fig. 548) sind mehrere Seile (hier zwei) vorgesehen. Das erste führt von einem ortfesten Haken 1 über die bewegliche Rolle 3 und die feste Rolle 4, die am festen Haken 5 hängt. Das zweite Seil ist mit seinen Enden am festen Haken 2 und am Haken 6 der losen Rolle 3 befestigt; es umschlingt dabei die Rolle 7, an deren Kloben 8 die Last II hängt. Bei dieser Anordnung ist, n-lose Rollen vorausgesetzt, die theoretische Hebekraft I gleich der Last II dividiert durch 2^n. Beim *Differentialflaschenzug* (Fig. 549) sind die beiden im Kloben 8 gelagerten Rollen 5 und 6 fest verbunden; beide haben Einschnitte, in welche die Glieder der Kette hineinpassen und so die letztere am Gleiten verhindern. Die Kette bildet zwei Schleifen 1, 2 und 3, 4, und zwar führen die Enden 1, 2 von der größeren festen Rolle 5 über die lose, die Last II tragende Rolle 7 zu der kleineren festen Rolle 6; von dieser führt der Kettenteil 3 abwärts und legt sich mit dem Ende 4 auf die große feset Rolle 5. Zum Heben der Last II zieht man an 4 (s. den Pfeil); dabei wickelt die Rolle 6 das Kettentrum 3 auf, gleichzeitig aber das Trum 2 ab; ebenfalls gleichzeitig wird das Trum 1 auf 5 aufgewickelt. Da die Rolle 6 im Durchmesser kleiner ist als die Rolle 5, so wickelt 6 an Kettenlänge weniger ab, als die Rolle 5 aufwickelt. Es wird sich daher die Schleife 1, 2 um die halbe Differenz von der Auf- und Abwickelung verkürzen, mithin die Last II um diese Strecke gehoben werden. Will man die Last senken, so zieht man am Trum 3. Der Vorteil der Differentialflaschenzüge liegt darin, daß bei genügend kleinen Differenzen in den Durchmessern der fest verbundenen Rollen Selbsthemmung vorhanden ist, d. h. man kann das Trum 4 loslassen, ohne ein selbsttätiges Niedergehen der Last befürchten zu müssen; jedoch stehen diesem Vorteil große Abnutzung und erheblicher Kraftverlust gegenüber.

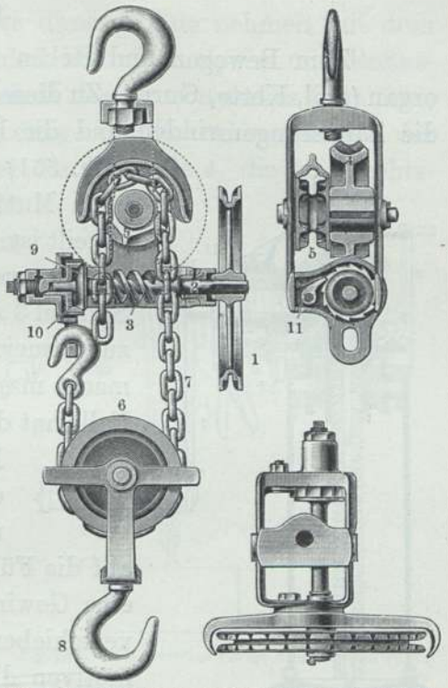


Fig. 550. Schraubenflaschenzug von E. Becker.

Bei den als Flaschenzüge ausgebildeten Hebezeugen verhindert man den Rücklauf durch Gesperre. Der *Schraubenflaschenzug* Fig. 550 wird durch eine in das Rad 1 greifende (in der Figur nicht dargestellte) Kette angetrieben. Die Welle 2 des Rades 1 trägt eine Schnecke 3, die in das Schneckenrad 4 greift; mit diesem ist das Kettenrad 5 verbunden, das durch die über die lose Rolle 6 geführte Kette 7 die am Haken 8 hängende Last hebt. Sobald die Drehung des Rades 1 aufhört, sucht die Last infolge des Zuges am rechten Trum der Kette 7 das Schneckenrad 4 im Sinne des Uhrzeigers zu drehen; dabei drängt dieses die Schnecke 3 nach links, die nunmehr mit ihrem Vollkegel 9 in den Hohlkegel 10 hineingepreßt wird. Letzterer legt sich dann mit seinem gezahnten Kranz gegen eine Sperrklinke 11. Zum Senken der Last ist nur eine Drehung des Rades 1 in umgekehrtem Sinne erforderlich.

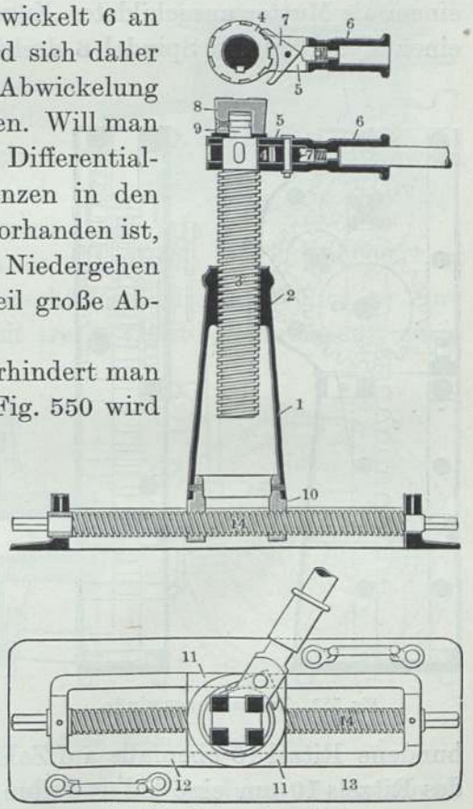


Fig. 551. Schraubenwinde.

Zum Heben von Brücken, Dächern usw. verbindet man mehrere Schraubenwinden durch gleichzeitig angetriebene Ratschenhebel. Anderseits macht man derartige Winden auch dadurch fahrbar, daß man das Gehäuse der Winde mit einer Rolle auf einer Schiene laufen läßt.

4. Winden (Windwerke).

Zum Bewegen und Heben von Lasten auf geringe Höhe benutzt man Winden ohne Zugorgan (Seil, Kette, Gurt). Zu dieser Art von Lasthebevorrichtungen gehören die Schraubenwinden, die Zahnstangenwinden und die hydraulischen Winden. Vielfach werden die *Schraubenwinden* (Fig. 551) durch eine Knarrvorrichtung angetrieben. Der Bock 1 trägt oben Muttergewinde 2 für eine Spindel 3, auf der ein Schaltrad 4 aufgekeilt ist. Lose um dieses Schaltrad kann der Bügel 5 einer Knarre 6 hin und her geschwungen werden, der je nach der Stellung der Klinken 7 die Spindel 3 auf- oder abwärts schaltet. Um besondere Bremsvorrichtungen zu vermeiden, welche die Spindel 3 gegen selbsttätigen Rücklauf sichern, macht man in der Regel die Steigung des Gewindes sehr gering; in diesem Falle hat die Spindel Selbsthemmung. Der Kopf 8, den die Spindel 3 beim Hochschrauben gegen die zu hebende Last preßt, sitzt lose drehbar auf dem Zapfen 9 der Spindel. Der Bock 1 besitzt unten einen Schlitten 10, der sich mit seitlichen Ansätzen 11 auf die Führungsflächen 12 des Rahmens 13 legt; in letzterem ruht noch eine Gewindespindel 14, die den Schlitten 10 samt dem Bock 1 seitlich verschieben kann. — Schraubenwinden, die z. B. zum Heben von Lokomotiven dienen sollen, macht man fahrbar und treibt einen Hebebalken mittels einer senkrechten, auf Zug beanspruchten Spindel in die Höhe.

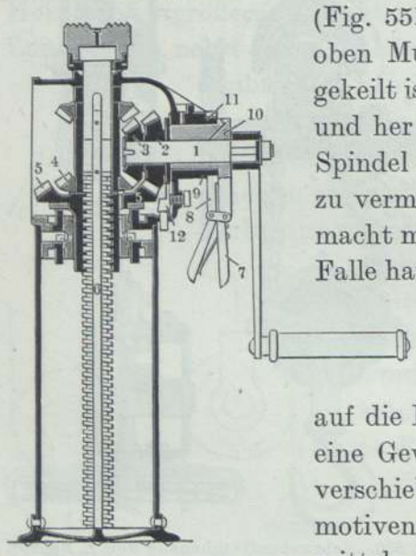


Fig. 552. Differentialschraubenwinde.

Zum Heben sehr großer Lasten benutzt man auch *Differentialschraubenwinden* (Fig. 552). Auf der Kurbelwelle 1 sitzen die Kegelräder 2 und 3 fest, von denen 2 mit einem als Mutter ausgebildeten Kegelrade 5, dagegen 3 mit einem Kegelrade 4 kämmt, das durch einen Federkeil die Spindel 6 dreht. Die Übersetzung der Räder 2, 5 ist kleiner als die der Räder 3, 4. Dreht man nun die Kurbelwelle 1, so wird die Spindel 6 mit einer Geschwindigkeit fortschreiten, die sich aus der Differenz der Kegelräderübersetzungen 3, 4 und 2, 5 ergibt. Man kann auch diese Schraubenwinde als einfachwirkende benutzen, wenn man durch Zusammendrücken der Handhabe 7 den Sperrstift 8 aus der Rast 9 herauszieht, die Lagerhülse 10 um 180° dreht und den Sperrstift 8 in die Rast 11 einfallen läßt. Bei dieser Bewegung der exzentrischen Hülse 10 geht auch der Zahn 12 aufwärts und greift dabei in eine Lücke des Kegelrades 5, so daß also die Mutter festgestellt ist. Der Wirkungsgrad derartiger Winden ist jedoch ziemlich niedrig.

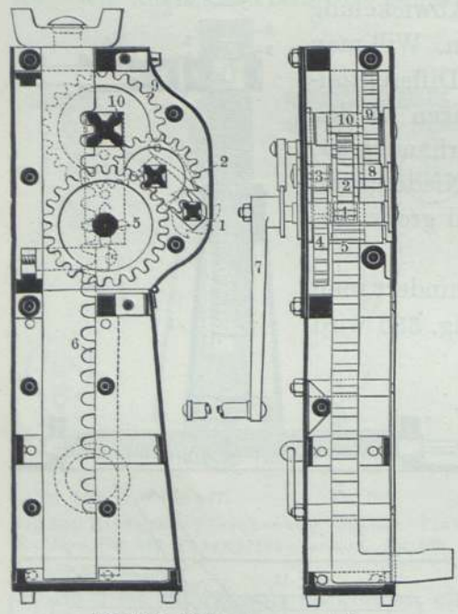


Fig. 553. Zahnstangenwinde.

Bei den *Wagenwinden (Zahnstangenwinden)* dient zum Heben der Last eine Zahnstange (Fig. 553). Auf die Achse des vierzähnigen Rades 1 wird Kurbel 7 gesteckt. Rad 1 kämmt mit einem Rade 2, das mit zwei vierzähnigen Rädern 3 und 8 fest auf einer Welle sitzt; Rad 3 treibt über 4, das mit dem Ritzel 5 fest verbunden ist, die Zahnstange 6, während gleichzeitig Ritzel 8 über das mit Rad 9 fest verbundene Ritzel 10 ebenfalls auf Zahnstange 6 wirkt. Dabei ist die Stellung des Ritzels 5 zu der des Ritzels 10 um eine halbe Teilung versetzt, wegen der geringen Eingriffsstrecke.

Die *chinesische Winde* (*Differentialwinde*, Fig. 554) besteht aus zwei Trommeln 1, 2 von verschiedenem Durchmesser, auf denen das Seil 3 in verschiedenen Gangrichtungen, nämlich auf der kleineren Trommel mit Rechts-, auf der größeren Trommel mit Linksgewinde aufgewickelt ist. An der Seilschlinge hängt die Rolle 4 mit dem Lasthaken. Je nach der Drehrichtung wird sich die frei herabhängende Schlinge verkürzen oder verlängern; ersteres bedeutet

ein Heben, letzteres ein Senken der Last. Die Wirkungsverluste dieser Winde nehmen mit dem Übersetzungsverhältnis zu; man kann letzteres so wählen, daß besondere Sperr- und Bremsvorrichtungen überflüssig sind. Ähnlich wirkt die Differentialwinde des Grusonwerkes (Fig. 555), bei der ein in sich geschlossenes, also endloses Seil 1 sich in einige der Schraubengänge 2 der kegelförmigen Trommel 3 legt. Die Schleife umschließt wieder die Lastrolle 4, die bei Rechtsdrehung der Kurbel 5 gehoben, bei Linksdrehung gesenkt wird.

Andere Hebezeuge benutzen Nürnberger Scheren zum Heben der Last; die hierzu erforderliche Veränderung der Schenkelstellung wird häufig durch eine Schraubenspindel bewirkt.

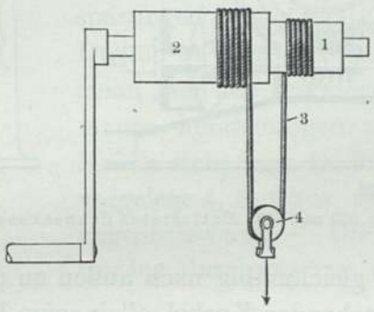


Fig. 554. Chinesische Winde.

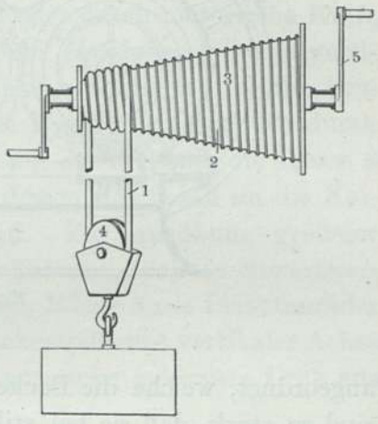


Fig. 555. Differentialwinde des Grusonwerks.

Hydraulische Hebezeuge besitzen eine Pumpe oder sind an eine Druckwasserleitung angeschlossen, die einen Kolben in die Höhe treibt, dessen Kopf sich gegen die zu hebende Last legt. Häufig kommt es vor, daß hydraulische Hebezeuge mit nur einem Kolben bei kleiner Last infolge des langsamen Steigens des Druckkolbens nicht vorteilhaft arbeiten. In solchen Fällen, wo mit oft und stark wechselnden Belastungsgrößen zu rechnen ist, arbeitet ein mehrstufiger Kolben vorteilhafter; ein solcher besteht aus mehreren Kolben.

Die *Trommelwinden* wickeln ein Seil, das die Last trägt, auf eine häufig zylindrische Trommel. Bei den *Bockwinden* (Fig. 556) liegt die Trommel 2 horizontal; sie ist in den Ständern 1, 1 gelagert und wird mittels der Handkurbeln 3, 3 und der Räderübersetzungen 4, 5 angetrieben. Ein Sperrwerk 6 sichert die Trommel gegen Rückwärtsdrehung, während eine Handbremse 7 ein langsames Senken der Last gestattet. Sperrwerk und Bremse haben sehr verschiedenartige Ausgestaltungen erfahren, sie werden häufig in gegenseitige Abhängigkeit gebracht (Sperrbremsen) oder so eingerichtet, daß sie beim Niedergehen der Last in Wirksamkeit treten (Lastdruckbremsen), auch nur eine bestimmte größte Geschwindigkeit beim Senken der Last zulassen (Schleuderbremsen). Die Kurbeln versieht man mit Vorrichtungen, so daß sie beim Niedergehen der Last stillstehen (Sicherheitskurbeln), um Verletzungen zu vermeiden. Eine derartige Kurbel ist in Fig. 557 und 558 veranschaulicht. Auf der Welle 1 sitzt fest ein Bremshohlzylinder 2 und lose eine die Kurbel 6 und ein Sperrad 14 fest tragende Hülse 7. Diese besitzt außerdem hebelartige Ansätze 8, an welche die Glieder 9 mit Hilfe der Bolzen 10 angelenkt sind. Die freien Enden der Glieder 9 stehen durch die Bolzen 11 mit den Bremsbacken 3 in gelenkiger Verbindung. Die Bolzen 11 sind nach außen verlängert und treten mit ihren Enden 12 in radiale Führungsschlitze 13 des Sperrades 14 ein, in dessen Zähne die Klinke 15 greift. Beim Drehen der Kurbel 6 in der Pfeilrichtung werden daher die Bremsbacken 3 fest gegen die Bremsfläche gepreßt, so daß die Kurbel mit der Welle 1 gekuppelt ist; dabei bewegt sich das ganze System zusammen mit dem Sperrade 14 fort, während beim Drehen

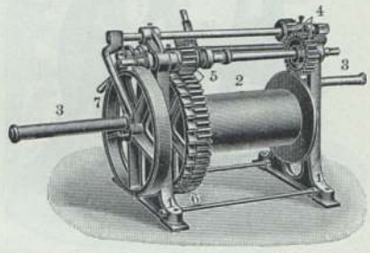


Fig. 556. Bockwinde (Bauwinde).

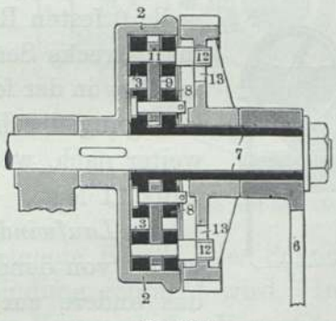


Fig. 557.

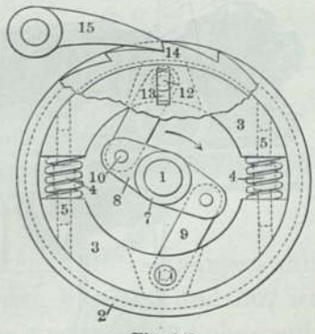


Fig. 558.

Fig. 557 und 558. Sicherheitskurbel.

der Kurbel in umgekehrter Richtung ein Lösen der Bremskuppelung eintritt, so daß die Last sinken kann. Zwischen den Bremsbacken 3 sind auf den Führungsbolzen 5 Schraubenfedern 4

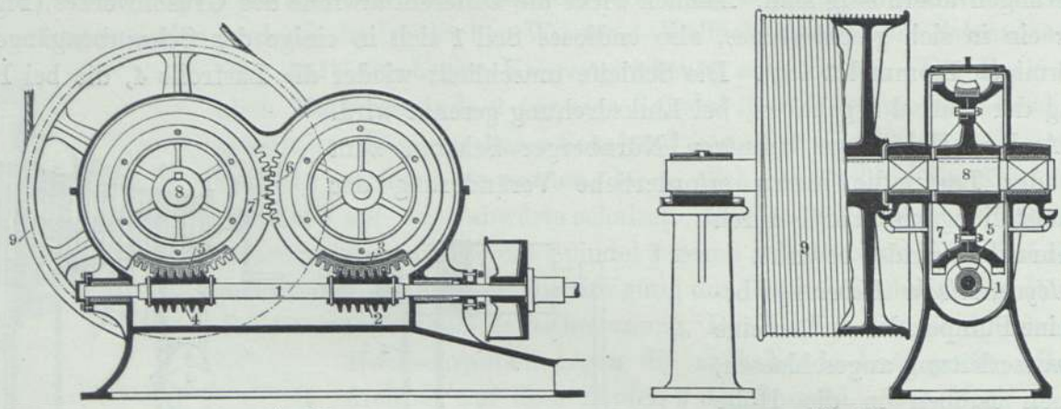


Fig. 559. Fig. 560.

Fig. 559 und 560. Entlastetes Schneckengetriebe.

angeordnet, welche die Backen gleichmäßig nach außen zu pressen bestrebt sind. Die Federn 4 sind so stark, daß sie bei stillstehender Kurbel allein eine Bremswirkung auszuüben vermögen.

In vielen Fällen treibt man die Winden durch motorische Kraft, z. B. durch Riemenscheiben, an. An die Stelle des Stirnrädervorgeleges tritt häufig das Schneckengetriebe, das jedoch, sofern ein einfaches Schneckengetriebe verwendet wird, der Schneckenwelle eine axiale Verschiebung zu erteilen strebt, die aufgefangen werden muß. Vorteilhaft benutzt man sogenannte *entlastete Schneckengetriebe* (Fig. 559 und 560), auf deren Antriebswelle 1 eine rechtsgängige Schnecke 2 und eine linksgängige Schnecke 4 befestigt ist. Diese greifen in Schneckenräder 3, 5, die mit Stirnradverzahnungen 6, 7 ineinandergreifen. Hierbei heben sich die axialen Druckkomponenten der antreibenden Schnecken gegenseitig auf. Die Trommel 9 ist auf der Achse 8 des Schneckenrades 5 befestigt.

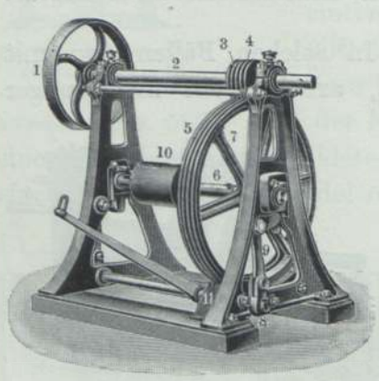


Fig. 561. Keilradwinde (Friktionswinde).

Keilräder- und Reibrädergetriebe finden nur für kleinere Lasten Anwendung. Eine derartige *Keilradwinde* zeigt Fig. 561. Die Scheibe 1 treibt mittels der Welle 2 das Reibrad 3, das mit seinen Keilrippen 4 in die Keilnuten 5 des auf der Trommelwelle 6 festen Reibrades 7 greift. Durch die Hebel 8, 9 kann man zwecks Senkens der Last die Welle 6 nebst der Trommel 10 von der festen Welle 2 entfernen. Will man die Niederbewegung der Last unterbrechen, so läßt man den Hebel 8 weiter nach, wodurch sich das Reibrad 7 gegen den Bremsklotz 11 legt.

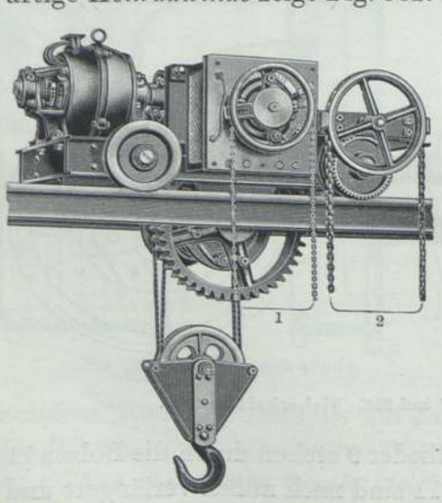
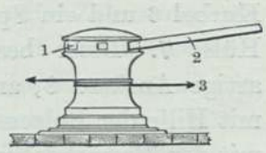


Fig. 562. Elektrisch betriebene Laufwinde.

Laufwinden sind fahrbar; sie besitzen zwei Windewerke, von denen das eine zum Heben und Senken der Last, das andere zur Fortbewegung dient. Vielfach benutzt man zum Heben Elektromotoren (sogenannte Schnellwinden). Bei der Laufwinde nach Fig. 562 wird das Hubwindewerk durch einen Elektromotor angetrieben,



563. Fig. Handgangspill.

dessen Umkehr-Anlaßwiderstand von unten durch die Handkette 1 eingeschaltet wird; das Fahrwerk besteht aus einem Haspelrad, das durch Kette 2 gedreht werden kann und seine Bewegung auf ein Stirnrädervorgelege überträgt.

Spille sind den Haspeln ähnliche Vorrichtungen zum Heranziehen (Verholen) von Schiffen oder Eisenbahnwagen (Rangierwinden). Sie können vertikale oder horizontale Achse haben; die Wickeltrommel nimmt jedoch das aufzuwickelnde Organ (Seil, Trosse, Kette) nicht selbst auf, sondern legt es hinter sich ab. Dazu ist bei den Seilen und Trossen ein mehrfaches Umschlingen der Trommel, bei Ketten die Anordnung von Vorsprüngen, die in die Kettenglieder greifen, erforderlich. Man benutzt die Spille außerdem zum Aufwinden und Niederlassen der Anker von Schiffen. Der Antrieb der Spille kann durch Spaken, Handkurbel oder durch motorische Kraft erfolgen. Fig. 563 zeigt ein *Handgangspill* mit vertikaler Achse zum Verholen von Schiffen. In die Aussparungen 1 setzt man die Hebel 2 ein und übt durch Drehen an diesen Hebeln auf das Seil oder die Trosse 3 einen Zug aus, vermöge dessen das Schiff an die Kaimauer herangezogen wird. Zur Ausübung größerer Kräfte sieht man (s. Fig. 564 und 565) ein Stirnrädervorgelege 4, 5, 6 vor, dessen Räder 5 wie Planetenräder angeordnet sind. — Die Ankerspille mit vertikaler Achse werden durchweg von einem tiefer gelegenen Deck aus

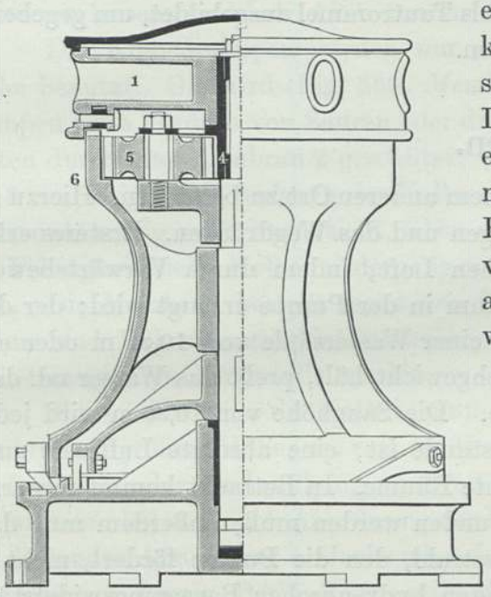


Fig. 564.

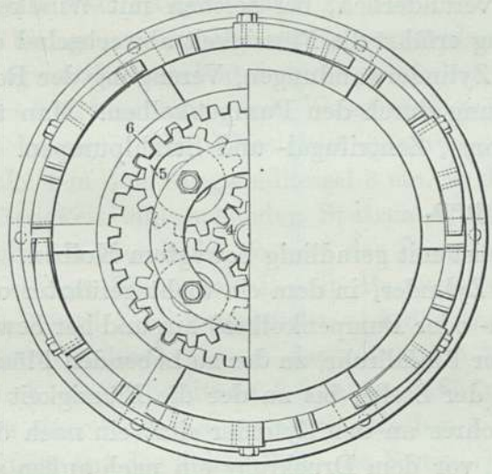


Fig. 565.

Fig. 564 und 565. Gangspill mit Vorgelege.

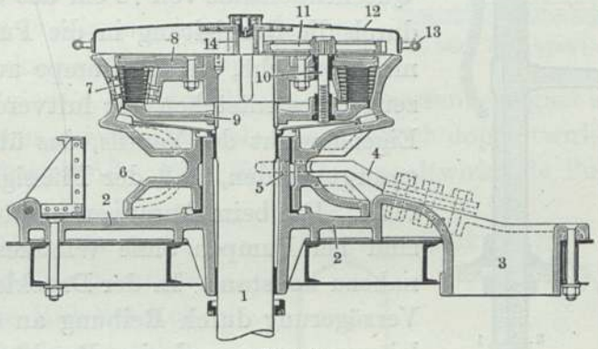


Fig. 566.

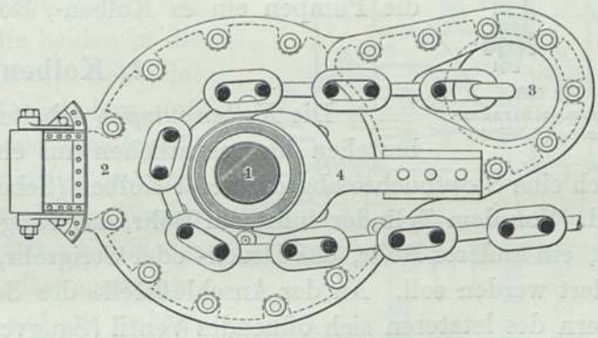


Fig. 567.

Fig. 566 und 567. Dampfankerspill.

angetrieben, indem die Spillwelle durch geeignete Kegel- oder Schneckenradübersetzungen mit der eigentlichen Ankerlichtmaschine in Verbindung gebracht wird. In den Fig. 566 und 567 ist ein Ankerspill dargestellt, wie es bei neueren Kriegsschiffen Verwendung findet: Die Ankerspillwelle 1 wird durch konische Räder od. dergl. von der Dampfankerwinde in Umdrehung versetzt. Zur Führung dieser Welle 1 dient die auf dem Deck befestigte, ausgebüchste Grundplatte 2; diese trägt zugleich die mit ihr aus einem Stück bestehende Deckskluse 3, durch welche die Ankerkette in den Kettenkasten gelangt. Ferner ist auf der Grundplatte 2 der gegabelte Kettenabstreifer 4 befestigt. Auf dem zu einem Hohlzapfen 5 ausgebildeten oberen Teil der Grundplatte 2 dreht sich lose das Kettenrad 6, das in seinem oberen Teil durch eine Lamellenkuppelung 7 mit dem eigentlichen Getriebe in Verbindung steht. Auf dem Kopf der Spillwelle 1 ist die Scheibe 8 fest

aufgekeilt, während die Scheibe 9 sich mit Spielraum um die Welle 1 dreht. Der Bolzen 10 schraubt sich bei entsprechender Drehung in die Losscheibe 9 ein, zieht diese dadurch an und preßt die Lamellen der Kuppelung 7 aneinander, so daß die Kettentrommel 6 von der Welle 1 mitgenommen wird. Zum Anpressen der Lamellenkuppelung 7 dreht man mittels der Handgriffe 13 den Spilldeckel 12, der mit einem Zahnrad 14 fest verbunden ist und so das mit der Schraubenspindel 10 verkeilte Rad 11 dreht. Beim Fallen des Ankers wird die Lamellenkuppelung gelöst und dadurch die Spillwelle und die zugehörige Maschine von dem sich lose drehenden Kettenrade frei gemacht. Der obere Teil des Spills ist als Tautrommel ausgebildet, um gegebenenfalls mittels einer Trosse das Schiff verholen zu können.

B. Pumpen.

Die Pumpen dienen dazu, Flüssigkeiten nach einem anderen Ort zu befördern. Hierzu sind zwei Arbeitsvorgänge erforderlich, nämlich das Ansaugen und das Wegdrücken. Ersteres erfolgt unter Mitwirkung der atmosphärischen Luft, indem durch Vorwärtsbewegen eines Kolbens ein luftverdünnter Raum in der Pumpe erzeugt wird; der dann überwiegende äußere Luftdruck, der einer Wassersäule von 10,33 m oder einer Quecksilbersäule von 76 cm das Gleichgewicht hält, preßt das Wasser od. dergl. durch die Saugleitung in die Pumpe. Die Saughöhe von 10,33 m wird jedoch nicht erreicht, da die Pumpe außerstande ist, eine absolute Luftleere zu erzeugen; es entstehen nur luftverdünnte Räume. In Betracht kommt ferner das Eigengewicht des Ventils, das überwunden werden muß; außerdem muß dafür gesorgt werden, daß der Flüssigkeitsstrahl, den die Pumpe fördert, nicht abreißt. Die beim Ansaugen entstehenden hydraulischen Bewegungswiderstände sind bei Pumpen ohne Windkessel veränderlich, bei solchen mit Windkessel nahezu konstant. In der Druckleitung erfährt die Flüssigkeit abwechselnd eine Verzögerung durch Reibung an den Zylinderwandungen, Verengung der Rohrleitungen usw. und eine Beschleunigung durch den Pumpenkolben. Man teilt die Pumpen ein in Kolben-, Rotations-, Zentrifugal- und Strahlpumpen.

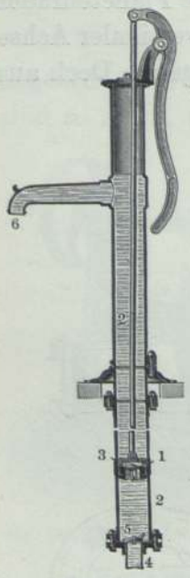


Fig. 568. Hubpumpe, Straßenpumpe (Schnitt).

1. Kolbenpumpen.

Die *Kolbenpumpen* arbeiten meist mit geradlinig bewegtem Kolben. Sie bestehen im wesentlichen aus einem Zylinder, in dem ein dicht geführter oder durch eine Stopfbüchse abgedichteter Kolben (Scheiben- oder Pumpenkolben) hin und her bewegt wird. Von dem Zylinder führt ein Rohr, das Saug- oder Einfallrohr, zu der zu hebenden Flüssigkeit, ein anderes Rohr, das Druck- oder Steigrohr, zu der Stelle, bis zu der die Flüssigkeit gefördert werden soll. An der Anschlußstelle des Saugrohres an den Zylinder sitzt ein nach dem Innern des letzteren sich öffnendes Ventil (Saugventil), vor dem Druckrohr ein nach außen sich öffnendes Ventil (Druckventil). Je nachdem das Druckventil im Kolben oder am Pumpenzylinder selbst bzw. in einer mit diesem verbundenen Kammer angeordnet ist, teilt man die Kolbenpumpen in *Hubpumpen* und *Saugpumpen*. Der senkrechte Abstand von der Oberfläche (dem Spiegel) der zu hebenden Flüssigkeit bis zum Pumpenmittel wird Saughöhe, der senkrechte Abstand vom Pumpenmittel bis zur Mündung des Druckrohres oder, bei Förderung in unter Druck stehende Räume, die Höhe einer dem herrschenden Druck entsprechenden Wassersäule wird Druckhöhe genannt. Die Summe von Saughöhe und Druckhöhe heißt Förderhöhe.

Die *Hubpumpen* arbeiten mit senkrecht bewegtem Kolben. Sie finden meist nur zum Fördern auf geringe Höhen Verwendung. Beim Aufwärtsgang des Kolbens 1 im Zylinder 2 der Straßenpumpe (Fig. 568) wird das Druckventil 3 durch den äußeren Luftdruck und die über dem Kolben stehende Wassersäule geschlossen. Infolge der bei dieser Bewegung eintretenden Vergrößerung des Raumes unter dem Kolben 1, in den das Saugrohr 4 mündet (das in die zu hebende

Flüssigkeit taucht), entsteht eine Druckverminderung wegen der Luftverdünnung; dadurch wird das Wasser unter Anheben des Ventils 5 aus dem Rohr 4 in den Raum unter dem Kolben 1 treten. Erfolgt nun der Niedergang des Kolbens 1, so schließt sich zunächst das Saugventil 5, und das im Raum unter dem Kolben befindliche Wasser tritt durch das Druckventil 3 über den Kolben; das Wasser wird bei jedem weiteren Hochgange des Kolbens weiter gehoben, bis es die Pumpe durch das Rohr 6 verläßt. Gleichzeitig mit dem Hochgange des Kolbens wird wieder Wasser angesaugt. — Häufig ordnet man, um den Flüssigkeitsstrahl möglichst gleichförmig austreten zu lassen, vor dem Austrittsrohr 6 einen Druckwindkessel an.

Die Kolbenpumpen werden nur selten zum Fördern auf geringe Höhe benutzt. Oft wird (Fig. 569, *Membranpumpe*) der Kolben 1 dieser Pumpen beim Fördern von Säuren oder durch Sand verunreinigten Flüssigkeiten durch eine Membran 2 geschützt. Die zu fördernde Flüssigkeit tritt bei 3 ein, steigt beim Aufgang des Kolbens, der die Membran 2 infolge der Luftverdünnung nach oben zieht, über das Ventil 4 in den Raum 5, den die Flüssigkeit beim Kolbenniedergang unter Anheben des Ventils 6 verläßt. Die Membran besteht meist aus Paragummi, während die Ventilräume und Röhren aus widerstandsfähigem Material, wie Bronze, Hartblei, Hartgummi, hergestellt werden.

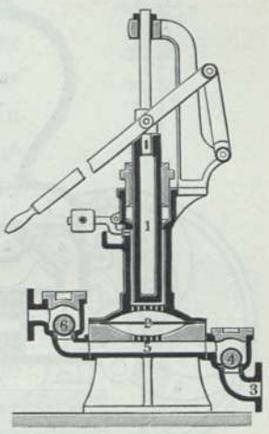


Fig. 569. Membranpumpe.

Meist bildet man die Kolbenpumpen als *Druckpumpen* aus, die zum Fördern auf größere Höhe, wie z. B. bei Bergwerkswasserhaltungen, Wasserwerken usw., oder zur Ausübung von Preßdruck, wie z. B. bei hydraulischen Pressen, geeignet sind. Sie arbeiten bei stehender Anordnung des Kolbens zuweilen einfach-, meist jedoch doppeltwirkend, bei liegender Anordnung einfach- oder doppeltwirkend. Eine liegende doppeltwirkende Pumpe der Firma A. Borsig, Berlin-Tegel, zeigt Fig. 570. Die Pumpe besitzt zwei Saugventile 1, 11 und zwei Druckventile 2, 12, die hier paarweise übereinander angeordnet und als sogenannte Ringventile ausgebildet sind, um die bei jedem Hub des Kolbens 3 zu beschleunigende Wassersäule möglichst kurz machen zu können. Die Flüssigkeit (Reinwasser) tritt durch das Rohr 4 in den Saugwindkessel 5 ein, in den die beiden in die Flüssigkeit eintauchenden Stutzen 6, 6 reichen. Geht der Kolben 3 nach links, so wird das Saugventil 11 gehoben, und es strömt Flüssigkeit in den Raum 9, während gleichzeitig das Ventil 1 niedergedrückt und das Druckventil 2 geöffnet wird. Dadurch strömt das im Raum 7 befindliche Wasser durch die Rohrleitung 8 zur Ausflußöffnung 10. Kehrt der von einer Kurbel angetriebene Kolben 3 seine Bewegung um, so tritt auf der linken Seite die Saugperiode, auf der rechten die Druckperiode ein, wobei die Ventile 1 und 12 geöffnet und die Ventile 11 und 2 geschlossen sind. Über der Rohrleitung 8 sind große Druckwindhauben 13 angeordnet, die im Verein mit dem Saugwindkessel 5 dem Wasser eine gleichmäßige Geschwindigkeit erteilen. — Man ersetzt auch neuerdings die Ringventile durch eine größere Anzahl kleiner Ventile und vereinigt die beiden Pumpenkörper zu einem einzigen, der in der Mitte eine mit Führungsbüchse für den Kolben versehene Scheidewand besitzt. Auch hier sind Saug- und Druckwindkessel vorgesehen.

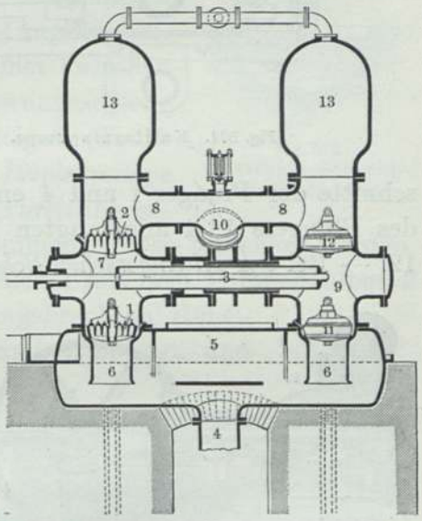


Fig. 570. Liegende doppeltwirkende Pumpe mit Ringventilen.

Von den doppeltwirkenden Saug- und Druckpumpen mit Scheibenkolben, die in verschiedenster Form ausgeführt werden, zeigt Fig. 571 eine unter dem Namen *Kaliforniapumpe* bekannte Konstruktion, die zum Fördern mittelgroßer Wassermengen für Fabrikzwecke geeignet ist. Der mit Lederdichtung versehene Kolben 1 wird von einem Kreuzkopf 2 bewegt, der durch eine Schubstange und Kurbel 4 von der Riemenscheibe 5 aus seine Bewegung erhält. Die Saug- und

Druckklappen 6, 7 sind aus Lederplatten hergestellt; 6 und 7 sind durch Gußeisenstücke beschwert, die mit Gelenkzapfen in die Gehäusewand greifen. Der Windkessel 8 ist nach Lösen der Schrauben 9 abnehmbar, so daß sämtliche Klappen dann zugänglich sind. Sowohl das (nicht dargestellte, in die Zylinderführung des Kolbens mündende) Saugrohr als auch das Druckrohr 3 führen seitlich vom Ventilgehäuse ab. Diese Pumpe zeichnet sich vorteilhaft durch ihre gedrängte Bauart aus.

Differentialpumpen finden für die gleichen Zwecke Verwendung wie die doppeltwirkenden Druckpumpen, besitzen aber nur ein Saugventil und ein Druckventil. Hinsichtlich der Saugwirkung sind sie einfach-, hinsichtlich der Druckwirkung doppeltwirkend. Die Arbeitsleistung kann dabei auf den Vor- und Rückgang des Kolbens gleichmäßig verteilt werden. In Fig. 572 ist eine liegende Differentialplunger-Pumpe der Gasmotorenfabrik Deutz im Längsschnitt dargestellt. Der Differentialplunger 1 wird durch die Stopfbüchsen 2 und 3 im Pumpengehäuse dicht geführt. Der Querschnitt des schwächeren Plungerteils 4 beträgt die Hälfte oder etwas mehr des Querschnittes von 1. Bewegt sich der Plunger 1, 4 nach rechts, so wird in den Raum 5 so viel Flüssigkeit durch Saugrohr 6, Saugwindkessel 7 und Saugventil 8 angesaugt, als dem Querschnitt des Plungerteiles 1 entspricht. Gleichzeitig wird aus dem Raum 9 so viel Flüssigkeit durch Rohr 10 und den Druckwindkessel 11 in die Druckleitung 12 gefördert, als der Differenz der Querschnitte von 1 und 4 entspricht. Beim Linksgang des Plungers wird aus dem Raum 5 die ganze vorher angesaugte Flüssigkeitsmenge durch das Druckventil 13 in den Windkessel 11 gedrückt, aus dem von der Flüssigkeit wieder so viel durch das Rohr 10 in den Raum 9 zurückfließt, als der Differenz der Querschnitte der Plunger 1 und 4 entspricht. Der übrige Teil, etwa die Hälfte der beim Rechtsgang des Plungers 1, 4 angesaugten Flüssigkeitsmenge, verläßt die Pumpe durch die Druckleitung 12. — Bei der *Rittingerschen Schachtpumpe* für Bergwerke (Fig. 573) bildet der untere Teil 9 des Steigrohres 1 den Kolben, der im Zylinder 2 mittels Stopfbüchse 3 geführt ist. Das Wasser tritt durch die hohle Kolbenstange 1, 9, die an Zapfen 4, 4 auf und nieder bewegt wird, in das Gehäuse 5 und verläßt die Pumpe durch das Rohr 6. Die Pumpe besitzt bei 7 den Windkessel, der über dem Druckventil 8 liegt. Der häufigeren Verwendung der Rittinger-Pumpen für Abteufzwecke steht bei größeren Wassermengen das unhandliche Maß des Pumpenkolbens entgegen, da der Hub nur verhältnismäßig klein sein kann.

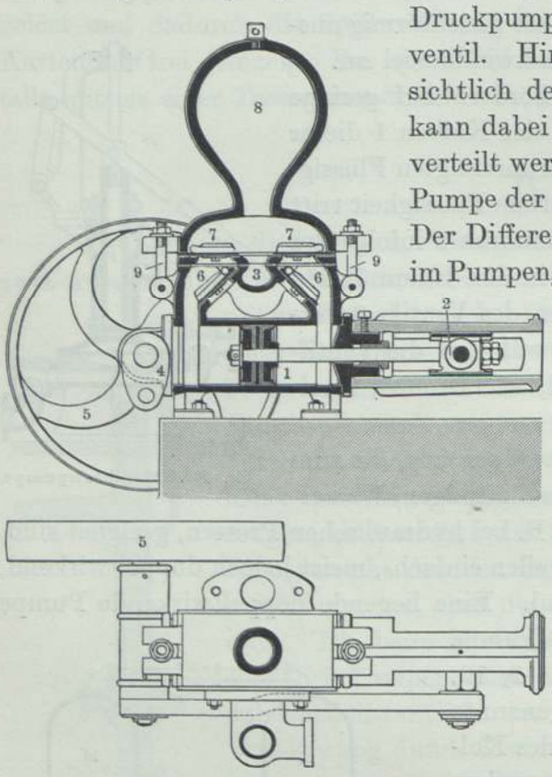


Fig. 571. Kaliforniapumpe.

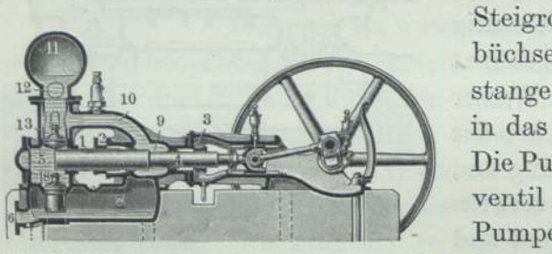


Fig. 572. Differentialplunger-Pumpe (Längsschnitt).

Pumpen für dickflüssige Stoffe, insbesondere Latrinen- und Jauchepumpen, rüstet man mit Schiebern an Stelle der Ventile aus. Der Schieber erhält dabei seine Steuerung von der Hauptantriebswelle aus. In manchen Pumpen wirkt der Kolben selbst als Schieber; er macht bei seiner Bewegung Öffnungen frei, durch welche die Flüssigkeit infolge ihres Eigengewichts und des Luftdruckes eintritt. Beim Rückgang des Kolbens schließt derselbe diese Öffnungen ab und preßt die abgesperrte Flüssigkeitsmenge in das Druckrohr.

Die Zylinder der Pumpen (Kolbenrohr, Stiefel) bestehen meist aus Gußeisen, zuweilen auch aus Stahlguß, Rotguß, Bronze usw. Beim Fördern von Säuren u. dergl. verwendet man Steinzeug, Glas, Hartblei, Hartgummi, um ein Zerstören zu verhüten. Das Saugrohr erhält gewöhnlich

am unteren Ende ein korbartig gestaltetes Sieb (Saugkorb), das oft mit einem nach der Pumpe hin sich öffnenden Ventil (Fußventil) vereinigt ist und das Eindringen von Fremdkörpern verhindern soll; ebenso schaltet man mitunter in das Druckrohr ein nach außen sich öffnendes Ventil (Rückschlagventil) ein.

Die Wassergeschwindigkeit im Saugrohr beträgt bis zu 1 m in der Sekunde bei geringer Länge des Saugrohres; bei Längen über 50 m geht man zweckmäßig bis höchstens 0,75 m in der Sekunde. Im Druckrohr beträgt die Wassergeschwindigkeit bei größeren Pumpen und langen Leitungen etwa 1 m in der Sekunde, bei kleineren Pumpen und kurzen Leitungen mitunter bis 1,5 oder 2 m. Die Kolben erhalten eine mittlere Geschwindigkeit von 0,5 bis 1 m in der Sekunde, bei kurzhubigen Pumpen auch bis zu 2 m. Der volumetrische Wirkungsgrad beträgt bei guter Ausführung etwa 0,85. — Die Ventile sind aus Gußeisen, Rotguß usw., seltener aus Kautschuk. Meist sind die Ventile kraftschlüssig, d. h. sie öffnen sich oder schließen sich selbsttätig bei Überdruck; zuweilen sind sie auch zwangläufig gesteuert (Riedlersche Ventile). Bei großen Pumpen verwendet man zur Vermeidung übermäßiger Hubhöhe mehrsitzige Ventile, insbesondere einfache und mehrfache Ringventile oder die von Thomaczek erfundenen Etagenventile, die aus etagenförmig übereinander liegenden Ringventilen bestehen. — Der Antrieb der Pumpen kann von Hand mittels Handgriffs (Krückenpumpen) oder Hebels (Schwengel-, Balancierpumpen) sowie durch Schwungrad und Kurbel (Kurbelpumpen) erfolgen. Pumpen für Kraftbetrieb erhalten ihren Antrieb mittels Kurbelgetriebes, vielfach auch unmittelbar durch die Kolbenstangen von Kraftmaschinen mit hin und her gehender Bewegung (Dampf- und Gaspumpen). Transmissionspumpen werden durch Riemen, Seile od. dergl. von einer Wellenleitung aus angetrieben. Bei den Dampfpumpen kann der Antrieb der Steuerung von einer zwischen den Dampfzylinder und das Pumpengehäuse geschalteten Schwungradwelle (Dampfpumpen mit Hilfsrotation) oder ohne diese Welle erfolgen (direkt wirkende Dampfpumpen). Von letzteren hat die sogenannte *Duplexpumpe* (Fig. 574 und 575), auch *Worthington-Pumpe* genannt, große Verbreitung gefunden. Sie besteht aus zwei nebeneinander liegenden Dampfpumpen, die so gesteuert werden, daß die Kolbenstange 2 der einen Pumpe 11, die den Dampfkolben 1 mit dem Pumpenkolben 3 verbindet, durch den in der Mitte des Maschinengestelles 4 angebrachten Hebelmechanismus den Dampfverteilungsschieber 5 der anderen Pumpe 12 bewegt, und umgekehrt die Kolbenstange der Pumpe 12 den Dampfschieber von 11. Mit 6, 7, 8 sind die Dampfkanäle, mit 9 die Saugventile und mit 10 die Druckventile der Pumpe bezeichnet. Die wechselweise abhängige Steuerung der beiden Antriebsmaschinen ist so eingerichtet, daß die eine Pumpe ihre Bewegung beginnt, wenn die andere diese beendet. Die größeren direkt wirkenden Dampfpumpen, insbesondere solche für Schiffszwecke, Wasserversorgungs- und Wasserhaltungsanlagen, werden mit zwei- oder dreifacher Expansion des Dampfes ausgeführt. Zu den direkt angetriebenen Dampfpumpen gehören ferner die Simplexpumpen von L. Becker in Offenbach a. M., die schwungradlose Dampfpumpe Patent Voit und die *Kataraktmaschinen*. Letztere sind große Wasserhaltungsmaschinen, deren unter Tag aufgestellte Pumpen mittels Gestänges von einem über Tag stehenden Dampfzylinder mit Kataraktsteuerung aus angetrieben werden. Die Steuerung dieser Pumpen

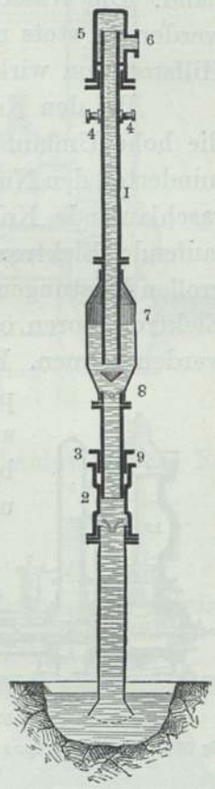


Fig. 573. Rittinger-Schachtpumpe (Schnitt).

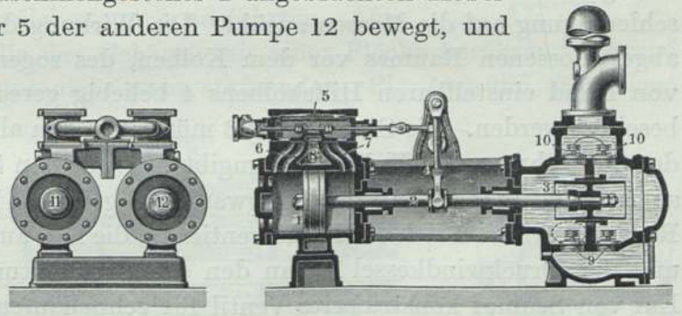


Fig. 574. Stirnansicht. Fig. 575. Längsschnitt.

Fig. 574 und 575. Duplexdampfpumpe.

kann so eingestellt werden, daß in der Bewegung des Kolbens je nach der zu fördernden Wassermenge am Hubende eine kleinere oder größere Pause (Hubpause) eintritt. Hydraulisch (durch Druckwasser) betriebene Pumpen wurden früher dadurch bewegt, daß man beide Zylinderseiten einer über Tag stehenden doppeltwirkenden Pumpe durch je eine mit Wasser gefüllte Rohrleitung mit beiden Seiten des gleichgroßen, unter Tag stehenden Antriebszylinders ohne Steuerung verband. Die Wassersäulen wirkten dabei wie ein Gestänge (Hydraulisches Gestänge). Neuerdings werden sie stets mit selbsttätiger Steuerung des Antriebszylinders nach Art der direkt oder mit Hilfsrotation wirkenden Dampfpumpen ausgeführt.

Bei den Kolbenpumpen mit elektrischem Antrieb mußte man früher durch ein Vorgelege die hohe Umlaufszahl des Motors erniedrigen. Diese Vorgelege beanspruchten viel Platz, verminderten den Nutzeffekt und vermehrten die Kosten der Anlage. Gegenwärtig baut man deshalb raschlaufende Kolbenpumpen, die bei mäßigen Leistungen und Antrieb durch normale raschlaufende Elektromotoren nur eine einfache Riemen- oder Räderübersetzung nötig haben, bei großen Leistungen (für Wasserversorgungs- und Wasserhaltungszwecke) mit mäßig raschlaufenden Elektromotoren oder raschlaufenden Dampfmaschinen, Gasmotoren, Turbinen direkt gekuppelt werden können. Derartige Pumpen werden als einfach- oder doppeltwirkende *kurzhubige* Plungerpumpen mit bis zu 300 Umdrehungen in der Minute in Zwillings- oder Drillingsanordnung ausgeführt und als *Expreßpumpen* bezeichnet. Von den reichlich bemessenen Ventilen mit kleinem Hub sind entweder die Saugventile gesteuert und die Druckventile selbsttätig, oder beide selbsttätig. Der Saugwindkessel dieser Pumpen liegt möglichst hoch, um die abwechselnd zu beschleunigende und zu verzögernde Wassermasse zwischen Kolben und Saugwindkessel möglichst klein zu halten. Die ersten Konstruktionen dieser Pumpen rühren von Riedler her. Fig. 576 ist ein Längsschnitt durch eine einzelne dieser in Drillingsanordnung ausgeführten Pumpen. Die dreifach gekröpfte Welle 1 mit um je 120° versetzten Kurbeln läuft in dem Öltrog 2 und ist direkt mit dem Motor gekuppelt. Der Kreuzkopf 3 jeder der drei Pumpen bewegt sich als Kolben in einem einseitig geschlossenen Zylinder 5 und wirkt in diesem beim Druckhub als Luftpufferkolben, so daß gegen Ende des Druckhubes die Luft im Pufferzylinder verdichtet wird und verzögernd auf die bewegten Gestängemassen wirkt, während beim Saughub die zusammengepreßte Luft eine Beschleunigung auf die Massen ausübt. Die Wirkung des Luftpuffers kann durch Veränderung des abgeschlossenen Raumes vor dem Kolben, des sogenannten schädlichen Raumes, mittels eines von Hand einstellbaren Hilfskolbens 4 beliebig geregelt, auch durch Öffnen des Zylinders ganz beseitigt werden. Die Saugleitung 6 mündet in den allen drei Pumpen gemeinsamen Saugraum 7, der die Führung des Kolbens 8 umgibt und mit den Saugwindkesseln 9 verbunden ist. Letztere sind so angebracht, daß der Saugwasserspiegel stets höher liegt als die Saugventile. Über dem Raum 10 befinden sich die Druckventile 11, die hier aus federbelasteten Gruppenventilen bestehen, und der Druckwindkessel 12, an den die Druckleitung anschließt. 13 ist ein Schmiergefäß. — Ein von Stumpf konstruiertes Ventil für schnellaufende Pumpen zeigt Fig. 577. Der Pumpenzylinder 1, in den der Kolben 2 taucht, ist von einem ringförmigen Raum 3 umgeben, in den das Saugrohr mündet. Der Raum 3 verengt sich zu einem Ringschlitz 4, gegen den das ringförmige Ventil 5 anliegt. Eine ringartige Erhöhung desselben stößt beim Öffnen gegen den Ventilfänger 6. Dieser bildet zugleich die Führung für das Ventil, das in der Pumpe so angebracht ist, daß seine Sitzfläche in der senkrechten Ebene liegt. Der Pumpenkolben 2 trägt an seiner Verlängerung 7 einen Steuerkopf 8 mit Gummifeder, die am Ende jedes Saughubes das geöffnete Ventil mitnimmt und auf den Ventilsitz drückt. — Neuerdings läßt man bei elektrisch angetriebenen Pumpen das Vorgelege überhaupt fort. Fig. 578 zeigt eine doppeltwirkende raschlaufende Pumpe der Firma

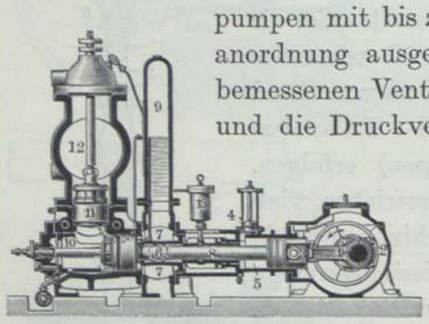


Fig. 576.

Fig. 576. Riedler-Expreßpumpe (Längsschnitt).

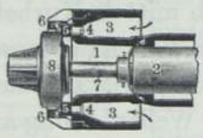


Fig. 577.

Fig. 577. Saugventil der Expreßpumpe.

A. Borsig, Berlin-Tegel. Die Pumpe macht 145 minutliche Umdrehungen. Der Drehstrommotor 1 ist direkt auf die Pumpenkurbelwelle 2 aufgesetzt. Durch das große Schwungmoment des umlaufenden Motorteils ist die Anordnung eines besonderen Schwungrades überflüssig.

Die Firma Ortenbach & Vogel baut neuerdings auch ventillose Schnellpumpen in Zwillingsanordnung, deren um 90° gegeneinander versetzte Kolben sich gegenseitig steuern. Die Pumpen mit um eine Achse schwingenden Kolben (Flügelpumpen), die einfach- oder mehrfachwirkend ausgeführt werden und aus einem zylindrischen Gehäuse mit radialer Scheidewand und einem oder mehreren um eine zentrale Achse schwingenden Kolben sowie den erforderlichen Saug- und Druckventilen bestehen, sind für viele untergeordnete Zwecke gut verwendbar. Bei der Pumpe von G. Allweiler (Fig. 579) liegt im Gehäuse 1 der hin und her schwingende Flügel oder Kolben 2, der das Wasser durch die Saugventile 4 ansaugt und es durch die Druckventile 3 wegpreßt. In der Mitte des Gehäuses 1 liegt die Scheidewand 5. Es spielen sich hier ähnliche Vorgänge ab wie bei einer Hubpumpe.

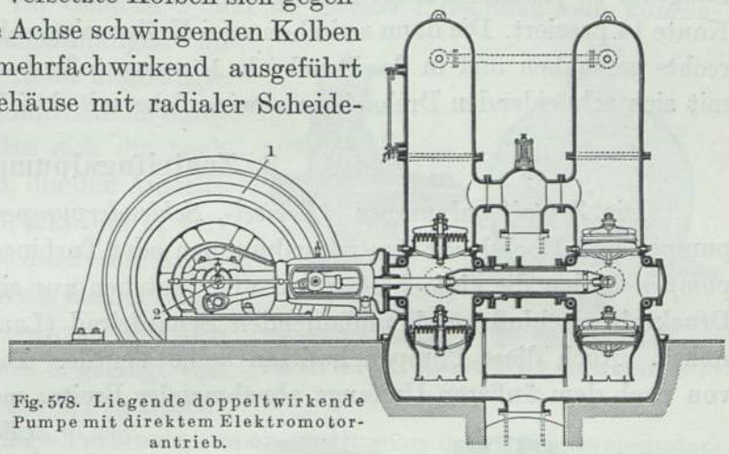


Fig. 578. Liegende doppeltwirkende Pumpe mit direktem Elektromotorantrieb.

2. Rotationspumpen.

Die *Rotationspumpen* (*Kapselpumpen*, Kapselwerke, Walzenpumpen, Würgelpumpen, Kreis- oder Drehkolbenpumpen) bestehen aus einem Gehäuse, der Kapsel, mit Saug- und Druckrohranschluß, in dem sich mehrere, in der Regel zwei, geeignet gestaltete Körper (Flügel, Verdränger, Walzen, Kolben) um parallele, außerhalb des Gehäuses gelagerte, durch Zahnräder in Verbindung stehende Achsen drehen. Diese Pumpen besitzen keine Ventile; die Abdichtung zwischen Saug- und Druckraum bewirken die umlaufenden Kolben selbst. Bei den älteren Pumpen dieser Art berühren sich die Flügel oder Kolben gegenseitig und auch das Gehäuse in nur einer Linie. Dies hatte eine schlechte Abdichtung zwischen Saug- und Druckraum und daher einen schlechten Wirkungsgrad auch dann zur Folge, wenn die Flügel nicht aufeinander schleiften, sondern eine reine Abwälzbewegung ausführten. Die neueren Konstruktionen benutzen Flügel, die das Gehäuse mit einer Fläche berühren, während eine Berührung der Flügel vielfach überhaupt nicht mehr stattfindet. Fig. 580 und 581 zeigen eine Kreiskolbenpumpe der Firma C. H. Jäger & Co., bei der das vierzähnige Rad 1 mit seinen Zahnköpfen an der Aussparung eines feststehenden Kernes 3 vorbeischleift. Damit ist die erwähnte Flächenberührung erzielt, die sich insbesondere für größere Förderhöhen besser bewährt als die nur nach einer Linie erfolgende Abdichtung, wenn diese allein durch den Eingriff der Zähne bewirkt wird. Die Zähne 2 stehen an der auf der Welle 5 befestigten Scheibe 4 beiderseits vor. Die Welle 5 wird angetrieben und versetzt die Welle 6 in Drehung mittels der Zahnräder 7, deren Übersetzungsverhältnis 3:4 ist. Um eine möglichst vollkommene Druckausgleichung für das Rad 1 zu erzielen, werden auch den

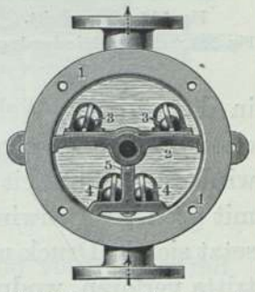


Fig. 579. Doppeltwirkende Flügelpumpe, Deckel abgenommen.

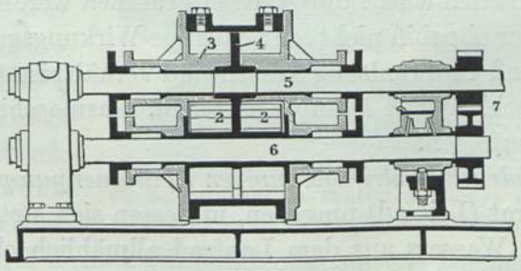


Fig. 580.

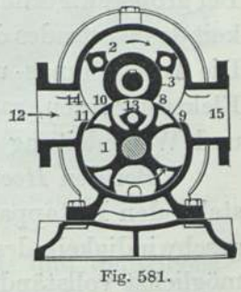


Fig. 581.

Fig. 580 und 581. Kreiskolbenpumpe.

Öffnungen 8, 9 und 10, 11 gegenüber in der Gehäusewand Aussparungen von gleicher Breite vorgesehen und diese Aussparungen durch Kanäle in den Gehäusedeckeln in Verbindung mit dem Saug- bzw. Druckraum gebracht. Es wirkt dann in den Aussparungen derselbe Druck auf das Rad 1 wie auf der gegenüberliegenden Seite. Bei diesen Pumpen saugen die Kolben 2 aus dem Saugrohr 12 jeweils so lange Flüssigkeit in den Raum 13 ein, bis der nachfolgende Kolben 2 die Kante 14 passiert. Die dann zwischen zwei Kolben eingeschlossene Flüssigkeit wird von diesen nach rechts geschoben und in das Druckrohr 15 ausgestoßen. — In einzelnen Fällen sind auch Pumpen mit sich schneidenden Drehachsen sowie solche mit drei Triebwellen (Patent Klein) in Gebrauch.

3. Zentrifugalpumpen.

Die *Zentrifugalpumpen (Kreisel-, Schleuderpumpen)* zerfallen in Niederdruckzentrifugalpumpen und Hochdruck-Zentrifugalpumpen oder Turbinenpumpen. Die *Niederdruck-Zentrifugalpumpen* bilden die einfachste Form und bestehen aus einem in einem Gehäuse mit Saug- und Druckrohranschluß rasch umlaufenden Schaufelrad (Laufrad) mit horizontaler oder vertikaler Achse. Auch diese Pumpen besitzen keine Ventile. Die Schaufelräder sind von gleicher oder von nach dem äußeren Umfange abnehmender Breite; man führt die Pumpen ferner mit seitlich offenen oder mit seitlich geschlossenen Rädern aus. Als Unterscheidungsmerkmal dient weiter die Art des Einlaufes der Flüssigkeit (einseitiger bzw. zweiseitiger Einlauf). In den Fig. 582 und 583 ist eine Niederdruck-Zentrifugalpumpe von Klein, Schanzlin & Becker dargestellt. Die durch das Saugrohr 1 eintretende Flüssigkeit verteilt sich in die beiden Seitenräume 2 und tritt aus diesen axial in das auf der Welle 3 sitzende Laufrad 4. Die Welle 3 ist bei 5 und 6 gelagert, bei 7 in einer Stopfbüchse abgedichtet und mit einer Riemenscheibe 8 versehen. Im Schaufelrad 4 wird die Flüssigkeit durch die Wirkung der Zentrifugalkraft nach außen geschleudert und tritt mit großer Geschwindigkeit aus diesem Rade in den Raum 9 über. Ein Teil der Geschwindigkeit setzt sich in Druck um, ein anderer Teil geht durch Wirbelbildung infolge des unmittelbaren Übertritts verloren, wodurch der Wirkungsgrad ungünstig beeinflußt wird. Aus dem Raum 9 tritt die Flüssigkeit bei 10 in das Druckrohr. — Die Niederdruck-Zentrifugalpumpen sind für mittlere und große Fördermengen, z. B. als Schiffs- und Dockpumpen, zum Be- und Entwässern von Ländereien usw., sowie zum Fördern unreiner, sandiger und schlammiger Flüssigkeiten, z. B. zum Auspumpen von Bau- und Tongruben, sehr geeignet. Diese Pumpen fördern nur auf eine Höhe von 20—25 m. Bei größeren Förderhöhen würde durch die erforderlich werdende sehr große Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades der ohnehin nicht sehr günstige Wirkungsgrad (35—65 Proz.) noch weiter sinken. Die Anschaffungs- und Unterhaltungskosten sind verhältnismäßig gering. Der Antrieb kann durch Elektromotoren, raschlaufende Dampfmaschinen, Gasmaschinen, Turbinen sowie durch Riemen- und Wellenleitung erfolgen.

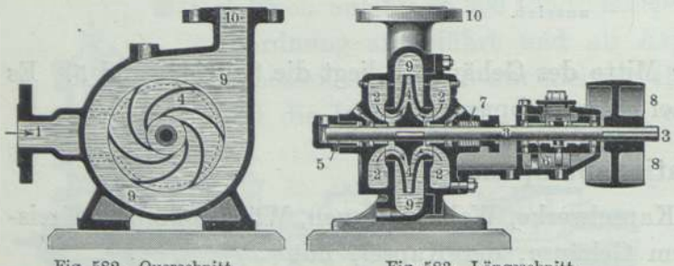


Fig. 582. Querschnitt. Fig. 583. Längsschnitt.

Fig. 582 und 583. Niederdruck-Zentrifugalpumpe von Klein, Schanzlin & Becker.

Bei den *Hochdruck-Zentrifugalpumpen (Turbinenpumpen)* ist das Laufrad von einem stillstehenden Leitapparat (Leitrad) umgeben, in dessen sich stetig erweiternden Zellen die Austrittsgeschwindigkeit des Wassers aus dem Laufrad allmählich ohne Wirbelbildung reduziert und so möglichst vollständig in Druck umgewandelt wird. Dadurch wird eine Vergrößerung der Förderhöhe und des Wirkungsgrades (bis 80 Proz. und mehr) erzielt. Diese Pumpen erfordern gegenüber den Kolbenpumpen infolge ihrer gedrängten Bauart einen geringen Aufstellungsraum und gestatten, da sie mit hohen Umdrehungszahlen laufen, verhältnismäßig kleine Abmessungen der zu ihrem Antrieb erforderlichen Dampfturbinen oder Elektromotoren. Die Turbinenpumpen zerfallen nach der Anzahl der Laufräder in einstufige (mit einem Laufrad) und mehrstufige

(mit mehreren Laufrädern). In den Fig. 584 und 585 ist eine einstufige Turbinenpumpe von Gebr. Sulzer für Förderhöhen von 25—30 m dargestellt. In dem Gehäuse 1 mit seitlichem Saughals 2 und oberem Druckhals 3 befindet sich ein symmetrisch gebautes Laufrad 4, das fest auf die Welle 5 gekeilt ist. Konzentrisch zum Laufrad 4 ist der Leitapparat 6 angeordnet, der durch den Deckel 7 festgehalten wird. Im Gehäuse 1 und im Deckel 7 befinden sich konzentrische Saugräume 8, 8, die unter sich durch Öffnungen 9 im Leitapparat 6 in Verbindung stehen, so daß die angesaugte Flüssigkeit von beiden Seiten her in das symmetrische Laufrad treten kann. Im Leitapparat befinden sich die nach außen zu sich erweiternden Leitkanäle 10, die den Austritt der Flüssigkeit aus dem Laufrad in den Druckraum 11 vermitteln. Die zu fördernde Flüssigkeit tritt durch den Saugstutzen 2 in die Pumpe ein, verteilt sich in die beiden Saugräume 8, 8, durchfließt vom Pumpenzentrum aus das Laufrad 4, die Kanäle 10 des Leitapparates 6, gelangt von diesen in den Druckraum 11 und von dort durch den Druckstutzen 3 in die Förderleitung. Mehrstufige Turbinenpumpen erhält man durch Hintereinanderschaltung mehrerer Laufräder auf derselben Welle. In Fig. 586 ist eine vierstufige Turbinenpumpe der Firma C. H. Jäger & Co. dargestellt. Auf der Welle 2 sind die vier Laufräder 1 aufgekeilt und von den vier Leiträdern 3 umgeben. Die Flüssigkeit tritt durch das Saugrohr 4 in das erste Laufrad 1, erhält in diesem eine der Umdrehungszahl des Rades entsprechende Geschwindigkeit, die im Leitrad 3, wie bei einstufigen Turbinenpumpen, in entsprechenden Druck umgewandelt wird. Durch den Kanal 5 gelangt die Flüssigkeit dann in das zweite Laufrad und verläßt nach abermaliger Beschleunigung und Umsetzung der Geschwindigkeit in Druck das zweite Leitrad mit dem doppelten Druck. Dieser Vorgang wiederholt sich im dritten und vierten Leitrad, so daß die Flüssigkeit beim Austritt aus dem vierten Leitrad in den Sammelraum 6 und das Druckrohr 7 das Vierfache des Druckes besitzt, den sie in einem einfachen Laufrad erhalten hätte. Diese Pumpen eignen sich für sehr hohe Pressungen. Versuche, die an einer Jägerschen Turbinenpumpe von 1500 Umdrehungen in der Minute vorgenommen wurden, ergaben zum Fördern einer Wassermenge von 60 cbm in der Stunde auf 80 m (manometrische) Förderhöhe einen Wirkungsgrad von 77 Proz. Der Antrieb der Hochdruck-Zentrifugalpumpe erfolgt meist durch direkt gekuppelte Elektromotoren, kann aber auch durch raschlaufende Dampfmaschinen, Turbinen od. dergl. oder mittels Riemen- und Seiltriebes erfolgen. Diese Pumpen verwendet man in Wasserhaltungsanlagen für Bergwerke, Wasserversorgungsanlagen für Städte, für Be- und Entwässerungsanlagen, für Feuerlöschzwecke usw. Fig. 587 zeigt eine Turbinenpumpe 1, die mit einem Elektromotor 2 direkt gekuppelt ist. Zum Auspumpen von Schächten ordnet man diese Pumpen an einem senkrechten Gestell an, so daß sie, dem Fortgang der Abteufungsarbeiten folgend, immer tiefer gesenkt werden können, ohne daß die Saughöhe die zulässige Grenze überschreitet.

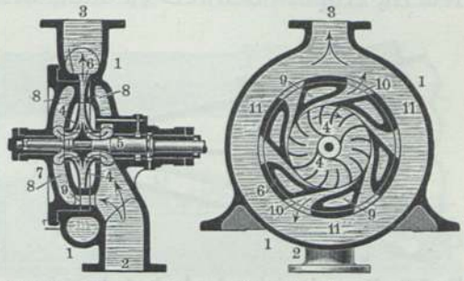


Fig. 584. Längsschnitt. Fig. 585. Querschnitt.

Fig. 584 und 585. Hochdruck-Zentrifugalpumpe von Sulzer.

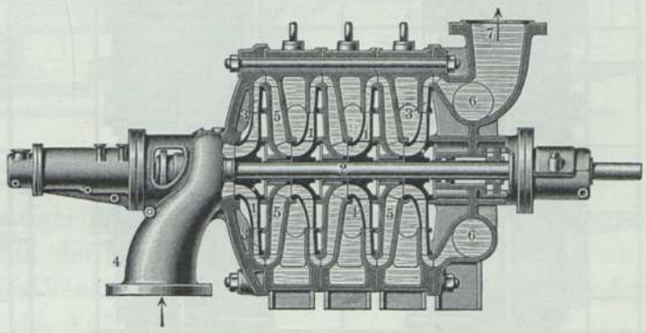


Fig. 586. Turbinenpumpe von Jäger (Längsschnitt).

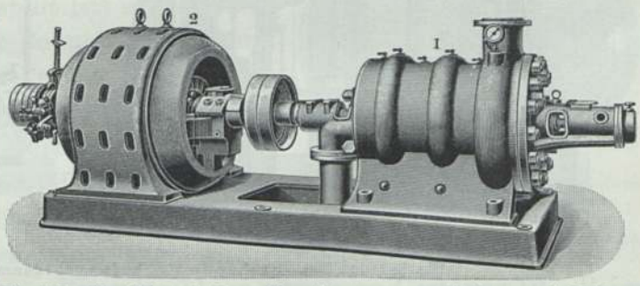


Fig. 587. Hochdruck-Zentrifugalpumpe von Sulzer, mit Elektromotor gekuppelt.

C. Gebläse.

Die Gebläse sind Vorrichtungen oder Arbeitsmaschinen zur Förderung von atmosphärischer Luft, die dabei eine Erniedrigung oder Erhöhung ihres Druckes erfährt. Sie finden hauptsächlich Verwendung bei der Zuglufterzeugung zur Unterhaltung des Verbrennungsprozesses in Schmiedefeuern, Kupol-, Schweiß-, Puddelöfen, bei den hüttenmännischen Prozessen und Hochofenanlagen, Bessemereien usw., ferner aber auch bei der Lüftung, z. B. von Theatern, Trockenräumen, Bergwerken, Tunnels usw. Ihre Form und Wirkungsweise ist sehr verschieden.

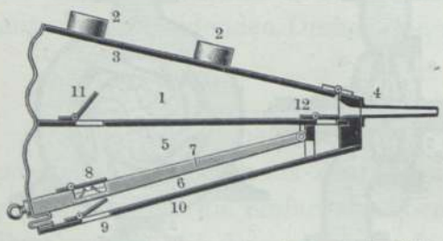


Fig. 588. Doppeltwirkender Lederbalg (Spitzbalg).

Balggebläse finden, da sie nur kleine Luftmengen fördern, nur für untergeordnete Zwecke Verwendung, so z. B. als Lederbälge zur Winderzeugung bei Holzkohlenschmiedefeuern, wobei sie meist nur einfach wirken. Bessere Leistungen erzielt man mit dem doppeltwirkenden Lederbalg (*Spitzbalg*, s. Fig. 588). Aus dem Sammler 1, dessen beweglicher Deckel 3 durch Gewichte 2, 2 beschwert ist, führt die Düse 4 in die Windleitung bzw. in die Feuerung. Unterhalb des Sammlers 1 liegen die beiden Bälge 5 und 6, zwischen denen der Verdränger 7 angeordnet ist. In letzterem sind zwei seitlich nach außen führende Saugkanäle angebracht, die durch Klappen 8 abgeschlossen werden können. Geht der Verdränger 7 aufwärts, so öffnet sich die Klappe 9 des Bodens 10, und es wird Luft in den unteren Balg 6 gesaugt, während die im oberen Balg 5 befindliche Luft durch die Klappe 11 in den Sammler 1 gepreßt wird. Bewegt man den Verdränger 7 abwärts, so findet ebenfalls ein Ansaugen von Luft statt, und zwar tritt diese durch die Klappen 8 in Balg 5 ein, während die vorher in den Balg 6 eingesaugte Luft durch die Klappe 12 in den Sammler 1 gedrückt wird.

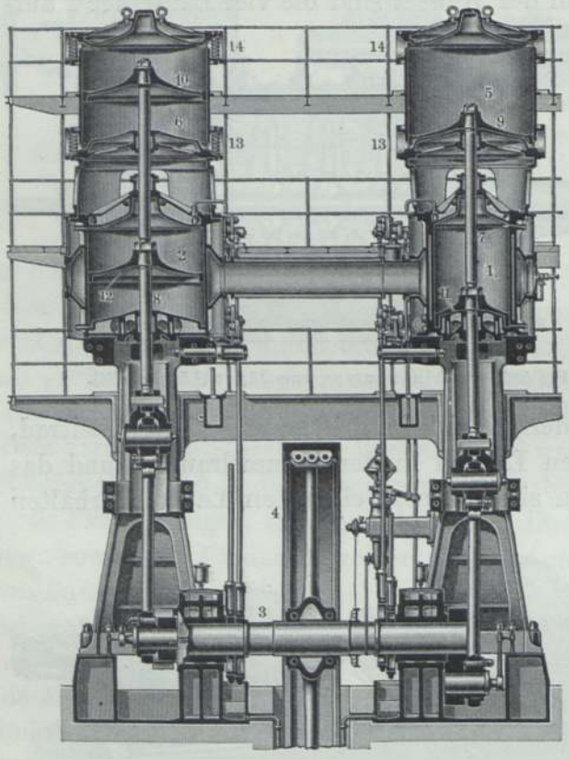


Fig. 589. Längsschnitt.

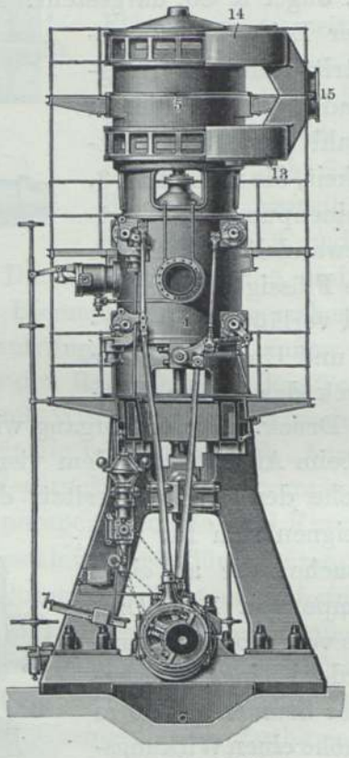


Fig. 590. Seitenansicht.

Fig. 589 und 590. Stehende Hochofengebläsemaschine.

Zylinder- oder **Kolbengebläse** benutzt man häufig zur Erzeugung des in Hochofenbetrieben, Bessemereien usw. erforderlichen Windes, dessen Druck bis etwa 2,5 at beträgt. Zur Förderung der hier nötigen bedeutenden Luftmengen dienen gußeiserne Zylinder von bis zu 3 m Durchmesser, in denen sich luftdicht abschließende Kolben hin und her schieben. Die neueren Hochofengebläse, stehend oder liegend ausgeführt, werden zuweilen gesondert vom Antriebsmotor aufgestellt, oft jedoch, insbesondere bei Verwendung von Gasmaschinen, mit dem Motor zusammenhängend gebaut. Als Saug- und Druckventile verwendet man bei diesen Gebläsen selbsttätige oder ungesteuerte Ventile, die aus Stahlblech, Leder, Segeltuch gefertigt

und häufig in großer Zahl angeordnet sind, z. B. Lenkerventile, System Lang-Hörbiger; sogenannte rückläufige Ventile, Bauart Riedler-Stumpf; oder gesteuerte, meist größere Einzelventile nach Riedler, Gordon und anderen. Die Anordnung von Schiebern und Hähnen ist seltener. Die Fig. 589 und 590 zeigen eine stehende Hochofengebläsemaschine mit Dampfmaschinenantrieb. Die Zylinder 1 und 2 der Verbundmaschine treiben mittels ihrer Kolben 11, 12, Kolbenstangen 7, 8 und der Bleuelstangen in der üblichen Weise die Welle 3 mit dem Schwungrad 4 an. Über den Dampfzylindern 1 und 2 sind die beiden Windzylinder 5 und 6, die beide gleichen Durchmesser besitzen, angeordnet. Auf den Kolbenstangen 7, 8 der Dampfzylinder sitzen, mit den Windzylindern 5, 6 luftdicht abschließend, die Kolben 9, 10. Diese führen also die gleiche Auf- und Abbewegung wie die Dampfkolben 11, 12 aus. Die Enden der Windzylinder 5, 6 werden von in zwei Abteilungen geteilten ringförmigen Kammern 13, 14 umschlossen,

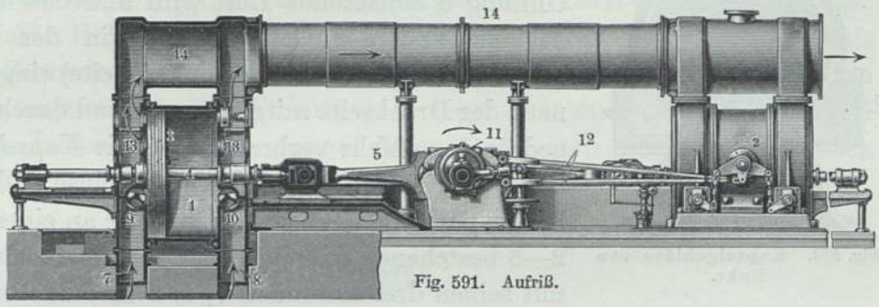


Fig. 591. Aufriß.

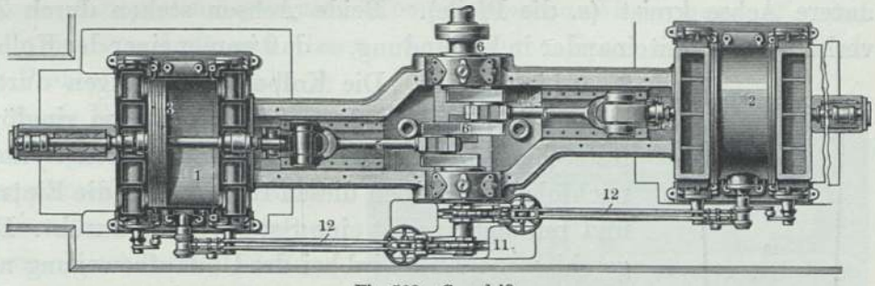


Fig. 592. Grundriß.

Fig. 591 und 592. Liegendes Hochofengebläse.

in denen sich eine große Anzahl kleiner, selbsttätiger Ventile befindet. Die Ventile jeder größeren Abteilung öffnen nach dem Zylinderinnern, die der kleineren Abteilung nach der bei 15 anschließenden Windleitung. Die erstere Art der Ventile (Saugventile) läßt Luft in die Zylinder strömen, die letztere Art (Druckventile) läßt die Luft nach der Windleitung hin austreten. Bei dem liegenden Hochofengebläse (s. Fig. 591 und 592) liegt der Antriebsmotor, eine Gichtgasmaschine, vom Gebläse getrennt. Die beiden Windzylinder 1 und 2 liegen einander gegenüber. In ihnen werden die Kolben 3 (von denen nur einer im linksseitigen Schnitt dargestellt ist) mittels der Kolbenstangen 4 und Schubstangen 5 von der doppelt gekröpften Welle 6 aus hin und her bewegt. Die letztere erhält ihre Drehbewegung von der Gichtgasmaschine. In das Fundament, das Kanäle für den Zutritt der atmosphärischen Luft enthält, ragen die Stutzen 7 und 8, die an ihren Enden durch Hähne 9 und 10 wechselweise abgeschlossen werden, so daß die Luft bald an der Vorderseite der Kolben, bald an ihrer Rückseite angesaugt wird.

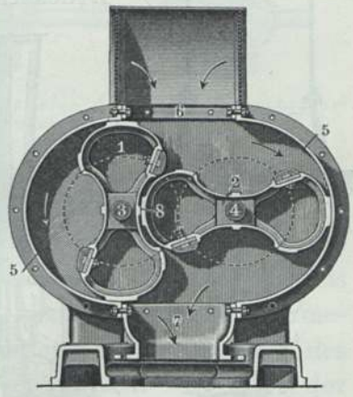


Fig. 593. Roots-Gebläse (Roots-Blower).

Zur Steuerung der Hähne 9, 10 dient das vom Exzenter 11 angetriebene Gestänge 12. Beim Druckhube wird die Luft zunächst auf die erforderliche Spannung zusammengepreßt und dann durch die Ventile 13 in die zugleich als Windregulator dienende weite Leitung 14 ausgestoßen.

Rotierende Gebläse oder **Kapselgebläse** *(Dreh-* oder *Kreiskolbengebläse)* finden zur Förderung mittelgroßer Luftmengen bei einem Überdruck von 0,3—0,4 at Verwendung. Sie dienen zur Erzeugung des Windes für Gießereiöfen, Schmiedefeuer u. dergl. Die Bauart der Kapselgebläse ist derjenigen der Rotationspumpen in manchen Fällen fast gleich. Auch hier drehen sich ein oder meist zwei Flügel (Verdränger) um horizontale Achsen in einem Gehäuse (Kapsel). Bei dem *Roots-Gebläse* (Fig. 593) haben die beiden Flügel 1, 2 eine aus Epi- und Hypozykloiden

zusammengesetzte Form. Sie drehen sich um zwei Achsen 3, 4, die durch Zahnräder (s. die punktierten Kreise) mit gleicher Umlaufszahl gedreht werden. Auf das Gehäuse 5 ist zum Schutz der Saugöffnung 6 vor Fremdkörpern eine Drahtgitterhaube gesetzt. Infolge der Gestalt der Flügel berühren sich diese bei Drehung in entgegengesetzten Richtungen stets an den mit 8 bezeichneten Stellen. Durch die Berührung dieser Stellen 8 mit dem Gehäuse 5 wird der Saugraum gegen den Druckraum abgeschlossen. Die durch die Öffnung 6 eintretende Luft wird abwechselnd beiderseits zwischen den Flügeln und der Gehäusewand (in der Zeichnung in dem schräg schraffierten Raum auf der linken Seite) eingeschlossen, von den Flügeln nach der Druckseite mitgenommen und durch die Auslaßöffnung 7 hinausgedrängt. — Mehr verbreitet sind die *Kapselgebläse* von Jäger, Lehmann und Enke (Fig. 594). In dem Gehäuse 1 dreht sich um die obere der beiden parallelen Achsen der aus vier an einer Scheibe befestigten Kolben 2—5 bestehende Arbeitskörper, während gleichzeitig der Steuerzylinder 6 mit seinen drei Kammern 7, 8, 9 in entgegengesetzter Richtung um die untere Achse kreist (s. die Pfeile). Beide Achsen stehen durch Zahnräder im Übersetzungsverhältnis 4 : 3 miteinander in Verbindung, so daß immer einer der Kolben 2—5 in eine der Kammern 7—9 hineingreift. Die Kolben 2—5 saugen durch den Stutzen 10 die Luft in den ringförmigen Raum zwischen dem ringförmigen Gehäuse 1 und dem feststehenden, von den Kolben umkreisten Zylinder 11 so lange ein, bis der nachfolgende Kolben diesen Raum gegen die Eintrittsöffnung 10 hin abschließt und nunmehr selbst eine Saugwirkung ausübt. Die zwischen den Kolben eingeschlossene Luft wird bei der Umlaufbewegung nach der Druckseite hin mitgenommen und, nachdem der vorangehende Kolben die Wand des Gehäuses 1 verlassen hat, durch den nachfolgenden zum Stutzen 12 hinausgedrängt. Die Kolben treten bei weiterer Drehung in die Kammern 7—9 des Steuerzylinders 6, ohne deren Wandungen zu berühren, und von hier aus wieder auf die Saugseite über. Der Steuerzylinder trennt stets den Saugraum von der Druckseite, indem er in jeder Stellung, auch beim Durchgang der Kolben durch die Kammern, bei 13 bzw. 14 abschließt. Derartige Gebläse werden oft durch direkt auf der Fußplatte befestigte Elektromotoren angetrieben.

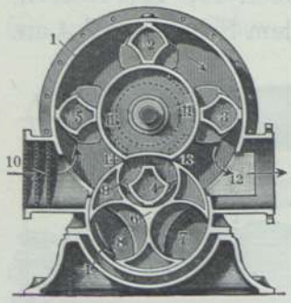


Fig. 594. Kapselgebläse von Enke.

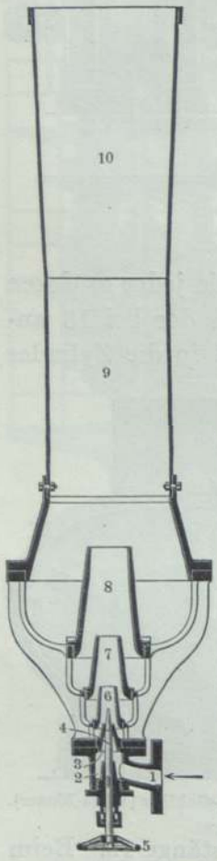


Fig. 595. Körtings Strahlgebläse.

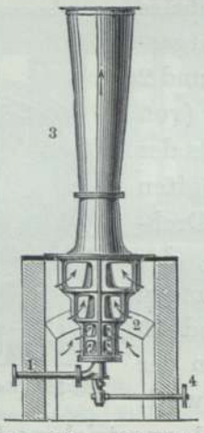


Fig. 596. Körtings Dampfstrahl-Grubenventilator.

Strahlgebläse, wie sie für Lüftungs- und auch für Zugerzeugungszwecke angewendet werden, wirken durch einen Dampf-, Luft- oder Wasserstrahl, der durch eine enge Öffnung (Düse) mit großer Geschwindigkeit streicht und dadurch die umgebende Luft mit sich fortreißt, so daß ein Nachströmen der Luft, also eine stetige Luftzufuhr, eintritt. Ein Strahlgebläse von Körting ist in Fig. 595 im Schnitt dargestellt. Der von einer Dampf-, Luft- oder Wasserleitung kommende Strahl tritt in den Stutzen 1 ein und gelangt in die Kammer 2, von der aus er durch die Düse 3 austritt. Die vorn kegelförmige Ventilstange 4 ist durch Handrad 5 verstellbar, um die Austrittsgeschwindigkeit regeln zu können. Beim Austreten des Strahles aus der Düse 3 wird die umgebende Luft mitgerissen. Die Wirkung der Gebläse wird durch Anordnung mehrerer Düsen 6, 7, 8 verstärkt, von denen jede eine größere Weite als die vorhergehende besitzt. Beim Übertritt des Strahles von einer zur nächsten Düse wird erneut Luft mitgerissen. Die letzte Düse 8 mündet in die Fangdüse oder Esse 9, 10, die zum Weiterbefördern der Luft dient. — Vielfach benutzt man die Strahlgebläse als Blasrohr bei Lokomotiven, auch zur Ventilation von Gruben. In letzterem Falle (Fig. 596)

führt man durch ein Rohr 1 den Dampf ein, der mehrere Düsen durchstreicht, dabei die Gase des Wetterschachtes 2 ansaugt und in die Fangdüse 3 treibt. Die Spindel zur Regelung der Dampfgeschwindigkeit ist durch ein seitlich angebrachtes Handrad 4 verstellbar.

Zentrifugal- oder **Schleudergebläse** dienen sowohl Lüftungs- als auch Zugerzeugungszwecken, dagegen die **Schraubengebläse** vorzugsweise zur Lüftung von Räumen. Die ersteren sind den Zentrifugalpumpen sehr ähnlich, während die letzteren eine mehrflügelige Schraube besitzen, die, durch eine Kraftquelle angetrieben, der Luft eine Bewegung erteilt. Die *Wassertrommelgebläse,* bei denen ein aus beträchtlicher Höhe niederfallender Wasserstrahl mittels einer Düse die Luft ansaugt, ferner die aus einer Schnecke bestehenden Schraubengebläse werden wegen ihres geringen Wirkungsgrades kaum mehr angewendet. Als Wirkungsgrad bezeichnet man das Verhältnis der geförderten zur angesaugten Luftmenge; man nennt diesen Quotienten auch *volumetrischen Wirkungsgrad* oder *Windeffekt.*

D. Kompressoren.

Die Kompressoren, auch *Kompressionspumpen, Kompressionsmaschinen* genannt, sind Arbeitsmaschinen zur Verdichtung von Luft und Gasen, wobei deren Spannung erhöht wird. Die so erzeugte Druck- oder Preßluft wird vielfach in der Technik verwendet, so z. B. als Kraftübertragungsmittel bei Rohrpostanlagen u. dergl., zum Antrieb von Gesteinsbohr- und Schrämmaschinen, Druckluftwerkzeugen, Hebezeugen, Torpedomaschinen; sie dient ferner zur Erzeugung kalter Luft, zum Mischen und Fördern von Flüssigkeiten in chemischen Fabriken und Zuckerfabriken u. dergl. Die Spannung der Preßluft beträgt 2—8 at, in besonderen Fällen auch weit mehr; so z. B. wird Wasserstoff zum Füllen von Luftfahrzeugen auf 36 at komprimiert, während zum Betriebe der Torpedomaschinen Preßluft von etwa 200 at erforderlich ist.

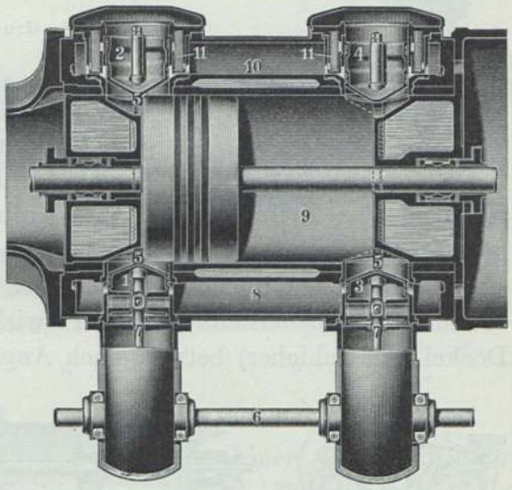


Fig. 597. Arbeitsweise der Querkolbenschieber-Steuerung (Patent Icken).

Die Luft bzw. das Gas erhält die Kompression in einem geschlossenen Zylinder, in dem ein Kolben hin und her geht. Dabei kann das Ansaugen frischer Luft auf einer oder auf beiden Seiten des Kolbens erfolgen (einfach- bzw. doppeltwirkende Kompressoren). Mit der Verdichtung der Luft wird eine der Größe der Kompression entsprechende Wärmemenge frei; diese bringt den Zylinder und den Kolben auf hohe Temperaturen, die schädlich auf die Dichtung und erschwerend auf die Schmierung wirken. Man vermeidet diese Nachteile durch Abführung der Wärme mittels Wasserkühlung; doch muß die Kühlung während der Kompression, also während der Wärmeentwickelung selbst, stattfinden, da das Kühlen während des Ansaugens oder während des Herausdrückens der zusammengepreßten Luft sich als nutzlos erwiesen hat. Die Art der Kühlung ist verschieden. Bei den *trockenen* Kompressoren wird der Mantel und der Deckel des Zylinders durch einen diese Teile von außen umspülenden Wasserstrom kühl gehalten; bei den *halbnassen* Kompressoren spritzt man feinverteiltes Kühlwasser in das Innere des Zylinders, während der Zylinder der *nassen* Kompressoren zur größeren Hälfte mit Kühlwasser gefüllt ist.

Trockene Kompressoren werden mit Vorliebe benutzt, da die von den nassen Kompressoren erzeugte Druckluft zu Eisbildungen Veranlassung gibt, auch die eisernen Maschinen zum Rosten bringt. Sie werden einfach- oder doppeltwirkend, mit Ventilen *(Ventilkompressoren)* oder Schiebern *(Schieberkompressoren)* ausgeführt. Bei Ventilkompressoren sieht man Saug- und Druckventile vor. Einen derartigen doppeltwirkenden Kompressor der Maschinenfabrik und Eisengießerei G. A. Schütz, Wurzen in Sachsen, mit Querkolbenschieber-Steuerung, Patent Icken, zeigt Fig. 597.

Der Kompressor besitzt im Gegensatz zu anderen Konstruktionen, die den Dampfschiebern ähnliche Steuerorgane benutzen, vier Kolbenschieber, von denen zwei, 1 und 3, auf der Saugseite, die übrigen, 2 und 4, auf der Druckseite liegen. Durch Stangen 5 ist je ein Saugschieber 1 bzw. 3 mit dem gegenüberliegenden Druckschieber 2 bzw. 4 zwangläufig verbunden, wodurch eine Entlastung eintritt. Die Schieberpaare erhalten ihre auf Öffnen und Schließen abzielende Bewegung durch eine Welle 6, deren kleine Exzenter mit Schubstangen 7 in Verbindung stehen. Wird der Kompressor durch eine Dampfmaschine direkt angetrieben, so bewirkt die Welle 6 gleichzeitig die Steuerung der Dampfventile. Die Luft wird durch den Raum 8 angesaugt, tritt in den

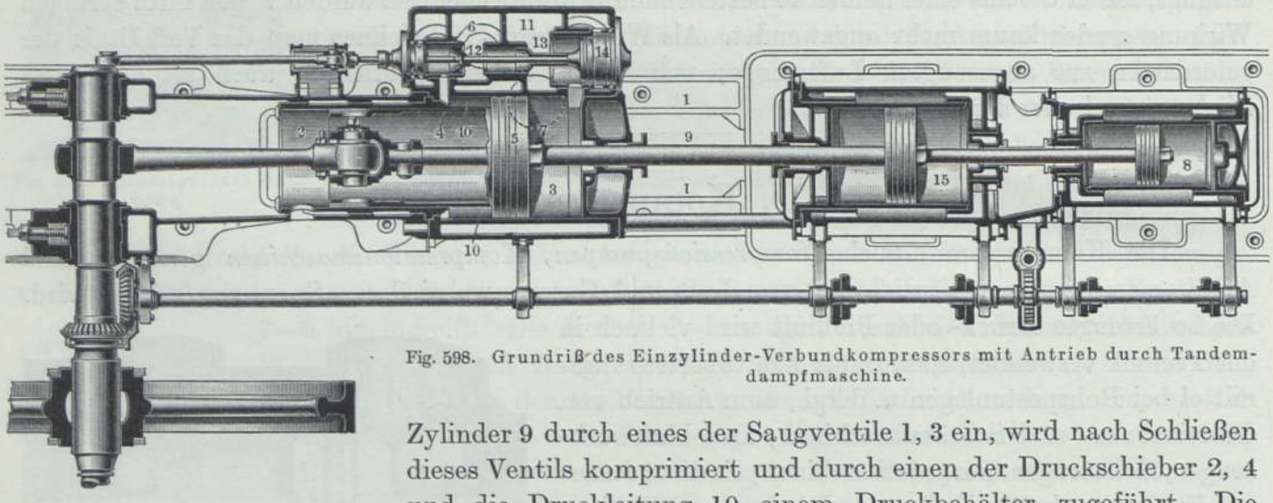


Fig. 598. Grundriß des Einzylinder-Verbundkompressors mit Antrieb durch Tandemdampfmaschine.

Zylinder 9 durch eines der Saugventile 1, 3 ein, wird nach Schließen dieses Ventils komprimiert und durch einen der Druckschieber 2, 4 und die Druckleitung 10 einem Druckbehälter zugeführt. Die Kühlung des Zylinders und des Kolbens wird bei dieser Konstruktion wesentlich dadurch unterstützt, daß der Luftstrom beim Saughub durch einen kurzen und genügend weiten Kanal eintritt, der nicht angewärmt ist. Das Zurückströmen der komprimierten Luft wird durch Anordnung von Sicherheitsventilen 11 wirksam verhütet. Der schädliche Raum (zwischen Kolben, Deckel und Schieber) beträgt nach Angabe der genannten Firma nur etwa 4 Proz. — Für große Leistungen benutzt man *Verbundkompressoren*, deren Zylinder hinter- oder nebeneinander liegen können (sogenannte ein- bzw. zweizylindrige Kompressoren). Bei dem Einzylinder-Kompressor nach Fig. 598 der Aktiengesellschaft Pokorny & Wittekind ruht hinter dem gegabelten Rahmen 1 der Luftzylinder mit dem engeren Teil 2 und dem weiteren 3. In diesen Zylindern bewegt sich der Stufenkolben 4, 5, dessen engerer Teil 4 den Kreuzkopf aufnimmt. Der hinter dem großen Kolben 5 befindliche Raum 7 des Zylinders 3 dient als Niederdruckzylinder, der ringförmige Raum 10 um den kleinen Kolben 4 als Hochdruckzylinder. Der Schieberkasten 6, 11 ist geteilt; die vordere Hälfte 6 gehört zum Hochdruck-, die hintere 11 zum Niederdruckzylinder. Die Kolbenschieber 12, 13, 14 werden von einer Kurbelscheibe angetrieben. Der Schieber 13 dichtet die beiden Schieberkastenhälften 6 und 11 gegeneinander ab. Die Luft gelangt zunächst in den Niederdruckzylinder 3 und wird aus diesem in einen (nicht dargestellten) Zwischenkühler gedrückt, in dem sie möglichst auf ihre Anfangstemperatur herabgekühlt wird. Aus dem Zwischenkühler entnimmt sie der Hochdruckzylinder 2 und preßt sie in die Druckleitung. Hinter dem Luftzylinder liegt der Hochdruckzylinder 8 und der Niederdruckzylinder 15 einer Tandemdampfmaschine, die den Kompressor durch die Kolbenstange 9 antreibt.

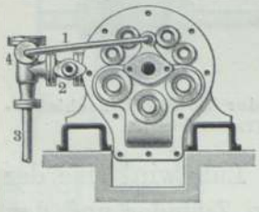


Fig. 599. Ansicht.

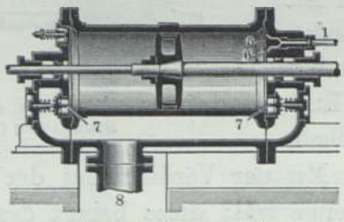


Fig. 600. Längsschnitt.

Fig. 599 und 600. Halbnasser Kompressor.

Die *halbnassen* Kompressoren werden wegen der erwähnten Nachteile von den trockenen Kompressoren mehr und mehr verdrängt. Bauart und Wirkungsweise eines derartigen Kompressors

sind aus Fig. 599 und 600 ersichtlich. Der Längsschnitt ist auf der linken Seite durch eines der im Deckel angeordneten Saugventile (oben) und eines der Druckventile (unten), auf der rechten Seite durch die Einspritzvorrichtung (oben) und ein Druckventil (unten) geführt. Das Druckwasser wird von einer kleinen, seitlich vom Zylinder angeordneten Pumpe 2 durch das Saugrohr 3 und Ventil 4 angesaugt und durch ein in der Mitte des Zylinders über der Kolbenstange liegendes Rohr 1 während der Kompression in den Zylinder eingespritzt. Die Einspritzvorrichtung 5 besteht aus einem engen Rohr, das sich am Ende in mehrere Zweigrohre teilt. Das durch dieselben austretende Wasser stößt gegen einen am Ende des Rohres befindlichen Kegel, wird hierdurch zerstäubt und durch eine ringförmige Öffnung 6 in den Zylinder eingespritzt. Das Einspritzwasser sammelt sich am Boden des Zylinders und fließt durch die Druckventile 7 und das Druckrohr 8 ab.

Nasse Kompressoren, die früher viel im Bergwerksbetrieb angewendet wurden, findet man heute nur noch für gewisse Sonderzwecke, z. B. in der chemischen Industrie zur Kompression von mit Staub verunreinigter Kohlensäure. Einen nassen Kompressor der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Humboldt in Kalk b. Köln zeigt Fig. 601. Zwei einfachwirkende Zylinder 1, 1 sind auf einem gemeinsamen Rahmen 2 befestigt. Ein langer Plungerkolben 3 tritt an den einander zugewandten Seiten der Zylinder in die letzteren ein und ist durch die Stopfbüchsen 4, 4 abgedichtet. Der Antrieb des Kolbens 3 erfolgt entweder auf die in der Figur punktiert angedeutete Weise durch zwei Schubstangen, die seitlich an zwei in der Mitte des Kolbens angebrachten Zapfen 5 angreifen, oder durch eine Kolbenstange 6, die durch den vorderen Zylinderdeckel hindurchgeht. Auf jeden Zylinder 1 ist ein Ventilkasten 7 aufgesetzt, in dem sich Saugklappen 8 und Druckklappen 9 befinden. Die Luft tritt bei 10 ein; bei 11 wird die Druckleitung angeschlossen.

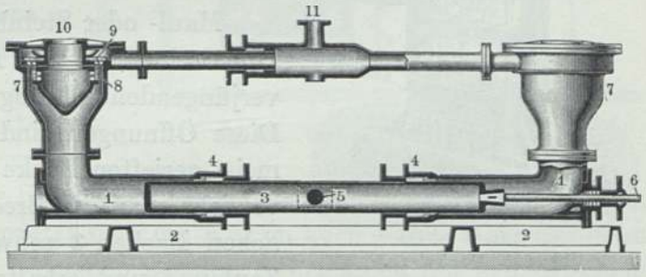


Fig. 601. Nasser Kompressor.

E. Mühlen.

Im weiteren Sinne versteht man unter Mühlen Zerkleinerungsmaschinen aller Art, z. B. Stampf- oder Pochwerke, Brechwalzwerke, Steinbrecher, Kollergänge, Pendel-, Trommel-, Kugel-, Kegel-, Schleudermühlen, Schlagstiftmaschinen usw.; ferner bezeichnet man als Mühlen auch Anlagen zum Schneiden und Sägen von Holz, Zerkleinern von Knochen, zur Gewinnung von Öl usw. Im engeren Sinne versteht man unter Mühlen die Anlagen zum Mahlen von Getreide zwecks Gewinnung von Mehl; jedoch spricht man auch hier, ebenso wie z. B. bei Holzsägewerken u. dergl., von Dampf-, Wassermühlen usw.

I. Zerkleinerungsmaschinen für allgemeine Zwecke.

Diese Maschinen zerkleinern das Mahlgut durch Zerschlagen (Poch- oder Stampfwerke, Schlagstiftmaschinen, Fliehkraftkugelmühlen, Trommelkugelmühlen, Schleudermühlen), durch Abscheren (Brechwalzwerke, Kegelmühlen), durch Zerdrücken (Quetschwalzwerke, Kollergänge, Pendelmühlen), oder durch Zerreiben (Walzenstühle, Mahlgänge). Man scheidet diese Vorrichtungen im allgemeinen in solche zur Weichzerkleinerung und zur Hartzerkleinerung, benutzt jedoch in Sonderfällen, z. B. bei der Zerkleinerung von Asphalt, an Stelle der sich leicht versetzenden Zähne der Brechwalzen solche mit scherenartig wirkenden Schneiden.

1. Stampf- oder Pochwerke.

Bei diesen werden die Schlagwerkzeuge *(Pochstempel)* durch Hebedaumen, Druckluft od. dergl. bis zu einer bestimmten Höhe emporgehoben, aus der sie auf das auf einer Platte

(Pochsohle) liegende Material, z. B. Kohle, Koks, Mineralien, herabfallen. Vielfach besitzen die Pochwerke mehrere nebeneinander angeordnete Stempel 1 (Fig. 602), die durch auf einer angetriebenen Welle 2 befestigte Daumen 3 ihre Aufwärtsbewegung erhalten. Beim Niederfallen der Stempel treffen diese mit den auswechselbaren Pochschuhen 4 auf das in dem Behälter 5 befindliche Material. — Den Stampfwerken ähnlich sind noch die *Masselbrecher*, welche die gegossenen Roheisenmasseln in kleine, leicht schmelzbare Stücke zerschlagen oder zerbrechen. Die hierzu benutzten Hämmer hängt man bei den neuesten Konstruktionen an einen nach allen Seiten verfahrbaren Laufkran, so daß man die ganze Sohle der Gießereihalle bestreichen kann. Andere Masselbrecher, die auf dem Prinzip des eigentlichen Zerbrechens beruhen, sind mit zwei Backen ausgerüstet, welche die Massel fest einspannen, während eine weitere Backe das freistehende Ende abbricht. Zu ihrem Antrieb benutzt man Druckwasser, Kniehebel od. dergl.

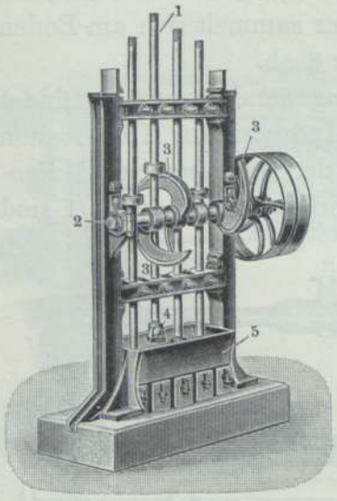


Fig. 602. Pochwerk.

2. Maul- oder Steinbrecher.

Maul- oder Steinbrecher nennt man Maschinen zum Zerkleinern von Steinen, Erzen, Kohle u. dergl., die mit einer nach unten sich verjüngenden Öffnung zur Aufnahme der Materialien versehen sind. Diese Öffnungen sind von je einer festen und einer beweglichen, meist gerieften Backe 2 bzw. 3 (Fig. 603) eingeschlossen. Zum Teil versieht man die Brechbacken auch mit Abstufungen. Die beweglichen Backen 3 schwingen um oben im Maschinengestell gelagerte Zapfen 4 und erhalten ihre Bewegung durch ein mit dem Kniehebel 5, 6 in Verbindung stehendes Exzenter 1. Die schwingbaren Backen werden durch Federn 7, 7 nach innen gehalten, die zugleich die Brechbacken gegen die Hebel 6, 6 drücken. — Bei anderen Brechmaschinen wird die Zerkleinerung des stückigen Gutes mittels sogenannter Brechkegel *(Kegelbrecher)* bewirkt, die in einer kegelförmigen Öffnung auf und ab geführt werden, und deren Kegel eine geringere Neigung als der Kegel der Aufnahmeöffnung besitzt. Das Brechgut sinkt dabei während der allmählichen Zerkleinerung nach unten und verläßt den Kegelbrecher durch einen ringförmigen Spalt.

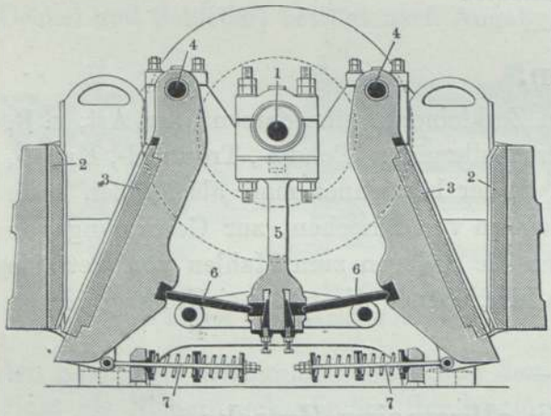


Fig. 603. Steinbrecher.

3. Schlagstiftmaschinen (Desintegratoren).

Diese bestehen aus zwei Scheiben, die mit vier, sechs oder acht Reihen von Stiften besetzt sind. Sie werden zum Schroten (Brechen) und Pulverisieren weicher und mittelharter Materialien, wie Kohlen, Knochen, Kreide, Soda, Schiefer, Ton usw., benutzt. Die beiden Stiftenscheiben kreisen dabei in entgegengesetzten Richtungen; eine von ihnen ist in axialer Richtung zwecks Reinigens und Ersatzes etwa gebrochener Stifte beweglich. Vorteilhaft ordnet man am oberen Teil des Gehäusemantels eine Speisevorrichtung an, die das zu zerkleinernde Gut gleichmäßig zuführt.

4. Fliehkraftkugelmühlen.

Fliehkraftkugelmühlen wirken durch die Zentrifugalkraft von Kugeln, die gegen die Gehäusewand schlagen. Zum Teil werden die Kugeln durch eine senkrechte, zum Teil durch eine wagerechte Welle gegen den äußeren Mahlkranz geschleudert (horizontale bzw. vertikale Fliehkraftkugelmühlen). Die Kugeln zerschlagen und zerreiben die durch einen Einlauftrichter

zugeführten Materialien, z. B. Erze zur Edelmetallgewinnung, Zement u. dergl. Bei genügend langer Wirkung werden die Materialien in Pulver verwandelt.

5. Trommelkugelmühlen.

Solche benutzen zum Zerkleinern von steinigen Materialien ebenfalls Kugeln. Der Prozeß kann auch unter gleichzeitiger Zuleitung von Wasser vor sich gehen *(Naßmühlen)*. Die Wirkung dieser Kugelmühlen beruht darauf, daß die zylindrische Trommel sich dreht und dabei die Kugeln mitnimmt, die von einer höheren Stelle wieder herabfallen. Die Trommel selbst, die meist um eine wagerechte Achse rotiert, versieht man häufig auf ihrer Mantelfläche mit siebartigen Durchbrechungen (sogenannte *Rohrmühlen*). Das auf die entsprechende Korngröße gebrachte Gut fällt dann durch die Trommel hindurch in einen Auslauftrichter. Zur Beschickung dient meist ein Trichter, dessen rohrartige Mündung in eine Stirnwand der Trommel hineinragt. Soll die Beschickung möglichst gleichmäßig erfolgen, so fördert man das Gut mittels einer Transportschnecke in den zylindrischen Mantel. Letzterer erhält seine Unterstützung durch axiale Zapfen oder bei größerer Länge des Mantels durch Rollen, gegen die sich der Umfang stützt. Zuweilen ersetzt man die Kugeln auch durch Walzen, die an einem Ende konisch verlaufen *(Walzenmühlen)*. Bei den neueren Rohrmühlen mit zylindrischem Mantel versieht man diesen mit exzentrisch ansteigenden Flächen, die meist aus Hartguß gefertigt sind. Dadurch wird die Schlagwirkung dieser Vorrichtungen erhöht *(Kugelfallmühlen)*. Auch belegt man die innere Fläche der Trommel mit gerieften oder gerippten Einzelplatten zur Schonung der Rohrwand (Panzerung der Mühle). Bei den *Kugelmühlen*, deren Mantelfläche nicht durchbrochen ist, führt man das zerkleinerte Gut nach der Seite ab; hierbei muß aber darauf geachtet werden, daß das entstandene Pulver sich nicht über noch stückiges Material legt, da es sonst ein Polster bilden würde, welches die Schlagwirkung der Kugeln stört („Totmahlen"). Häufig teilt man das Rohr einer solchen Mühle in der Längsrichtung durch Querwände, so daß Kammern entstehen, in denen sich dann verschiedene Mahlprozesse abspielen. Eine derartige, sogenannte *Verbundkugelmühle* ist in Fig. 604 im Längsschnitt dargestellt. Das Material wird durch den linksseitigen Trichter 1 der ersten, größeren Trommel 2 zugeführt, deren Kugeln 3 es so lange bearbeiten, bis es durch den siebartigen Mantel in die kegelförmige Kammer 4 fallen kann. Das vorzerkleinerte Gut gelangt von 4 nach 5, wo es von einem Förderwerk (Schaufeln od. dergl.) emporgehoben und durch die zentrale Öffnung 6 der zweiten, kleineren Trommel 7 zugeführt wird. Der Mantel derselben ist zur Beschleunigung der Mahlwirkung mit gerippten Platten belegt. Eine Transportschnecke 8, die von einer Stufenscheibe 9 angetrieben wird, fördert das nunmehr in Pulver verwandelte Material

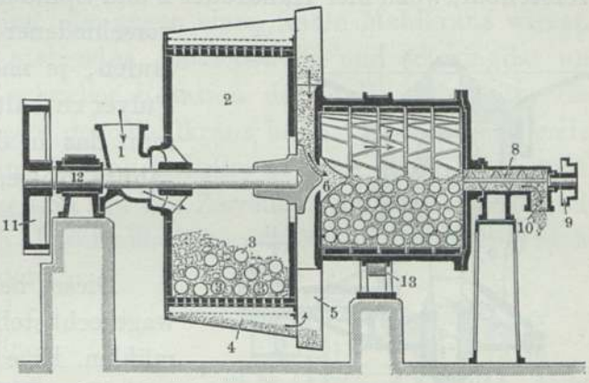


Fig. 604. Verbundkugelmühle.

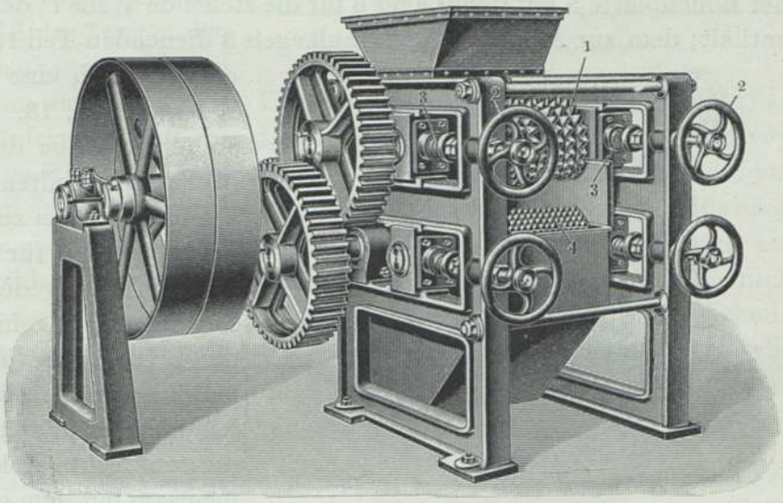


Fig. 605. Brechwalzwerk.

durch die Auslaßöffnung 10. Die Mühle erhält ihren Antrieb durch ein Stirnrad 11; zur Stützung der beiden Trommeln sind der Zapfen 12 sowie die Rollen 13 vorgesehen.

6. Brechwalzwerke.

Brechwalzwerke sind Vorzerkleinerungsmaschinen für Chemikalien, Knochen, Ölkuchen, Hundekuchen, Asphalt usw. Sie besitzen (s. Fig. 605) Stachelwalzen 1, deren Zackengröße sich nach der Größe der zu erzeugenden Körner richtet. Die eine Walze eines solchen Paares ist stets verstellbar, wozu hier Handräder 2 und Spindeln 3 dienen. Die Walzen 1 können mit gleicher oder verschiedener Geschwindigkeit (Differentialgeschwindigkeit) umlaufen, je nachdem das gebrochene Material wenig oder viel Pulver enthalten soll. Ist eine weitere Zerkleinerung nötig, so läßt man das in den Walzen 1 gebrochene Gut zwischen feiner gezahnte Walzen 4 fallen, die eine Nachzerkleinerung bewirken.

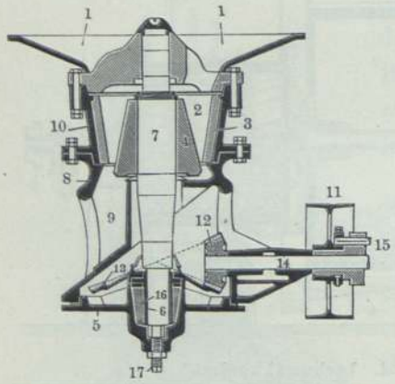


Fig. 606. Kegelmühle (Gates-Brecher).

7. Kegelmühlen.

Diese, bei denen die Achsen häufig senkrecht, doch auch wagerecht stehen, ähneln den im Haushalt gebräuchlichen Kaffeemühlen. Eine der bekanntesten Kegelmühlen, den *Gates-Brecher*, zeigt Fig. 606 im senkrechten Schnitt. Das Mahlgut gelangt durch den Eintragtrichter 1 in den Raum 2, der außen durch den Mahlkranz 3, innen durch den Mahlkegel 4 begrenzt ist. Die Teile 3 und 4, die bei Kegelmühlen häufig gezahnt sind, haben beim Gates-Brecher glatte Wände; es tritt daher eine im wesentlichen drückende Wirkung ein. Das Gehäuse der Mühle besteht aus der Bodenplatte 5 mit dem Lager 6 für die stehende Welle 7; dem unteren Teil 8, der den Austrag 9 enthält; dem zur Aufnahme des Mahlkegels 3 dienenden Teil 10, und dem Einlauf 1. Der Antrieb erfolgt durch eine Riemenscheibe 11 und ein Kegelräderpaar 12, 13. Als Sicherung gegen Überlastung steht die Nabe der Scheibe 11 mit einem auf die Welle 14 gekeilten Teil durch den Zapfen 15 in Verbindung, der bei zu starker Beanspruchung abgeschert wird. Wichtig für die Wirkungsweise der Mühle ist die Ausbildung des Halslagers 6: die Büchse dieses Lagers sitzt in einem exzentrischen Ring 16. Wird der Brecher leer in Gang gesetzt, so dreht sich der Mahlkegel um seine Achse; wird jedoch die Mühle beschickt, so hört diese Drehung auf, dann beschreibt die senkrechte Achse unten einen kleinen Kreis gemeinsam mit dem exzentrischen Ringe 16, und es wird der Mahlkegel an den Mahlkranz angedrückt. Zur Höheneinstellung der Brecherwelle 7 ist die Schraube 17 bestimmt. Dem stark beanspruchten Lager wird durch eine Pumpe Öl zugeführt.

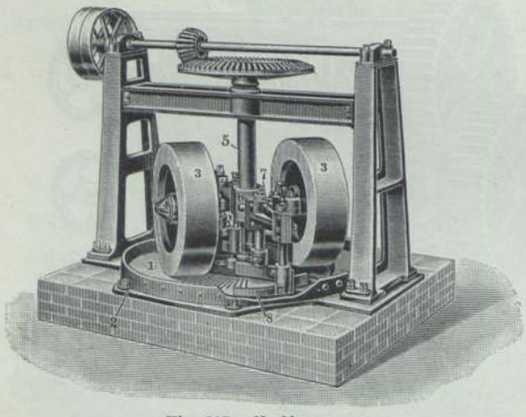


Fig. 607. Kollergang.

8. Kollergänge.

Kollergänge (Fig. 607) gehören zu den Mühlen mit quetschender Wirkung. Das Material (Steine, Erden usw.) wird auf die feststehende Hartgußplatte 1 des Tisches 2 gebracht und mittels der darüber rollenden schweren Läufer 3 aus Hartguß zerkleinert. Diese drehen sich frei auf den armartigen Ansätzen 4 des mit der stehenden Welle 5 verbundenen Teiles 6, der noch weitere Arme 7 mit daran befestigten Streicheisen 8 trägt. Von diesen Eisen bringt das in der Figur sichtbare das seitlich nach dem Rande der Platte 1 geschobene Gut wieder unter die Läufer, während ein zweites Eisen das Mahlgut durcheinander rührt. — In neuerer Zeit stellt man das Streicheisen 8 so ein, daß es nur zu große Körner wieder unter die Läufer befördert, während ein

dicht dahinter liegendes zweites Eisen das liegengebliebene, also genügend zerkleinerte Material über den entsprechend ausgebildeten Rand der Platte 1 hinwegschiebt und so verhindert, daß die Läufer über bereits zerkleinertes Gut nochmals hinweggehen. Vorteilhaft für den Kraftverbrauch ist es, den Läufern kegelförmige Gestalt zu geben. Bei manchen Kollergängen läßt man auch die Läufer örtlich feststehen und erteilt dem flachkegelförmigen Tisch die Drehbewegung *(Schranzmühle)*.

9. Pendelmühlen.

Diese, den Kollergängen in der Wirkung ähnlich, arbeiten mit einem oder mehreren Pendeln, an deren Enden frei drehbare Läufer befestigt sind, die gegen einen festen Mahlkranz wirken. Die Pendel sind bei diesen Mühlen seitlich zur stehenden Antriebswelle und schwingbar um wagerechte Zapfen angeordnet, so daß sie bei schneller Rotation der Welle sich unter der Wirkung der Zentrifugalkraft mit den Läufern gegen den Mahlkranz legen. Ist nur ein Pendel vorgesehen *(Einpendelmühle)*, so benutzt man zum Antrieb Gelenke u. dergl. Die Walzen der Pendelmühlen versieht man, insbesondere wenn es sich um das Zerreißen von Fasern, z. B. zur Papierfabrikation, handelt, mit Riffeln. Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, die Walzen nicht auf dem ebenfalls geriffelten Mahlkranz infolge der Reibung wälzen zu lassen, sondern die Drehung der Walzen durch besondere Elemente zu bewirken. Eine Pendelmühle zur Zerkleinerung von goldhaltigen Erzen zeigt Fig. 608 im Schnitt. Die von der Riemenscheibe 1 und dem Kegelräderpaar 2, 3 angetriebene stehende Welle 4 setzt durch das Armkreuz 5 die mit diesem pendelnd verbundenen Wellen 6 in kreisförmige Bewegung. Infolge der Fliehkraft werden die lose auf den Wellen 6 laufenden kegelförmigen Läufer 7 gegen den Mahlkranz 8 gedrückt, wo sie die von oben zugeführten Erze zerkleinern. Tisch 9 bildet eine Schale, die mit Platten 10 belegt ist. Die Platten haben einen kleinen Abstand von den Läufern, so daß eine darauf gebrachte Schicht Quecksilber von den Läufern nicht berührt wird. Die Rührreisen 11 streichen über das Quecksilberbad hinweg, um das Erz in innige Berührung mit dem Quecksilber zu bringen. Das feinzerkleinerte Erz verläßt nach erstmaliger Entgoldung die Mühle durch ein Sieb und gelangt in das Gerinne 12; es wird auf anderen Vorrichtungen weiter entgoldet. Das goldhaltige Quecksilber wird von Zeit zu Zeit durch Öffnen des Verschlusses bei 13 abgelassen. — Bei den *Mörsermühlen* wird die zerreibende Wirkung durch Reibstempel mit senkrechter Achse oder mit kegelförmig bewegten Pendeln bewirkt, die unterhalb eines Einlauftrichters angeordnet sind und ihre Drehung durch Kurbelgetriebe erhalten.

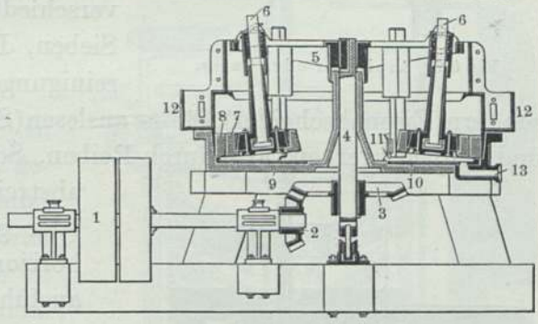


Fig. 608. Pendelmühle.

10. Mahlgänge.

Diese ähneln den beim Vermahlen von Mehl gebräuchlichen; sie zerreiben das Gut zwischen zwei Steinen, von denen der obere *(oberläufiger Mahlgang)* oder der untere *(unterläufiger Mahlgang)* gedreht werden kann. Sie erhalten zum Feinmahlen glatte, zum Schroten (Grobmahlen) geriefte Oberflächen. Der Mahlprozeß kann trocken oder naß durchgeführt werden.

II. Maschinen zum Vermahlen von Getreide zu Mehl.

Die Maschinen zur Bereitung von Mehl zerfallen in solche zur Vorbereitung, zum Mahlen, zum Sichten und zum Mischen.

1. Vorbereitungsmaschinen.

Den Vorbereitungsmaschinen fällt die Aufgabe zu, das Getreide von Stroh, Gesäme, Sand, Steinchen, Nägeln usw. zu befreien, den eigentlichen Mehlkern, d. h. den von der Schale eingeschlossenen Mehlkörper, bloßzulegen und ihn von Schale, Bärtchen und Keim (Embryo) zu

trennen. Die Beseitigung dieser Teile erfolgte bei der alten Mehlbereitungsmethode während des Vermahlens; nach der neuen Methode wird sie vor dem eigentlichen Mahlprozeß vorgenommen. Sie bildet mit der Vorreinigung eine Vorbereitungsarbeit *(Koppen)*, die ein reines, gleichmäßiges, weder gesprenkeltes oder buntes noch öliges Mehl liefert. Diese Reinigung erfolgt durch Waschen (unter Zuhilfenahme von Wasser, auch Dampf) oder mechanisch in besonderen Gebäuden (Koppereien). Die Waschmaschinen bestehen aus großen drehbaren Trommeln, in die das Getreide von oben, das Wasser von unten her eingeführt wird; auch läßt man das Getreide über Kegelflächen abwärts, einem Wasserstrom entgegen, fallen, der es unter Zurücklassung der schweren Beimengungen (Steine usw.) zunächst mitnimmt und dann unter Abführung der leichteren und abgelösten Teile auf Siebflächen sich ablagern läßt. Zum Trocknen benutzt man Zentrifugen und Trockenmaschinen, die trockene Luft durch das Getreide hindurchblasen. Zur mechanischen Reinigung genügt nur in wenigen Fällen die wiederholte Anwendung der Getreidereinigungsmaschinen. In der Regel sind verschiedene Maschinen in Gebrauch, die durch Benutzung von Sieben, Luftströmen oder Bürsten die Abtrennung der Verunreinigungen bewirken (Putzen), die Eisenteile durch Magnete aussondern (Eisenabscheider), Steine auslesen (Steinausleser) oder durch Anwendung von rauhen Flächen und Schlägerwerken, also durch Reiben, Scheuern und Schlagen, die Schalen, Spitzen und Keime abstreifen (Schälen, Spitzen). Die Siebe, aus Drahtgewebe oder gelochten Blechen bestehend, sind entweder in einen horizontalen Rahmen eingespannt, der eine Schüttelbewegung ausführt (Flach-, Rüttelsiebe), oder sie bilden ein sechsseitiges Prisma (Sechskanter) oder einen Zylinder (Zylindersiebe), die um horizontale Achsen rotieren. Von den Maschinen zum Reinigen des Getreides mittels Luftstromes sind die *Tarare (Aspiratoren)* die wichtigsten. Sie bestehen in einfachster Form (s. Fig. 609) aus dem saugend wirkenden Ventilator 3; dieser erzeugt in der Richtung des Pfeiles einen Luftstrom, der dem von einem Rüttelsieb bei 1 einlaufenden, über die schrägen Bretter 2 fallenden Getreide entgegenströmt. Dabei werden die leichten Verunreinigungen (Stroh usw.) durch 4 weggeblasen, während die schwereren sich bei 5 absetzen. Die vollen Getreidekörner verlassen die Maschine durch den Auslauf 6, die leichteren durch 7. Der Kasten 5 wird durch die Klappe 8 von Zeit zu Zeit entleert. Ein Ventil 9 regelt den Zug, ein (nicht gezeichneter) Schieber den Einlauf des Getreides bei 1. Häufig benutzt man die Tarare auch zum gleichzeitigen Sondern der Körner nach dem spezifischen Gewicht und der Größe. — Eine mit Schlagleisten arbeitende *Getreidereinigungsmaschine* zeigt Fig. 610 im senkrechten Schnitt. Das bei 1 aufgegebene Getreide wird von den Schlagleisten 2, 2 an den durchlöcherten und kannelierten Mantel 3, 3 geworfen und gelangt durch Kanal 4 nach außen. Der Staub wird durch den Mantel hindurchgetrieben, von dem oberhalb angeordneten Ventilator 5 angesaugt und durch ein (nicht dargestelltes) seitliches Ausblaserohr abgeführt. Während das Getreide durch das Rohr 6 herabfällt, wird es von einem aufsteigenden Luftstrom (s. die Pfeile) getroffen, der die Verunreinigungen sowie leichte Körner mitnimmt. Letztere lagern sich in der Kammer 7 ab und gelangen bei 8 nach außen; erstere werden vom Ventilator durch das erwähnte seitliche Rohr ausgeblasen. — Die *Bürstmaschinen* führt man teils lediglich mit Bürsten, teils als kombinierte Bürst- und Schälmaschinen mit Bürsten und Schlagleisten aus. Bei ersteren benutzt

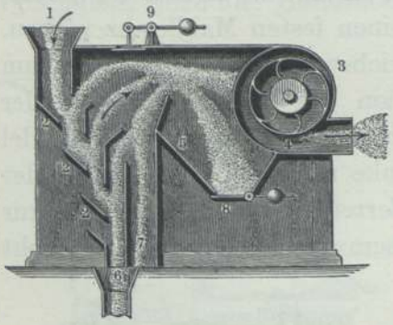


Fig. 609. Aspirator oder Tarar.

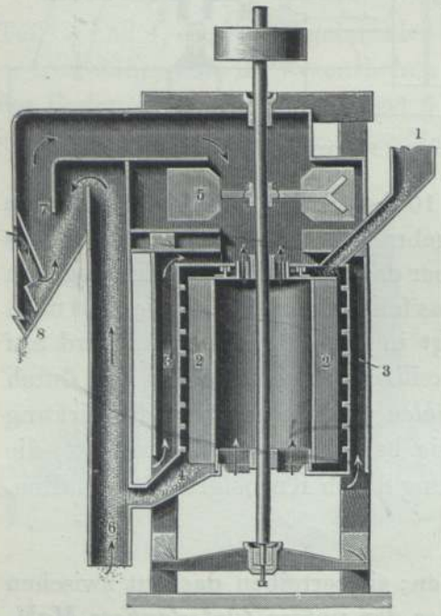


Fig. 610. Getreidereinigungsmaschine „Heureka".

man Bürsten aus Draht, Borsten oder einer amerikanischen Pflanzenfaser und gibt den Bürsten zylindrische, konische, tellerförmige Gestalt bei stehender, dagegen Schraubenform bei liegender Anordnung der Maschine. Bei der Bürstmaschine von Gebr. Seck in Dresden (Fig. 611) wird das Getreide der Maschine bei 1 zugeführt und fällt auf den gußeisernen Teller 2 der oberen Bürste 3, auf dessen Mitte es infolge des Eigengewichtes herabsinkt. Gegen diese feststehende Bürste arbeitet eine umlaufende untere Bürste 4, die jedes Korn auf spiralförmigem Wege nach dem äußeren Rande hin befördert. Das Getreide wird je nach der Anzahl der Etagen zwei- oder dreimal in dieser Weise bearbeitet und schließlich vom Teller 5 aufgefangen, an den sich der Auslauf 6 anschließt. Das niedersinkende Getreide begegnet an mehreren Stellen einem vom Ventilator 7 erzeugten Luftstrom (s. die Pfeile), der Schalenteile usw. mit fortreißt.

Zum Schälen benutzt man ferner zwei nach Art eines Mahlganges *(Koppmühle, Spitzgang)* angeordnete Sandsteine, von denen vorteilhaft der untere angetrieben wird (unterläufige Spitzgänge). Damit nicht durch die Steine die Haut in kleine Stücke zerrissen wird, wird das Getreide vorher mit Wasser bespritzt (Netzen). Diese Vorrichtungen stehen in Verbindung mit Staubkammern (Staubsammlern) oder Filtern (Schlauchfiltern).

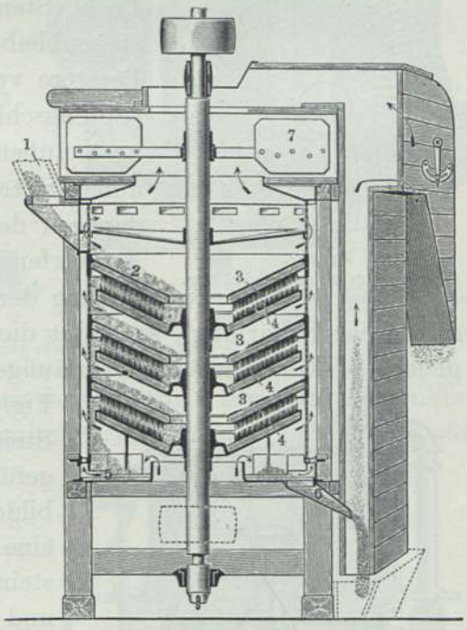


Fig. 611. Getreidebürstmaschine Seck.

2. Steingänge.

Die *Mahlmaschinen* verwandeln das Getreide in Mehl durch Zerschneiden und Zerreiben zwischen den gefurchten Flächen (Mahlflächen) zweier sich gegeneinander drehender Mühlsteine (Steingang) oder umlaufender Walzen (Walzengang, Walzenstuhl), ferner durch Zerschlagen in Schleudermühlen oder Zerschneiden in Scheibenmühlen. Dabei unterscheidet man drei verschiedene Verfahren: *Flachmüllerei*, *Hochmüllerei* und *Halbhochmüllerei*. Bei der Flachmüllerei wird das gespitzte Getreide möglichst vollständig mittels eines einzigen Durchganges durch die Mahlvorrichtung (Mahlgang) in Mehl verwandelt. Die Steine haben hierbei einen sehr geringen Abstand, daher auch die Bezeichnung. Dieses Mahlverfahren ist als das ursprüngliche anzusehen. Jetzt tritt es mehr und mehr zurück gegen die Hochmüllerei (Wiener, österreichisches, ungarisches Verfahren), bei der das Getreide stufenweise in mehreren Durchgängen (Schrotungen) zerkleinert wird. Beim ersten Durchgang (Spitzen) steht der umlaufende Stein (Läufer) hoch (daher der Name) oder die Walzen weitab, so daß von den Körnern nur die äußere Schicht durch Abreiben zu Mehl, dem sogenannten Spitzmehl, verarbeitet wird und ein rundlicher Körper zurückbleibt. Dieser wird durch weitere Mahlvorrichtungen, deren Steine bzw. Walzen stets enger gestellt sind, demselben Prozeß unterworfen, so daß die Körner immer feiner werden. Die hierbei entstehenden Größen (Schrot, Auflösung, Grieß, Dunst, Mehl) trennt man durch Sieben. Das zuerst entstandene, von Kleie, Grieß und Mehl gesonderte Schrot liefert zweites Schrot, Auflösung, Grieß usw. Die dabei entstehenden Grieße werden, nachdem sie von den anhaftenden Kleienteilchen usw. befreit (geputzt) sind, nun in Mehl verwandelt (daher auch Grießmüllerei), das um so reiner und weißer wird (Auszugsmehl), je feiner die vermahlenen Grieße (zuletzt Kerngrieß genannt) waren. Nach der Zahl der Vermahlungen, die verschieden sein kann, erhält man eine Reihe von Grieß- und Mehlsorten von verschiedener Feinheit. Letztere werden bei Weizen, vom feinsten Mehl beginnend, folgendermaßen bezeichnet: Nr. 00 Kaiserauszug (Kaisermehl), Nr. 0 Auszug, Nr. 1 und 2 Bäckerauszug, Nr. 3 Mundmehl, Nr. 4 Semmelmehl, Nr. 5 weißes Pollmehl, Nr. 6 schwarzes Pollmehl. — Die Halbhochmüllerei, die zwischen der Flach- und der Hochmüllerei steht, arbeitet nach dem Verfahren der Hochmüllerei, jedoch mit weniger Mahlungen und Sichtungen.

Die zum Mahlen des Getreides bei Mahlgängen verwendeten Mühlsteine sind rund und auf den einander zugekehrten flachen Seiten mit Furchen versehen. Als Material zur Herstellung dieser Steine dienen Sandstein, Basalt, Trachyt, Granit, Porphyr, Quarz; man fertigt auch mit Erfolg künstliche Steine aus gebrochenem Schmirgel, Karborund und harten Kristallkörnern. Im allgemeinen wird ein großer Teil der Steinflächen zum Mahlen hergerichtet, zuweilen jedoch, und zwar bei den sogen. Ringsteinen, nur der äußerste Ring oder Kranz. Neuerdings finden auch die sogenannten Metallsteine, die aus Hartguß bestehen, an Stelle der eigentlichen Steine Anwendung. Die Steine erhalten auf ihren Flachseiten Rinnen (Hauschläge, Steinschläge, Luftfurchen) von dreieckigem Querschnitt (Fig. 612), die geradlinig (Felderschärfe), bogenförmig (Kreisschärfe) oder nach der logarithmischen Spirale (logarithmische Schärfung, s. Fig. 613) gekrümmt sind; bei der letzteren ist der Kreuzungswinkel konstant. Die Windfurchen 1 gehen vom Loch (Steinauge) 2 bis zum äußeren Umfang. In den dazwischen stehenbleibenden Streifen (Balken) 3 sind Nebenfurchen 4 angeordnet. Letztere verlaufen bei geradlinigen Windfurchen auch quer zu diesen (Sprengschläge). Bei Schärfen, deren Kreuzungswinkel von innen nach außen zunimmt, wächst auch die Kraft, die das Mahlgut nach außen zu treiben strebt; ferner vermindert sich die Schnittkraft. Nimmt dagegen der Kreuzungswinkel von innen nach außen ab, so wird das Auswerfen gegen den Umfang hin verzögert bei gleichzeitiger Erhöhung der Schnittkraft. Bleibt der Kreuzungswinkel konstant (logarithmische Schärfung), so bleibt die nach außen wirkende Kraft und auch die Schnittkraft stets gleich. — Einen neueren oberläufigen Steingang, der fast ganz aus Eisen hergestellt ist, zeigt Fig. 614. Der Läufer 1 ruht auf der Spindel 2, die in der Steinbüchse des ruhenden Bodensteins 3 und dem Fußlager 4 geführt ist. Dieses ruht auf dem Hebel 5, der die Steinstellung bildet und mittels der Schraube 6 und der Handräder 7, 7 eine feine Einstellung des Läufers 1 ermöglicht. Der Bodenstein 3 ruht in einer gußeisernen Zarge 8 auf Stellschrauben 9 und 10. Der Läufer 1 ist von der Zarge 11 umschlossen, deren Deckel in der Mitte den Einlauf 12 besitzt; dieser legt sich luftdicht auf das Steinloch 13. Das Getreide wird durch den Einlauf 12 zugeführt, fällt in das Steinloch 13 und wird von hier aus zwischen die Mahlflächen gebracht. Hierzu werden tellerförmige Aufsätze von ebener (Streuscheiben) oder konkaver Form (Streuschalen) sowie Spiralflügel verwendet. Ein Rohr 14 steht mit dem Ventilatorhauptrohr 15 in Verbindung und saugt Luft durch den Einlauf 12, das Steinloch 13 und die Mahlflächen der Steine 1, 3, um die letzteren kühl zu erhalten (Steinlüftung). Damit die Luft nicht Staub und Mehl mitnimmt, läßt man sie ein Filter 16 passieren, das, vielfach gefaltet, unter dem Zargendeckel mit Federn 17 befestigt ist. Zum Entfernen des an das Filter sich ansetzenden Staubes dient das sogenannte *Klopfen*, ein Vorgang, der darin besteht, daß durch Hammerschläge das ganze Filter in zitternde Bewegung versetzt wird.

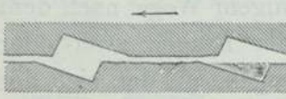


Fig. 612. Mühlstein (oben: Läufer, unten: ruhender Bodenstein).

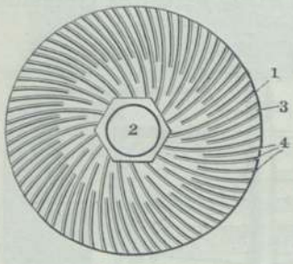


Fig. 613. Logarithmische Schärfung.

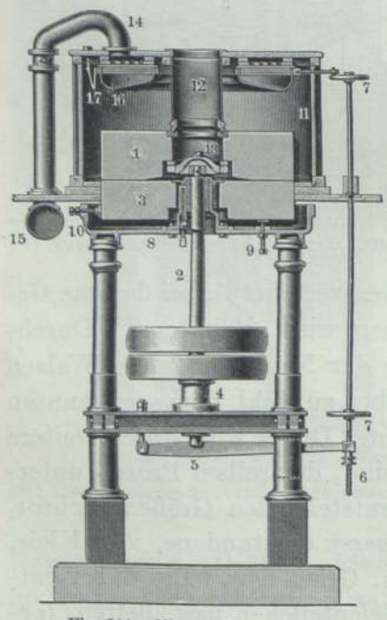


Fig. 614. Neuer Steingang.

Bei Mahlgängen bringt man, um das schädliche Leerlaufen der Steine zu verhüten, häufig eine Alarmglocke an, die schon ertönt, bevor der Getreidevorrat noch vollständig zu Ende gegangen ist. Diese Glocken werden mechanisch durch Ausschlagen eines Hebels, in neuester Zeit aber auch elektrisch zum Ertönen gebracht. Ein anderes Mittel besteht darin, daß der Mahlgang selbsttätig ausrückt.

3. Walzenstühle.

Bei diesen bewirken die Zylinderflächen von Walzen das Zerschneiden und Zerreiben. Dabei können die Mantelflächen glatt (Glattwalzen, Glattstühle) oder geriffelt sein. Je nach der zu verrichtenden Arbeit teilt man die Walzenstühle in Quetschwalzen zum Breitdrücken (Glattwalzen), Brechstühle zum Vorzerkleinern (grobe Riffelwalzen, auch Einzelzähne), Schrotstühle zum Schroten (grobe Riffelwalzen), Auflösstühle zum Auflockern von Grieß (feine Riffelwalzen), Ausmahlstühle zur Verwandlung von Dunst in Mehl (Glattwalzen oder feine Riffelwalzen). Die Walzen werden in den weitaus meisten Fällen aus Hartguß oder auch (bei Glattwalzen) aus Porzellan gefertigt. Die Riffeln hobelt oder schleift man in die Walzen ein. Vorteilhaft gibt man der einen Walze eine größere Geschwindigkeit (Voreilung, Differentialwalzen) als der anderen, etwa im Verhältnis 22:19. Ein einfacher Walzenstuhl ist in Fig. 615 und 616 dargestellt. Von den beiden Hartgußwalzen 1 und 2 wird erstere durch die Riemenscheibe 3 direkt angetrieben, während die Walze 2 als sogenannte Schleppwalze durch Reibung mitgenommen wird. Das Mahlgut gelangt aus dem Rumpf 4 über einen Regulierschieber 5 auf die Zellenwalze 7 und durch den Trichter 8 zwischen die Walzen 1 und 2, die von anhaftenden Teilen durch die Abstreicher 6, 6 befreit werden. Zur Hervorbringung eines starken, nachgiebigen Andruckes ist die Walze 2 in dem Bügel 9 (Schwingbügel) gelagert, der um Zapfen 10 schwingt. In dem kastenförmigen Bügelende befindet sich eine Feder 12 mit Druckschraube 11, die in 13 gehalten und durch Handrad 14 eingestellt wird. Die Hebel 15, 15 mit Justierschrauben 16 dienen zum genauen Einstellen der Walze 1. Ein Walzenstuhl mit Walzen von 600 mm Länge und 400 mm Durchmesser quetscht in der Stunde 2000 bis 2400 kg oder löst 800—1000 kg grobe oder 400—500 kg feine Grieße auf. — Vielfach ordnet man in demselben Gestell zwei gesondert arbeitende Walzenpaare seitlich nebeneinander an, die auch mit Sichtapparaten ausgerüstet sind; oder man legt eine Anzahl von Walzen übereinander und läßt das Mahlgut wechselweise von der rechten und der linken Seite eintreten.

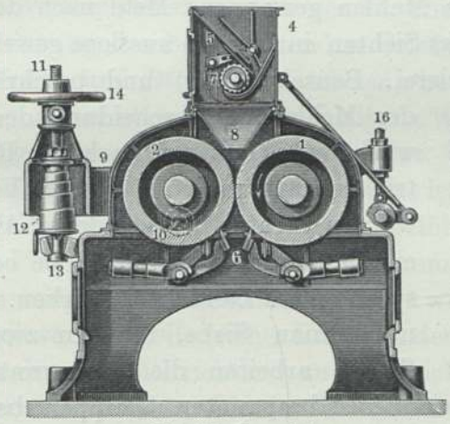


Fig. 615. Querschnitt.

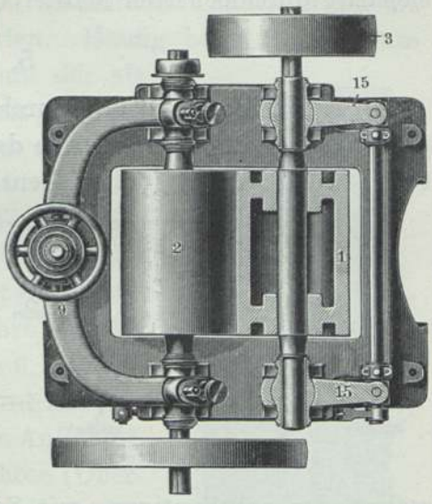


Fig. 616. Aufsicht und Schnitt durch die angetriebene Walze.

Fig. 615 und 616. Walzenstuhl von Nagel & Kämp.

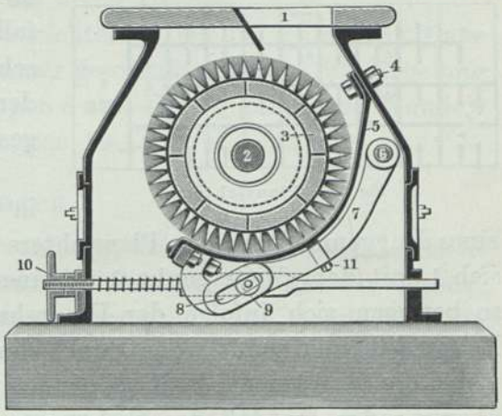


Fig. 617. Bürstendetacheur.

4. Auflösstühle (Detacheure).

Solche dienen dazu, das die Walzenstühle infolge der Quetschwirkung zum Teil in Form von Blättchen verlassende Material vor dem Sichten zu lockern (detachieren). Dieses Auflockern kann entweder durch Zerreiben mittels Bürsten oder durch die Einwirkung von Schlagarmen u. dergl. erfolgen. Bei den Bürstendetacheuren (Fig. 617) wird das durch den Einlauf 1 aufgegebene Material der Einwirkung einer um die Welle 2 rotierenden Bürstentrommel 3 ausgesetzt, die das Material gegen eine durch Bolzen 4 am Gestell befestigte Wand 5 drängt. Zur

relativen Einstellung der Wand 5 ist der um Bolzen 6 schwingbare Arm 7 vorgesehen, in dessen am Ende befindlichen Schlitz 8 ein in wagerechter Ebene einstellbarer Zapfen 9 eingreift. Durch Verschieben des Zapfens 9 mittels der Mutter 10 wird der Hebel 7 und die mit seinem Ende verbundene Wand 5 der Bürste genähert oder von dieser entfernt. Eine Schraube 11 des Hebels 7 drückt an einer zweiten Stelle gegen die Wand 5. — Bei anderen Auflösstühlen findet das Detachieren durch Stifte der Trommel, die gegen Stifte des Gehäuses wirken, oder durch biegsame, nach einer Kegelfläche angeordnete Drähte statt, die das aufzulösende Gut durch den siebartig durchlöcherten Mantel drücken.

5. Sicht- und Putzmaschinen.

Auf diesen wird das durch Mahlen gewonnene Mehl nach den verschiedenen Feinheitsgraden getrennt. Früher wurde das Sichten in Beuteln aus lose gewebtem, sogenanntem Beuteltuch vorgenommen (daher Beutlerei, Beutelgeschirr) und beschränkte sich auf das *Beuteln* des Mehls zur Abscheidung der Kleie. Dieses Verfahren wird heute fast nur noch für Roggenmehl in kleineren Betrieben angewendet. Mit dem Vordringen der Hochmüllerei wurden Sichter verschiedener Art geschaffen, die entweder eine Trennung nach der Größe oder nach dem verschiedenen spezifischen Gewicht bewirken. Für den ersten Fall benutzt man Siebe, für den zweiten den Luftstrom. Mit Sieben arbeiten die sogenannten *Beutelzylinder*, die aus sechs- oder achtkantigen, mit Seidengaze bespannten Gerippen bestehen *(Sechs-* bzw. *Achtkanter)*, aber auch zylindrische Form haben *(Rundsichter, Mehlzylinder)*. Die Drehachse dieser Sichtmaschinen liegt unter einem kleinen Winkel zur Wagerechten geneigt. Infolgedessen wandert das am höher gelegenen Ende aufgegebene Mehl während der Drehung der Sichttrommel nach dem tiefer gelegenen Ende hin. Auf diesem Wege läßt der siebartige Mantel genügend feines Mehl in einen unter der Sichttrommel befindlichen Kasten fallen, aus dem es mittels einer Schnecke (Mehl-, Förderschnecke) durch Austragsöffnungen entfernt wird. Das in der Trommel verbleibende gröbere Mehl gelangt in einen gesondert aufgestellten Kasten.

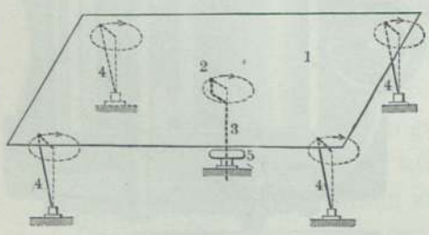


Fig. 618. Plansichter.

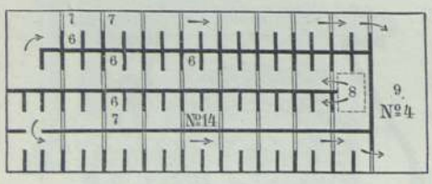


Fig. 619. Plansichter.

Die ebenfalls mit Sieben arbeitenden *Plansichter* haben in der letzten Zeit große Verbreitung gefunden. Das Prinzip eines Haggenmacherschen Plansichters geht aus den Fig. 618 und 619 hervor. Ruht ein Plansieb 1 mit dem Mittelpunkt 2 auf einer Kurbel 3 und mit den vier Ecken auf Pendelstützen 4, so bewegen sich infolge der Umdrehung der Kurbel 3 durch die Riemenscheibe 5 die vier Eckpunkte und somit jeder Punkt des Siebes 1 in Kreisbahnen vom Halbmesser der Kurbel, wobei die Stützen 4 als Kegelpendel wirken. Hängen nun mehrere Siebe in einem Rahmen übereinander, so daß das Sichtgut von oben nach unten diese Siebe zu passieren hat, so wird es nach der Feinheit der Maschen getrennt. Um dabei zugleich die notwendige, aber durch die Kreisbewegung nicht mögliche Weiterbeförderung des Sichtgutes nebst einem genügenden Offenhalten der Siebmaschen zu erzielen, sind sogenannte Wurf- oder Verteilungsleisten angebracht. Diese Leisten 6 bzw. 7 sind so angeordnet, daß sie das Sichtgut durch Anstoßen in eine hüpfende Bewegung versetzen und ihm zugleich einen bestimmten Weg anweisen. Die Wurfleisten 6 unterscheiden sich von den Verteilungsleisten 7 durch die geringere Höhe der letzteren, die außerdem mit einer abgerundeten oberen Kante versehen sind, über die das Sichtgut hinwegspringen kann. Die Anordnung der Leisten kann verschieden sein, je nach dem Wege, den das Sichtgut zurücklegen soll. Aus der schematischen Darstellung nach Fig. 619 ist zu erkennen, daß das bei 8 auf die mit Drahtsieb, z. B. Nr. 14, bezogene Fläche gelangende Sichtgut abwechselnd gegen die Wurfleisten 6 und die Verteilungsleisten 7

gestoßen und dadurch gezwungen wird, den durch die Pfeile angedeuteten Weg zu nehmen und zuletzt auf das Endfeld 9 zu gelangen, das mit Drahtsieb, z. B. Nr. 4, bespannt ist. Durch das Sieb Nr. 14 fallen Grieße, Dünste und Mehl auf das darunterliegende Sieb; durch das Sieb Nr. 4 das Schrot unter Zurücklassung gröberer Teile. In gleicher Weise erfolgt eine weitere Scheidung auf den unteren Sieben, so daß eine weitgehende Trennung um so mehr zu erreichen ist, als sich einzelne Siebe abteilungsweise mit Gaze von verschiedener Feinheit beziehen lassen. Es ist dann für jede Siebgröße ein besonderer Auslauf vorzusehen.

Bei den *Zentrifugalsichtmaschinen* wird das Sichtgut durch umlaufende Leisten gegen die innere Wand eines ebenfalls umlaufenden Siebzylinders geworfen. Häufig benutzt man zum Sondern von verschieden schweren Mehlsorten einen Luftstrom, der als Saugwind oder Stoßwind an verschiedenen Stellen der Maschine zugleich eintreten kann und eine Trennung des herabsinkenden Grießes von dem ihm beigemengten Dunst *(Grieß-* und *Dunstputzmaschinen)* bewirkt. Die zuerst von Cabanes in Bordeaux benutzte Sortierung mittels Windstromes wurde insbesondere von Haggenmacher wesentlich verbessert. Eine nach dem Haggenmacherschen Prinzip arbeitende *Grießputzmaschine* ist in Fig. 620 dargestellt. Bei ihr tritt das Putzgut aus dem Einlauf 1, geführt von der Klappe 2, gegen den in der Pfeilrichtung wirkenden Luftstrom 6, der von einem mit der Putzmaschine verbundenen Ventilator erzeugt wird und das Putzgut derart teilt, daß die schwersten Teile (reiner Grieß) in den Auffang 3, die weniger schweren Teile in den Sammeltrichter 4 und die leichten (Überschlag) in den Sammelraum 5 gelangen. Die in die Behälter 3 und 5 fallenden Teile verlassen getrennt voneinander die Maschine an zwei Seiten. Das in 4 fallende Gut wird aber als neue Putzmenge behandelt, indem es in die Kammer II und von dieser nacheinander in die Kammern III und IV gelangt, in denen sich derselbe Vorgang wiederholt, so daß die letzte Grießmenge den Raum 4 der Kammer IV durch den Auslauf 7 als erster Überschlag bzw. als Grieß zweiter Qualität verläßt, während die leichteren Teile (Flugkleie usw.) aus sämtlichen Kammern von dem Luftstrom in die Kleienkammer geschafft werden. Zur Regelung der gehörigen Abtrennung der Putzteile dienen die Drehklappen 8 und die wegnehmbaren Wände 9 und zur Regelung der Stärke des Luftstromes die Drehklappen 10.

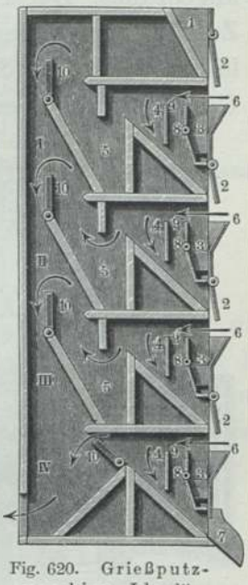


Fig. 620. Grießputzmaschine „Ideal".

6. Mehlmischvorrichtungen.

Diese finden insbesondere in der Hochmüllerei Anwendung, während die in der Flachmüllerei erzeugten Mehle unvermischt in den Handel gelangen. Das Mischen hat den Zweck, große Mengen von möglichst gleichförmiger Zusammensetzung zu erzeugen. Die Handarbeit, die früher durch Schaufeln in Mischkammern vorgenommen wurde, ist allgemein durch mechanische Vorrichtungen ersetzt worden. Die gewöhnlichen Mischmaschinen sind entweder horizontale Scheiben mit nach oben gerichteten Pflöcken, die sich schnell drehen und das in die Mitte fallende Mehl in der Mischkammer herumschleudern; oder große viereckige Kasten, die sich nach unten verengen, und aus denen das eingeschüttete Mehl frei herab auf eine Mehlschraube fällt, die es während der Umdrehung mischt. Bei manchen Mehlmischmaschinen hebt man das von der Mehlschraube durch eine seitliche Öffnung des Gehäuses geförderte Mehl mittels eines Elevators wieder empor und läßt es von neuem in den Einschüttrumpf gelangen. Das Mehl erhält hierbei eine gleichmäßige Farbe, die mit Nummern in der Weise bezeichnet wird, daß die niedrigste Nummer, z. B. Nr. 0, das reinste Weiß, die höchste Nummer, z. B. Nr. 6, die dunkelste Farbe bezeichnet. Das soweit fertige Mehl wird nun auf *Einsackmaschinen* zum Versand fertiggemacht; oft sind diese Maschinen gleichzeitig als Wägevorrichtung benutzbar.

F. Maschinen zur Verarbeitung von Ton und zur Ziegelfabrikation.

Die Ziegelerde bzw. der Ton muß, nachdem er durch Liegenlassen im Freien über Sommer (Aussommern) oder Winter (Auswintern) in Wasser gut löslich geworden ist, in einen plastischen Zustand versetzt und dabei gleichmäßig zusammengesetzt sein. Nur selten werden Tone angetroffen, die in allen Schichten ihres Lagers eine völlig gleichmäßige Zusammensetzung und Beschaffenheit aufweisen. Die verschiedenen Tonarten kommen zunächst in eine Sumpfgrube (Sumpf, Schlämmgrube), die aus Mauerwerk oder Holzbohlen hergestellt ist, jedoch etwa überschüssige Flüssigkeit durch den Boden entweichen läßt. Meist sind mehrere derartige Gruben nebeneinander angeordnet. Der Ton nebst dem ihm beigemengten Sand wird zerkleinert und durch allmähliches Zufügen von Wasser angefeuchtet, bis er sich mit den Fingern gleichmäßig auseinanderstreichen läßt. Das in der Sumpfgrube vorbereitete Material gelangt in solchen Fällen, wo dem Ton feste Gesteinsteile beigemengt sind, wie z. B. Quarzstücke, zunächst in ein Walzwerk, das diese Beimengungen zertrümmert und so den Ton für die sogenannten Tonschneider wirksam vorbereitet. Die wesentlichen Teile eines derartigen Walzwerkes, die beiden Walzen, bestehen aus Hartguß. Enthält der Ton gröbere und sehr harte Beimengungen, so wendet man vorteilhaft zwei übereinanderliegende Walzenpaare an, von denen das obere beim Auftreffen grober und sehr harter Steine etwas nachgibt, während das untere als Feinwalzwerk dient. Den Walzen erteilt man zwecks Zerdrückens der steinigen Beimengungen gleiche, zwecks Zerreibens derselben ungleiche Umfangsgeschwindigkeiten. Solche Tone, die nicht viel gewintert sind, bearbeitet man zunächst auf Brech- oder Stachelwalzwerken, deren Walzen mit Zähnen versehen sind, bringt sie dann zum Sümpfen in Sumpfgruben und bearbeitet sie schließlich auf Glattwalzwerken. Bessere Tone werden geschlämmt. Zur Verarbeitung feuerfester Produkte, gesinterter Pflasterplatten, auch gewöhnlicher Ziegel, z. B. aus Tonschiefer, der sich nicht plastisch machen läßt, wird das Rohmaterial auf trockenem Wege vorbereitet. Hierzu dienen Zerkleinerungsmaschinen, wie Stampf- und Pochwerke, Kollergänge, Steinbrecher, Schleudermühlen, Kugelmühlen usw.

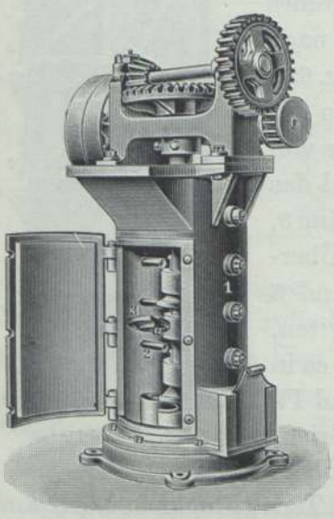


Fig. 621.
Tonschneider von Laeis & Co.

1. Tonschneider.

Tonschneider eignen sich besonders zur Verarbeitung schwerer, fetter Tone sowie zum Mischen verschiedenfarbiger Tone und Lehmarten. Die älteren Misch- und Knetmaschinen bestanden meist aus hölzernen Bottichen oder viereckigen Bohlenkasten mit den erforderlichen eisernen Verstärkungen, wie z. B. die aus Holland stammende sogenannte holländische Kleimühle. Diese Vorrichtungen bedurften natürlich häufiger Ausbesserungen. Man baut daher heute die Tonschneider ganz aus Eisen. Sie haben eine kegelförmige oder walzenförmige Gestalt. In ihrem Innern sind zum Kneten und Durchmengen des Tones auf einer drehbaren Welle mehrere Messer angebracht, die nach einer Erfindung von Schlickeysen die Gestalt einer Schnecke haben. Diese Messer bilden Teile einer Spirale und umgreifen $^1/_4$ bis $^1/_3$ des Kreisumfanges. Die äußeren Kanten stellen also keine ununterbrochene Schraubenlinie dar, sondern die Enden übergreifen einander um $^1/_8$ bis $^1/_6$ des Kreisumfanges; außerdem steht der Beginn einer Schraubenfläche eines Messers um den gleichen Betrag von dem Ende des benachbarten Messers ab. Die Tonschneider können liegend oder senkrecht angeordnet sein. Ein Vorteil der stehenden Tonschneider besteht darin, daß Unregelmäßigkeiten in der Beschickung keinen störenden Einfluß auf das Austreten des Tonstranges ausüben, wie dies bei liegenden Tonschneidern häufig der Fall ist. Dagegen muß der Ton beim stehenden Tonschneider ziemlich hochgehoben werden, so daß man bei größeren Anlagen Elevatoren, schiefe Ebenen u. dergl. anzuwenden genötigt ist. Dem liegenden Tonschneider dagegen

kann das Material mittels Spaten oder Schaufeln zugeführt werden. Einen senkrechten Tonschneider zeigt Fig. 621. In dem Gehäuse 1 sind feste Gegenmesser 2 angeordnet, zwischen denen die schraubenförmigen Messer 3 hindurchgehen. Derartige Tonschneider arbeiten leichter und ergiebiger als solche, die lediglich schraubenförmige Messer besitzen.

2. Ziegelpressen.

Der, wie geschildert, vorbereitete Ton wird nun mechanisch auf das gewünschte Profil gebracht. Die in der neueren Technik benutzten Maschinen (liegende Schneckenpressen) zum Naßpressen besitzen wagerechte Schneckenwellen; sie sind sowohl zur Herstellung von Vollziegeln als auch von Hohlziegeln anwendbar. Häufig ist vor derartigen Maschinen ein Walzwerk zum Quetschen des Tones angeordnet, während sich vor dem Preßmundstück ein sogenannter Abschneider befindet, eine Vorrichtung, die den austretenden Strang zunächst führt und danach in Stücke bestimmter Länge zerlegt. Eine liegende Presse ist in Fig. 622 im Längs- und Querschnitt dargestellt. Der zu pressende Ton wird in den Trichter 1 hineingeworfen und gelangt zwischen die von der Schneckenwelle 2 aus durch Räderübersetzungen angetriebenen Walzen 3, 4, die den Ton dem Preßzylinder 5 zuführen. Die in letzterem arbeitende (nicht gezeichnete) Schnecke befördert den Ton nach gehörigem Durchkneten nach dem linken Ende des Zylinders, an das sich das Mundstück 6 anschließt. In diesem erhält der als Strang austretende Ton das erforderliche Profil. Um den austretenden Strang schön glatt aus dem Mundstück austreten zu lassen, wird letzteres durch ein Tropfgefäß 7 ständig benetzt. — Bei den mit Schnecken arbeitenden Tonpressen kommt es vor, daß sich das Preßgut mit der Schneckenwelle im Zylinder herumdreht, also nicht vorgeschoben wird. Diesen Übelstand vermeidet die Maschine von C. Schmelzer dadurch, daß in den kegelförmigen Preßraum, in dem das Material durch die Schnecke gemischt und dem Mundstück zugeführt wird, spiralförmig verlaufende Stäbe (s. Fig. 623) eingesetzt sind. Die *Schmelzersche Presse* selbst (Fig. 624) wird durch eine Riemenscheibe 1 angetrieben, die mittels einer einfachen Räderübersetzung 2 die im Preßraum 3 befindliche Schnecke 4 in Umdrehung versetzt. Das vom Tonschneider kommende Gut gelangt bei dieser Maschine zuerst zwischen die beiden Walzen 5, die von einer besonderen Riemenscheibe 8 angetrieben werden. Diese Walzen führen das Preßgut einem gleichen Walzenpaar 6 zu, von dem es zwischen die Speisewalzen 7 gelangt. Wie aus dem

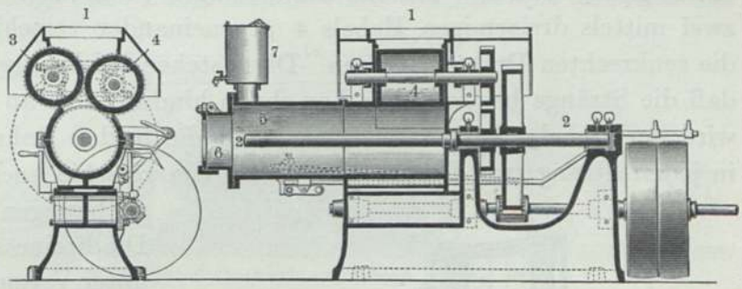


Fig. 622. Schlickeysens liegende Ziegelpresse (Quer- und Längsschnitt).

Fig. 623. Preßraum der Fig. 624.

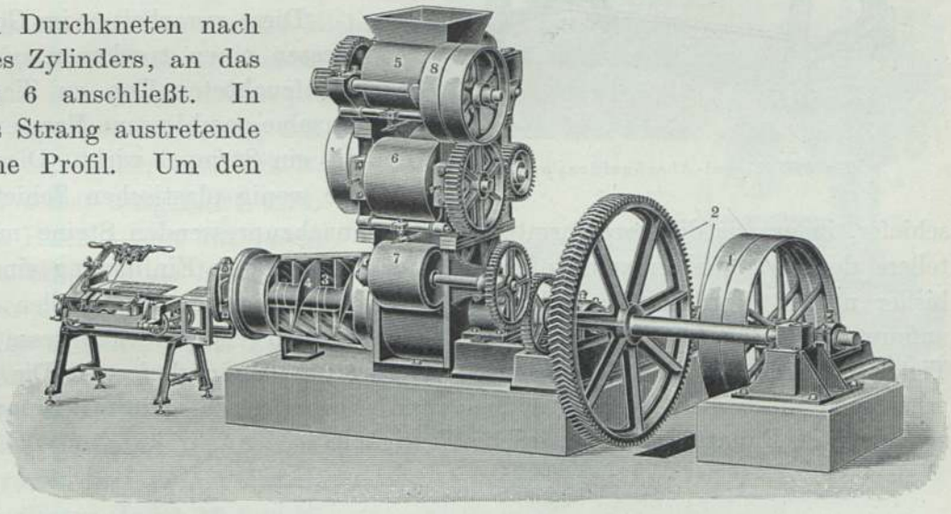


Fig. 624. Schmelzersche Ziegelpresse.

geschnittenen Teil 4 der Abbildung ersichtlich ist, verlaufen die spiralförmigen Gänge des Preßraumes (s. Fig. 623) entgegengesetzt zur Gangrichtung der Schnecke.

3. Abschneideapparate.

Die Abschneideapparate (Fig. 625) beruhen auf der Bewegung eines oder besser mehrerer quer zum austretenden Strang geführter Drähte. Bei dem dargestellten Abschneideapparat, der zum Schneiden von ½- oder ¼-Verblendern dient, läuft der Strang auf dem endlosen Filztuch 1 gegen eine sich ständig umlegende Klappe 2. Dadurch werden die Steine geschont und ein ungleich schnelles Treiben des Stranges vermieden. In den senkrechten Stützen 3, 3 sind zwei mittels dreiarmigen Hebels 4 gegeneinander verschiebbare Rahmen 5, 6 angebracht, die die senkrechten Drähte 7 tragen. Diese stehen bei hochgehobenem Hebel 4 so weit auseinander, daß die Stränge bequem zwischen ihnen hindurch bis an die Klappe 2 laufen können. Danach wird der Hebel 4 heruntergedrückt, und die beiden Rahmen 5, 6 verschieben sich derart, daß in jeden Strang zwei Drähte gleichzeitig von verschiedenen Seiten eintreten, sich nach der Mitte zu bewegen und dort stumpf zusammenstoßen. Die Steine sind nunmehr abgeschnitten, und zwar unter Vermeidung irgendwelcher Gratbildung. Der Wagen wird dann vorgefahren, die Drähte gereinigt, dann wieder auseinandergezogen und schließlich der Wagen wieder zurückgeschoben, worauf sich der Vorgang wiederholt.

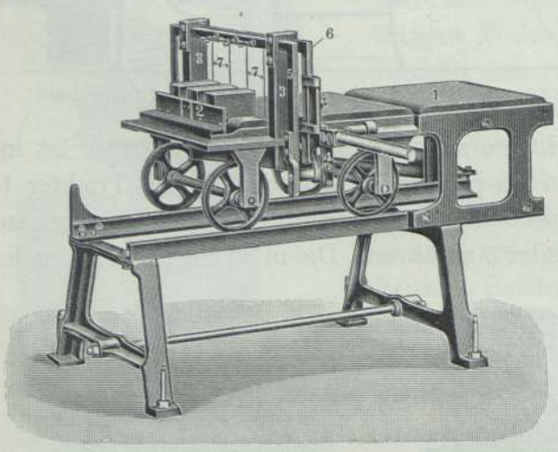


Fig. 625. Ziegel-Abschneideapparat.

4. Trockenpressen.

Diese verarbeiten im Gegensatz zu den Naßpressen einen trockenen oder nur sehr schwach angefeuchteten Ton zu Ziegeln. Dabei kommen einzelne geschlossene Formen zur Anwendung, auf die ein Stempel wirkt. Diese Pressen verarbeiten die wenig plastischen Schiefertone und den Tonschiefer, indem sie die vorgeformten und nur nachzupressenden Steine mittels eines Revolvertellers dem Stempel einzeln zuführen. Zu allgemeinerer Einführung sind die Trockenpressen bisher nur in Nordamerika gekommen, obwohl sie in manchen Fällen sehr gute Leistungen aufzuweisen haben, wie z. B. die mittels Kniehebels wirkende Trockenpresse der Aktiengesellschaft Tigler in Meiderich, die in einem Tage bis zu 30 000 Steine liefert. — Die soweit fertigen Steine erhalten dann durch Trocknen in Schuppen, besser durch späteres Brennen in Ringöfen verschiedenster Bauart die erforderliche Festigkeit.

G. Steinbearbeitung.

Auf den Steinbearbeitungsmaschinen werden Steinblöcke durch Sägen, Bohren, Drehen, Hobeln, Fräsen, Schleifen und Spalten zu Blöcken, Säulen u. dergl. hergerichtet. Im weiteren Sinne rechnet man hierzu sowohl die Maschinen, die den groben Block vom Felsen lostrennen (Schrämmmaschinen, Druckluftbohr- und Stoßmaschinen), als auch die Hartzerkleinerungsmaschinen (Brechwalzwerke, Pochwerke), welche die Steine durch Zerbrechen jedoch nicht in bestimmte Gestalt, sondern nur auf eine gewisse Größe bringen, so daß sie z. B. beim Straßen- und Eisenbahnbau als Schüttung Verwendung finden können.

Die in der Hartzerkleinerung benutzten Brechwalzwerke, die nicht nur zum Zerkleinern von Steinen, sondern auch von weicheren Materialien, wie Mergel, Kreide, Ton, benutzt werden, sind je nach dem Zweck mit groben oder feinen Zähnen oder aber mit Rippen oder Rillen besetzt (Näheres siehe unter Mühlen S. 258 nebst Fig. 605).

1. Sägen.

Die *Steinsägen* arbeiten zum Teil mit breiteren Sägeblättern, zum Teil mit Drähten (Seilen). Nur weichere Gesteine, wie Schiefer, Kalkstein, lassen eine Bearbeitung mittels gezahnter Sägen aus Stahl zu, wogegen härtere Gesteinsarten in der Regel dadurch zersägt werden, daß auf die glattrandigen Sägeblätter scharfer Quarzsand oder in Wasser durch Abschrecken gehärtete, kantige Stahlkörner im Verein mit Wasser gebracht werden. Die ebenfalls häufig hierzu benutzten dreidrähtigen Seile drillt man, um durch die schraubenförmige Lage der Kanten ein besseres Mitnehmen des Schleifmittels zu bewirken. Die Ränder stählerner Sägen besetzt man mit Diamanten, die neuerdings ohne Zuhilfenahme eines Weichmetalls direkt in das Stahlblatt eingepreßt werden. Es ist auch üblich, den ebenfalls außerordentlich harten Karborund zur Armierung der Blätter zu benutzen. Die Form der Sägeblätter ist kreisförmig (Kreissägen) oder bandförmig (Gattersägen). Letztere arbeiten ähnlich wie die zum Zertrennen von Holzblöcken üblichen Gattersägen mit hin und her gehendem Blatt, das in der Mitte eines Rahmens geführt ist (vgl. S. 274). Einfache Gattersägen, sogenannte *Trennsägen*, haben seitlich offenen Rahmen, der die Bearbeitung von Werkstücken beliebiger Länge gestattet.

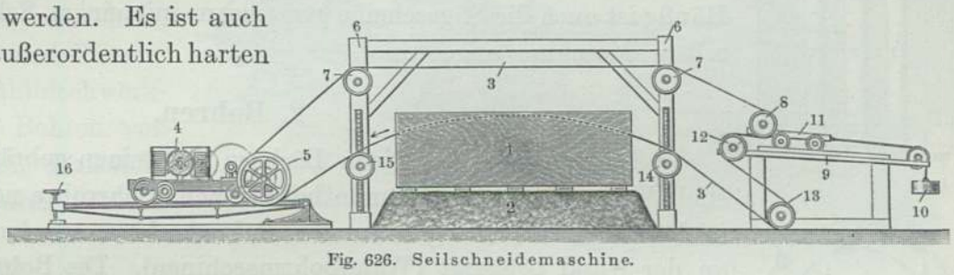


Fig. 626. Seilschneidemaschine.

Die *Seilschneidemaschinen* (Fig. 626) arbeiten meist mit dreilitzigen Drahtseilen, durch deren Fugen der Schleifsand mitgenommen wird. Das Seil kann dabei sowohl in senkrechter als auch in wagerechter Richtung laufen, zu welchem Zweck es über Rollen geführt wird. In manchen Fällen benutzt man senkrecht laufende Drahtseile zum Ausschneiden profilierter Gegenstände (Profilsägemaschinen). Die wagerechte Führung des Seiles eignet sich besonders zum Zerschneiden großer Blöcke, eine Arbeit, die oft im Steinbruch selbst ausgeführt wird. Der zu zerschneidende Block 1 ruht auf einem Sockel 2. Das Seil 3 erhält seine Bewegung durch den Motor 4, der durch eine Zahnräderübersetzung die Scheibe 5 treibt. Das Seil 3 läuft über am Gestell 6 ortfeste Rollen 7, 7, über die Rolle 8 eines auf schiefer Ebene 9 unter der Wirkung des Gewichts 10 abwärts bewegten Wagens 11, von 8 über die am Gestell der schiefen Ebene 9 ortfesten Rollen 12 und 13 und von letzteren über die mittels Spindeln verstellbaren Leitrollen 14, 15 zurück zur Scheibe 5. Einerseits bewirkt das Gewicht 10 die nötige Spannung des Seiles 3; anderseits kann diese durch Zurückbewegen und Feststellen des auf Rollen beweglichen Motors 4 eingestellt werden. Die Seilspannung kann auch durch Drehen der Schraube 16 innerhalb enger Grenzen geändert werden.

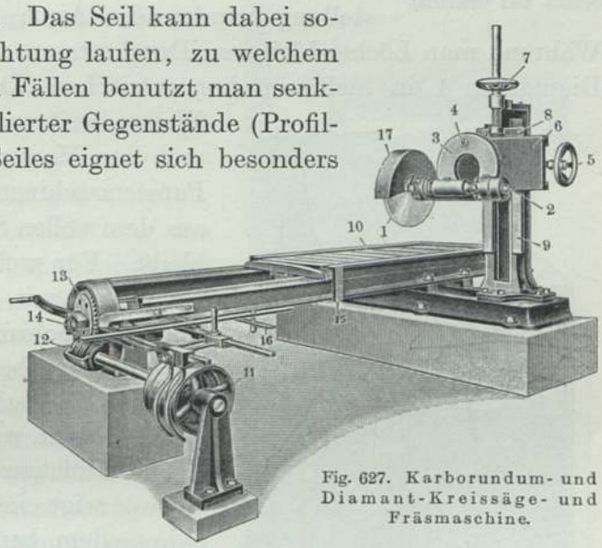
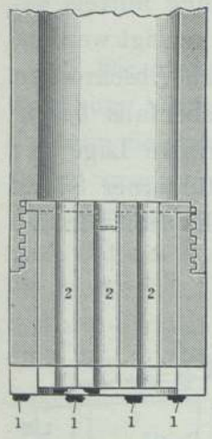


Fig. 627. Karborundum- und Diamant-Kreissäge- und Fräsmaschine.

Eine größere Wirkung erzielt man mit *Kreissägen*, besonders wenn deren Blätter mit Diamanten besetzt sind (Diamantblätter). Man erteilt diesen Sägen eine außerordentlich hohe Umlaufzahl, so daß ihre Umfangsgeschwindigkeit bis zu 2000 m in der Minute beträgt. Das Sägeblatt 1 (Fig. 627) erhält seine Umlaufbewegung durch die Welle 2; es ist auch zwecks Anfräsens von Kanten u. dergl. gegen einen Fräser auswechselbar. Der die Welle 2 tragende Teil 3 kann im Winkel verstellt werden, wozu Schrauben 4 vorgesehen sind. Das Handrad 5 erteilt durch seine Spindel dem Schlitten 6 eine wagerechte Einstellbewegung, während das Handrad 7 dem Unterschlitten 8 eine solche in senkrechter Richtung auf dem Ständer 9 erteilt. Der Steinblock wird auf

dem Tisch 10 durch in Nuten des Tisches greifende Spannklauen befestigt. Ein Vorgelege 11 setzt durch eine Schneckenradübersetzung 12, 13 die Spindel 14, die den Tisch 10 vorschiebt, in Drehung. Ist letzterer am Ende seines Weges angekommen, so stößt der verstellbare Anschlag 15 gegen den Hebel 16, der den Vorschub auslöst. Wegen der Gefahr des Zerspringens umgibt man die Sägescheibe 1 mit einer Schutzhaube 17. Diese Maschine eignet sich zum Zuschneiden von Marmor- und Granitplatten, zum Anfräsen profilierter Kanten an Steinplatten für Möbel, Treppenstufen u. dergl. — In manchen Fällen führt man den Schlitten 6 auf einem langen Balken, der zu beiden Seiten des Aufspanntisches durch Ständer unterstützt ist. Häufig ist auch die Sägescheibe gemeinsam mit einem Schleifwerkzeug an derselben Maschine angeordnet.



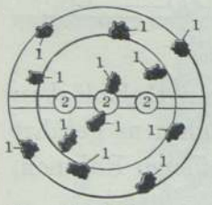


Fig. 628. Diamantbohrer (senkrechter Schnitt und Grundriß).

2. Bohren.

Die zur Erzeugung von Löchern in Steinen gebräuchlichen Werkzeuge sind: Werkzeugbohrer, Diamantbohrkronen, Bohrrohre nebst Bohrköpfen. Die in der Steinbearbeitung benutzten *Bohrmaschinen* werden häufig mit Konsolen an der Wand befestigt (Wandbohrmaschinen). Die Bohrspindel wird nur bei kleinen Bohrmaschinen in fest mit dem Konsol verbundenen Lagern gehalten. Vielfach üblich sind Bohrmaschinen mit gelenkig verstellbaren Armen; dabei können mehrere Arme an der Antriebswelle angeordnet sein, wie z. B. bei zweispindligen Bohrmaschinen; oder die einzige Bohrspindel wird von einem doppelten Gelenkarm getragen (Gelenkarmbohrmaschinen). In der Arbeitsstellung werden die Arme durch Klemmschrauben od. dergl. festgestellt. Während man Löcher kleineren Durchmessers mittels *Diamantbohrer* (s. Fig. 628) erzeugt, deren Diamanten 1 in mehreren konzentrischen Kreisen liegen und Zuführungskanäle 2 für das Wasser besitzen, stellt man große Zylinder, besonders wenn es sich um eine Massenfabrikation von Steinwalzen für Walzenstühle, Papiermaschinen usw. handelt, durch *Bohrrohre* her, die den Zylinder aus dem vollen Stein ausschneiden, so daß er also als Kern stehen bleibt. Für weichere Gesteinsarten eignen sich hierzu eiserne Bohrrohre mit Diamantkrone, während man härteres Gestein mit Stahlbohrrohren unter Aufgabe von Sand und gehärteten Stahlkörnern bearbeitet. Man bezeichnet diese Maschinen daher auch als *Rohrbohrmaschinen*. Das Ausbohren des Kernes aus dem Vollen bringt wesentliche Vorteile, insbesondere die Vermeidung der Steinmetzarbeit, ferner Materialersparnis mit sich. Fig. 629 zeigt eine derartige Bohrmaschine, deren Bohrrohr 1 aus dem bereits fertigen Steinzylinder 2 das zentrale Loch ausbohrt. Zum Antrieb der Maschine dient die von einem Vorgelege aus angetriebene Scheibe 3, neben der eine Losscheibe 4 sitzt. Eine auf der Welle 5 der Scheibe 3 feste dreifache Stufenscheibe 6 treibt die Gegenstufenscheibe 7 mittels eines Riemens 8, der über die Leitrollen 9, 10 und 11 läuft. Die Scheibe 7 ist im Konsol 12 gelagert, das auf der Wandplatte 13 mittels Handrades 14 und Spindel in der Höhe einstellbar ist. Ein von der Scheibe 7 angetriebenes Kegelrädergetriebe 15 versetzt die Bohrspindel 16 in Drehung. Das Bohrrohr 1 ist mit der Bohrspindel 16 durch

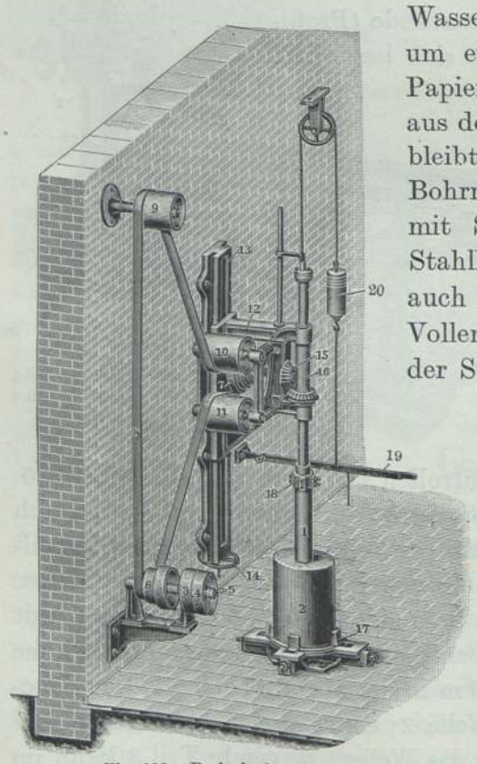


Fig. 629. Rohrbohrmaschine.

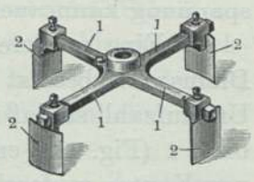


Fig. 630. Schälmeißel.

den Bohrkopf 18 verbunden. Für den Vorschub der Bohrspindel 16 ist ein Hebel 19 vorgesehen; durch ein Gewicht 20 wird die Bohrspindel 16 zeitweilig angehoben, damit frisches Wasser unter die Bohrkrone gelangen kann. An die Stelle des hier dargestellten Spannstockes 17, der mit dem Fußboden fest verbunden ist, tritt bei kleineren Bohrmaschinen eine kräftige hölzerne Bank. Zuweilen richtet man den Aufspanntisch auch so ein, daß er sowohl in der Höhe verstellt als auch geschwenkt werden kann. Diese Säulenbohrmaschine kann auch mit sogenannten *Schälmeißeln* (Fig. 630) arbeiten, die ebenso wie der Bohrkopf mittels Gewinde auf die Bohrspindel geschraubt werden. Die einzelnen, auf den Armen 1 verstellbaren, etwas gebogenen Stahlblechwerkzeuge 2 werden zum Bohren von feinkörnigem Sandstein, Kalkstein usw. auch mit Diamanten besetzt.

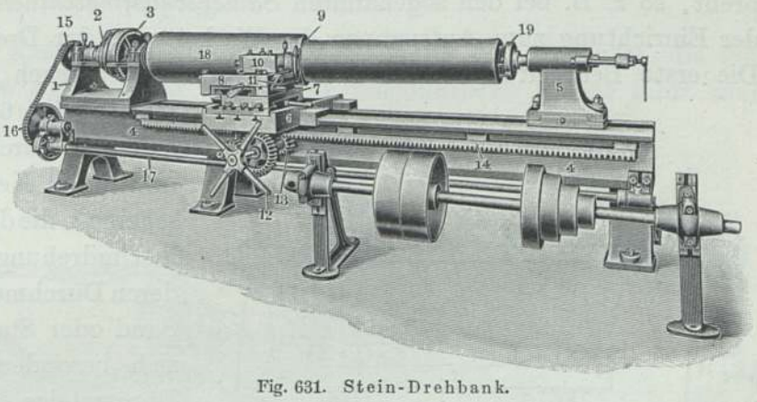


Fig. 631. Stein-Drehbank.

3. Hobeln.

Die *Hobelmaschinen* dienen, ebenso wie die Schleifmaschinen, zur Herstellung ebener und profilierter Flächen. Die Einrichtung und Handhabung ist den Eisenhobelmaschinen sehr verwandt; als Werkzeuge benutzt man Diamanten, feste Stähle oder Sprengscheiben (s. unten). Das Werkstück erhält auch hier eine hin und her gehende Bewegung. Die fertige Fläche ist noch rauh, bedarf daher der Nachbearbeitung durch Schleifen und Polieren.

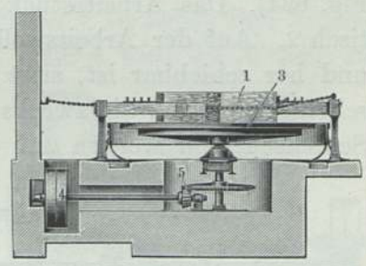


Fig. 632. Senkrechter Schnitt.

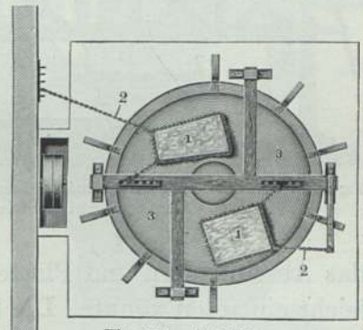


Fig. 633. Aufsicht.

Fig. 632 und 633. Schurscheibe.

4. Drehen.

Die Maschinen zum Abdrehen von Säulen, Einfassungsteilen u. dergl. ermöglichen sowohl eine Bearbeitung unter Verschiebung des Werkzeugträgers längs einer bettartigen Führung als auch eine Bearbeitung unter senkrechter Verschiebung des Werkzeuges zur Bettführung (s. Fig. 631). Die Drehbänke sind den zur Bearbeitung von Eisen üblichen ähnlich. Zum Antrieb dient auch hier ein Spindelkasten 1 mit mehrfacher Stufenscheibe 2 und Vorgelege 3. Gegenüber dem Spindelkasten 1 ist auf dem von Füßen getragenen Bett 4 der Reitstock 5 verschieb- und feststellbar. Der Support 6 besitzt einen parallel zur Bettmitte verschiebbaren Schlitten 7, auf dem ein senkrecht dazu beweglicher Schlitten 8 geführt ist. Das Werkzeug, das aus einer sogenannten *Sprengscheibe* (Rollmesser) 9, einem Drehstahl oder einem Diamanten bestehen kann, sitzt in einem Halter 10, der durch Kurbel 11 gedreht werden kann. Der Support ist von Hand durch den Stern 12 und das kleine Stirnrad 13 verschiebbar, das in die fest mit dem Bett 4 verbundene Zahnstange 14 greift. Für den selbsttätigen Vorschub ist auf der Spindel des Spindelkastens 1 das Kettenrad 15 vorgesehen; dieses treibt mittels des Gegenrades 16 und einer Stirnräderübersetzung die Welle 17, die durch Zwischengetriebe das kleine Stirnrad 13 dreht. Das Werkstück 18 wird durch Futter 19 zentrisch gehalten, und zwar dient das auf der Antriebsspindel des Spindelkastens sitzende Futter gleichzeitig als Mitnehmer. — Mit rollenden Messern dreht man auch Schleifsteine für mechanische Werkstätten ab, indem man das Messer ebenfalls mittels eines Schlittens gegen den umlaufenden Stein führt. Große scheiben- oder ringförmige Werkstücke bearbeitet man auf Drehbänken mit wagerechter Planscheibe, der man oft zum Bearbeiten von Segmenten statt der umlaufenden Bewegung eine Kehrbewegung erteilt.

5. Schleifen und Polieren.

Das zur Verfeinerung der beim Drehen und Hobeln rauh bleibenden Flächen erforderliche Schleifen hat, entsprechend der Gestalt der zu bearbeitenden Werkstücke, zu sehr mannigfaltigen Konstruktionen geführt. Zum Teil ersetzt man das Dreh- oder Hobelwerkzeug durch Schleifwerkzeuge, die man dann mit erhöhter Geschwindigkeit umlaufen läßt; zum Teil benutzt man Schleifbacken, die man unter Aufgabe von Sand oder Stahlkörnern gegen das Werkstück preßt, so z. B. bei den sogenannten *Säulenschleifmaschinen*, die hinsichtlich des Antriebes und der Einrichtung zum Aufspannen des Werkstückes der Drehbank (Fig. 631) sehr nahekommen. Die erste Bearbeitung erhalten die aus dem Steinbruch kommenden Blöcke auf der *Schurscheibe* (Fig. 632 und 633). Die Blöcke 1, 1 ruhen, lediglich durch ihr Eigengewicht niedergedrückt und durch Ketten 2, 2 gehalten, auf der Hartgußscheibe 3, die durch Scheibe 4 und Kegelradgetriebe 5 in Umdrehung versetzt wird. Auf die Scheibe 3, deren Durchmesser bis über 4 m beträgt, bringt man Sand oder Stahlkörner. Die Schurscheiben eignen sich besonders zur Herstellung von Platten für Bürgersteige, Treppenstufen, Pflastersteine usw. Vielfach benutzt man zum Schleifen besonders gestaltete, insbesondere zylindrische und flache Karborundwerkzeuge (*Karborund-Schleifmaschine*, Fig. 634). Das Arbeitsstück 1 ruht dabei auf dem zweckmäßig als Wagen ausgebildeten Werktisch 2. Auf der Arbeitswelle 3, die in Lagern 4 läuft und mittels einer Stellvorrichtung hin und her schiebbar ist, sitzt die Schleifwalze 5, und zu ihren Seiten befinden sich die Schleifscheiben 6 und 7, die zwecks leichten Aufbringens auf die Welle zweiteilig ausgeführt sind. Die Schleifscheiben werden auf der Welle 3 durch Keile 12 gehalten; auf den Scheiben sind die nötigenfalls auch zweiteiligen Schleifringe 8 und 9 angebracht. Die Verschiebung der Welle 3 erfolgt durch die mit einem Handrad 13 versehene Spindel 14, bei deren Drehung der Hebel 16 unter Vermittelung der Mutter 15 umgelegt und die in eine Ringnute der Welle greifende Muffe 17 verstellt wird. Rings um die Scheiben 6 und 7 sind die über die Schleifkörper 8 und 9 greifenden Reifen 11 gelegt, die in axialer Richtung entsprechend dem Verschleiß der Schleifkörper verschoben und mittels der Schrauben 10 festgestellt werden können. Die Reifen 11 haben den Zweck, das Abschleudern und Platzen der Schleifringe zu verhindern, das ohne Anwendung der Reifen leicht eintreten könnte. Die Schleifmaschine wirkt in der Weise, daß die Welle 3 bei gleichzeitiger Drehung von Hand oder auf mechanischem Wege hin und her bewegt wird und hierdurch abwechselnd die Scheiben 6 und 7 zur Wirkung auf die Seitenflächen des Werkstückes 1 gebracht werden, während Walze 5 die Oberfläche des Werkstückes abschleift.

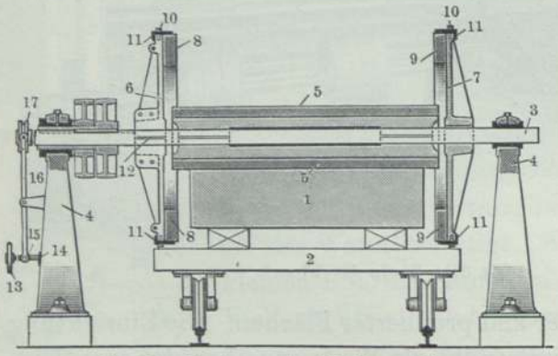


Fig. 634. Karborundschleifmaschine.

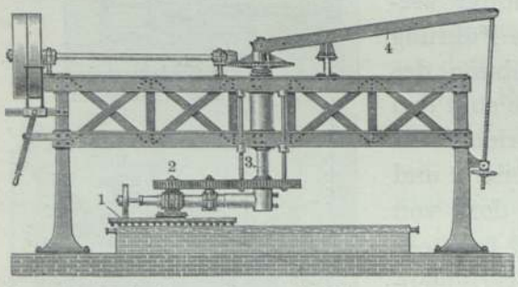


Fig. 635. Schleifmaschine mit Planetenbewegung für Lithographiesteine.

Will man größere Platten nur auf einer Seite bearbeiten, so benutzt man ebene Schleifscheiben, die an Gelenkarmen sitzen und durch Riemen in Umdrehung versetzt werden. Die Steinplatte liegt dabei auf einem Tisch oder auf Böcken, während die Schleifscheibe gehoben und gesenkt werden kann. Je nach dem Schleifmittel wird man gröbere oder feinere Risse auf der zu schleifenden Fläche erzeugen. Vorteilhaft benutzt man hier auch Schleifscheiben der in Fig. 635 dargestellten Art; hierdurch ergibt sich der Vorteil größerer Leistungsfähigkeit, da die Maschine mit größerer Umdrehungszahl arbeiten kann. Insbesondere eignen sich diese Maschinen zum Schleifen und Polieren, wenn man der Schleifscheibe 1 außer der Drehung um ihre eigene Achse 2 eine zweite

Drehung um die Achse 3 erteilt. Hierdurch entsteht eine Planetenbewegung, durch die eine tadellos ebene Fläche erzeugt wird. Zum Einstellen der Scheibe 1 gegen die zu schleifende Platte ist der Hebel 4 vorgesehen.

H. Holzbearbeitung.

1. Sägen.

Die Stämme der Laub- und Nadelhölzer wurden früher mit der Axt (Fällaxt), die von Hand geführt wurde, gefällt. Diese zeitraubende und nicht ungefährliche Arbeit führt man

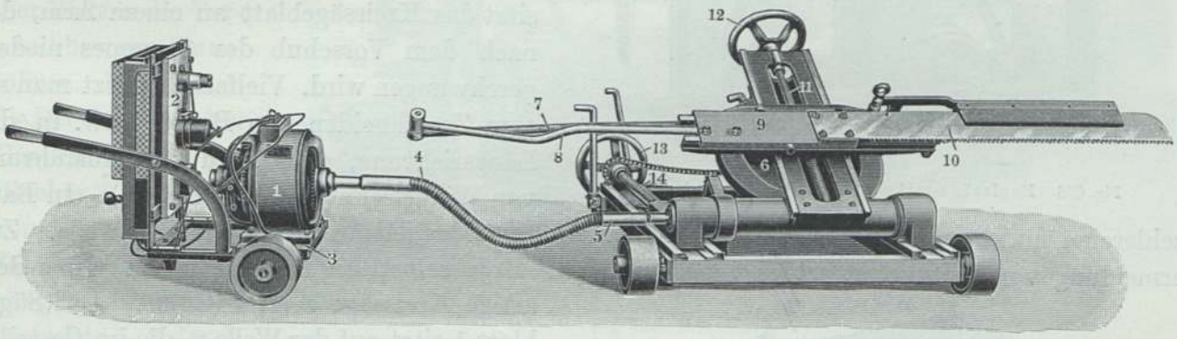


Fig. 636. Fahrbare elektrische Baumstamm-Fäll- und Quersäge.

mechanisch mit Hilfe der *fahrbaren Quersäge* (Fig. 636) aus. Der Motor 1 ist nebst dem Anlaßwiderstand 2 auf dem Wagen 3 angeordnet. Durch eine biegsame Welle 4 wird die Welle 5 in Umdrehung versetzt, die ein Schneckenrad 6 treibt. Letzteres erteilt mittels der Kurbelstange 7, die am Arm 8 angreift, dem Schlitten 9 eine hin und her gehende Bewegung. Zum Fällen von Bäumen befestigt man mittels eines Winkels das Sägeblatt 10 senkrecht auf dem Schlitten 9; dieser wird in die senkrechte Lage geschwungen, so daß das Sägeblatt in horizontaler Ebene liegt. Zur Höheneinstellung des Sägeblattes dient die Spindel 11 mit Handrad 12; zum Vorschub das Handrad 13 und zwei durch Kettentrieb verbundene Spindeln 14. Diese Sägemaschine läßt sich auch zum Quer- und Schrägschneiden benutzen.

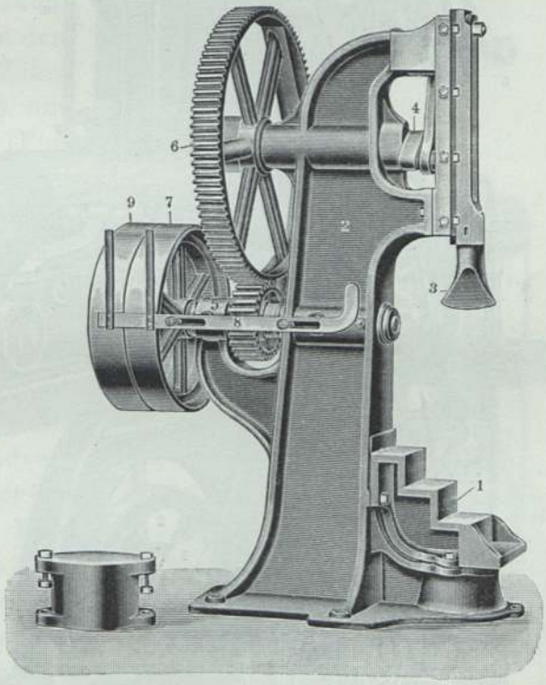


Fig. 637. Holzspaltmaschine.

Diejenigen Stämme, die zu Brennzwecken dienen sollen, zersägt man in kurze Stücke, die danach längs gespalten werden. Eine hierzu dienende mechanische Vorrichtung zeigt Fig. 637 *(Spaltmaschine)*. Der Holzblock wird auf die treppenförmige Unterlage 1, die mit dem Maschinenständer 2 fest verbunden ist, so gelegt, daß die Hirnseite nach oben zeigt. Der als Werkzeug dienende Spaltmeißel 3 kann je nach der Art des Holzes mehr oder weniger tief in den Holzblock eindringen. Der Meißel 3 erhält seine Bewegung durch eine Kurbelwelle 4, die durch Stirnräder 5, 6 von der Antriebsscheibe 7 aus in Umdrehung versetzt wird. Behufs sofortigen Stillsetzens der Vorrichtung schiebt man den Riemen mittels des Ausrückers 8 von der Festscheibe 7 auf die Losscheibe 9. — Zur Gewinnung von Nutzholz entfernt man die Rinde des Stammes. Will man dabei den Stamm selbst nicht angreifen, so benutzt man *Rindenschälmaschinen*, die

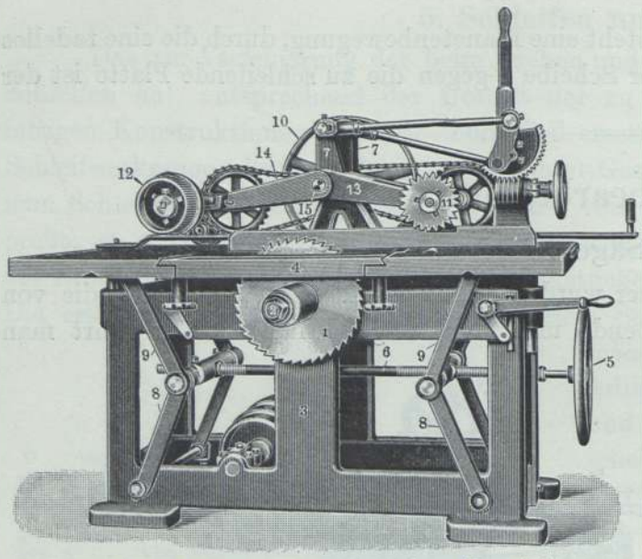


Fig. 638. Kreissäge mit selbsttätigem Vorschub.

mit kreisenden Drahtbürsten arbeiten; oder man bringt mehrere Stämme in eine Trommel, durch deren Drehung die Stämme gegeneinanderschlagen.

Die so vorbereiteten Stämme werden zu Balken, Brettern oder Latten mittels der *Sägemaschinen* zerlegt. Letztere zerfallen in *Kreissägen*, *Gattersägen* und *Bandsägen*. Bei den *Pendelsägen*, die zum Zerteilen von Stämmen usw. in der Querrichtung dienen, sitzt das Kreissägeblatt an einem Arm, der nach dem Vorschub des Stammes niedergeschwungen wird. Vielfach benutzt man sie zum Zerschneiden von Balken usw. in der Längsrichtung, oder auch zur Ausführung von Winkelschnitten (Gehrungen). In Bautischlereien findet man auch Kreissägen mit mehreren Sägeblättern auf einer Sägewelle. Zur Vermeidung von Zeitverlust ist es vorteilhaft, das Holz selbsttätig vorzuschieben. Eine derartige Kreissäge zeigt Fig. 638. Das Sägeblatt 1 sitzt auf der Welle 2, die im Gestell 3 gelagert ist. Der Tisch 4, auf den die zu zerteilenden Bretter gelegt werden, ist durch Handrad 5 nebst Rechts- und Linksgewindespindel 6 und Kniehebeln 8, 9 heb- und senkbar. Eine oberhalb des Tisches 4 gelagerte Riemenscheibe 10 treibt durch Ketten die Zackenräder 11, 12, die das Brett usw. selbsttätig vorschieben. Um die Zackenräder entsprechend der Dicke des Holzes einstellen zu können, sind diese an Armen 13, 14 gelagert, die um die Achse 15 der Scheibe 10 durch Hebel 7 geschwungen werden können. — *Gattersägen* arbeiten mit gespannten Blättern, die durch einen Rahmen (Gatterrahmen) auf und nieder (Vertikalgatter), zuweilen auch horizontal hin und her (Horizontalgatter) geführt werden. Je nach der Stellung und der Zahl der Sägen bezeichnet man die Gatter als Mittelgatter (mit einem Sägeblatt in der Mitte des Rahmens), Seitengatter (mit einer Säge an der Seite), Doppelgatter (mit zwei Sägen), oder als Voll- oder Verbundgatter (mit mehr als zwei Sägen). Eine *Vertikalvollgattersäge* zeigt Fig. 639. Bei dieser Maschine dreht sich die von der Riemenscheibe 1 angetriebene, mit Schwungrädern 2, 2 versehene Gatterwelle 3 in Lagern im Unterteil des Maschinengestelles 4, 4. Die Welle 3 setzt durch zwei Kurbeln und Kurbelstangen 6 das Gatter 7 in senkrechte Auf- und Abbewegung, wobei die Gatterriegel 8 in Schlitzen des Gestelles 4, 4 gleiten. Der Block 9

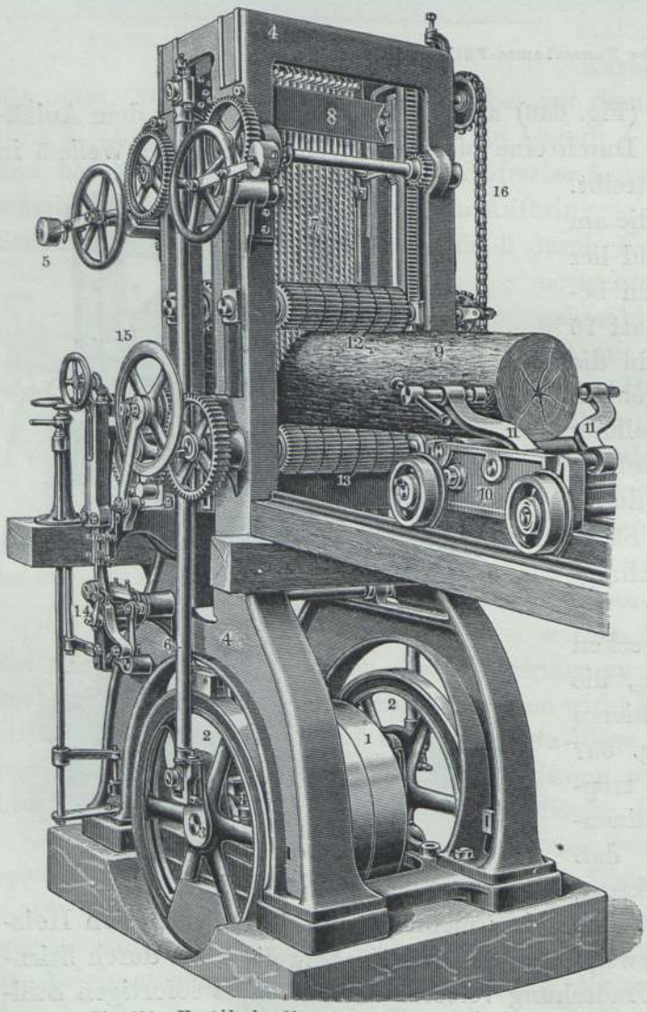


Fig. 639. Vertikalvollgattersäge von Kirchner.

wird auf zwei Wagen 10 durch Schraubklauen 11, 11 befestigt. Zum Vorschieben des Blockes 9 dient ein Paar gezahnter Walzen 12, 13 vor und ein gleiches Paar hinter dem Gatter. Der Vorschub erfolgt von einem Exzenter der Gatterwelle 3 aus, das die Schaltvorrichtung 14 in Tätigkeit setzt; diese wirkt absatzweise auf das Schaltrad 15, dessen Drehung durch Zahnräder auf die Walzen 13 übertragen wird. Eine endlose Kette 16 übermittelt die Bewegung den Walzen 12, so daß alle vier Walzen die Vorschubbewegung ausführen. Damit sich die Druckwalzen den Unebenheiten des Blockes 9 anpassen können, sind sie an Zahnstangen angehängt, auf welche Gewichte 5, 5 durch Zahnradübertragungen nachgiebig wirken. — Von den *Horizontalgattern* zeigt Fig. 640 eine sehr gebräuchliche Konstruktion. Das Hohlgestell 1 trägt die Führung 2, auf welcher der Gatterrahmen 3, der seine Bewegung von der Kurbelscheibe 4 und Stange 5 erhält, gleitet. Da die Sägemaschine häufig zum Schneiden von Furnieren benutzt wird, gibt man dem Sägeblatt 6 oft eine nur geringe Dicke (0,3 mm). Die Zähne sind dabei sehr wenig geschränkt, so daß aus 25 mm Blockdicke 16—18, im günstigsten Falle 25 Blätter (Furniere) geschnitten werden können. Bei Anwendung sehr schwacher Sägeblätter müssen die Späne mit Sicherheit aus den Zähnen derselben entfernt werden, um Brüche zu verhüten. Dazu sind auf der Vorderseite des Schlittens zwei Führungslineale 18 angebracht, die dem Rahmen 3 mit dem Sägeblatt 6 eine bogenförmige Bewegung erteilen. Man nennt derartige Vorrichtungen *Brust*. Die Führung 2 ist in der Höhe durch Spindeln 8, 9 verstellbar, die unter sich durch Kegelräder 10, 11 verbunden sind. Zur Handverstellung ist das Griffrad 12 vorgesehen, das auf ein mit der Spindel 8 verbundenes Kegelrädergetriebe 13 wirkt. Eine vom Hauptantrieb aus antreibbare Scheibe 14 kann die Führung 2 maschinell heben und senken. Der Block 15 ist durch eiserne Klammern 16 auf dem Wagen 17 befestigt; letzterer läuft auf Rollen und erhält durch ein Riemenwendegetriebe 7 eine langsame Vor- und eine schnelle Rückwärtsbewegung.

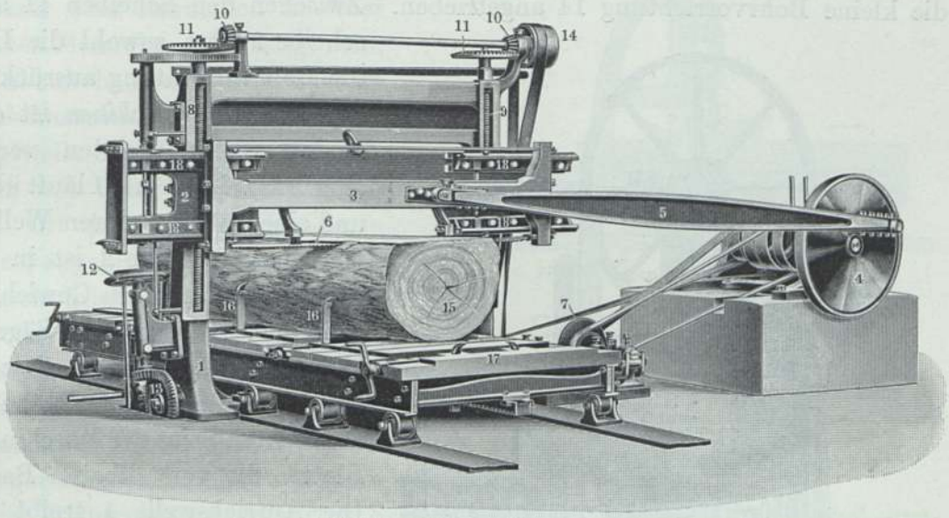


Fig. 640. Horizontalgattersäge.

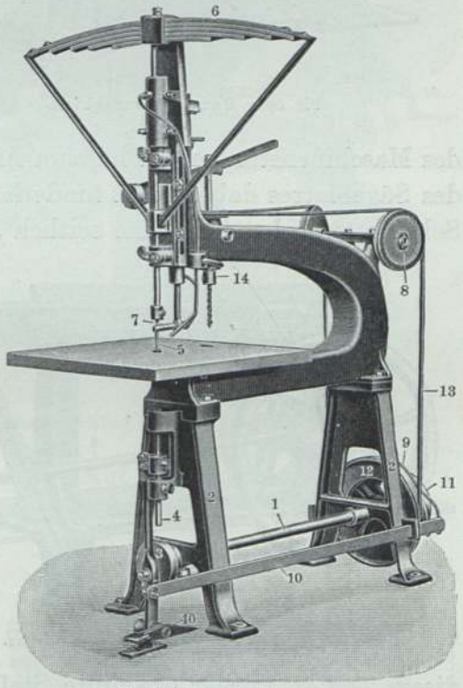


Fig. 641. Dekupiersäge.

Während die Gattersägen nur die Ausführung gerader Schnitte gestatten, ermöglichen die *Wipp-* oder *Dekupiersägen* sowie die Bandsägen auch das Ausschneiden kurvenförmig begrenzter Teile. In Fig. 641 ist eine Dekupiersäge dargestellt. Der Antrieb erfolgt von der Welle 1, die unten im Gestell 2 gelagert ist und vorn eine Kurbelscheibe 3 trägt; eine Bleuelstange setzt Führung 4 mit Sägeblatt 5 in senkrechte Bewegung. Zwecks Spannung des Sägeblattes ist eine Holzfeder 6 vorgesehen, während eine Führung 7 das Blatt 5 vor Abweichungen aus der Schneidebene, dem

sogenannten *Verlaufen* bewahrt. Die Antriebswelle 1 ist mit drei Scheiben ausgerüstet: schiebt man den von einer Transmission kommenden Riemen durch den Fußtrittriemenrücker 10 auf die äußerste Scheibe 11, so wird die Dekupiersäge in Bewegung gesetzt; schiebt man dagegen den Riemen auf die vordere Scheibe 12, so wird durch die Pese 13, die über die Laufrollen 8 geführt ist, die kleine Bohrvorrichtung 14 angetrieben. Zwischen den Scheiben 11 und 12 liegt eine Losscheibe 9, um sowohl die Dekupiersäge als auch die Bohrvorrichtung ausrücken zu können. — Bei den *Bandsägemaschinen* ist das Sägeblatt an den Enden durch Verlöten verbunden, also endlos (Fig. 642). Das Blatt 1 läuft über eine obere Scheibe 2 und eine untere 3, deren Welle 4 angetrieben wird. Die obere Scheibe 2 ist in einem Schlitten 5 gelagert, der durch ein Gewicht 6 ständig nach oben gepreßt wird, um das Sägeblatt 1 straff zu erhalten; außerdem kann aber der Schlitten 5 auch durch Handrad 7 in der Höhe verstellt werden. Auf der rechten Seite der Maschine sind zur Führung des Blattes die verstellbaren Backen 8, 9 vorgesehen. Die Antriebswelle 4 treibt durch Stufenscheiben 10, 11 die Zahnräder 12, 13, die mit zwei senkrechten Vorschubwalzen fest verbunden sind. Die beiden Gegenwalzen 14, 15 sind auf einem Schlitten 16 gelagert, der durch Gewicht 17 gegen das zu zerschneidende Stück gedrückt wird. — Bei einfachen Bandsägen schiebt man häufig das Werkstück von Hand vor, wozu man sich vorteilhaft einer *Lade* bedient. In manchen Fällen genügt die Ausladung des Maschinenständers nicht zum Abschneiden größerer Längen; auch ist das rücklaufende Ende des Sägeblattes dabei leicht hinderlich. Man führt dann das letztere von der unteren (treibenden) Scheibe zunächst über eine seitlich am Gestellrahmen gelagerte dritte und von dieser über die obere Scheibe. Hierbei verändert man zwecks Nachspannens des Blattes häufig die Lage der seitlichen Scheibe. Zuweilen gibt man auch der Ebene, die durch die Zähne des Sägeblattes bestimmt ist, also auch der Ebene, in der die beiden Scheiben liegen, eine geringe Schräglage gegen die Richtung, in der das Holzstück vorgeschoben wird; es ist jedoch in diesem Falle erforderlich, den abwärtslaufenden, also schneidenden Teil (das Blatt) wiederum unter Benutzung von Rollen- oder Backenführungen so zu verdrehen, daß dieser Teil die vorher erwähnte Stellung zum Holzstück einnimmt. Der aufwärts laufende (nicht schneidende) Teil des Sägeblattes liegt dann um eine von der Schräglage abhängige Strecke zurück, so daß besonders nicht allzu breite Stücke durchschnitten werden können, ehe sie mit dem rückwärts laufenden Teil des Sägeblattes in Berührung kommen.

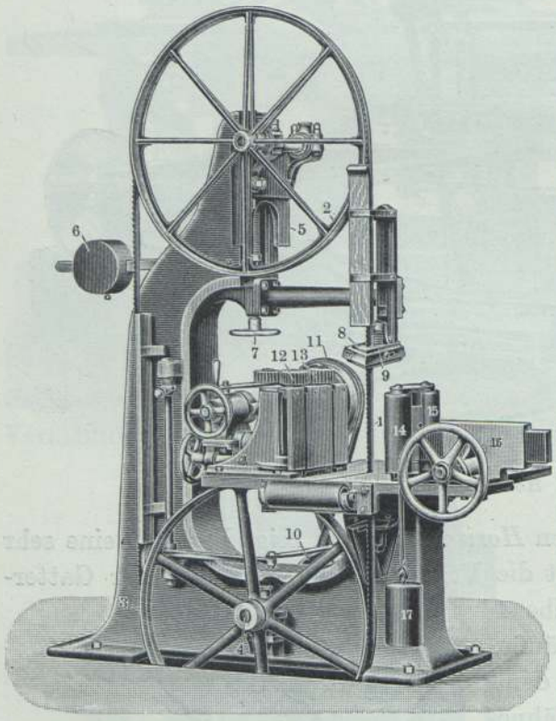


Fig. 642. Bandsägemaschine.

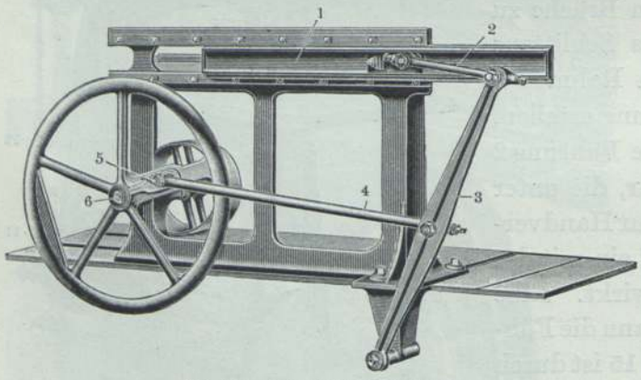


Fig. 643. Fughobelmaschine.

2. Hobeln.

Bei der Verarbeitung großer Mengen von Hölzern ersetzen die *Hobelmaschinen* die Handarbeit, die nur noch in seltenen Fällen unter Benutzung von Hobeln, Rauhbänken und

Fügebänken ausgeübt wird. Entgegen der Ausrüstung der Handwerkszeuge versieht man die Hobelmaschinen nur in Ausnahmefällen mit feststehenden, wirklichen Hobelmessern, da hierbei nur eine geringe Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit anwendbar ist. In der Regel erteilt man dem Werkzeug eine sehr schnelle, kreisende Bewegung. Dabei können die Messer oder Schneiden in einer Scheibe, dem sogenannten Messerkopf, befestigt sein, die sich in einer zur abzuhobelnden fast parallelen Fläche dreht *(Querhobelmaschinen)*. Eine geringe Neigung der Messerkopfwelle empfiehlt sich, um die zurücklaufenden Messer mit dem Werkstück außer Berührung zu bringen. Oft sind auch die Messer in einer Walze (Messerwalze) angebracht, deren Drehung entgegengesetzt zur Vorschubrichtung des Holzblockes gerichtet ist *(Walzen-* oder *Langhobelmaschinen)*.

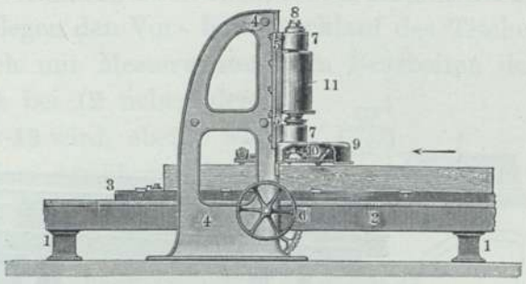


Fig. 644. Querhobelmaschine.

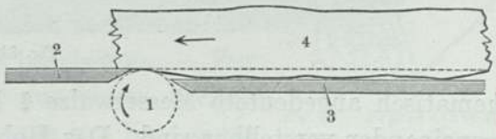


Fig. 645. Schema einer Abrichtmaschine.

Die Hobelmaschinen mit geradlinig bewegtem Messer, die sogenannten *Fughobelmaschinen* (Fig. 643), werden hauptsächlich angewandt, wo es sich um die Herstellung genau gerader Kanten handelt. In dem zwischen nachstellbaren Prismenleisten geführten Schlitten 1 sitzt ein als Doppelhobel ausgebildetes, aus dem eigentlichen Messer und einer daraufliegenden Platte (Klappe) bestehendes Werkzeug. Der Schlitten ist durch die Lenkerstange 2 mit der Schwinge 3 verbunden, die mittels Stange 4 vom Kurbelzapfen 5 der Antriebswelle 6 in Bewegung gesetzt wird. Die zu bearbeitenden Teile werden einzeln, oft auch mehrere gleichzeitig auf dem (in der Figur auf der abgewandten Seite liegenden) Tisch festgehalten.

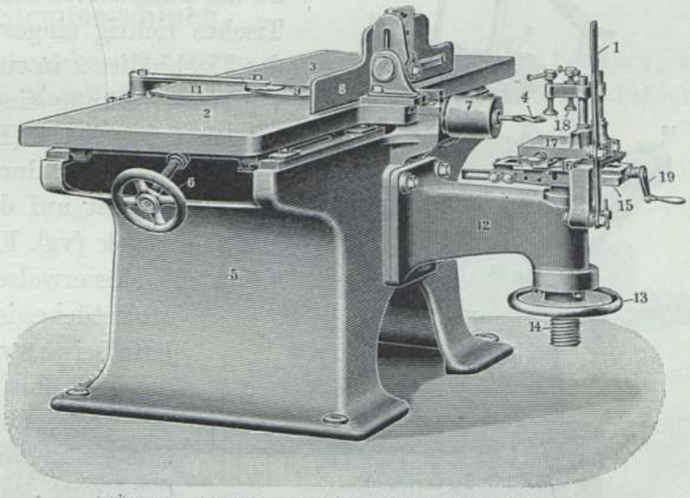


Fig. 646. Abrichtmaschine mit Bohrvorrichtung.

Die Querhobelmaschinen eignen sich zum Abflächen von Dielen, Bohlen u. dergl.; sie zerfallen in *Schrupphobelmaschinen*, deren Messer nach einem kleinen Radius an der arbeitenden Kante abgerundet sind, und in *Schlichthobelmaschinen* mit im wesentlichen geradlinigen Messern. Eine Maschine der letzteren Art zeigt Fig. 644. Auf dem von den Füßen 1, 1 getragenen Bett 2 bewegt sich der Tisch 3 mit dem zu bearbeitenden Balken od. dergl. in der Pfeilrichtung. Seitlich zum Bett 2 sind zwei Ständer 4 vorgesehen, auf denen ein Schlitten 5 geführt ist; zur Höhenverstellung des Schlittens steht das Handrad 6 mit im Innern der Ständer 4 liegenden Spindeln in Verbindung. Der Schlitten 5 trägt in Lagern 7 die Welle 8, an deren unterem Ende der aus der Scheibe 9 und den Messern 10 bestehende Messerkopf sitzt. Die Achse des Messerkopfes liegt vorteilhaft etwas schräg. Der Antrieb der Messerwelle 8 erfolgt gesondert von der Hin- und Herbewegung des Tisches 3 durch die Riemenrolle 11. — Die Messerscheibe ist zuweilen so groß, daß zwei nebeneinanderliegende Bohlen usw. bearbeitet werden können. — Zur Bearbeitung von Platten für Türfüllungen ordnet man zwei Messerköpfe an, die um wagerechte Wellen drehbar sind. Die Werkstücke werden dabei zwischen Winkeln geführt.

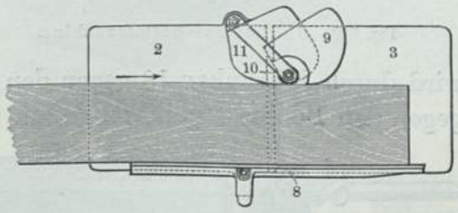


Fig. 647. Sicherheitsvorrichtung zur Abrichtmaschine.

Die *Walzenhobelmaschinen* zerfallen in *Langhobelmaschinen* und *Abrichtmaschinen*. Bei letzteren ist die Messerwelle mit zwei, drei, vier, zuweilen auch mit sechs Messern besetzt. Die Bearbeitung eines Holzstückes geht dabei in der aus Fig. 645 ersichtlichen Weise vor sich. Die

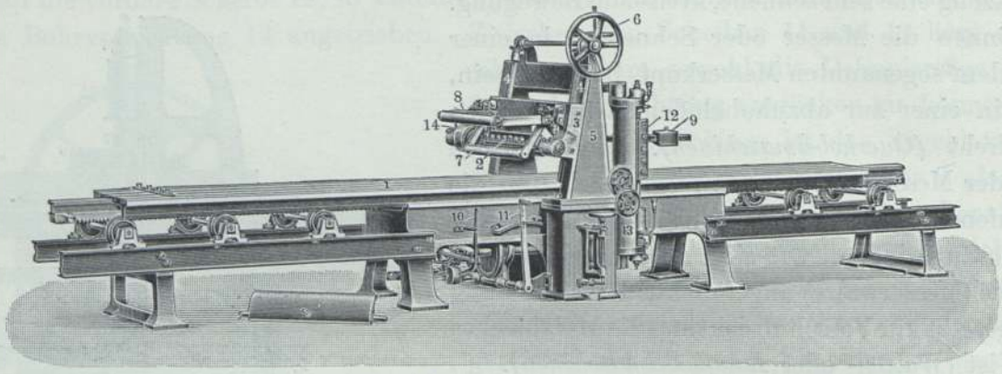


Fig. 648. Langhobelmaschine.

schematisch angedeutete Messerwalze 1 liegt unterhalb des Tisches 2, 3, dessen beide Hälften gegeneinander verstellbar sind. Das Holzstück 4 wird auf den Tisch 3 aufgelegt und gegen die Messerwalze 1 geführt, wozu mitunter eine Führungslade, d. h. ein besonderes Holzstück mit Griff, benutzt wird. Die untere Fläche des Holzstückes 4 wird dabei durch die Messerwalze bis zu der punktierten Linie abgearbeitet. Sind die Hälften 2, 3 des Tisches richtig eingestellt, so muß die entstehende Fläche mit der Tischhälfte 2 in einer Höhe liegen, sich also auf dieser genau führen. — Häufig sind die Abrichtmaschinen mit Bohrvorrichtungen ausgerüstet (Fig. 646). Das Gestell 5 trägt den Tisch 2, 3, dessen Teil 2 durch Handrad 6 verstellbar gegen 3 ist. Die Messerwalze ist auf der Welle der Antriebsscheibe 7 befestigt. Das Holzstück (vgl. Fig. 647) wird von Hand über den Tisch 2 gegen die Messerwalze geschoben; zur seitlichen Führung des Holzstückes ist die unter verschiedenen Winkeln einstellbare Leiste 8 vorgesehen. Während des Vorschubes drängt das Holz eine die Messerwalze zum Schutze des Arbeiters überdeckende Platte 9 zur Seite, so daß nur ein Teil des Spaltes 10 zwischen den Tischen 2, 3 frei wird, der gleich der Breite des Holzes ist, wohingegen der übrige Teil des Spaltes 10 durch die Platten 9, 11 überdeckt bleibt. Die Bohrvorrichtung besteht aus einem am hinteren Ende der Maschine von dem Arm 12 getragenen und durch Handrad 13 nebst Spindel 14 in der Höhe verstellbaren Kreuzsupport 15, 16, 17. Das zu bohrende Holzstück wird durch Schrauben 18 gegen den Oberschieber 17 gespannt und durch Drehen der Kurbel 19 gegen den Bohrer 4 geführt, der in der Messerwelle befestigt ist. Behufs Herstellung von Langlöchern wird der Schieber 17 mit dem Holzstück durch Handhebel 1 auf dem Mittelschieber 16 hin und her bewegt.

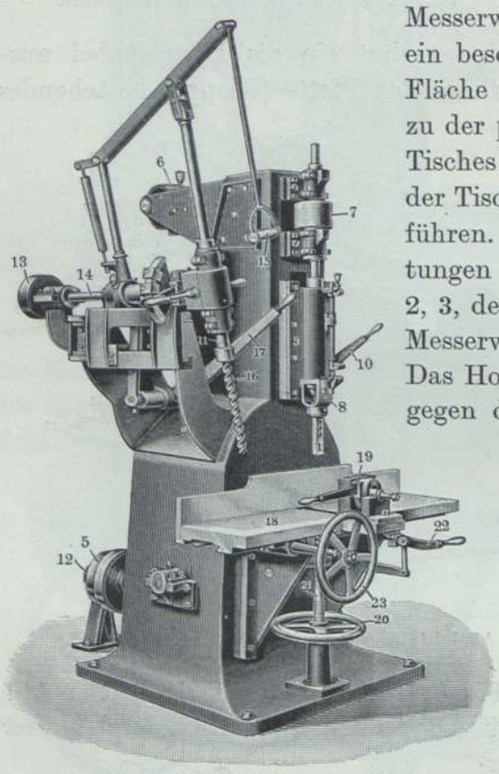
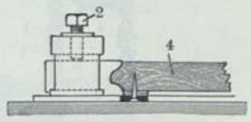


Fig. 649. Hohlmeißel-Stemmaschine.

Fig. 650. Hohlmeißel zur Stemmaschine.

Die *Langhobelmaschinen*, auch *Dicktenhobelmaschinen* genannt (Fig. 648), führen das abzuhobelnde Holzstück mittels eines längsverschiebbaren Tisches 1 einer oberhalb desselben liegenden Messerwalze 2 entgegen. Der Führungsschlitten 3 der letzteren ist auf den schrägen Flächen 4, 4 der Seitenständer 5, 5 durch Handrad 6 und Spindeln entsprechend der herzustellenden Dicke der Bohle usw. einstellbar. Vielfach

ordnet man vor und hinter der Messerwalze zwei Druckwalzen 7, 8 an, um ein Splittern des Holzes zu verhindern. Den Anpressungsdruck erhalten die Walzen 7, 8 durch Gewichtshebel 9. Die Bewegung des Tisches 1 erfolgt mittels Riemen von einem Fußbodenvorgelege aus. Um die Größe des Vorschubes entsprechend der Art des Holzes verändern zu können, ist ein Handhebel 10 vorgesehen, während ein weiterer Hebel 11 durch Umlegen den Vor- bzw. Rücklauf des Tisches einleitet. Vielfach sind die Langhobelmaschinen noch mit Messerwalzen zum Bearbeiten der Kanten des Holzes versehen. Eine solche Walze ist bei 12 neben dem rechten Seitenständer 5 gelagert; ihre Antriebsscheibe 13 wird, ebenso wie die Scheibe 14 der horizontalen Messerwalze, von dem erwähnten Fußvorgelege aus angetrieben.



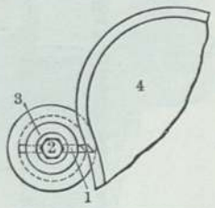


Fig. 651. Fräser einer Holzfräsmaschine (Fräsen eines Profils nach Schablone).

Die den Langhobelmaschinen ähnlichen *Kehl-* oder *Gesimshobelmaschinen* besitzen 2—6 Schneidemesser, deren Form sich nach der herzustellenden Schweifung richtet. Für schmale Holzleisten benutzt man Messer, die das ganze Profil aufweisen; sehr breite Leisten stellt man mit Messern her, die nacheinander verschiedene Profilteile bearbeiten. — Zur Herstellung schmaler Kehlleisten arbeitet man auch aus einem breiten Brett mehrere Profile aus und zerschneidet dasselbe danach mit Kreissägen zu Leisten. *Rundstabhobelmaschinen* stellen runde Besenstiele, Schirmstöcke u. dergl. aus vierkantig zugeschnittenen Hölzern her, indem diese durch Rollen od. dergl. einem Messerkopf zugeführt werden, dessen Messer in die innere Bohrung hineinragen.

3. Stemmaschinen.

Diese Maschinen dienen zur mechanischen Herstellung von scharfkantigen Löchern, zu welchem Zwecke sie Werkzeuge, die den Handbeiteln sehr ähnlich sind, hin und her führen. Häufig müssen die Löcher vorgebohrt werden, so daß der Beitel nur das zwischen den Löchern stehen gebliebene Material wegzuschneiden hat. Man ordnet daher neben der senkrechten Führung für den Beitel in der Regel eine Bohrmaschine an. Das Holzstück wird auf dem Tisch der Maschine befestigt, der in der Höhen- und in der Seitenrichtung einstellbar ist. Zur Längsverschiebung des Aufspanntisches dienen häufig Zahnstangengetriebe. Die Maschinen sind freistehend oder werden an einer senkrechten Wand mittels geeigneter Platte befestigt. In manchen Fällen bewegt man den Stemmeißel auch in horizontaler Richtung. Die sogenannten *Hohlmeißel-Stemmaschinen* (Fig. 649 u. 650) arbeiten mit einem Meißel 1, in dessen innerer Höhlung ein Bohrer 2 läuft. Dieser erhält seine Umlaufbewegung durch einen über die Scheiben 5, 6, 7 laufenden Riemen. Der Hohlmeißel 1 ist durch den zylindrischen Hals 4 und den Halter 8 am Schlitten 9 befestigt. Mittels Handhebels 10 wird dieser niederbewegt, wobei das Loch gleichzeitig gebohrt und gestoßen wird. Die entstehenden Späne fallen durch die Öffnung 3 des Hohlmeißels 1 ab. Die Maschine besitzt auf der linken Seite eine schräg stellbare Bohrvorrichtung, deren Spindel 11 durch die

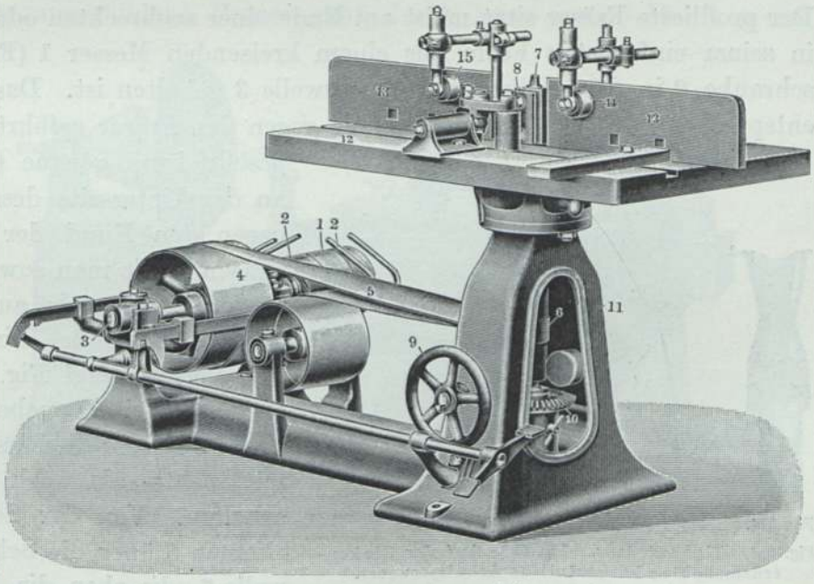


Fig. 652. Holzfräsmaschine.

Scheiben 12, 13 und die Welle 14 angetrieben wird. Durch Ziehen am Griff 15 wird der Bohrer 16 gesenkt. Zur seitlichen Einstellung ist der Hebel 17 vorgesehen. Das zu bearbeitende Stück wird durch Klemme 19 auf dem Tisch 18 befestigt, der durch Handrad 20 nebst Gewindespindel 21 in der Höhe, durch Handhebel 22 in der Querrichtung und durch Handrad 23 in der Längsrichtung verstellt werden kann.

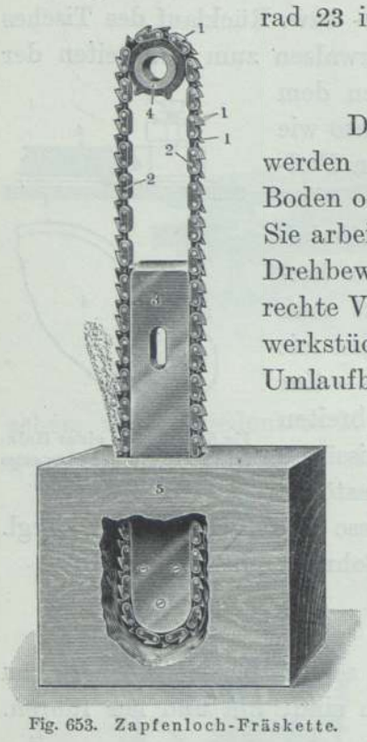


Fig. 653. Zapfenloch-Fräskette.

4. Bohren.

Die zur Herstellung kreisrunder Löcher dienenden *Bohrmaschinen* werden als *Säulenbohrmaschinen* (freistehende Bohrmaschinen) auf dem Boden oder als *Wandbohrmaschinen* an einer Wand der Werkstatt befestigt. Sie arbeiten meist mit einer Bohrspindel, die durch Reibräder od. dergl. ihre Drehbewegung und außerdem durch Hand- oder Fußtritthebel eine senkrechte Verschiebung gegen das auf einem einstellbaren Tisch befestigte Holzwerkstück erhält. Beim Langlochbohren wird das Holzstück während der Umlaufbewegung des Bohrers quer zu dessen Längsachse verschoben. Diese sowie die gewöhnlichen Bohrmaschinen sind sehr häufig mit anderen Maschinen vereinigt (vgl. Fig. 646 und Fig. 649). Durch Bohren erzeugt man nicht nur gewöhnliche Löcher und Schlitze, sondern auch Röhren. Diese bohrt man mit Schneckenbohrern vor und gegebenenfalls mit einem messerartigen Nachbohrer, dem sogenannten *Schweinerüssel*, weiter aus. Lange Röhren von 3—4,5 m bohrt man auf liegenden Röhrenbohrmaschinen von zwei Seiten.

5. Fräsen.

Die *Fräsmaschinen* sind den Kehlhobelmaschinen ähnlich. Der profilierte Fräser sitzt meist am Ende einer senkrechten oder wagerechten Welle. Er besteht in seiner einfachsten Form aus einem kreisenden Messer 1 (Fig. 651), das durch eine Spannschraube 2 in der senkrechten Messerwelle 3 gehalten ist. Das zu bearbeitende Stück 4 wird entsprechend seiner Umgrenzungslinie gegen den Fräser geführt. Um dem Werkstück eine vorgeschriebene, genaue Gestalt zu geben, befestigt man an der Unterseite desselben eine Schablone, die man gegen den Bund der Fräserwelle drückt. — Durch Fräsen stellt man sowohl profilierte Leisten, z. B. für Bilderrahmen, als auch Rotationskörper her, z. B. Säulen, Tischfüße. Eine Fräsmaschine zum Profilieren von Leisten zeigt Fig. 652. Der Antrieb erfolgt durch die Festscheibe 1, neben der zwei Losscheiben 2 auf der Welle 3 sitzen; die Maschine kann infolgedessen sowohl mit rechts- als auch mit linksschneidendem Fräser arbeiten. Von der Scheibe 4 der Welle 3 führt der Riemen 5 über die Scheibe 6 der senkrechten Messerwelle 7, die oben die Messer 8 trägt. Zur Höhenverstellung dieser Welle ist das Handrad 9 und das Kegelradgetriebe 10 vorgesehen. Auf dem Hohlgußgestell 11 sitzt der Tisch 12, der zum Fräsen unterschnittener Profile schräg gestellt werden kann. Das Holzstück wird am Lineal 13, ferner zwischen den Rollen 14 und 15 geführt.

Fig. 654.

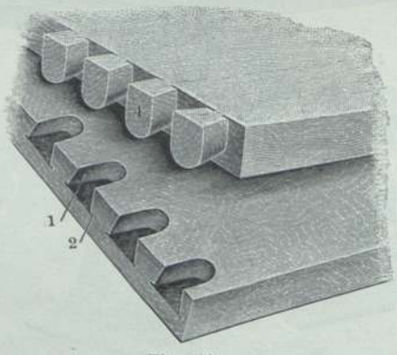


Fig. 655.

Fig. 654. Zinkenfräser. Fig. 655. Auf der Zinkenfräsmaschine hergestelltes Arbeitsmuster.

Zur Herstellung von Rotationskörpern dient die *Rundfräsmaschine*, bei der außer dem Fräser auch der Holzstab umläuft. Oft führt man den Fräser, der in diesem Falle nicht profiliert ist, nach Schablonen *(Schablonen-* oder *Kopierfräsmaschinen);* auf diese Weise stellt man z. B. Tabakspfeifen, Schuhleisten u. dergl. her.

Auch kantig begrenzte, sogenannte Zapfenlöcher erzeugt man durch Fräsen (s. Fig. 653),

und zwar unter Benutzung einer mit Schneidezähnen 1 besetzten Kette 2, die über eine Führung 3 läuft, durch gleichzeitiges Vorschieben der Führung 3 nebst dem antreibenden Kettenrade 4 wird das Loch im Holzblock 5 bis zur gewünschten Tiefe ausgearbeitet. — Durch Fräsen stellt man ferner die Zinken, die zwecks Verbindens zweier Bretter an den Kanten ineinander greifen, mittels *Zinkenfräsmaschinen* (Fig. 654 und 655) her. Die Werkzeuge *(Zinkenfräser)* sind kegelförmig, entsprechend der Schräge der Ausschnitte 1. Sie erhalten vorteilhaft einen sägenartigen Rand 3, der die Ecken der Ausschnitte mit kleinen Nuten 2 versieht, so daß die in 1 hineingreifenden Vorsprünge 4 an den Kanten nicht drücken können. Die Zinkenfräser sind an den vertikalen Spindeln der Zinkenfräsmaschine befestigt. Gegen sie wird das Brett mit einer Stirnseite geführt.

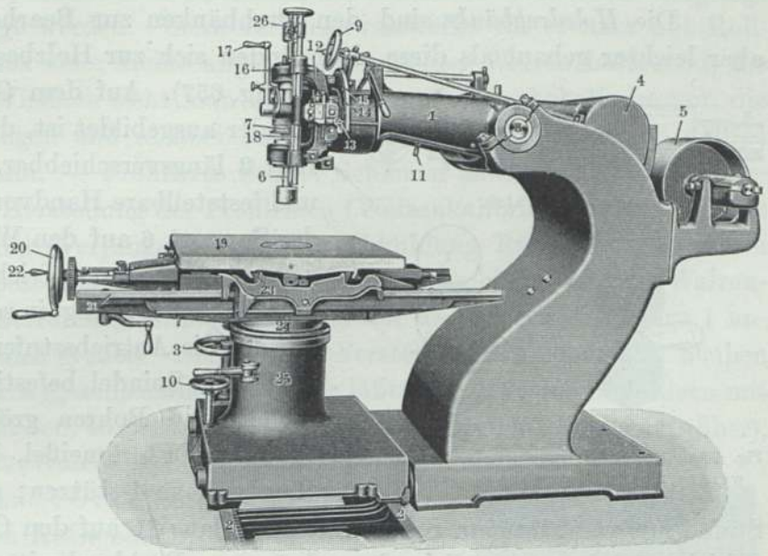


Fig. 656. Universal-Holzfräsmaschine.

Die *Universalfräsmaschine* ist zur Anfertigung auch solcher Teile geeignet, die infolge ihrer komplizierten Form bisher ausschließlich von der Hand hergestellt werden mußten, wie z. B. Modelle, Kernkasten u. dergl. Die in Fig. 656 dargestellte Universalfräsmaschine läßt sich außerdem zum Bohren, Zapfenschneiden, Schlitzen sowie für fast alle in der Holzbearbeitung vorkommenden Arbeiten verwenden. Der Arm 1 ist bei 4 als Gegengewicht ausgebildet. Ferner geht durch seine innere Höhlung ein Riemen hindurch, der von der treibenden Scheibe 5 aus die Scheibe 7 der Arbeitsspindel 6 antreibt. Der Arm 1 ist um den Gelenkbolzen 8 drehbar und durch ein Handrad 9, das mittels eines Kegelrädergetriebes auf ein im Innern dieses Armes 1 angeordnetes Klemmgesperre wirkt, feststellbar. In der horizontalen Lage wird der Arm durch einen unter Federwirkung stehenden Riegel gehalten, der vom Handgriff 11 zurückgezogen werden kann. Der Kopf 12, der die Arbeitsspindel 6 trägt, kann um die Achse des Armes 1 gedreht und festgestellt werden. Diesem Zwecke dient ein Indexstift 13, der in eines der Löcher 14 der halbkreisförmigen Indexscheibe 15 einschnappt. Zum Vorschub der Arbeitsspindel 6 dreht man den Hebel 16 mittels des Handgriffes 17; es tritt dann durch eine Doppelkulisse ein Verschieben der Stange 18 samt dem Querstück 26 ein, das die Arbeitsspindel 6 am oberen Ende umgreift. Der zum Aufspannen des Werkstückes dienende Tisch 19 läßt sich durch Handrad 20 längs der Führungen 21, durch ein danebenliegendes Handrad 22 in senkrechter Richtung dazu, nämlich auf den Führungen 23, verschieben, während das Ganze um

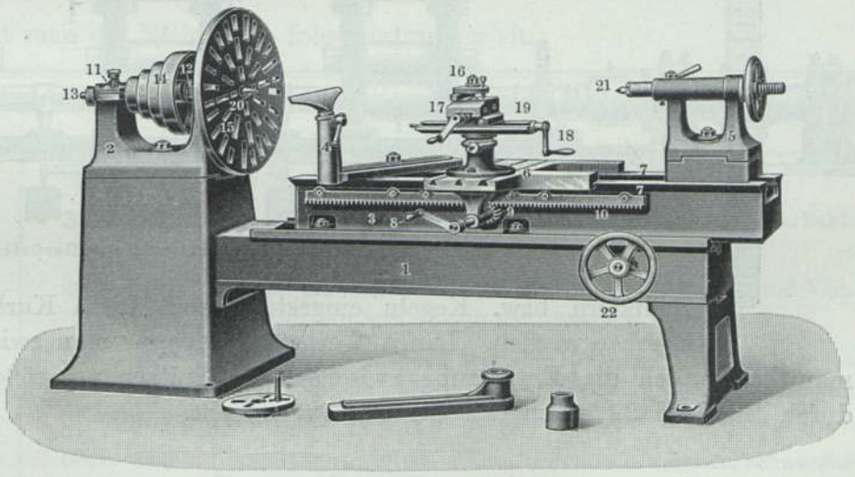


Fig. 657. Schwere Holzdrehbank.

den senkrechten Zapfen 24 gedreht und durch axiales Verschieben des letzteren in der Höhe verstellt werden kann. Der den Zapfen 24 tragende Teil 25 ist auf den Führungen 2 durch ein Zahnstangengetriebe und Handrad 3 längsverschiebbar sowie durch das mit einer Klemmvorrichtung in Verbindung stehende Handrad 10 feststellbar.

6. Drehen.

Die *Holzdrehbänke* sind den Drehbänken zur Bearbeitung von Metall ähnlich, meistens aber leichter gebaut als diese, doch finden sich zur Holzbearbeitung auch schwerere Drehbänke (s. Fig. 657). Auf dem Gestell 1, das links zu einem Kastenständer ausgebildet ist, der den Spindelkasten 2 trägt, ist das Bett 3 längsverschiebbar. Es trägt die auf ihm verschiebbare und feststellbare Handvorlage 4 und den Reitstock 5, wogegen der Support 6 auf den Wangen 7 gleitet, sobald die Kurbel 8 gedreht wird, deren Trieb 9 in die Zahnstange 10 greift. Der Spindelkasten 2 trägt in seinen Lagern 11 und 12 die Spindel 13, auf der die Antriebsstufenscheibe 14 sitzt. Auf dem vorderen Ende der Spindel befestigt man die Planscheibe 15 zum Abdrehen und Bohren größerer Holzstücke. Die Werkzeuge, Hohl- und Flachmeißel, Drehröhren usw., kann man auf die Handvorlage 4 stützen; oder man entfernt diese und spannt Stähle mit vierkantigem Schaft mit der Klaue 16 auf den Oberschieber 17 des Supports 6. Der Schieber 17 kann parallel oder schräg zur Drehbankmitte (Spitzenlinie) zum Abdrehen von

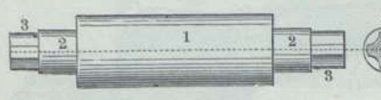


Fig. 658. Walze.

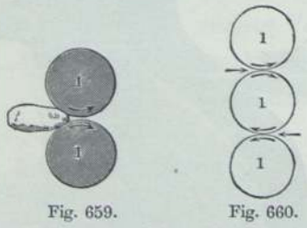


Fig. 659. Fig. 660.

Fig. 659. Schema eines einfachen Walzwerkes, Fig. 660 eines Triowalzwerkes.

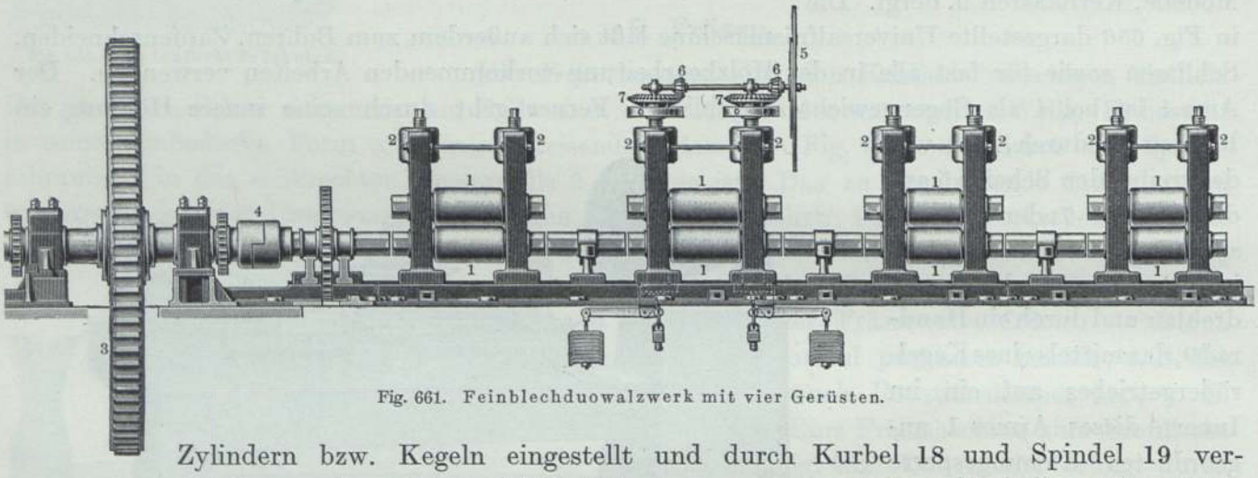


Fig. 661. Feinblechduowalzwerk mit vier Gerüsten.

Zylindern bzw. Kegeln eingestellt und durch Kurbel 18 und Spindel 19 verschoben werden. Lange Werkstücke spannt man zwischen die Spitzen 20 und 21; man kann auch die Entfernung zwischen den Spitzen vergrößern, indem man das Bett 3 durch Handrad 22 gegen das Gestell 1 verschiebt.

J. Metallbearbeitungsmaschinen.

1. Walzen.

Zum Ausstrecken (Verlängern in der Achsenrichtung) von rohen Blöcken und Platten zu Stäben, Draht, Blech dienen umlaufende *Walzen* und *Walzwerke*. Die Walzen sind bei Blechwalzwerken in der aus Fig. 658 ersichtlichen Weise ausgebildet. Eine solche Walze besteht aus dem Ballen 1, der das Werkstück streckt; den Laufzapfen 2, 2, die in Lagern der Walzenständer gehalten werden, und den kantigen Kuppelungszapfen 3, 3. Zwei übereinander angeordnete Walzen (Fig. 659) 1, 1 bilden ein *Duo-*, drei solcher Walzen ein *Triowalzwerk* (Fig. 660). Das auszuwalzende Werkstück wird in Richtung der Pfeile eingeführt. Bei dem *Feinblechwalzwerk* (Fig. 661) sind die

Walzen 1 in vier Walzenstraßen (Trains) angeordnet; zu ihrer Lagerung dienen die durch Bolzen verbundenen Walzenständer 2. Die unteren Walzen, die durch Muffen gekuppelt sind, erhalten ihre Drehung durch das Zahnrad 3; zum Stillsetzen sämtlicher Walzen dient die Klauenkuppelung 4. Die Oberwalzen werden durch Reibung mitgenommen (Schleppwalzen); sie werden durch Handrad 5 und Kegelräder 6, 7 nach jedem Durchgange verstellt. Vor und hinter den Walzwerken zum Walzen leichter Werkstücke, z. B. Feinbleche, ordnet man Tische an, auf denen die Werkstücke aufgelegt und nach dem Durchwalzen abgelegt werden. Schwere Blechwalzwerke rüstet man mit Rollgängen (Knüppelgängen) aus, die, aus einer Reihe angetriebener kleiner Walzen bestehend, die Werkstücke den Walzen zuführen. Vielfach sieht man auch sogenannte Überhebetische vor, die das durchgewalzte Werkstück auffangen und es über die Oberwalze zurückbewegen, so daß es von neuem die Walzen passieren kann. — Profilierte Stäbe, Schienen usw. werden in *Kaliberwalzen* hergestellt (Fig. 662); bei der Herstellung der Profilrillen (Walzenkalibrierung) muß auf die Form der Werkstücke, die Abstufung (Verjüngung) und die Abkühlung Rücksicht genommen werden. Der rohe Stab wird oft in besonderen Kaliberwalzen vor- und in einem zweiten Walzenpaar fertiggewalzt. Neben den Kaliberfurchen (s. Fig. 662) sind auf der Unterwalze Ringe 1 angeordnet, die in Nuten 2 der Oberwalze greifen. Bei geringer Verstellung der Oberwalze bleiben die Ringe 1 mit den Nuten 2 in Eingriff (geschlossenes Kaliber); läßt man dagegen die Walzen mit Zylinderflächen stumpf aufeinanderstoßen, so entsteht beim Verstellen ein Spalt (offenes Kaliber), und das Werkstück erhält einen Grat (Walznaht). Die Kaliber werden nach ihrer Form Flach-, Quadrat-, Rund-, Oval-, Spitzbogen-, Polygon- und Formkaliber genannt. — Bei den *Kehr-* oder *Reversierwalzwerken*, deren Walzen nach jedem Durchgange des Werkstückes ihre Drehrichtung umkehren, sind Überhebevorrichtungen nicht erforderlich; solche Walzwerke eignen sich daher zur Bearbeitung sehr schwerer Werkstücke, z. B. von Panzerplatten. Universalwalzwerke zum Auswalzen von Flacheisen u. dergl. bestehen in der Regel aus zwei sich rechtwinklig kreuzenden Walzenpaaren, die das zu walzende Profil allseitig umgrenzen.

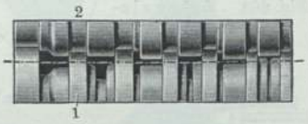


Fig. 662. Kaliberwalzen (geschlossenes Kaliber).

Nach dem Zwecke teilt man die Walzwerke folgendermaßen ein:

	Umdrehungen in der Minute	Walzendurchmesser mm	Eignen sich zur Bearbeitung von
Schnellwalzen . .	300—500	220— 260	Draht, Nageleisen, feines Band- und Rundeisen
Feinwalzen . . .	150—200	300— 350	Band- und Flacheisen bis 50 mm; Rund- und Vierkanteisen bis 33 mm; kleine Fassoneisen
Mittelwalzen . .	75—120	400— 450	Band- und Flacheisen von 50—150 mm; Rund- und Vierkanteisen von 33—75 mm; mittlere Fassoneisen
Schienenwalzen .	50—120	500— 550	Schienen, Rundeisen von 75—150 mm, Vierkanteisen von 75—130 mm, Flacheisen bis 470 mm, größere Winkeleisen, I-Eisen bis 180 mm Höhe
Grobwalzen . . .	50— 80	600— 900	Rundeisen von 150—250 mm, breites Flacheisen, schwerstes Fasson- und Trägereisen
Blockwalzen . . .	30— 60	900—1200	Kesselblech; Sturzblech von 25—35 kg auf 1 qm; auch zum Auspressen der Schlacke aus der Luppe, zum Dichten von Flußeisenblöcken.

Zur Erzeugung von nahtlosen Rohren benutzt man Blöcke, deren Kern durch den Stempel einer Presse herausgestoßen worden ist. Diese Hohlblöcke 3 (Fig. 663) werden zwischen zylindrischen Walzen 1, 2 mit halbrundem Kaliber ausgestreckt, wobei zur Vermeidung des Zusammendrückens in die innere Höhlung ein aus Dornstange 5 und Dornkopf 4 bestehender Dorn eingeführt wird. Letzterer kann örtlich feststehen oder beim Vorwärtsgange des Rohres mitgehen; in letzterem Falle wird der Dorn gegen Anfressen durch Bestreichen mit Kalkmilch oder Graphit gesichert und

durch Querwalzen vom Rohre gelöst. Das bei den gewöhnlichen Kaliberwalzwerken notwendige Vor- und Nachwalzen wird durch das von Mannesmann erfundene *Pilgerschrittwalzwerk* (Fig. 664) bei einem Durchgange des Werkstückes ausgeführt. Die Walzen 1, 1 haben zwischen den Punkten 2 und 3 gleichmäßig tiefe Kaliber, die von 3 nach 4 hin an Tiefe zunehmen und zwischen 4 und 2 dem Werkstück 5 freien Durchgang gestatten. Letzteres, dessen Dicke etwas größer ist als der Abstand zwischen den Punkten 6, 6, wird zwischen 4 und 3 konisch ausgestreckt, dann, sobald der Teil 4, 2 des Kalibers dem Werkstück 5 zugekehrt ist, zurückgezogen, nun zwischen die Punkte 2, 2 vorgestoßen und hierbei fertig gewalzt; gleichzeitig wird ein weiteres Stück zwischen 3 und 4 vorgewalzt. Die Walzen 1, 1 können umlaufen oder pendeln; zwischen ihren Kalibern können wie bei den gewöhnlichen Rohrwalzwerken Dorne gebracht werden. Bei dem ebenfalls von Mannesmann erfundenen *Schrägwalzwerk* (Fig. 665) sind zwei nach verschiedenen Richtungen schräg (gekreuzt) liegende zylindrische Walzen 1, 2 vorgesehen, zwischen denen ein Dorn 4 gehalten wird. Der zu einem nahtlosen Rohr auszuwalzende volle Block 3 wird zwischen die Schrägwalzen 1, 2 vorgestoßen und dabei von den Rillen (Treibwulsten) derselben erfaßt. Dadurch, daß die Walzen 1, 2 in derselben Richtung umlaufen (s. die Pfeile in Fig. 665), erhält der Block einen Vorschub in seiner Längsrichtung gegen den Kopf des Dornes 4; infolge der Schrägstellung der Walzen wird dem äußeren Mantel eine größere Geschwindigkeit erteilt als dem Kern, der also gegen den Mantel zurückbleibt. Der Dorn 4 bewirkt hierbei hauptsächlich ein Glätten der Innenwandung.

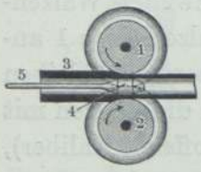


Fig. 663. Rohrwalzwerk.

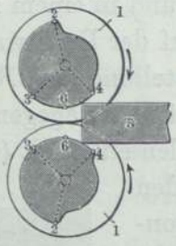


Fig. 664. Pilgerschrittwalzwerk.

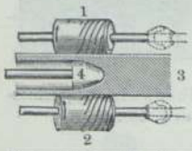


Fig. 665. Schrägwalzwerk.

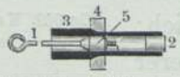


Fig. 666. Röhrenziehring mit Dorn.

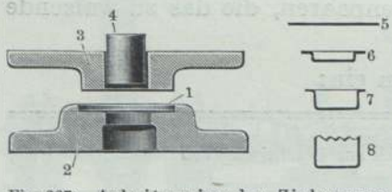


Fig. 667. Arbeitsweise der Ziehpresse.

Die Walzwerke eignen sich auch zur Herstellung von Massenartikeln, wie Muttern, Schrauben, Reifen, Ringen usw.

2. Ziehen.

Gewalzte Stäbe, Drähte und Röhren erhalten eine weitere Verjüngung durch *Zieheisen*. Der Ziehprozeß geht in folgender Weise vor sich (Fig. 666). Das Werkstück 3 wird durch Hämmern usw. an einem Ende etwas verjüngt, so daß es durch das Zieheisen 4 hindurchgesteckt werden kann. Ist das Werkstück rohrförmig, so setzt man in das offene Ende einen Pfropfen 2, und außerdem in die Öffnung des Zieheisens 4 den Kopf 5 eines Dornes 1 ein; beim Ziehen von Draht fallen die Teile 1, 5 und 2 fort. Das durch das Zieheisen hindurchgesteckte Ende wird von einer Zange ergriffen, die einen Zug in axialer Richtung ausübt. Das Material wird dabei im Durchmesser verkleinert, gleichzeitig aber verlängert. Die *Drahtziehbänke* heißen Grobzüge, Mittelzüge, Feinzüge und Kratzenzüge, je nachdem der Draht bis auf 3,4, 2,2, 0,7 mm oder weniger verjüngt wird. Die Zieheisen für feine Drähte sind häufig aus brasilischem Diamant. Die neueren Drahtziehmaschinen besitzen vor den Ziehlöchern angeordnete Ziehtrommeln, die auf den Draht einen Zug ausüben. Da der Querschnitt ständig abnimmt und die Länge entsprechend wächst, muß jede folgende Ziehtrommel etwas schneller laufen als die vorhergehende. Profilierte Drähte werden zwischen Rollen gezogen. Die Reibung zwischen Draht und Zieheisen, die leicht ein Abreißen des Drahtes herbeiführen kann, vermindert man durch Kühl- und Schmiermittel.

Zur Herstellung von Hohlkörpern und Hohlgefäßen aus schwachen Blechen benutzt man *Ziehpressen*, deren Werkzeuge aus Fig. 667 ersichtlich sind. Die kreisrunde Blechscheibe 5 wird in die Aussparung 1 der Matrize 2 eingelegt; auf diese Scheibe 5 legt sich der Blechhaltering 3, der dem Stempel 4 Führung gibt. Dieser geht nieder und tieft die Scheibe 5 aus, wobei sich die Austiefung in die Öffnung der Matrize 2 legt. Durch Anwendung mehrerer entsprechend gestalteter Matrizen wird der Napf 6 stetig tiefer in die Formen 7 und 8 gezogen. Dieses Verfahren wird vielfach zur Herstellung von Hohlkörpern, z. B. von Büchsen, Schüsseln, Patronenhülsen, angewendet. Den zackigen Rand der Form 8 schneidet man zum Schluß glatt.

3. Hämmern.

Hämmer dienen zum Bearbeiten von erhitzten Schmiedestücken. Die von Hand geführten Hämmer (Hand-, Bankhämmer 1—3 kg; Vorschlag-, Zuschlaghämmer 3—12 kg schwer) genügen nur zum Bearbeiten kleiner Werkstücke; für größere wendet man *mechanische Hämmer* an. Letztere zerfallen in *Hebelhämmer* (Stirn-, Aufwerf- und Schwanzhämmer), bei denen der Hammerklotz (Bär) an einem Hebel sitzt, und in *Parallel- (Gleis-) Hämmer*, deren Bär in parallelen Führungen auf und nieder geht. Das Werkstück ruht dabei auf dem Amboß, einem Eisenkörper mit verstählter oberer Fläche (Bahn), der bei mechanischen Hämmern in einem schweren Gußeisenklotz (Schabotte) befestigt ist. Die Hebelhämmer finden häufig zum Abschmieden kleiner fassonierter Teile Anwendung; die hierzu besonders geeigneten Schwanzhämmer erhalten dann einen entsprechend ausgehöhlten Hammerklotz und Amboß (Schmiedegesenk); sie üben bis zu 500 Schläge in der Minute aus. Der Antrieb der Hebelhämmer und kleinerer Parallelhämmer erfolgt durch Riemen; größere Parallelhämmer werden durch Dampf oder Elektromotoren betrieben. Die *Reibhämmer* (Fig. 668), deren Bär 1 an einem geraden Holzstabe 2 oder einem Riemen hängt, werden von zwei, in entgegengesetzter Richtung umlaufenden Riemenscheiben 3, 3 angetrieben; mit diesen sind die Reibrollen 4, 4 verbunden, zwischen denen der Stab 2 hin und her geht. Durch Senken des langen Armes des zweiarmigen Hebels 5 wird die Stange 6 gehoben, der damit verbundene Hebel 7 gedreht, und durch eine Exzenterwelle die linke Reibrolle 4 der rechten genähert. Beide Reibrollen 4, 4 ziehen nun die Stange 2 mit dem Bärgewicht 1 empor. Aus beliebiger Höhe läßt man durch umgekehrte Bewegung des Hebels 5 den Bären auf das Werkstück niederfallen. Zur Hubbegrenzung ist auf der Stange 6 ein Kloben 8 befestigt, gegen den der Bär 1 stößt, sobald er die höchste Stellung erreicht. Das zu bearbeitende Werkstück wird auf die Schabotte 9 gelegt und kann je nach der Höhe, aus welcher der Bär 1 niederfällt, durch stärkere oder schwächere Schläge bearbeitet werden. — Die *Federhämmer* ermöglichen ein Aufspeichern der lebendigen Kraft des Hammerbären dadurch, daß zwischen dem letzteren und seinem Antriebsorgan eine Feder eingeschaltet ist, die beim Abwärtsgang des Bären beschleunigend wirkt. Bei den *Luftdruckhämmern* ist der Bär in einem Zylinder beweglich, in dessen anderem Ende sich ein von einer Kurbel bewegter Kolben hin und her schiebt; zwischen Hammerbär und diesen Kolben ist eine Luftkammer eingeschaltet, die die überschüssige lebendige Kraft des Bären aufnimmt. Die zum Durchschmieden sehr schwerer Gegenstände erforderlichen *Dampfhämmer* sind bereits von James Watt projektiert, jedoch erst 1842 von Nasmyth ausgeführt worden. Die Bärgewichte sind seitdem stetig vergrößert worden. An den größten Dampfhämmern betragen die Fallgewichte bis 80 000 kg bei 5 m Fallhöhe. — *Gashämmer* besitzen einen Zylinder, in dem ein Gasgemisch zur Explosion gebracht wird, das den Bären niedertreibt; zu seiner Aufwärtsbewegung ist eine Feder vorgesehen.

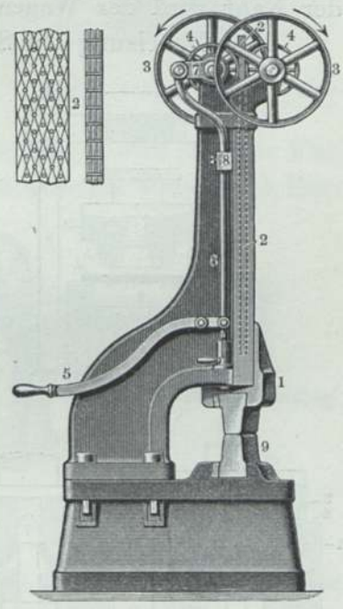


Fig. 668. Reibhammer.

4. Schweißen.

Schweißmaschinen verbinden die Kanten von Rohren, Blechen, auch die Enden von Draht, Kettengliedern usw. Rohrschweißmaschinen vereinigen die Kanten in der dem Zieheisen ähnlichen Schweißglocke (Schweißtrichter) oder in einem Rollenkaliber. Sind die Blechstreifen, die zu einem Rohr rund gebogen und deren Ränder vereinigt werden sollen, nur schmal, so erhitzt man die ganzen Streifen in beiderseits offenen Öfen und führt sie dann durch mehrere Kaliber oder Schweißglocken der Schweißmaschine, von denen die ersten das Vor- und Rundbiegen, die letzten die Vereinigung der Kanten bewirken. Um das beim Durchziehen des Streifens durch die Trichter leicht auftretende Abreißen zu vermeiden, erhitzt man nur die Ränder des Streifens auf Schweißglut

und läßt den übrigen Teil des Streifens möglichst kalt. In einzelnen Fällen, insbesondere beim Schweißen großer Rohre, erhitzt man die Ränder mit Gasbrennern erst nach dem Runden. Eine *Schweißmaschine* für große Rohre zeigt Fig. 669. Das rundgebogene Rohr 3 liegt auf einem Wagen 1, dessen Kolben 2 gehoben und gesenkt werden können, so daß die Naht auf dem Vorhalter aufruht. Durch Riemenscheibe 4 und Räder 5, 6 wird das mit Rolle 7 verbundene Zahnsegment 8 in pendelnde Bewegung versetzt. Am Segment 8 greifen Zugfedern 9 an, welche die Zähne desselben mit einer Zahnstange des Druckkopfes 10 in Eingriff halten. Nach Fertigstellung eines Stückes der Naht wird der Wagen um eine entsprechende Strecke verschoben.

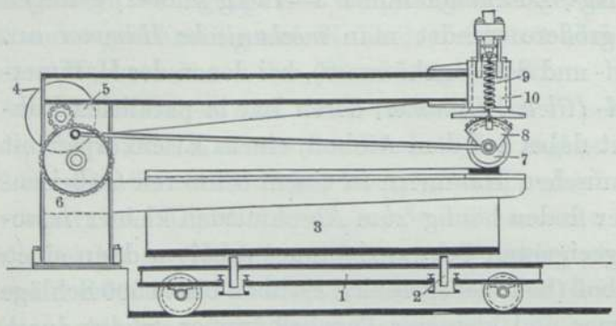


Fig. 669. Rohrschweißmaschine.

Die Beheizung der Schweißstelle erfolgt auch vielfach durch den elektrischen Strom. Bei der *Lichtbogenschweißung* wird die zu schweißende Stelle durch den zwischen den beiden Polen entstehenden Lichtbogen in Glut versetzt, während bei der *Widerstandsschweißung* der Strom durch die zu schweißende Stelle hindurchgeht und diese infolge des Leitungswiderstandes erhitzt. Gegenstände mit dünner Wandung vereinigt man dadurch, daß man einem Teil kleine Vorsprünge gibt, ihn mit diesen an den zweiten Teil legt und beide Teile durch Widerstandsschweißung an den Vorsprüngen verbindet. Bei der *autogenen Schweißung* erhitzt man die Schweißkanten mit einer Wasserstoff-Azetylen- oder Sauerstoff-Azetylenflamme bis zur Schmelztemperatur, worauf die beiden Teile einem Preßdruck unterworfen werden. Die Schweißrollen dieser Maschinen sind häufig unmittelbar hinter dem Brenner auf einem über die Schweißnaht hin verschiebbaren Wagen angeordnet.

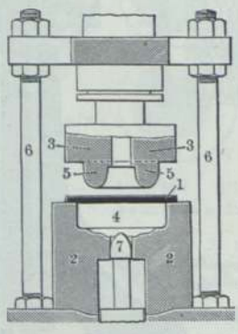


Fig. 670.

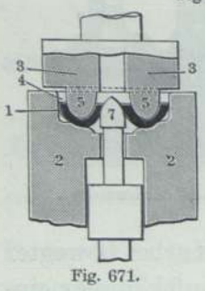


Fig. 671.

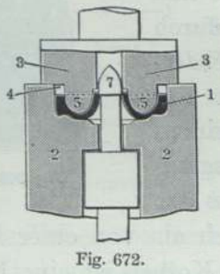


Fig. 672.

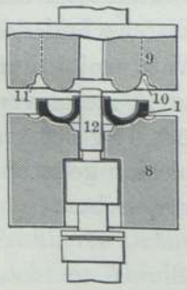


Fig. 673.

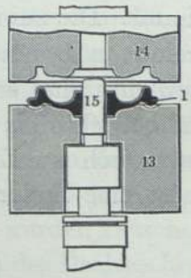


Fig. 674.

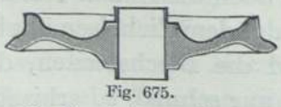


Fig. 675.

Fig. 670—675. Herstellung eines schmiedeeisernen Wagenrades auf der hydraulischen Schmiedepresse.

5. Pressen.

Pressen vollführen die Umgestaltung der Werkstücke mittels Stempels und Matrize. Dünne Werkstücke, z. B. Blechgegenstände, behalten dabei meist ihre Wandstärke bei, während die Umformung dicker Rohwerkstücke gerade eine Veränderung der Wandstärke zur Voraussetzung hat; in diesem Falle wird das Material gleichzeitig verdichtet. Vielfach wendet man die Pressen zur Herstellung solcher Gegenstände an, die früher durch Schmieden und Schweißen von Hand erzeugt wurden. Der Arbeitsgang einer solchen Schmiedepresse zur Herstellung von schmiedeeisernen Wagenrädern ist in den Fig. 670—675 dargestellt. In dem schematisch angedeuteten Pressengerüst 6 (Fig. 670) ist der Stempel 3 hydraulisch verschiebbar; er drängt beim Niedergang mit der Wulst 5 das auf der Matrize 2 liegende kreisrunde Werkstück 1 in die Höhlung 4. Gleichzeitig wird der Lochdorn 7 gehoben, der mit seinem Kopf eine zentrale Öffnung erzeugt (Fig. 671). Bei der weiteren Abwärtsbewegung des Stempels 3 und bei fortgesetzter Aufwärtsbewegung des Dornes 7 wird der untere Teil der Höhlung 4 der Matrize durch das Werkstück vollständig ausgefüllt (Fig. 672).

Das soweit fertige Produkt wird nun aus der Matrize 2 herausgenommen und auf eine Matrize 8 gelegt, deren Stempel 9 mit seinen Ausdrehungen 10 und 11 die Form (Fig. 673) erzeugt. Dabei verhindert ein Dorn 12 ein Zusammenpressen des Loches. In einem dritten Gesenk 13, 14 nebst Dorn 15 (Fig. 674) entsteht die endgültige Form (Fig. 675). — Vielfach wird die Presse zur Herstellung von Draht und Rohr benutzt. Beim *Dickschen Preßverfahren* bringt man das auszupressende Metall in flüssigem Zustande in den Preßzylinder. Huber hat Pressen gebaut, die elektrische Kabel mit einer Schutzschicht aus Blei umgeben (Kabelpressen). Das Wasserdruck-Preßverfahren *(Huber-Verfahren)* besteht darin, daß in den Preßzylinder 1 (Fig. 676), der mit Wasser gefüllt ist, einseitig oder beiderseitig offene Werkstücke samt ihren Matrizen gebracht werden. Das Rohr 2 ist an beiden Seiten offen und gegen die Matrize 3 abgedichtet; wird durch den Stempel 4 das Wasser im Preßzylinder 1 zusammengepreßt, so wirkt der Druck annähernd gleichstark im Innern des Rohres 2 und außen auf die Matrize 3, letztere dadurch entlastend. Dabei werden die Hohlräume der Matrize 3 von dem Rohrwerkstück ausgefüllt. Einseitig offene Gegenstände, z. B. Rohre mit Stutzen, preßt man stufenweise. Der Stutzen bei 5 wird bis zur Einlage 6 ausgepreßt. Das Fertigpressen erfolgt in der beim Stutzen 7 ersichtlichen Weise nach Entfernung der Einlage. Flache Gegenstände, Schalen, Tablette usw., preßt man, indem man an jeder Seite einer doppelten Matrize ein Werkstück befestigt. Unten rechts im Preßzylinder 1 ist eine derartige Matrize 8 mit Werkstück 9 sichtbar.

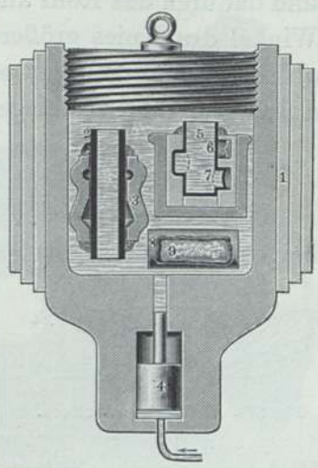


Fig. 676. Hubers Preßverfahren.

6. Biegen.

Die Maschinen zum Biegen finden hauptsächlich in der Blech- und Drahtindustrie Anwendung. Das Rundbiegen auf der *Rundmaschine (Biegewalzwerk)* zu Ringen, Reifen oder Röhren (Fig. 677) erfolgt mittels dreier Walzen 1, 2, 3, von denen 1 und 2 das Blech 5 gegen die Biegewalze 3 führen. Diese ist durch Exzenter 4 in der Höhenrichtung verstellbar, so daß die Maschine zum Biegen nach verschieden großen Krümmungsradien benutzt werden kann. Die Walze 1, die von dem Ring oder Rohr nach vollendetem Biegen umhüllt wird, läßt sich aus dem Maschinengestell herausnehmen oder herausschwenken; das Rohr kann dann von dieser Walze durch Abziehen entfernt werden. Dünne Bleche, z. B. für Klempnerarbeiten, biegt man in kaltem, dicke Bleche in erhitztem Zustande.

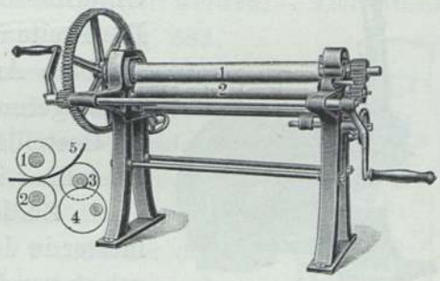


Fig. 677. Rundmaschine.

Zum scharfkantigen Umbiegen benutzt man drei Leisten, von denen zwei das Blech festklemmen, während die dritte kreisbogenförmig bewegt wird (Abkanten, *Abkantemaschinen*); prismatische Klötze, über die das Blech mittels Backen gebogen wird, sind insbesondere zur Herstellung kantiger Konservenbüchsen üblich. — Zum Umbiegen der Ränder rohrartiger Körper benutzt man die *Bördelmaschine* (Fig. 678). Auf zwei parallelen, gegeneinander einstellbaren Wellen sind die Bördelwalzen 1, 2 befestigt, die, durch Kurbel 3 und Rädervorgelege 4, 5 in Drehung versetzt, den Rand der Büchse halbrund umbiegen. Oft legt man vor dem Schließen, zu dem andere Bördelwalzen aufgesteckt werden, in die Rundung einen Draht ein. Zur Herstellung ebener Flanschen dienen glatte Bördelwalzen.

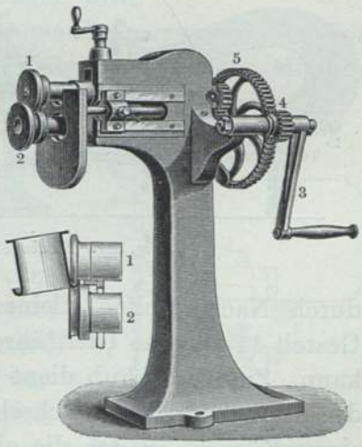


Fig. 678. Bördelmaschine.

Röhren und Stabeisen biegt man mit Rollen über entsprechend gestaltete Gesenke. Eine

besondere Art des Biegens wendet man zur Herstellung von Ofenknierohren an. Die zylindrischen, geraden Blechröhren erhalten einseitige Auswulstungen, die in bestimmten Abständen wiederkehren und dadurch das Rohr an einer Seite verkürzen, so daß je nach der Anzahl der Auswulstungen der Winkel des Knies größer oder kleiner ausfällt (Bertrams-Verfahren). — Bei den *Richtmaschinen* ordnet man Biegerollen oder Biegebacken an, die den zu richtenden (krummen) Stab oder Draht durch Hin- und Herbiegen in eine genau gerade Linie bringen.

7. Scheren.

Das Zertrennen von Blechen, Drähten und Stäben kann erfolgen: 1. mit aneinander vorbeigehenden Messern (eigentliches Scheren); 2. mit aufeinander zu bewegten, keilförmigen Messern (Abbeißen); 3. mit Stanzmessern, die einen schmalen Streifen aus dem Werkstück ausstoßen. *Handscheren* (Fig. 679) haben Griffhebel 1, 2, durch deren Zusammendrücken die Messer 3, 4 aneinander vorbeigeführt werden und dabei das Blech 5 zertrennen. Bessere Handscheren haben eine Führungsnut 6 für den abgeschnittenen Streifen, um die Hand vor Verletzungen zu schützen. Kurvenschnitte führt man mit Scheren aus, deren Schneiden linsenförmig gekrümmt sind. Drahtscheren haben Schneideplatten mit den Drahtdicken entsprechenden Öffnungen. — Dickere Metallstücke zerschneidet man mit *Hebel- (Stock-, Bock-) Scheren* (Fig. 680). Das Obermesser 1 wird um Zapfen 3 gegen das Untermesser 2 durch Handhebel 4 und die Laschen 5 niedergeschwungen. Die Breite des abzuscherenden Streifens wird durch die auf Vierkant 6 einstellbare Anschlagplatte 7 geregelt. Profilierte Stäbe können durch die Verlängerung des Messers 1 zerschnitten werden, die mit Gegenmessern 8 im Gestell 10 zusammenwirkt. Der Anschlag 11, der auf dem Bolzen 9 einstellbar ist, dient zum Abschneiden gleichlanger Enden.

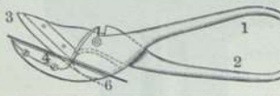


Fig. 679. Metallhandschere.

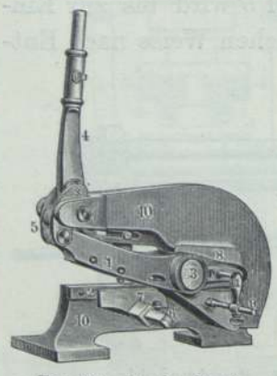


Fig. 680. Bockschere.

Zu den Hebelscheren gehören ferner die *Tafelscheren*, deren Untermesser in dem Tisch befestigt ist, auf den die zu zerschneidenden Bleche gelegt werden; auch diese Scheren erhalten häufig Anschläge zum Abschneiden gleichbreiter Streifen. Größere Hebelscheren zum Zertrennen von Blechen über 4 mm treibt man mechanisch durch Riemen oder Elektromotor und Kurbelgetriebe an. Zum Zerschneiden schwacher Bleche (bis 3 mm) benutzt man vielfach die mit zwei kreisrunden Messern arbeitende *Kreisschere* (Fig. 681). Die Messer (Stahlscheiben) 1, 2 sitzen fest auf den Wellen 6, 7, die durch Kegelräder 4, 5 in Verbindung stehen. Bei Drehung der Welle 6 durch die Handkurbel 3, an deren Stelle oft eine Riemenscheibe tritt, wird die Welle 7 mitgenommen. Das vordere Lager 9 der Welle 6 ist durch die Schraube 10 verstellbar bzw. um 8 drehbar, um Messer, die durch Nachschleifen kleiner geworden sind, wieder zusammenbringen zu können. Mit dem Gestell 11 ist eine Gleitführung 12 verbunden, auf der der Blechhalter 13 verschoben werden kann. Zum Vorschub dient das Handrad 14 und das Zahnstangengetriebe 15, zum Feststellen der Knebel 16. Die Blechscheibe 17, die kreisrund beschnitten werden soll, erhält in ihrer Mitte einen Körner, in den die obere, durch Handrad 18 verstellbare Körnerspitze eingesetzt wird; als Widerlager dient eine flache Platte.

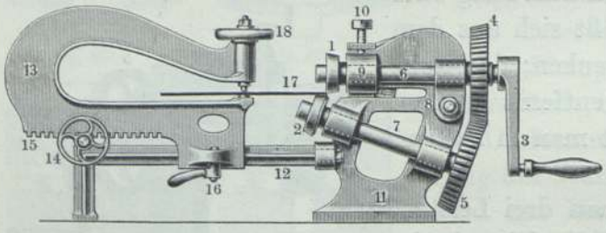


Fig. 681. Kreisschere.

Schwere Werkstücke, z. B. Kesselbleche, Knüppel usw., zertrennt man auf *Parallelscheren*, deren oberes, bewegliches Schermesser in einem geradlinig verschiebbaren Support befestigt ist. Die Messer besitzen nur noch selten keilförmige ⧖-Schneiden, da sich hiermit keine sauberen Schnitte erzielen lassen. Häufig wendet man aneinander vorbeigehende Messer an; Träger usw. zerschneidet

man wegen des sehr bedeutenden Schneidwiderstandes mit sogenannten Stanzmessern, die einen Streifen aus dem Werkstück herausstoßen. Der Körper 1 der Parallelscheren (Fig. 682) besteht neuerdings aus Siemens-Martin-Stahl, um Brüche des Gestelles zu vermeiden. Der Obermesserträger 2 wird durch eine Druckstelze 3 auf und nieder bewegt. Letztere sitzt auf dem Exzenter einer oben im Gestell 1 gelagerten Welle, die ihre Umlaufbewegung durch das Vorgelege 4, 5 und das Schwungrad 6 erhält. Das Obermesser 7 liegt zur Verminderung des Schneidwiderstandes schräg zu dem Untermesser 8, das auf der unteren Maulfläche befestigt ist. Außerdem liegen die Messer unter 30° schräg zum Körper 1. Um die Werkzeuge außer Tätigkeit zu setzen, ohne den Antrieb auszurücken, ist ein durch den Hebel 9 ein- und ausschiebbarer Stein 10 vorgesehen. Durch Ziehen am Handgriff 11 des Hebels 9 oder durch Niedertreten des Fußtrittes 12, der durch ein Seil 13 mit dem Hebel 9 verbunden ist, wird der Stein 10 zwischen Druckstelze 3 und Support 2 eingeschoben. Der Stein 10, der bei jedem Aufwärtsgange des Supports 2 selbsttätig durch die Feder 14 zurückgezogen wird, kann zwecks ununterbrochenen Schneidens festgestellt werden. — Den Stanzschnitt wendet man hauptsächlich zum Zerteilen von Profileisen an (Fig. 683, *Profileisenschere*). Der I-Träger 1 wird auf zwei feste Untermesser 2, 2 gelegt und gegen die beiden im Gestell 3 festen Seitenmesser 4, 4 mit dem rechten Flansch geschoben. Eine Klaue 5 hält den Träger 1 während des Schneidens nieder. Das Obermesser 6 sitzt fest am hebelartigen Messerträger 7; dieser treibt das Obermesser 6 senkrecht gegen die Untermesser 2, 2, führt aber gleichzeitig eine Seitenbewegung aus, so daß die Spitze des Messers 6 zunächst den Steg in der Mitte durchstößt und dann, den ausgeschnittenen Span vor sich herrollend, den Flansch durchschneidet. Dabei beschreibt die Spitze des Messers 6 eine Kurve; es entsteht infolge der Vereinigung der beiden Bewegungen der sogenannte „ziehende Schnitt". Nach dem ersten Schnitt wendet man den Träger 1 um 180° und durchschneidet die zweite Hälfte. Der Träger wird hierbei nicht deformiert. — Andere Trägerscheren arbeiten mit V-förmigen Stanzmessern, die, von oben in die Trägermitte eindringend, den Schnitt ohne Umwenden des Trägers vollziehen. Mittlere und kleine Profileisen zerschneidet man auf Drehscheren, die eine feste und eine drehbare Messerscheibe besitzen. Die Messerscheiben sind entweder dem zu zertrennenden Profil angepaßt oder aus Einzelmessern zusammengesetzt.

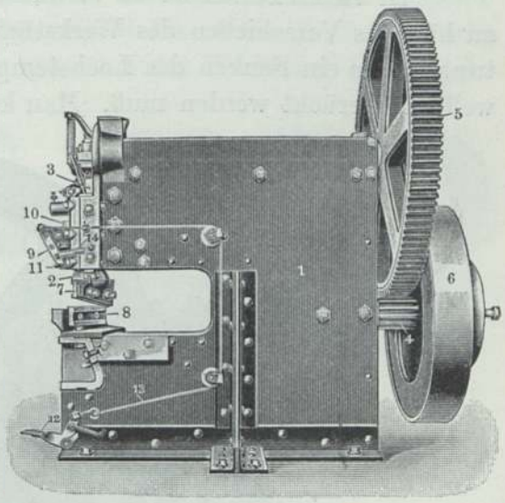


Fig. 682. Blechschere (Paralleischere).

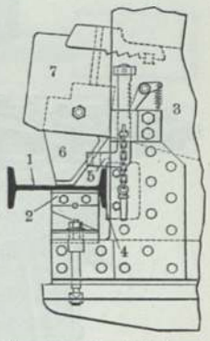


Fig. 683. Profileisenschere (Maul mit Messern).

8. Lochen.

Die *Lochmaschinen* stoßen aus Blechen, Trägern, Eisenbahnschwellen usw. Löcher mittels eines runden oder kantigen Stempels aus, der gegen eine entsprechend profilierte Matrize arbeitet. Die konstruktive Ausbildung der Lochmaschinen ist der der Scheren sehr ähnlich, insbesondere wählt man oft die gleichen Konstruktionsmittel für das Gestell und den Antrieb. Diese Maschinen sind jedoch nur da brauchbar, wo auf eine Erzeugung peinlich genauer Löcher kein Gewicht gelegt wird, da die ausgestoßenen Löcher nach der Austrittsstelle des Stempels hin etwas weiter, also konisch, werden. Häufig kann man dieselben Maschinen, die vorher zum Scheren dienen, durch Einsetzen von Lochwerkzeugen in eine Lochmaschine umwandeln. In Fig. 684 sitzt der Lochstempel 3 im beweglichen Schlitten 2 eines Gestelles 1; er stößt aus dem I-Träger, der auf der etwas abgeschrägten

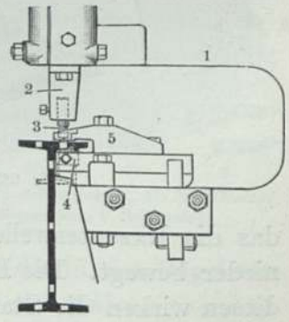


Fig. 684. Universalwerkzeuge zur Lochmaschine.

Matrize 4 aufliegt, ein Loch aus. Um ein Heben des I-Trägers beim Aufwärtsgang des Stempels zu verhindern, ist der Niederhalter 5 vorgesehen.

In vielen Fällen ist es vorteilhaft, mehrere Stempel nebeneinander anzuordnen, um ein zu häufiges Vorschieben des Werkstückes zu vermeiden. Neuere Maschinen erhalten Vorrichtungen, die ein Senken des Lochstempelträgers gestatten, ohne daß der Antrieb der Exzenterwelle ausgerückt werden muß. Man kann die Spitze des Lochstempels genau auf die Körnermarke einrichten und so Fehllochungen vermeiden. Handelt es sich um das Ausstoßen von vielen Löchern mit gleichen Abständen, so benutzt man mechanische Vorschubvorrichtungen, die dann eine Längsverschiebung (bei ebenen Blechen) oder eine Teildrehung (bei Kesselschüssen usw.) bewirken. — Bei schwachen Blechen nennt man diese Arbeit *Stanzen*. Die Stempel erhalten häufig profilierte Gestalt. So stanzt man z. B. Uhrrädchen, Knopfbestandteile, Stahlfedern usw. aus dünnen Blechen aus. Hierbei ist es erforderlich, zur Vermeidung übermäßig großen Abfalls absolut sicher wirkende Vorschubvorrichtungen zu benutzen. Zum Teil, z. B. zur Herstellung von runden Blechbüchsen oder Deckeln, verarbeitet man breitere Tafeln, zum Teil, z. B. zur Herstellung von Stahlfedern, schmale Streifen, die von einer Aufwickeltrommel aus den Werkzeugen zugeführt werden. Von den bekannten Vorschubvorrichtungen verdient die in Fig. 685 dargestellte *Tümmlersche einarmige Exzenterpresse* besondere Beachtung. Der Antrieb erfolgt durch das Schwungrad 1,

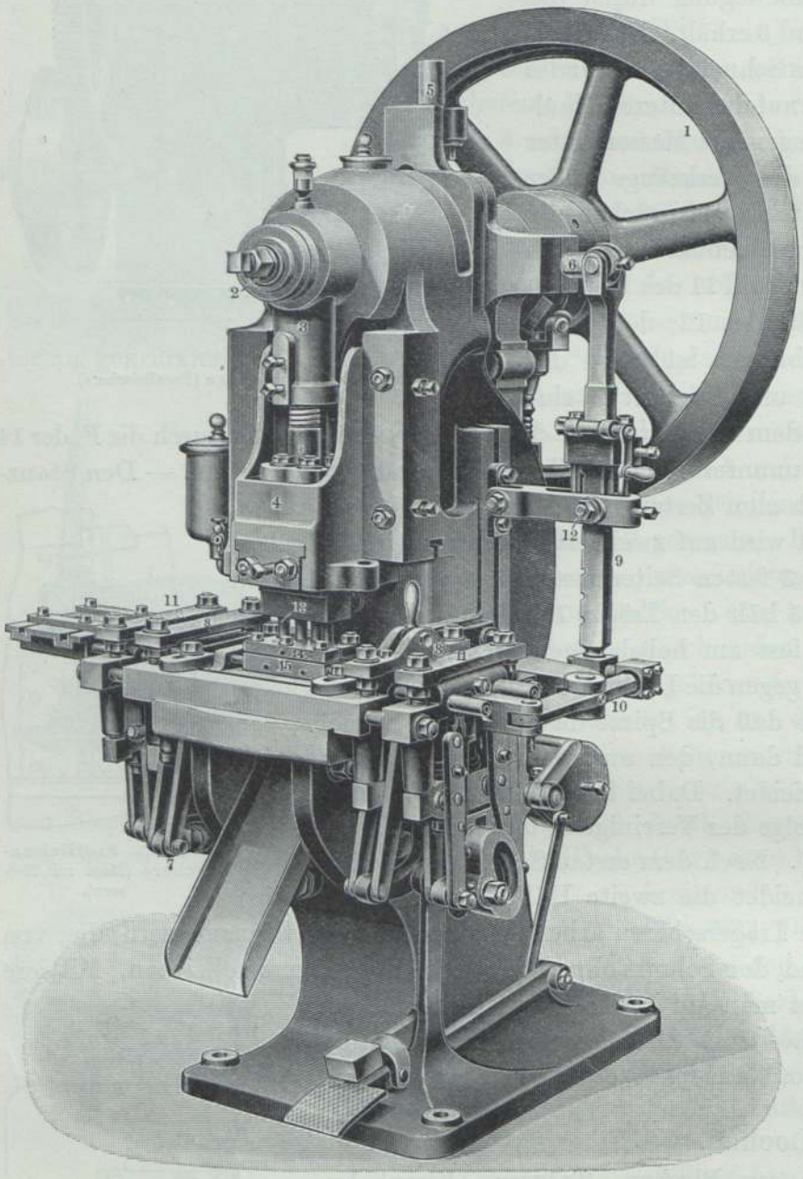


Fig. 685. Einarmige Exzenterpresse.

das die Exzenterwelle 2 dreht und dadurch die Stelze 3 nebst dem Stempelschlitten 4 auf und nieder bewegt. Die Exzenterwelle 2 bewegt durch Daumenscheiben die Stangen 5 und 6; von diesen wirken die Stangen 5 auf Hebel 7, 7, welche die Festspannvorrichtungen 8, 8 lösen und anziehen, während die Stangen 6 durch die Hebel 9 und 10 die Vorschubbacken 11, 11 bewegen, und zwar erst in dem Augenblicke, wenn das von rechts zugeführte streifenförmige Material zwischen den Backen 8, 8 bereits gehalten ist. Die Größe des Vorschubes läßt sich durch Verstellen der Drehachse 12 des Hebels 9 verändern. Die Stempel 13 gehen durch die Führungsplatte 14 hindurch, die über der Schnittplatte (Matrize) 15 liegt. Zwischen 14 und 15 ist Platz zum Durchschieben des schwachen Streifens.

9. Drehen.

Zur Bearbeitung runder Werkstücke dienen *Drehbänke*. Das Werkzeug wird während der Umlaufbewegung des Werkstückes gleichzeitig fortgeschaltet; es beschreibt also auf letzterem eine Schraubenlinie. Die schematischen Fig. 686—691 lassen verschiedene Arten der Bearbeitung von Werkstücken auf der Drehbank erkennen. Nach Fig. 686 führt das Werkstück 1, beispielsweise eine Welle, eine umlaufende Bewegung und der Stahl 2 eine geradlinige Bewegung parallel zur Drehachse des Arbeitsstücks (Spitzenlinie) aus; es entsteht eine Zylinderfläche. Wird dagegen der Stahl 2 schräg zur Spitzenlinie fortgeschaltet (Fig. 687), so entsteht eine Kegelfläche *(Konischdrehen)*. Ebene (Plan-) Flächen erhält man, wenn der Stahl 2 senkrecht zur Drehachse vorgeschoben wird (*Plandrehen*, Fig. 688); die gleichen Bewegungen von Werkstück und Werkzeug benutzt man zum Zertrennen (Abstechen) von Stangen u. dergl. (Fig. 689). Innenzylinder (Bohrungen von Rädern, Scheiben usw.) stellt man in der aus Fig. 690 ersichtlichen Weise her, indem man den Bohrstahl 2 parallel zur Drehachse schaltet. Erfolgt der Vorschub des Stahles schräg zur Drehachse, so entsteht eine konische Bohrung. Auch unrunde Werkstücke lassen sich auf der Drehbank bearbeiten; der Stahl 2 erhält dann außer der fortschreitenden Bewegung eine dem zu erzeugenden Querschnitt entsprechende vor- und rückwärts gerichtete Bewegung (Fig. 691), während das Werkstück mit gleichförmiger Geschwindigkeit rotiert. Gebräuchliche Werkzeuge für Metalldrehbänke sind in Fig. 692 dargestellt. Mit den *Schruppstählen* hebt man grobe Späne bei geringem Vorschub ab; zum Glätten benutzt man *Schlichtstähle*, die in der Regel nur Späne von 0,1—0,3 mm Dicke abheben. Planflächen glättet man mit *Seitenstählen*.

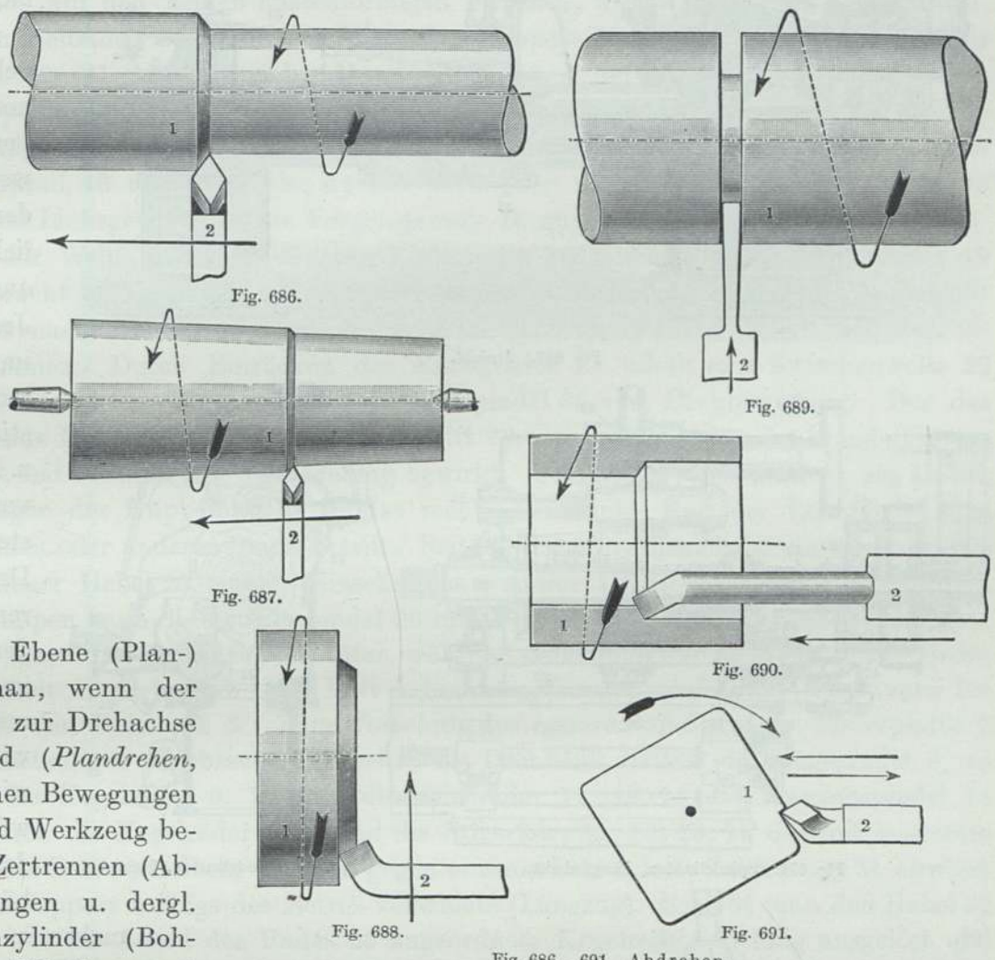


Fig. 686—691. Abdrehen.

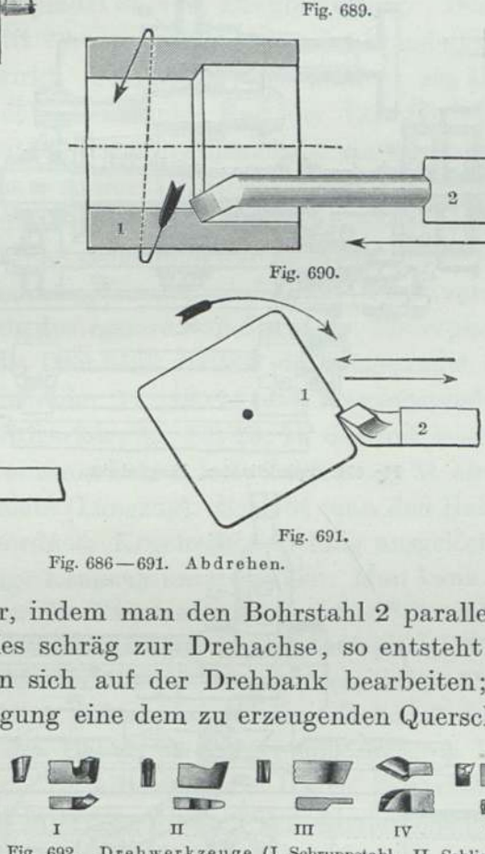


Fig. 692. Drehwerkzeuge (I Schruppstahl, II Schlichtstahl, III Einstechstahl, IV Seitenstahl, V Bohrstahl).

Die Drehbänke werden nur noch für untergeordnete Zwecke durch einen Fußtritt angetrieben; meist benutzt man Deckenvorgelege oder Elektromotoren. Auf den sogenannten einfachen Drehbänken lassen sich lediglich zylindrische Werkstücke herstellen. Will man Gewinde und Schraubenspindeln schneiden, so benutzt man die *Leitspindeldrehbank*. Für das Abdrehen glatter Bolzen wird der das Werkzeug tragende Support lediglich durch eine glatte, genutete Spindel, die sogenannte Zugspindel, unter Vermittelung von Räderübersetzungen

vorgeschoben. Derartige Drehbänke sowie solche zum Abdrehen von Riemenscheiben u. dergl. führt man oft als sogenannte *Duplexbänke* aus, bei denen dasselbe Bett zur Aufnahme je zweier Spindelkasten, Reitstöcke und Supporte benutzt wird. Vielfach ist bei der Leitspindeldrehbank neben der Leitspindel noch eine Zugspindel vorgesehen, um sowohl Gewinde schneiden als auch gewöhnliche Dreharbeiten ausführen zu können. Jedoch macht sich immer mehr das Bestreben geltend, bestimmte Arbeiten, z. B. die Herstellung von Gewindespindeln, stets auf der gleichen Drehbank auszuführen. Hierdurch werden, da die Maschine im allgemeinen gleichmäßig beansprucht wird, sehr genaue Gewinde erzielt. Die gewöhnlichen Wellendrehbänke arbeiten häufig entweder mit mehreren Supporten oder mit Mehrfachstahlhaltern, um die Arbeitszeit zu verkürzen. Anderseits ist man durch Anwendung besonderer Stahlsorten und Erhöhung der für gewöhnliche Dreharbeiten nur

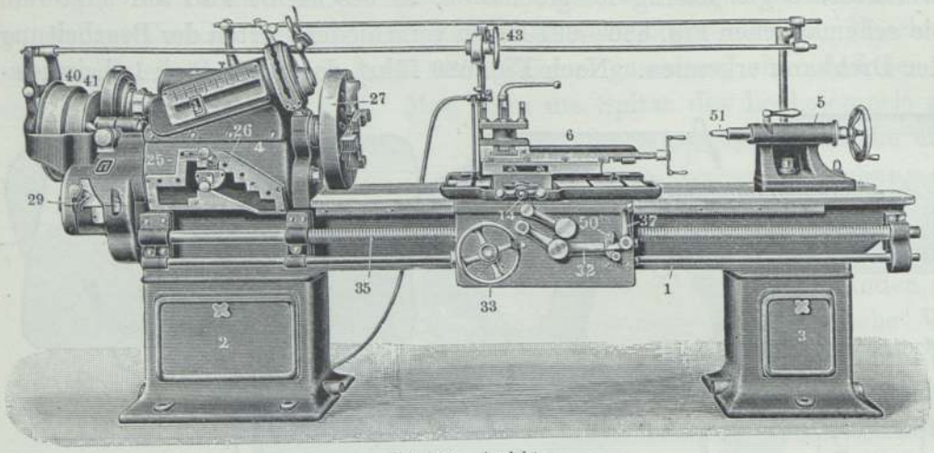


Fig. 693. Ansicht.

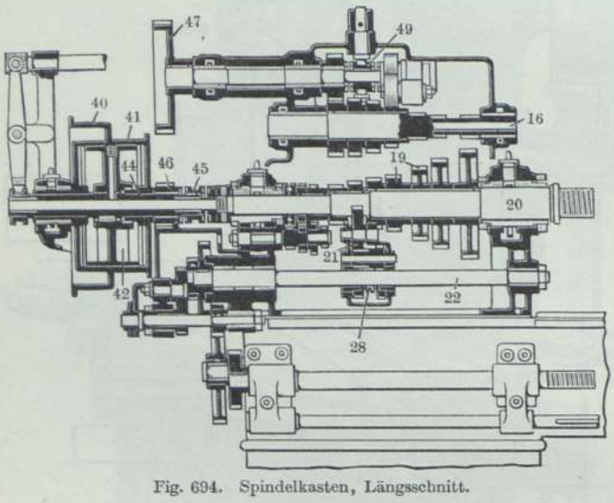


Fig. 694. Spindelkasten, Längsschnitt.

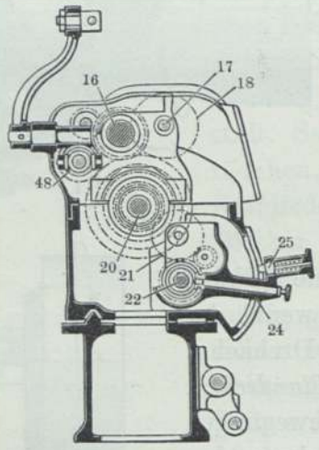


Fig. 695. Spindelkasten, Querschnitt.

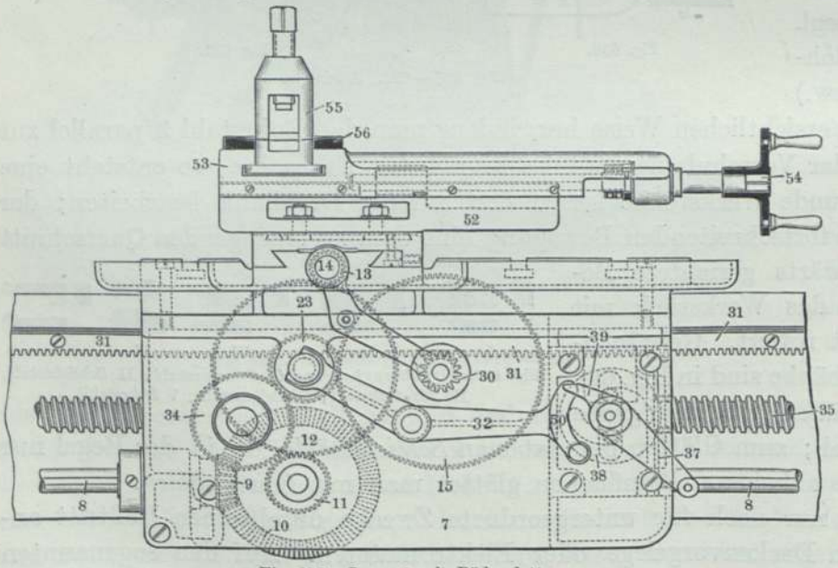


Fig. 696. Support mit Räderplatte.

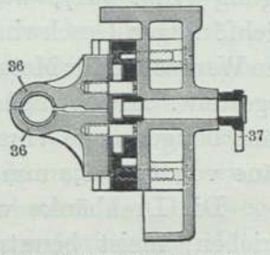


Fig. 697. Schnitt durch das Mutterschloß.

Fig. 693—697. Kontinental-Schnelldrehbank.

110—150 mm in der Sekunde betragenden Schnittgeschwindigkeiten auf 300—350 mm und darüber zur Verbilligung der Dreharbeiten gelangt.

Für die allgemeinen, in der Werkstatt vorkommenden Arbeiten wird die mit etwa 350 mm sekundlicher Schnittgeschwindigkeit arbeitende *Schnelldrehbank* jetzt häufig benutzt. Diese Drehbänke unterscheiden sich von den gewöhnlichen Drehbänken besonders durch den Räderantrieb und sehr starke Spindellager. Die in den Fig. 693—697 dargestellte Schnelldrehbank *Kontinental* der Werkzeugmaschinenfabrik Hermann Heinrich, Chemnitz i. Sa., besteht aus dem geraden Bett 1, das auf den beiden kastenförmigen Füßen 2, 3 ruht und links den Spindelstock 4, rechts den Reitstock 5 und in der Mitte den Support 6 trägt. Die Drehbank erhält durch die Scheiben 40, 41 ihren Antrieb. Durch Verschieben der zwischen diesen Scheiben liegenden Reibkuppelung 42 mittels Handrades 43 kann die Hülse 44 und die daraufsitzende Kuppelmuffe 45 angetrieben oder stillgesetzt werden. Bei Verschiebung der Muffe 45 nach links wird das Stirnrad 46 mit der Hülse 44 fest verbunden und durch Stirnrad 47, Welle 48 und das Rechts- und Linksgetriebe 49 die Vorgelegewelle 16 angetrieben; diese kann durch Einrücken eines auf der Welle 17 verschiebbaren Einlegrades 18 mit einem der Stufenräder 19 in Verbindung gebracht werden, die auf der Arbeitsspindel 20 fest verkeilt sind. Verschiebt man die Muffe 45 nach rechts, so wird die Spindel 20 von der treibenden Scheibe unmittelbar mitgenommen. Durch Einrücken des Einlegrades 21 erhält eine Zwischenwelle 22 und durch diese sowie mehrere Übersetzungen die Leitspindel 35 eine Drehbewegung. Der das Einlegrad 21 tragende Hebel 24 besitzt einen Indexstift 25, der in Löcher 26 der Spindelkastengehäusewand greift und dadurch eine Verriegelung bewirkt. Unter dem Stift 25 liegt ein Hebel, der durch Einschlagen der Kuppelung 28 in das rechte bzw. linke Rad der Leitspindel eine Drehung in dem einen oder anderen Sinne erteilt. Seitlich am Spindelstock ist ein weiterer, mit Arretierstift versehener Hebel 29 zwecks Einschaltens weiterer Übersetzungsräder angeordnet. Durch die Rädergruppen kann die Arbeitsspindel 20 mit sechzehn verschiedenen, nach einer geometrischen Reihe abgestuften Tourenzahlen laufen, während siebenundzwanzig Vorschübe bei jeder Spindelgeschwindigkeit möglich sind. Das Bett 1 besitzt getrennte, ∩-förmige Führungen für den Support 6 und den Reitstock 5. Zum Vorschub des ersteren sind an der Räderplatte 7 mehrere Räderübersetzungen angebracht. Arbeitet die Drehbank mittels der Zugspindel 8, so kann man durch die Kegelräder 9, 10 und die Stirnräder 11, 12, 13 die Planzugspindel 14 (Planzug), oder durch die Kegelräder 9, 10 und die Stirnräder 11, 12, 23, 15 das mit letzterem fest verbundene kleine Rad 30 treiben, das sich gegen eine am Bett 1 feste Zahnstange 31 abwälzt und so den ganzen Support 6 längs des Bettes verschiebt (Langzug). Schiebt man den Hebel 32 vor, so wird eine auf der Achse des Rades 23 angeordnete Kegelreibkuppelung ausgelöst und sowohl der selbsttätige Planzug als auch der selbsttätige Langzug unterbrochen. Man kann dann den Handvorschub benutzen, indem man durch Drehen des Faustrades 33 und des Stirnrades 34 die erwähnten Langzugräder antreibt. Zum Gewindeschneiden wird in die Leitspindel 35 das geteilte Mutterschloß 36 eingeschlagen, zu welchem Zwecke der mit der Kurvenscheibe 38 verbundene Hebel 37 nach unten (in die gezeichnete Lage) gedreht wird. Der Hebel 37 besitzt einen Ansatz 39, der auf eine ansteigende Fläche 50 des Hebels 32 drückt und dadurch Lang- und Planzug bei eingerückter Schloßmutter ausrückt. Es können daher keine Zahnräder infolge unrichtiger Bedienung brechen. Der Support 6 ist in seinem unteren Teil schalenförmig ausgebildet, um ein Herabfließen des auf den Stahl geleiteten Kühl- und Schmiermittels auf die Führungen des Bettes zu verhüten. Der Support kann durch Spindel 14 senkrecht zur Spitzenlinie verschoben, weiter der Zwischenteil 52 in beliebigem Winkel schräg gestellt werden zwecks Abdrehens von Kegelflächen. Dann wird der mittels des Stichelhauses 55 und der ausgehöhlten Unterlagscheibe 56 festgespannte Stahl durch den Schieber 53 und die Spindel 54 von Hand verschoben. — Will man Werkstücke ausbohren, so spannt man sie gegen die Planscheibe 27, während man lange Werkstücke zwischen den Spitzen 51 abdreht und sie durch ein sogenanntes Drehherz mitnehmen läßt. Gegen Zittern beim Drehen stützt man lange Wellen durch Lünetten (Brillen) ab. — Sehr schwere Werkstücke, z. B. Schwungräder für Pressen usw., dreht man auf Karusselldrehbänken mit liegender Planscheibe ab.

Bei der Herstellung von Massenartikeln auf den *Revolverbänken* geht man mit den Schnittgeschwindigkeiten bis zu 36 m in der Minute, läßt dabei aber die Werkzeuge nur Späne sehr geringer Dicke (etwa 0,08 mm) abheben.

Von den Drehbänken zur Massenproduktion marktgängiger Maschinen- und Zubehörteile haben die *Revolverdrehbänke* die größte Verbreitung gefunden. In kleineren Werkstätten sowie in solchen Fällen, wo die Zahl der herzustellenden Stücke einige Tausend nicht übersteigt, bedient man diese Maschinen von Hand, indem man den im Kreise schwenkbaren Werkzeugträger, den sogenannten Revolverkopf, mittels eines Sternes und Zwischengetriebe vor- und zurückbewegt. Will man Schrauben, Stifte, Muttern usw. vollkommen mechanisch herstellen, so benutzt man die *automatische Revolverdrehbank*. Eine der neuesten Konstruktionen mit einer Reihe von Verbesserungen ist in Fig. 698 dargestellt. Diese Maschine besitzt, im Gegensatz zu den meisten Konstruktionen, nur eine

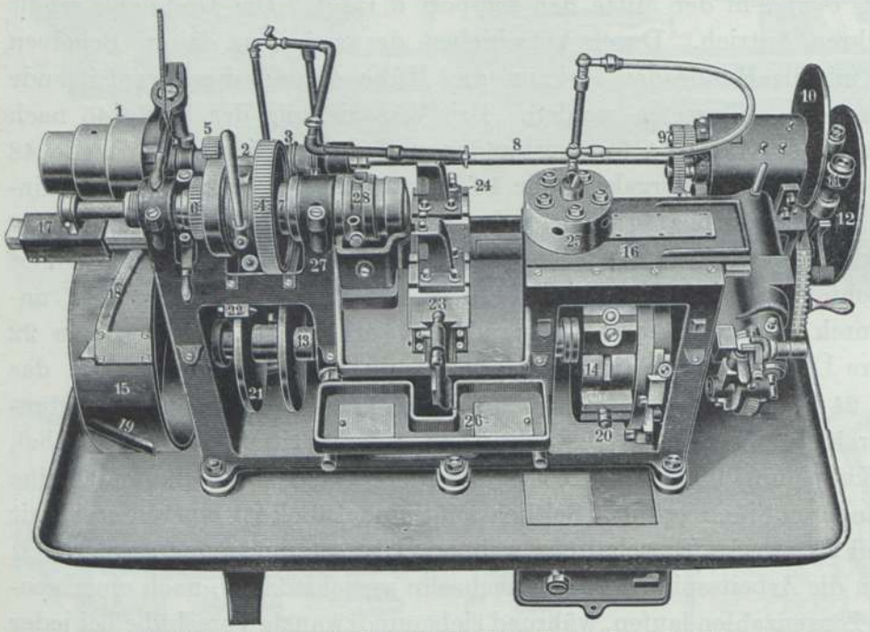


Fig. 698. Automatische Revolverbank von Ludw. Loewe & Co.

Antriebsstufenscheibe 1, von der aus mittels einer Welle 2 und Stirnrädervorgelege 3, 4 bzw. 5, 6 sowohl die Arbeitsspindel 7 als auch der Transport- und Schaltapparat in Bewegung gesetzt wird. Letzterer besteht aus einem Rädervorgelege 9, das von der Verlängerung 8 der Welle 2 angetrieben wird und ein Reibscheibengetriebe 10, 11, 12 treibt. Dieses wieder wirkt durch eine Reihe von Zwischenmechanismen auf die Transportwelle 13 ein, welche die Trommeln 14 und 15 zum Vor- und Zurückbewegen des Revolverschlittens 16 sowie des den Vorschub des stangenförmigen Materials bewirkenden Schlittens 17 trägt. Während zum Vor- und Zurückbewegen des Schlittens 17 auf der Trommel 15 die Kurvenstücke 18, 19 befestigt sind, trägt die Trommel 14 nur nach zwei Richtungen verstellbare Rollen 20, die gegen zwei am Unterteil des Revolverschlittens 16 feste Kurvenstücke wirken. Zwecks Verkürzung der zwischen zwei Arbeitsoperationen liegenden (sogenannten toten) Zeiten erhält die Transportwelle 13 zeitweilig erhöhte Umlaufsgeschwindigkeit dadurch, daß statt eines Schneckengetriebes ein Schraubenrädergetriebe eingeschaltet wird. Die Welle 13 trägt ferner die Scheibe 21 mit den Steuerknaggen 22 zum wechselweisen Einschalten des schnellen Ganges (Räder 5, 6) oder des langsamen (Räder 3, 4); ebenso sind die zum Vortreiben der Quersupporte 23, 24 dienenden Kurvenscheiben, die auf zweiarmige Hebel 26 wirken, auf Welle 13 befestigt. Der Revolverkopf 25 ist mit fünf Löchern versehen zur Aufnahme der Schäfte der verschiedenen Werkzeughalter. Hat ein Werkzeugsatz seine Arbeit beendet, so wird der Revolverschlitten 16 schnell zurückgezogen; am Ende dieser Bewegung erhält der Revolverkopf 25 eine Drehung, so daß nunmehr der nächste Werkzeughalter dem Werkstück gegenübersteht. Dieses wird entsprechend seiner Form geschruppt, geschlichtet, durch ein Schneideisen mit Gewinde versehen, inzwischen am Kopf eingestochen (durch den Quersupport 23) und abgestochen (durch den Quersupport 24). Die mit der hohlen

Fig. 699.

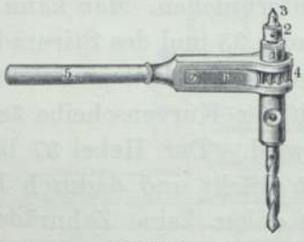


Fig. 700.

Fig. 699. Spiralbohrer. Fig. 700. Bohrknarre.

Arbeitsspindel 7 umlaufende Materialstange wird darauf erneut vorgeschoben (durch Schlitten 17) und festgespannt (durch Hebel 27 nebst Spannmuffe 28). — Einige automatische Revolverdrehbänke arbeiten statt mit einer Arbeitsspindel mit mehreren (3—8), jedoch weisen die hierauf erzeugten Schrauben usw. zum Teil Abweichungen bis zu 0,15 mm im Durchmesser auf.

10. Bohren.

Die Herstellung von Löchern erfolgt mittels *Spiralbohrers* (Fig. 699), seltener mittels des veralteten Spitzbohrers auf Bohrmaschinen oder Handbohrgeräten. Von letzteren finden die *Bohrknarren* (Fig. 700) sehr häufig Anwendung. Sie bestehen aus einer Hülse 1, die unten den Einspannschaft des Bohrers aufnimmt und oben Gewinde trägt, in das die mit Stiftlöchern 2 versehene Druckschraube 3 greift. Die Hülse 1 besitzt ein Schaltrad 4, das durch die federnde Schaltklinke 6 beim Hin- und Herdrehen des Handhebels 5 absatzweise gedreht wird. Andere Handbohrgeräte treibt man durch Kurbel oder durch eine auf einer stark steigenden Spindel verschiebbare Mutter (Renn-, Drillspindel) an. Zum Bohren von Löchern bis etwa 60 mm dient die *Säulenbohrmaschine* (Fig. 701). Der Antrieb erfolgt von einer unteren Stufenscheibe 1, auf deren Welle eine Fest- und eine Losscheibe sitzt, auf eine obere Stufenscheibe 2. Die Welle 3 dieser Stufenscheibe treibt mittels eines Kegelrades 4 ein Kegelrad 5, das drehbar, aber axial unverschiebbar im Lager 6 des Ständerteils 7 gehalten ist. Der Riemen kann auf ein beliebiges Scheibenpaar der Vierstufenscheiben 1, 2 gelegt werden; ferner kann durch Handhebel 36 die Kuppelung 8 nach links und gleichzeitig die Vorgelegeräder 9, 10 nach rechts verschoben werden; dadurch wird das Rad 11 mit 9 und 12 mit 10 in Eingriff gebracht. Es lassen sich daher acht verschiedene Geschwindigkeiten erzielen, die den Bohrerdurchmessern entsprechen müssen. Die Bohrspindel 13 wird durch das Kegelrad 5 in Drehung versetzt. Sie besitzt eine Längsnut, in die ein Federkeil des Rades 5 greift, so daß die Spindel 13 in Achsrichtung verstellt werden kann. Das untere Ende der Spindel 13 ist in einer Hülse 14 gelagert, die vom Kopf 15 gehalten wird. Letzterer ist auf der gehobelten Fläche 16 des Säulenteils 17 in der Höhe verschiebbar und durch Schrauben 18, 18 auf 16 feststellbar. Das Arbeitsstück legt man auf den Bohrtisch 19, der mit Nuten zum Festspannen versehen ist. Der Tisch 19 ist drehbar in einem Arm 20, der auf dem zylindrischen Schaft 21 geführt ist und mittels Sperrades 22 und Zahnstangengetriebe 23 hoch und tief gestellt werden kann. Die Spindel 13 kann von Hand gehoben und gesenkt werden durch Drehen des Handrades 24, dessen Welle 25 eine Schnecke 26 trägt; diese greift in Schneckenrad 27, das mit einem im Kopf untergebrachten kleinen Stirnrad verbunden ist. Letzteres greift in die mit der Hülse 14 fest verbundene Zahnstange 37. Zum schnellen Handvorschub ist auf der Welle des Schneckenrades 27 ein Handhebel 28 vorgesehen. Dann muß jedoch diese Welle durch Verschieben einer Kuppelung vom Schneckenrad 27 gelöst werden. Der selbsttätige Vorschub geht von der Stufenscheibe 29 der oberen Welle 3 aus; diese Scheibe 29 versetzt durch die Gegenstufe 30, Schraubenräder 31, Welle 32 und Kegelräder 33 die Welle 25 in Umdrehung, die durch Kuppelung 34 mit Kegelrad 33 verbunden werden kann. Arbeitsstücke großer Höhe stellt man auf den Fuß 35 und schwenkt den Arm 20 nebst Tisch 19 zur Seite. — Kleinere Bohrmaschinen zum Bohren von Löchern bis 6 mm treibt man durch Reibscheiben und Elektromotor an. — Sehr schwere Werkstücke bohrt man unter der *Radialbohrmaschine*, deren Bohrkopf auf einem schwenkbaren Arm horizontal verschoben werden kann, oder auf der *Horizontalbohrmaschine*, deren Bohrspindel zuweilen unter verschiedenen Winkeln, z. B. zum Bohren von gekrümmten Platten, eingestellt werden kann.

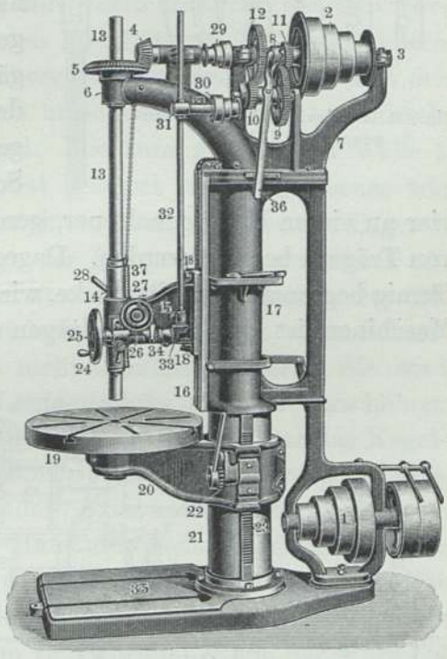


Fig. 701. Säulenbohrmaschine.

11. Sägen.

Sägemaschinen dienen dazu, mittels gezahnter Werkzeuge Eisenstangen, Träger, Blöcke, Bleche zu zerschneiden. Je nach der Form und dementsprechend nach der Art der Bewegung des Sägeblattes unterscheidet man Sägemaschinen mit geradem (Bügelsägen, Stoßsägen, Bandsägen) und solche mit kreisrundem Sägeblatt (Kreissägen). Die einfachsten *Bügelsägen* (Bocksägen) sind den als Handgerät benutzten sogenannten Bogensägen hinsichtlich der Einspannung des Sägeblattes sehr ähnlich. Der eiserne Bügel besitzt Stellschrauben zum Straffspannen des etwa 50 cm langen, geraden Blattes und steht unter der Wirkung eines Laufgewichtes, welches das Sägeblatt mit dem erforderlichen Druck gegen das Arbeitsstück preßt. Da dieser Druck beim Rückgang des nur nach einer Seite schneidenden Blattes die Zähne vorzeitig abstumpft, ist man bei besseren Bügelsägen dazu übergegangen, den Bogen nebst dem Blatt während dieser Zeit vom Arbeitsstück abzuheben. Die Mittel hierzu bestehen in unrunden Scheiben, Zahn- oder Klemmgesperren usw. Man rüstet auch derartige Sägen fast durchgängig mit einer selbsttätigen Ausrückvorrichtung aus, die von dem Sägebogen nach Zerteilen des Arbeitsstückes in Tätigkeit gesetzt wird. Mit diesen Maschinen werden jedoch nur gerade Schnitte ausgeführt; ebenso mit einigen *Steifsägen*, die mittels vier an einem Ende gehaltener, gerader Sägeblätter arbeiten und insbesondere zum Zerschneiden von Trägern benutzt werden. Dagegen gestatten die Metall-*Bandsägen* das Ausschneiden kurvenförmig begrenzter Arbeitsstücke, wie z. B. Kurbelwangen, aus dickem Blech. Die Anordnung dieser Maschinen ist der der Bandsägen zur Holzbearbeitung sehr ähnlich; das Blatt läuft auch mit höherer Schnittgeschwindigkeit als die Bügelsägen. Den Tischen gibt man zwecks Schneidens von Gehrungen (Doppel- oder Dachgehrungen) eine Kippbewegung. Die Zähne dieser sowie die der Kreissägen sind nur sehr selten geschränkt. Meist wird das Klemmen des Blattes in der Schnittfuge dadurch verhütet, daß die Zähne etwas breiter als der zahnlose Teil ausgeführt werden. Bei den *Kreissägen*, bei denen die Zähne aus dem Material des Blattes herausgearbeitet sind, erreicht man dies, sofern die Zähne eingefräst wurden, durch Schwächerschleifen (Freischleifen) der ebenen Stirnflächen; sofern die Zähne in der bei Feilen üblichen, jedoch selteneren Weise gehauen werden (Sägenhaumaschinen), ergibt sich die Verbreiterung aus der Stauchwirkung des Haumeißels. Bei den in der heutigen Technik üblichen Kreissägen, die bis zu 1600 mm Durchmesser hergestellt werden, ist man aus Rücksicht auf die Herstellungskosten dazu übergegangen, die Zähne in Schlitze eines besonderen Blattes aus weichem Stahl einzusetzen (Fig. 702). Dabei stehen die Zähne 1, die häufig aus Schnellaufstahl gefertigt werden, über das Blatt beiderseits vor. Die Zähne 1 sind mittels Nut und Feder 2 in dem Stammblatt 3 gegen seitliches Ausweichen und durch Querstifte 4 gegen Herausziehen gesichert. Es können daher ausgebrochene Zähne leicht ausgewechselt werden.

Fig. 702. Kreissägeblatt mit eingesetzten Zähnen.

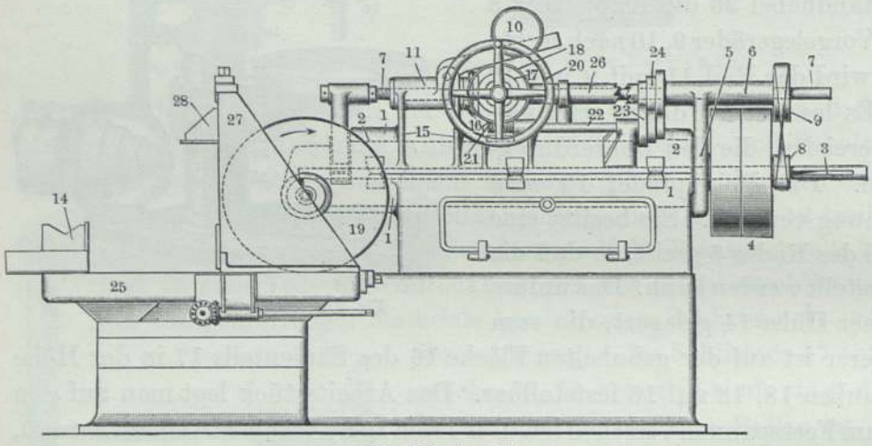


Fig. 703. Ansicht.

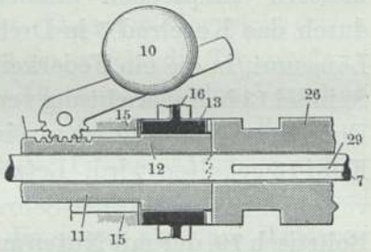


Fig. 704. Schnitt durch die Schaltmutter.

Fig. 703 und 704. Sägemaschine mit nachgiebigem Vorschub.

Die *Kreissägemaschinen* eignen sich sowohl zum Zerschneiden heißer Blöcke *(Heiß-, Warmsägen)* als auch kalter Metalle *(Kaltsägen)*. Bei ersteren läuft das Blatt mit großer Umfangsgeschwindigkeit; es taucht zwecks Kühlung zum Teil in einen unterhalb der Sägewelle angeordneten Wasserbehälter. Während bei den Heißsägen der das Sägeblatt tragende Teil (Sägeschlitten) auf Parallelführungen verschoben wird, ordnet man bei den Pendelsägen, die zum Teil im Walzwerkbetrieb zum Zerschneiden von Knüppeln, gewalzten Stäben usw. benutzt werden, das Blatt am unteren Ende eines schwingbaren Armes an. Diese Sägen werden jedoch immer mehr durch die sogenannten „fliegenden Scheren" verdrängt, weil der aus den Walzen kommende Stab einen seitlichen Druck auf das Sägeblatt ausübt. — Bei den Kreiskaltsägen trat häufig infolge harter Stellen im Material und Überlastung des Blattes ein Bruch desselben ein. Neuere Kreissägen erhalten daher eine nachgiebige Vorschubvorrichtung. Hierzu läßt man die unter Wirkung eines Gewichtshebels stehende Schaltspindelmutter eine Längsverschiebung ausführen. In anderen Fällen versieht man auch diese Sägemaschinen mit Vorrichtungen, die den Vorschub zeitweilig gänzlich außer Tätigkeit setzen. Bei der in den Fig. 703 und 704 dargestellten Sägemaschine von Gustav Wagner in Reutlingen in Württemberg ist der Sägeschlitten 2 in der langen prismatischen Führung 1 verschiebbar, die eine Welle 3 umschließt, von der aus mittels Schneckengetriebes das Sägeblatt 19 in Drehung versetzt wird. Die zum Antrieb der Welle 3 dienende Riemenscheibe 4, in deren Nabe die Welle verschiebbar gelagert ist, läuft, ebenso wie die Losscheibe, in einem an der Führung 1 festen Lager 5 um. In einem zweiten Auge 6 des Lagers 5 ist die Schaltspindel 7 gehalten. Sie erhält ihren Antrieb von der Hauptwelle 3 aus durch ein Riemengetriebe 8, 9 und durch ein Zwischengetriebe, das aus den Stufenscheiben 24, 23, der Welle 22, dem Schneckengetriebe 21, 18 und den Kegelrädern 17, 16 besteht. Die Schaltspindelmutter 11 ist im Bock 15 axial verschiebbar, jedoch nicht drehbar gelagert. Sie wird bei übermäßigem Werkzeugdruck durch Ausschwingen des Laufgewichtes 10 axial verschoben. Auf dem aus dem Lagerbock 15 herausragenden Teil 12 der Mutter 11 ist frei drehbar das Kegelrad 16 gelagert, dessen Nabe (13) Kuppelzähne besitzt, die bei normalem Werkzeugdruck mit dem gezahnten Teil der mittels Nut und Feder 29 auf der Schaltspindel 7 axial verschiebbaren Kuppelmuffe 26 in Eingriff stehen. Das Kegelradgetriebe kann von Hand durch das Handrad 20 oder mechanisch durch das Zwischengetriebe in Bewegung gesetzt werden. Die Stufenscheibe 24 sitzt mit der Scheibe 9 auf einer die Schaltspindel 7 lose umgebenden Hohlwelle. Die Stufe 24 ist ebenfalls als Klauenkuppelung ausgebildet, in welche die Zähne am rückwärtigen Ende der Muffe 26 eingeschoben werden können. Bei normalem Werkzeugdruck wird die Drehung der Hauptwelle 3 mittels der Riemenscheiben 8, 9, der Stufenscheiben 24, 23, der Getriebe 21, 18 und 17, 16 auf die Kuppelungsmuffe 26 übertragen, die bei eingerückter Kuppelung 13, 26 die Schaltspindel 7 mitnimmt. Bei übermäßigem Werkzeugdruck erhält die Schaltmutter 11 durch Herumschwenken des Gewichtes 10 eine Axialverschiebung und bringt dadurch die Kuppelung 13, 26 außer Eingriff. Eine Rückwärtsschaltung der Spindel 7 kann durch weiteres Verschieben der Muffe 26 von Hand bewirkt werden, wobei dann 26 mit den Klauen der Stufe 24 in Eingriff kommt. Zum Einspannen der Arbeitsstücke dient der Spannstock 27, dessen Backen 28, 14 verschiebbar sind. Der Spannstock ist auf dem Tisch 25 angeordnet.

Um ein Schnarren (Schnattern) des Sägeblattes zu verhindern, ersetzt man das einfache Schneckengetriebe durch ein doppeltes mit rechts- und linksgängigen Schnecken (entlastetes Getriebe) unter Benutzung passender Zwischengetriebe. — Zuweilen bewegt man den Sägeschlitten auch in vertikaler Richtung gegen das Arbeitsstück.

12. Fräsen.

Die Bearbeitung von Werkstücken, insbesondere von Massenartikeln, mittels umlaufender gezahnter Werkzeuge *(Fräser)* erfolgt auf Fräsmaschinen. Die Fräser schreiten während der Umlaufbewegung relativ zum Werkstück vor und heben dabei kommaartige Späne ab. Die Form des zu wählenden Fräsers richtet sich nach dem Zweck; man benutzt: *Walzenfräser* mit

schraubenförmigen Zähnen (Fig. 705) zum Fräsen ebener Flächen, setzt auch zwei solcher Fräser zusammen, von denen die Zähne des einen rechts-, die des anderen linksgewunden sind (entlastete Fräser); *Scheibenfräser* (Fig. 706) zum Einschneiden von Nuten; *Stirnfräser* mit Zähnen auf den ebenen (Stirn-) Seiten zum Ebnen von vertikalen Flächen, Augen, Ansätzen u. dergl.; *Fassonfräser* (Fig. 707 und 708) zur Herstellung geschweifter Formen, auch für Zahnlücken *(Zahnlückenfräser)*; Fräsköpfe (Fig. 709) mit gußeisernem Körper und eingesetzten Messern aus Gußstahl oder Schnellaufstahl zur Bearbeitung sehr großer Teile.

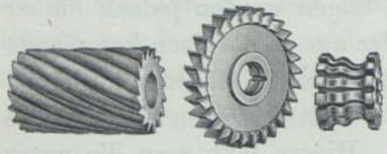


Fig. 705. Fig. 706. Fig. 707.

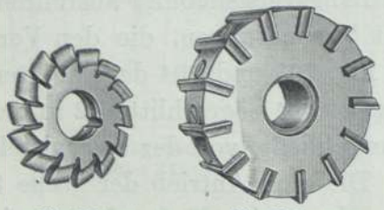


Fig. 708. Fig. 709.

Fig. 705—709. Formen von Fräsern. (Fig. 705 Walzenfräser, Fig. 706 Scheibenfräser, Fig. 707 Fassonfräser, Fig. 708 Zahnlückenfräser, Fig. 709 Messerkopf.)

Die *Fräsmaschinen* arbeiten sowohl mit horizontaler als auch mit vertikaler Spindel. Meist benutzt man zur Herstellung von Massenartikeln sogenannte einfache Fräsmaschinen, auf deren Langschlitten eine zum Festhalten der zu bearbeitenden Teile dienende Vorrichtung, z. B. ein Schraubstock, befestigt wird. In manchen Fällen ersetzt man die senkrechte Einstellung des Tisches durch eine senkrechte Verschiebung der Arbeitsspindel. Große Werkstücke, z. B. Drehbankbetten, fräst man auf Maschinen, deren Tisch eine Längsbewegung nach Art der Hobelmaschinen ausführt (Fig. 710, *Planfräsmaschine*). Der Antrieb der Frässpindel 6 erfolgt von der Stufenscheibe 1 aus über Kegelräder 2, senkrechte Welle 3, Kegelräder 4 und das Stirnradgetriebe 5. Der Fräserschlitten 8 ist auf dem Ständer 9 durch Handrad 10 und Spindel 11 senkrecht verschiebbar. Der Fräsdorn 12, der in der Frässpindel 6 befestigt ist, läuft mit einem Zapfen in der Büchse 13 des Gegenhalterschlittens 14, der mit dem Fräserschlitten 8 noch durch die Gegenhalterwelle 15 verbunden ist. Letztere trägt noch einen Arm 16, der mit einem Halslager den Fräsdorn 12 in der Mitte unterstützt, um der bei schweren Schnitten vorkommenden Durchbiegung desselben entgegenzuwirken. Das Werkstück wird auf dem mit Nuten 17 für die Spannschrauben und Ölfänger versehenen Tisch 18 befestigt und mit diesem gegen den Fräser geführt. Zum Handvorschub benutzt man das Handrad 7, das durch eine Räderübersetzung auf die mit dem Tisch 18 fest verbundene Zahnstange 19 einwirkt; für den selbsttätigen Vorschub ist neben der Antriebsstufenscheibe 1 eine Transportstufenscheibe 20 angeordnet, die mit ihrer (nicht sichtbaren) Gegenstufenscheibe umgewechselt werden kann. Diese Maschinen arbeiten häufig mit einer Anzahl von Fräsern, die auf den Dorn 12 gesteckt werden (Fräsersatz).

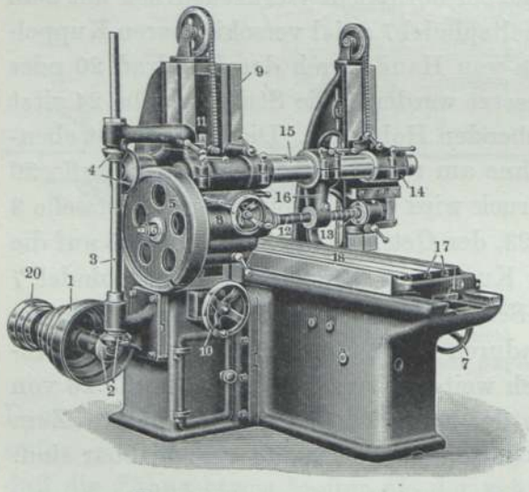


Fig. 710. Planfräsmaschine.

In vielen Betrieben können die Fräsmaschinen nicht dauernd mit gleichen oder ähnlichen Arbeiten beschäftigt werden. Man verlangt daher insbesondere in kleineren Werkstätten mit nur wenigen Werkzeugmaschinen, daß die Fräsmaschine nicht nur für schwere Arbeiten, sondern auch für das Fräsen von Nuten, Kurven, Spiralbohrern, Vier-, Sechs-, Achtkanten, Zahnrädern usw. geeignet sein soll. Hierzu ist nur die *Universalfräsmaschine* (Fig. 711 u. 712) imstande. Ihre Konstruktion hat gerade in der neuesten Zeit wesentliche Verbesserungen erfahren. Bei dieser Maschine erfolgt der Antrieb nicht mehr durch eine Stufenscheibe, sondern durch eine Einzelscheibe 1, die durch ein Wechselrädergetriebe einerseits die Frässpindel 2, anderseits durch ein zweites, im unteren Teil des hohlen Maschinenständers 3 liegendes Wechselrädergetriebe die Vorschubvorrichtung antreibt. Man ist daher in der Lage, für jede der sechzehn Spindelgeschwindigkeiten einen hierfür passenden und von der Umlaufszahl der Spindel unabhängigen Vorschub einzuschalten. Die

Frässpindel 2 wird folgendermaßen angetrieben: die mit der Einzelscheibe 1 fest verbundene Welle 4 trägt ein langes Zahnrad 5, in welches das sogenannte Einlegrad 6 dauernd eingreift. Das Gehäuse 7, das die Achse 8 des Rades trägt, ist um Welle 4 durch Hebel 9 schwingbar; außerdem kann das Einlegrad 6 in Richtung des Pfeiles (Fig. 712) durch Handgriff 10 (Fig. 711) verschoben werden, so daß es in eines der Räder 11, 12, 13, 14 eingreifen kann. In der Stellung nach Fig. 712 greift das Rad 11 in ein Rad 15, das mit den Zahnrädern 16, 17 eine lose umlaufende Hülse bildet; vom Rade 16 wird die Drehbewegung (durch zwei nicht dargestellte Räder) auf das Rad 18 übertragen, das mit dem auf der Frässpindel 2 festen Rade 21 durch den Kuppelbolzen 22 verbunden werden kann. Die Räderhülse 15, 16, 17 kann durch Handgriff 24 nach links verschoben werden, so daß Rad 17 mit dem Rade 13 in Eingriff kommt; außerdem kann durch Hebel 25 die Vorgelegewelle 26 geschwenkt werden, wodurch die Räder 18 und 19 sowie 20 und 21 in Eingriff kommen; bei der Drehung der Vorgelegewelle 26 wird gleichzeitig der Kuppelbolzen 22 zurückgezogen. Die Antriebswelle 4 treibt ferner durch Kettenrad 23 und eine Renoldsche Kette das Vorschub-Wechselradgetriebe, zu dessen Einstellung die Hebel 27, 28 vorgesehen sind. An der Führung 29 des Maschinenständers 3 ist der Winkelschlitten 30 verschieb- und feststellbar. Er besitzt eine wagerechte Führung 31 für den Unterschlitten 32, der mittels eines drehbaren Zwischenteils 33 den Langschlitten 34 trägt. Zur Handverstellung des Winkelschlittens 30 dient das Handrad 35 und die Spindel 36, wogegen der Unterschlitten 32 durch Handrad 37 nebst Spindel 38, und der Langschlitten 34 durch Kurbel 39 und Gewindespindel 40 von Hand verschoben werden kann. Zum selbsttätigen Längs-, Quer- und Höhenvorschub ist die mit dem Vorschub-Wechselrädergetriebe in Verbindung stehende senkrechte Spindel 41 angeordnet. Der Fräsdorn wird in der Frässpindel 2 durch die Spannschraube 42 gehalten und durch den auf der Gegenhalterwelle 43 verschiebbaren Gegenhalter 44 am Ende, ferner durch das Halslager 45 in der Mitte unterstützt. Der Gegenhalter 44 wird noch durch die Stützen 46 mit dem Winkelschlitten 30 verbunden. Zum Festspannen von Arbeitsstücken, die z. B. nur eben gefräst oder mit einem Scheibenfräser genutet werden sollen, benutzt man den Langschlitten 34 oder einen Schraubstock 47 (Fig. 713), dessen bewegliche Backe 48 durch Handgriff 49 und Spindel 50 gegen die feste Backe 68 gepreßt wird. — Der wichtigste Teil der Universalfräsmaschine ist die Teilvorrichtung (Fig. 714). Sie besteht aus dem Teilkopf 51 und dem Reitstock 61. Die Werkstücke, z. B. Zahnräder, können zwischen den Spitzen 52 und 62 eingespannt und durch ein Spannherz (Parallelherz) mit dem Mitnehmer 53 verbunden werden. Die Spitze 52 sitzt in einer Spindel 59 des Steines 54, der unter beliebigem Winkel, z. B. zum

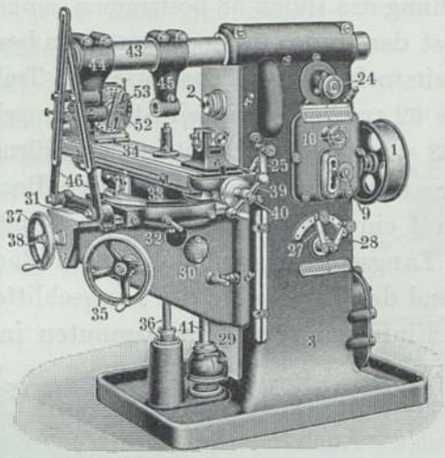


Fig. 711. Ansicht.

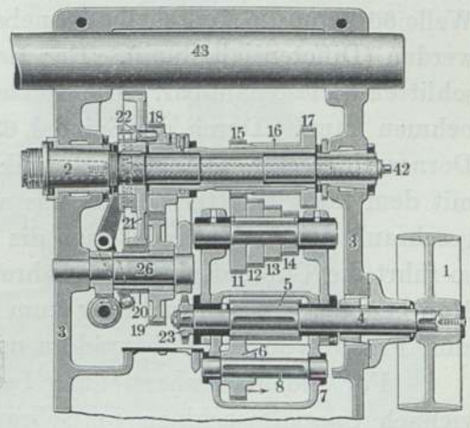


Fig. 712. Schnitt durch den Spindelantrieb.

Fig. 711 und 712. Universalfräsmaschine.

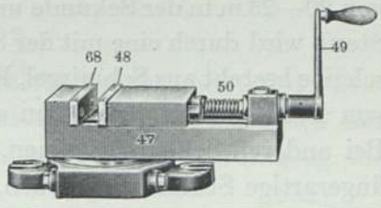


Fig. 713. Drehbarer Schraubstock der Universalfräsmaschine.

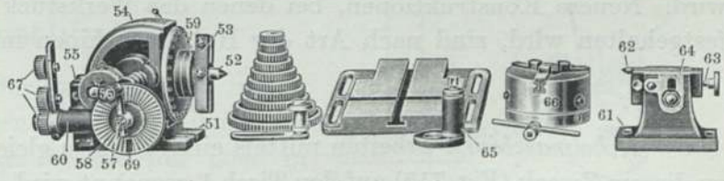


Fig. 714. Teilkopf mit Reitstock.

Fräsen von Kegelrädern, Winkelfräsern usw., gegen die Haube 55 einstellbar ist. Nach Herstellung einer Lücke oder Furche wird die Spindel 59 und somit das Werkstück durch den Index 56 um eine Teilung dadurch weiter geschaltet, daß die Welle 57 des Index 56 mit einer Schnecke in ein Schneckenrad von vierzig Zähnen greift, das auf der Spindel 59 sitzt. Der Index kann auf die Lochkreise der Teilscheibe 58 eingestellt werden. Der Stellzeiger 69 wird nach der Anzahl der Löcher, welche die Teildrehung des Index 56 bestimmen, eingestellt. Durch eine zweite Welle 60 kann die Teilscheibe 58 nebst dem Index 56 noch um einen bestimmten Winkel gedreht werden (Differentialteilung). Der Reitstock 61 ist ebenso wie der Teilkopf 51 auf dem Langschlitten 34 festspannbar. Die Spitze 62 ruht in dem Teil 64, der verschiedene Winkellagen einnehmen kann. Durch die Spindel 63 wird die Spitze 62 in den Körner des Werkstückes oder Dornes eingesetzt. Lange Werkstücke unterstützt man durch den Bock 65; kurze nimmt man mit dem Zentrierfutter 66 auf, das auf ein Gewinde am vorderen Ende der Teilkopfspindel 59 geschraubt wird. Verbindet man die Langschlittenspindel 40 durch Räder 67 mit dem Teilkopf, so führt die Teilkopfspindel 59 während des Vorschubes des Langschlittens 34 eine Drehung aus. Man benutzt diese Einrichtung zum Einfräsen von Schraubennuten in Gewindebohrer, Fräser, zum Fräsen von Schraubenrädern usw.

Für die Massenherstellung besonderer Teile, z. B. Muttern, Räder, Kugeln usw., sind vielfach Spezialmaschinen in Gebrauch. Auch Gewinde fräst man mit Scheibenfräsern auf Gewindefräsmaschinen, die den Leitspindeldrehbänken ähnlich sind.

13. Schleifen.

Schleifmaschinen benutzt man sowohl zum Schärfen von Werkzeugen als auch zum Fertigstellen von Dreharbeiten. Das Werkzeug *(Schleifscheibe)* läuft mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 20—25 m in der Sekunde um; es wird durch einen Wasserstrahl benetzt (Naßschleifen), oder der Staub wird durch eine mit der Schutzhaube verbundene Absaugevorrichtung entfernt. Die Schleifscheibe besteht aus Schmirgel, Korund oder Karborund. Einfache Schleifmaschinen zum Anschärfen von Dreh- und Hobelstählen sind mit der bei Schleifsteinen üblichen Handvorlage ausgerüstet. Bei anderen Schleifmaschinen, so insbesondere bei Fräser- und Sägenschleifmaschinen, ist eine fingerartige Stütze vorgesehen, gegen die sich ein Zahn des Werkzeuges legt. Auf Spiralbohrerschleifmaschinen erhalten die Bohrer den für die Erzielung einer guten Schneidwirkung erforderlichen Hinterschliff der Lippen. Eine große Verbreitung haben die *Rundschleifmaschinen* gefunden, die schneller und genauer als Drehbänke arbeiten. Man schleift auf ihnen voll- und hohlzylindrische Werkstücke, so insbesondere Wellen und Zylinder für Explosionsmotoren. *Planschleifmaschinen* zur Herstellung ebener Flächen besitzen eine Kupfer- oder Bleischeibe, auf die Schmirgel mit Öl gebracht wird. Neuere Konstruktionen, bei denen das Werkstück auf elektromagnetischen Spannfuttern festgehalten wird, sind nach Art der Hobelmaschinen mit hin und her gehendem Tisch gebaut.

14. Hobeln.

Hobelmaschinen arbeiten mittels eines Stahles gleichstarke Späne vom Werkstück ab, das zu diesem Zweck (Fig. 715) auf den Tisch 1 gespannt wird. Seitlich zum Bett 2 sitzen die Ständer 3 mit den senkrechten Führungen 4 für den Balken 5, auf dem die Supporte 6 gleiten. Der Tisch 1 erhält seine Vor- (Arbeits-) Bewegung durch die von Scheibe 7 angetriebene Welle 11 und eine im Bett liegende Räderübersetzung, deren letztes Rad in die Zahnstange 12 des Tisches 1 greift. Ein Steuerknaggen 13 legt am Ende der Arbeitsbewegung den Hebel 15 nach rechts um und verschiebt dadurch eine mit Kurvenschlitzen versehene Platte 16 derart, daß zunächst durch den Riemenführer 17 der Arbeitsriemen von der festen Scheibe 7 auf die Losscheibe 8 und kurz darauf durch einen zweiten Riemenführer 18 der Rücklaufriemen von der Losscheibe 9 auf die feste Scheibe 10 geschoben wird. Das Rädergetriebe läuft nun im umgekehrten Sinne, bis der zweite Steuerknaggen 14 den Hebel 15 nach links umlegt und dadurch den Riemenwechsel bewirkt. Die Knaggen 13, 14 sind längs des Tisches 1 entsprechend der Hobellänge verstellbar. Gleichzeitig mit der Rücklaufbewegung

führt die mit einer Zwischenwelle durch eine Reibkuppelung verbundene Scheibe 19 eine Teildrehung bis zu einem Anschlag aus. Sie erteilt durch einen verstellbaren Stein 20 und eine Lenkerstange 21 der Zahnstange 22 eine Aufwärtsbewegung und durch ein Rädergetriebe 23 den Schaltdosen 24 Drehbewegung. Diese sitzen auf Gewindespindeln 25 der Supporte 6 und schieben letztere um Spanstärke vor. Zum selbsttätigen Vertikalvorschub setzt man eine Schaltdose 24 auf die glatte Spindel 26, die durch Kegelräder die Vertikalspindel 27 des Supportes antreibt. Zur Stahleinspannung dienen die Klauen 28, 28, die auf einem seitlich schwenkbaren Kopf 29 sitzen; letzterer ist durch Spindel 27 und Schlitten 30 senkrecht verschiebbar und in beliebigem Winkel gegen die Vertikale schräg stellbar. Zur groben Höheneinstellung wird der ganze Balken 5 durch Scheibe 31, Kegelräder 32 und senkrechte Spindeln gehoben oder gesenkt.

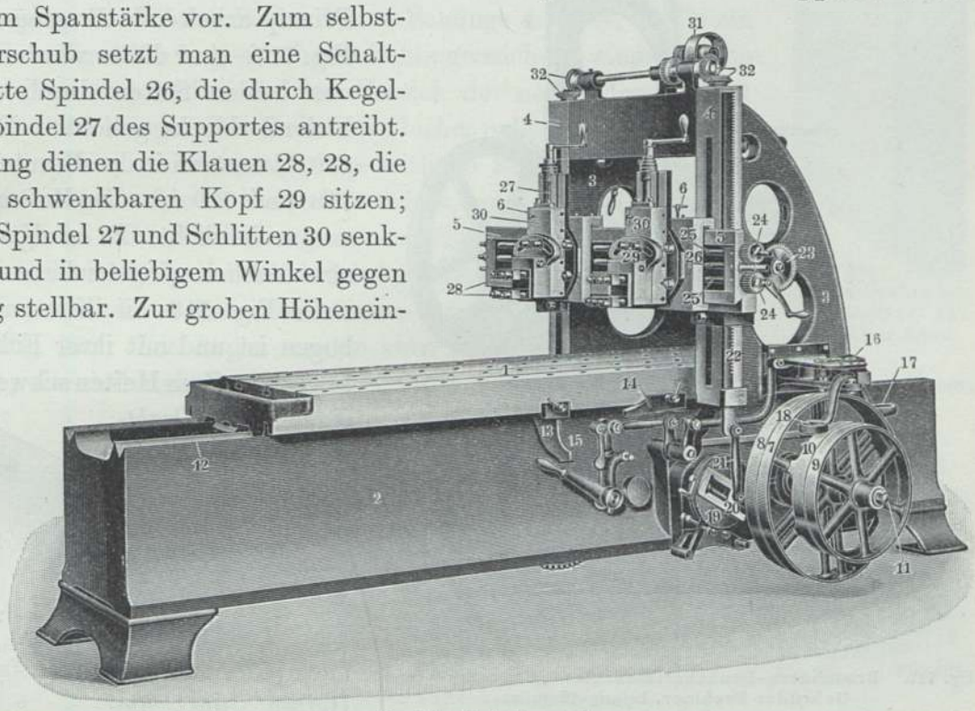


Fig. 715. Hobelmaschine.

Sehr große Arbeitsstücke, die seitlich über die Tischplatte hinausragen, bearbeitet man auf Hobelmaschinen, deren Balken von nur einem Seitenständer getragen wird *(Einständer-, Einpilastermaschinen)*. Zur Bearbeitung kleiner Werkstücke bedient man sich der *Shapingmaschine*, bei der das in einem hin und her gehenden Stößel befestigte Werkzeug die Arbeitsbewegung, dagegen der Tisch mit dem Werkstück die Vorschubbewegung ausführt. — Ähnlich den letzteren sind die *Stoßmaschinen*, jedoch wird bei ihnen das Werkzeug in vertikaler Richtung gegen das Werkstück geführt; der Aufspanntisch hat in der Regel Längs-, Quer- und Rundbewegung.

K. Buchbindereimaschinen.

Die auch auf dem Gebiete der Buchbinderei sich immer mehr entwickelnden Großbetriebe arbeiten durchweg mit mechanischen Vorrichtungen, die einen Ersatz für die nur noch in kleinen Buchbindereien übliche Handarbeit bieten.

1. Heftmaschinen.

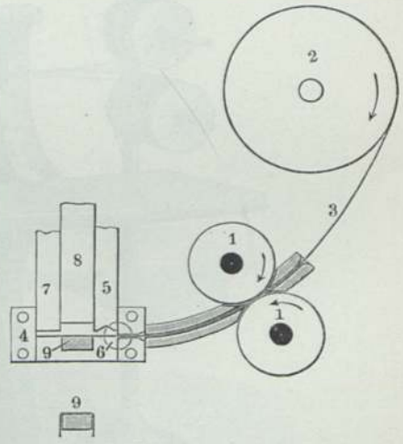


Fig. 716. Herstellung von Drahtklammern auf der Buchdrahtheftmaschine.

Die in der Buchbinderei üblichen Heftmaschinen zerfallen, je nachdem sie als Heftmaterial Draht oder Zwirnfäden verarbeiten, in *Draht-* und *Fadenheftmaschinen*. Erstere verbinden die einzelnen Bogen mit dem Buchrücken durch Klammern, deren Entstehung aus Fig. 716 ersichtlich ist. Durch absatzweises Drehen zweier gehärteter Stahlrollen 1, 1 wird der auf einer Spule 2 aufgewickelte Draht 3 um ein entsprechendes Stück vorgeschoben, bis er gegen den Anschlag 4 stößt. Von den darauf niedergehenden Werkzeugen 5, 7, 8 schneidet das Messer 5, das mit dem Gegenmesser 6 zusammenwirkt, den Draht ab, worauf derselbe durch die nunmehr als Biegewerkzeuge wirkenden Teile 5, 7, 8 über den Dorn 9

in ⌐¬-Form gebracht wird. Dieser Dorn tritt darauf zurück, so daß der Biegestempel 5, 7, 8 die Klammer in senkrechter Richtung eintreiben kann. Die noch herausstehenden Schenkel der Klammer werden durch Zangen nach innen umgelegt und eingedrückt. Eine nach diesem Prinzip arbeitende *Broschürenheftmaschine* zeigt Fig. 717. Auf dieser werden sowohl Broschüren von beiden Seiten durch den Falz als auch Kalenderblocks geheftet. Die Maschine schlägt 120 Klammern in der Minute ein. In den Figuren 718 und 719 ist das Heften von Pappkartons veranschaulicht. Es erfolgt nach Fig. 718 durch eine seitlich eingetriebene Klammer, während nach Fig. 719 die Klammer rechtwinklig gebogen ist und mit ihrer Ecke auf der des Kartons liegt. Zum Heften schwerer Geschäftsbücher eignen sich *Drahtbuchheftmaschinen* (Fig. 720). Bei diesen werden die Bogen einzeln auf den schwingbaren Tisch 1 gelegt, der nach jedesmaligem Heften um die Bogenstärke abwärts geschaltet wird. Je nach der Größe der Bücher läßt man 3—7 Heftköpfe in Tätigkeit treten. Damit jedoch der Rücken des Buches durch den in den Lagen liegenden Draht nicht zu dick wird, werden die Heftstellen gegeneinander zwei- oder dreifach versetzt (Fig. 721). Die Gaze bzw. die Bänder werden von Rollen abgewickelt und endlos in die Maschine eingeführt.

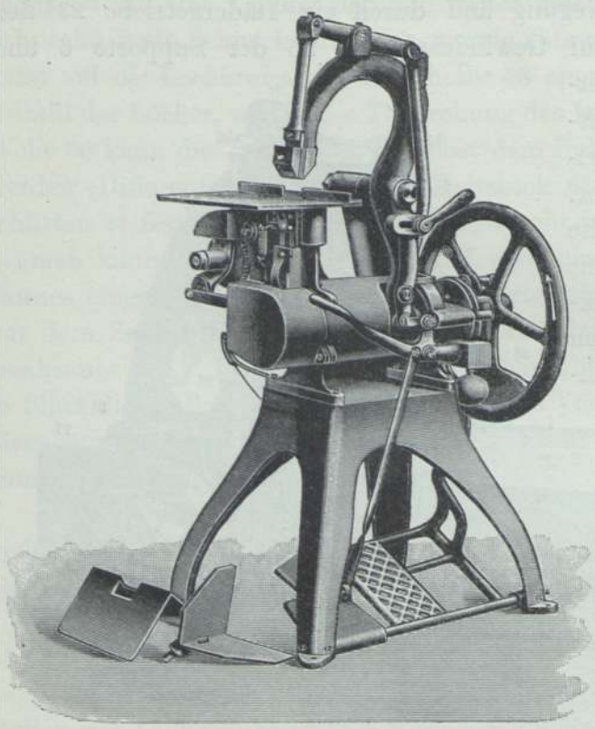


Fig. 717. Broschüren-Drahtheftmaschine „Universal“ von Gebrüder Brehmer, Leipzig-Plagwitz.

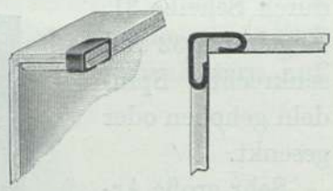


Fig. 718. Fig. 719.

Fig. 718. Seitlich eingetriebene Klammer. Fig. 719. Rechtwinklig gebogene Klammer.

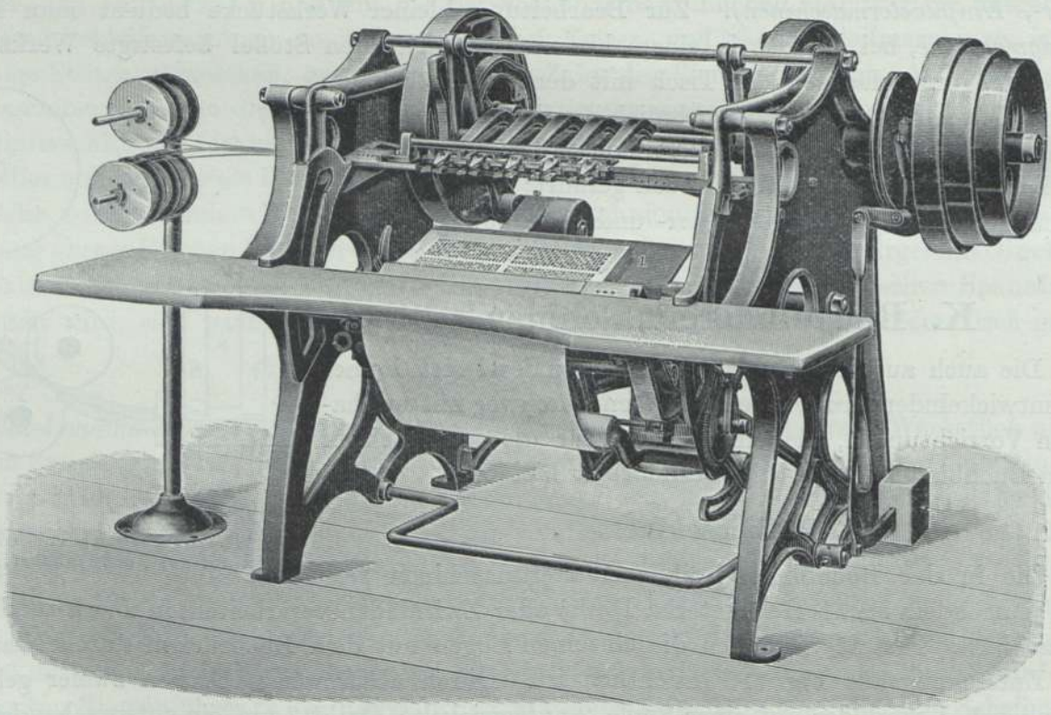


Fig. 720. Drahtbuchheftmaschine von Gebrüder Brehmer.

Bei der Buchfadenheftung wird den Nadeln eine ähnliche Bewegung wie bei der Nähmaschine erteilt. Die Arbeitsweise einer *Fadenheftmaschine* veranschaulichen die Fig. 722—727. Die unter die Nadeln 1 (Fig. 722) gebrachte Lage 2 wird im Falz durchstochen. Die Nadeln 1 machen darauf eine kleine Aufwärtsbewegung, so daß der Faden 3 eine Schlinge 4 bildet, in die ein in Richtung des Pfeiles (Fig. 723) vorgeschobener Schlingenzieher 6 eingreift, die Schlinge 4 erweitert (Fig. 724) und sie in den Bereich der neben der Nadel 1 angeordneten Hakennadel 5 bringt. Der Faden, der bisher neben dem Haken der Nadel 5 vorbeigeführt wurde, erhält eine geringe seitliche Bewegung, so daß er von der nunmehr aufwärtsgehenden Hakennadel 5 erfaßt werden kann (Fig. 725). Gleichzeitig führt die Nadel 5 eine Drehbewegung aus (Fig. 726), wobei die zuletzt erfaßte Schlinge durch die vorhergehende hindurchgezogen wird (Fig. 727). Es entsteht somit ein Kettenstich. — Eine nach diesem Prinzip arbeitende Fadenheftmaschine zeigt Fig. 728. Die Lagen werden vorn aufgelegt und verlassen die Maschine hinten; sie sind dabei mit ihren Bändern bzw. der Gaze verbunden und müssen

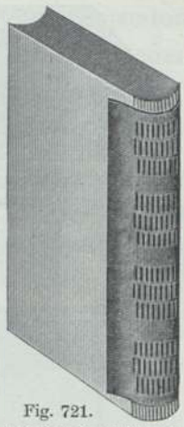


Fig. 721. Auf der Drahtbuchheftmaschine hergestellter Band.

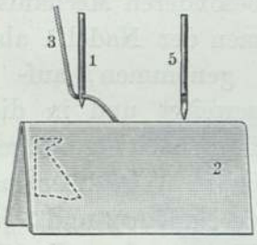


Fig. 722.

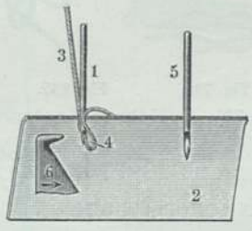


Fig. 723.

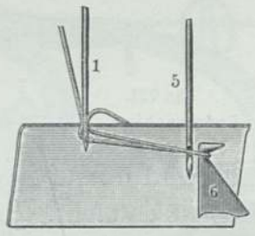


Fig. 724.

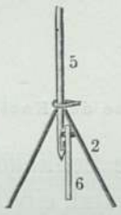


Fig. 725.

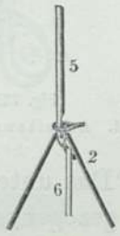


Fig. 726.

Fig. 727.

Fig. 722—727. Arbeitsweise der Fadenheftmaschine.

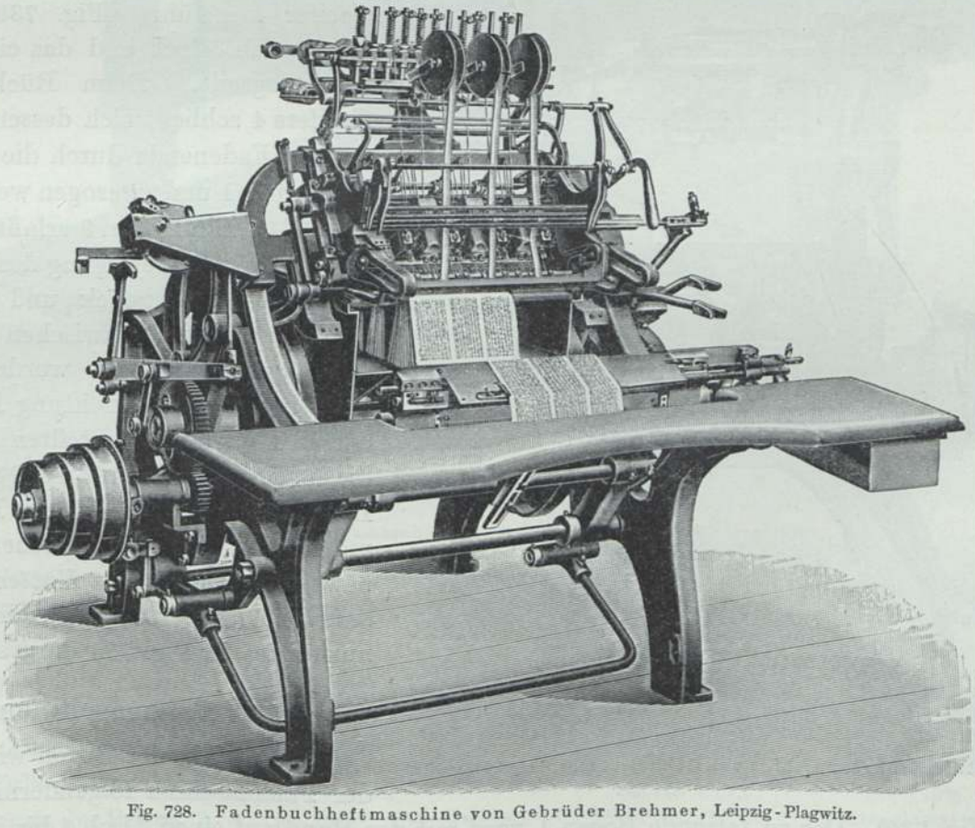


Fig. 728. Fadenbuchheftmaschine von Gebrüder Brehmer, Leipzig-Plagwitz.

zur Weiterverarbeitung auseinander geschnitten werden. Ein Arbeitsmuster dieser Maschine ist in Fig. 729 dargestellt.

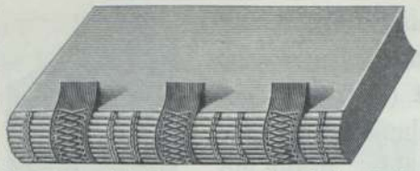


Fig. 729. Arbeitsmuster der Fadenheftmaschine.

Zum Heften von Schreibheften, einlagigen Broschüren usw. dient die *Knotenknüpfmaschine (Knotenfadenheftmaschine)*. Ihr Arbeitsgang ist folgender (Fig. 730—734): Drei auf verschieden große Stichlängen einstellbare Hakennadeln 1, 2, 3 durchdringen nacheinander die Broschüre 6 und erfassen mit ihren Haken den von der vorhergehenden Heftung ausgespannten Faden 5. Die Nadel 1 zieht den Faden 5 zu einer langen, nach unten gehenden Schlinge 7 aus (Fig. 730). Diese wird von (nicht dargestellten) besonderen Mechanismen der Nadel 1 abgenommen, aufgeweitet und in die Form nach Fig. 731 gebracht. Das untere Schlingenende wird darauf in der aus Fig. 732 ersichtlichen Weise über das mittlere gezogen, so daß eine Öffnung 8 entsteht. Inzwischen ist auch von den Nadeln 2 und 3 je eine Schlinge gebildet worden. Durch die offenen Schlingen wird nun der Greifer 4 geführt (Fig. 733), dessen Spitze sich öffnet und das eine Fadenende ergreift. Beim Rückgang des Greifers 4 schließt sich dessen Maul, so daß das Fadenende durch die Schlingen der Nadeln 1 und 2 gezogen werden kann (Fig. 734). Ein Haken 9 erfaßt (Fig. 733) während dieser Bewegung des Greifers 4 das obere Fadenstück und zieht die Schlinge zu, die inzwischen von dem Schleifenbilder gelöst worden ist. — Eine besondere Vorrichtung kann auch den in Fig. 734 dargestellten Knoten in die Formen nach Fig. 735 und 736 bringen. Diese Knoten machen ein Lösen unmöglich. — Die beschriebenen Arbeitsbewegungen führt die *Knotenfadenheftmaschine* (Fig. 737) aus; ein Arbeitsmuster ist in Fig. 738 dargestellt.

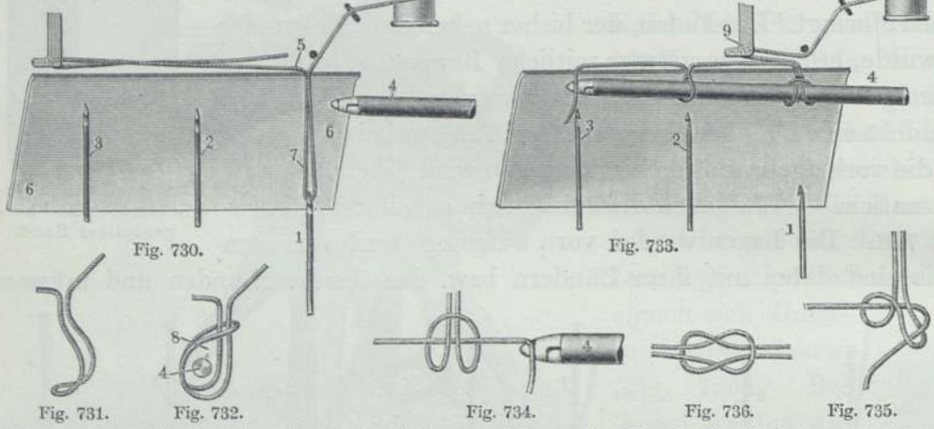


Fig. 730. Fig. 733. Fig. 731. Fig. 732. Fig. 734. Fig. 736. Fig. 735.

Fig. 730—734. Arbeitsweise der Knotenknüpfmaschine. Fig. 735 und 736. Unlösbare Knoten.

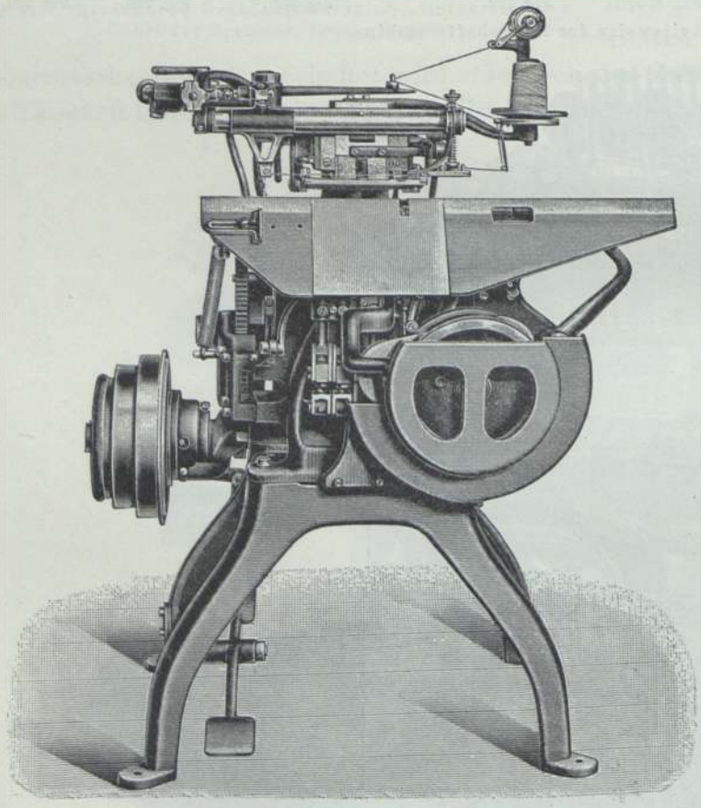


Fig. 737. Knotenfadenheftmaschine von Gebr. Brehmer, Leipzig-Plagwitz.

2. Falzmaschinen.

Das *Falzen* der Bogen wird mittels der Falzmaschine folgendermaßen ausgeführt (Fig. 739). Der zu falzende Bogen 1 wird mit der Hand auf einen Tisch 4 bis an Anlegemarken geschoben. Ein an einem schwingbaren Arm sitzendes Falzmesser 3 schlägt darauf den Bogen 1 zwischen die beiden in entgegengesetzten Richtungen umlaufenden Walzen 2, 2, die den

einmal scharf gebrochenen Bogen den Transportbändern 5 übergeben und ihn einem zweiten, senkrecht zum vorigen angeordneten Falzmesser 6 darbieten. Dort wird der Bogen beim Niedergehen von 6 quergebrochen und dabei wiederum zwischen zwei Walzen 7, 7 geschlagen, darauf durch weitere Transportbänder 8 in den Bereich eines dritten Falzmessers 10 gebracht. Die unter diesem liegenden Walzen 9 führen den nun dreimal gebrochenen Bogen einem Stapelkasten 11 zu, der die Bogen bestößt und preßt. Die Walzenpaare 2, 2, 7, 7, 9, 9 sind einzeln abstellbar, so daß man eine beliebige Anzahl Bruchbogen verarbeiten kann.

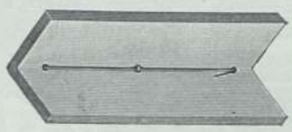


Fig. 738. Arbeitsmuster zu Fig. 730—737.

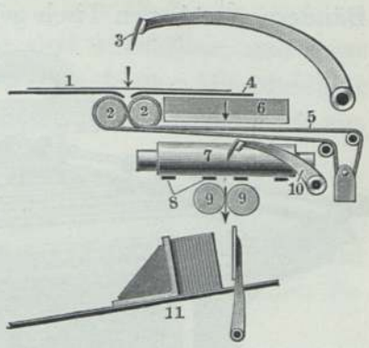


Fig. 739. Falzvorrichtung (schematisch).

Eine *Falzmaschine* für Handanlage ist in Fig. 740 dargestellt. Sie ist außer mit der oben beschriebenen Vorrichtung noch mit einem Heftapparat ausgerüstet, der jeden Bogen vor dem letzten Bruch dadurch heftet, daß zwei Fäden in der aus den Figuren 741—743 ersichtlichen Weise eingezogen werden. Das

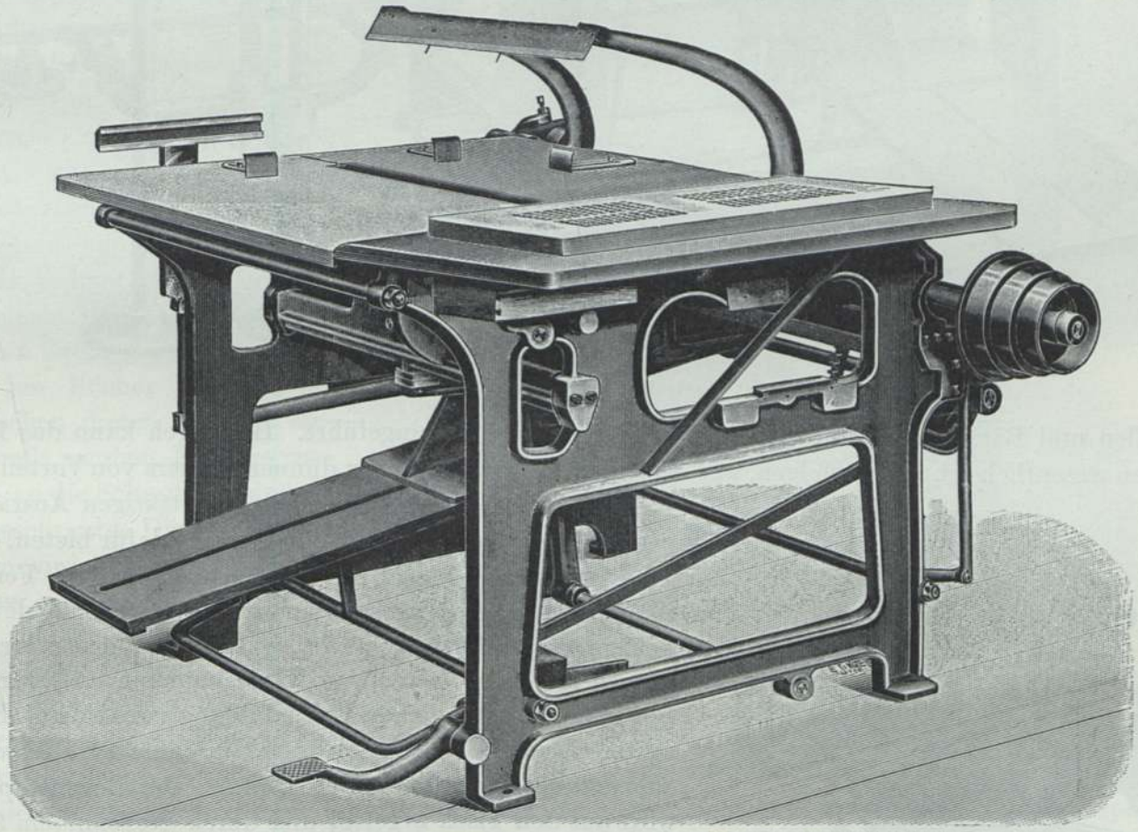


Fig. 740. Bogenfalzmaschine für Handanlage von Gebr. Brehmer.

aus den verschiedenen zusammengetragenen Bogen bestehende Buch kann dann durch Verleimen der Fadenenden auf dem Rücken des Buches sowie durch Aufkleben eines Umschlages broschiert werden. Vielfach versieht man die Bogenfalzmaschinen mit *halbautomatischer Zuführung*. In diesem Falle wird die zum Einlegen der Bogen erforderliche Bewegung des menschlichen Armes, d. h. der Weg vom Papierstoß über den ganzen Anlegetisch bis an die Anlegemarken, beseitigt und durch ein Vorschieben des jeweils obersten

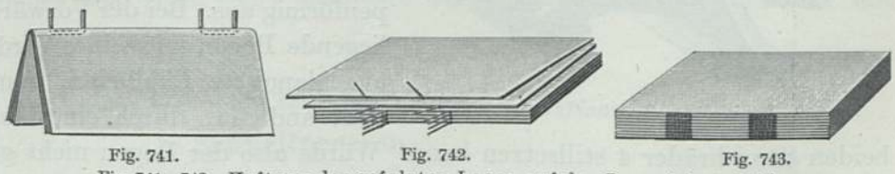


Fig. 741. Fig. 742. Fig. 743.

Fig. 741—743. Heftung der gefalzten Lagen auf der Bogenfalzmaschine.

Bogens um etwa 8 mm ersetzt. Bei einer Abart dieser Maschinen erfolgt die Zuführung mittels Ladetisches, indem die vorher sorgfältig gelockerten Bogen einzeln treppenförmig auf einen mit Bändern versehenen Tisch gelegt werden, der sie langsam vorschiebt. Der Bogen wird dann durch

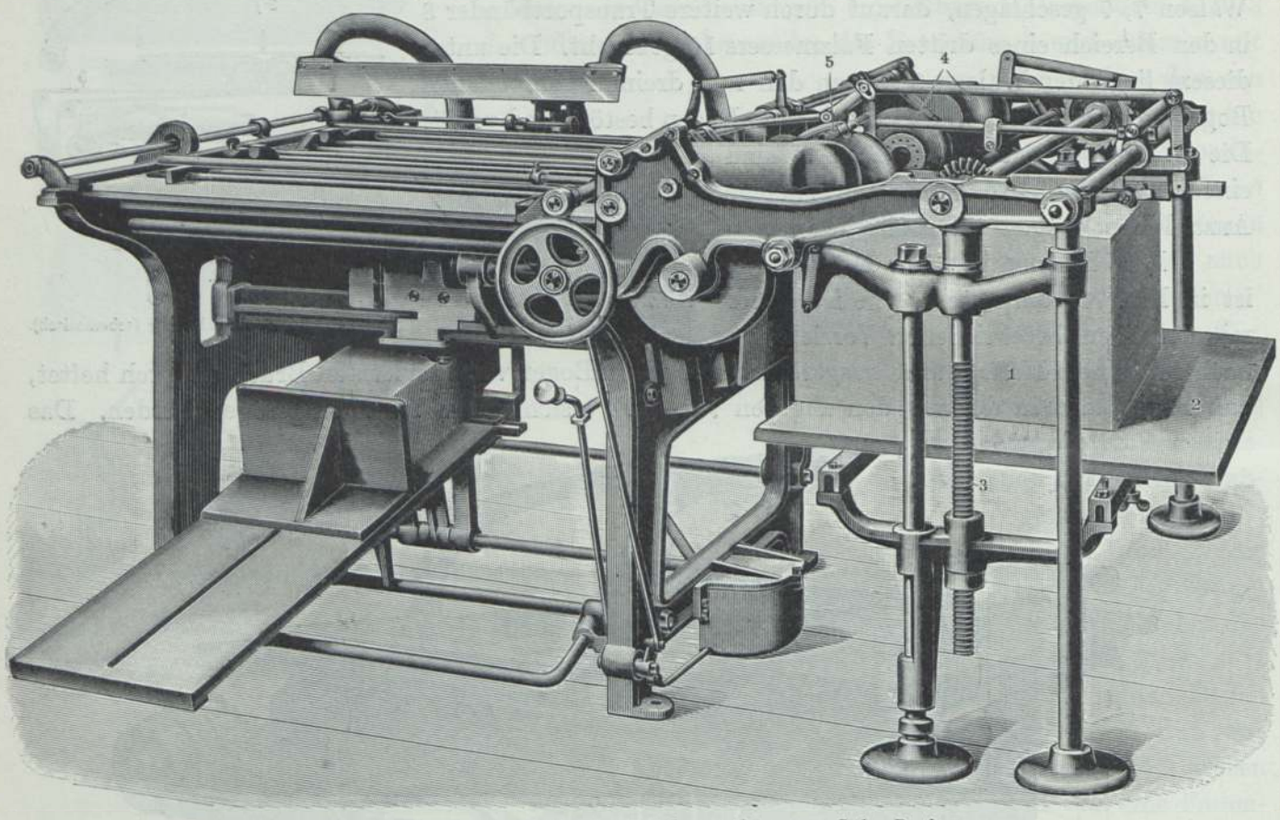


Fig. 744. Ganzautomatische Bogenfalzmaschine von Gebr. Brehmer.

Rollen und Bänder erfaßt und selbsttätig in die Maschine eingeführt. Hierdurch kann das Einlegen wesentlich schneller erfolgen, was besonders bei großen Bogen dünnen Papiers von Vorteil ist. Diese Maschine ist außerdem mit selbsttätigen Ausrichtvorrichtungen versehen, die eine Gewähr dafür bieten, daß jeder Bruch an der dafür bestimmten Stelle erfolgt. Ferner werden Zeitungen, Broschüren usw. durch Schneidevorrichtungen lesefertig gemacht, während Perforiervorrichtungen die beim Falzen von Kreidepapieren und starken Bogen sonst entstehende Faltenbildung vermeiden. Eine weitere Vervollkommnung dieser Maschine ist die *ganzautomatische Falzmaschine* (Fig. 744). Der Bogenstapel 1 wird auf den Tisch 2 gelegt und durch Stellspindeln 3 so weit angehoben, bis der oben liegende Bogen von zwei Streichrollen 4 erfaßt wird. Diese heben und senken sich periodisch und streichen auf diese Weise den Stapel treppenförmig aus. Bei der Vorwärtsbewegung stößt der oben liegende Bogen mit seiner Vorderkante gegen zwei kleine, ausbalancierte Fühlhebel, von denen jeder, unabhängig vom anderen, durch eine Auslösevorrichtung eines der beiden Streichräder 4 stillsetzen kann. Würde also der Bogen nicht genau gerade vorgeschoben, so wird das mit dem zuerst getroffenen Fühlhebel in Verbindung stehende Streichrad stillgesetzt; es schiebt somit nur das zweite Streichrad vor. Durch diesen Mechanismus wird die Bogenkante nach Beendigung der Streichperiode genau gerade gerichtet. Das Erfassen der Bogen

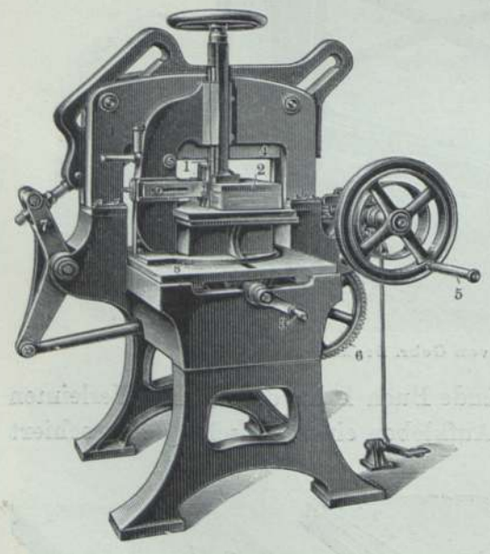


Fig. 745. Dreiseitige Beschneidemaschine.

sowie das Weiterbefördern geht in derselben Weise wie bei der halbautomatischen Falzmaschine vor sich. Der Tisch 2 der Maschine wird durch ein Schaltwerk nach jedesmaligem Entfernen eines Bogens um dessen Dicke gehoben, so daß die Streichräder wieder in derselben Weise auf den nächsten Bogen einwirken können. Die Streichräder sind verstellbar, und zwar durch die Flügel 5, damit der Andruck gegen das Papier geregelt werden kann. Die Maschine ist ferner mit automatischen Ausrückvorrichtungen versehen, damit durch zerrissene Bogen, die öfter im Bogenstapel liegen, keine Störungen entstehen.

3. Beschneidemaschinen.

Das *Beschneiden* der zusammengetragenen Bogen wird vorgenommen, um die drei nicht gehefteten Seiten sauber und auf genaues Format zu bringen. Die hierfür gebräuchlichen *Beschneidemaschinen* teilt man in 1. *Radschneidemaschinen*, bei denen ein gerades Messer schräg zum Papierstoß durch ein Rädervorgelege nebst Schwungrad bewegt wird; 2. *Hebelschneidemaschinen*, bei denen zum Niedertreiben des Messers eine Hebelübersetzung dient, und 3. *dreiseitige Beschneidemaschinen* (Fig. 745). Letztere werden in folgender Weise bedient: Die Beschneideformen 2 werden in der genauen Größe der zu beschneidenden Bücher gewählt, die zwischen diesen Platten eingepreßt werden. Letztere werden an die Schraubenspindel 1 angeschraubt. Die Beschneideform wird mittels eines Handrades oder einer Kurbel 3 an das Messer 4 geschoben und der erste Schnitt vollführt, wozu die Kurbel 5, Räderübersetzung 6 und der Winkelhebel 7 bewegt werden. Nach erfolgtem Aufschub des Messers 4 dreht man die Scheibe 8 mittels eines Seitenhebels und stellt die Beschneideform durch 3 erneut an. In gleicher Weise verfährt man bei Ausführung des dritten Schnittes, worauf das Buch ausgespannt (ausgepreßt) wird. Ein *doppelter Dreischneider* von Karl Krause, Leipzig, ist in Fig. 746 dargestellt.

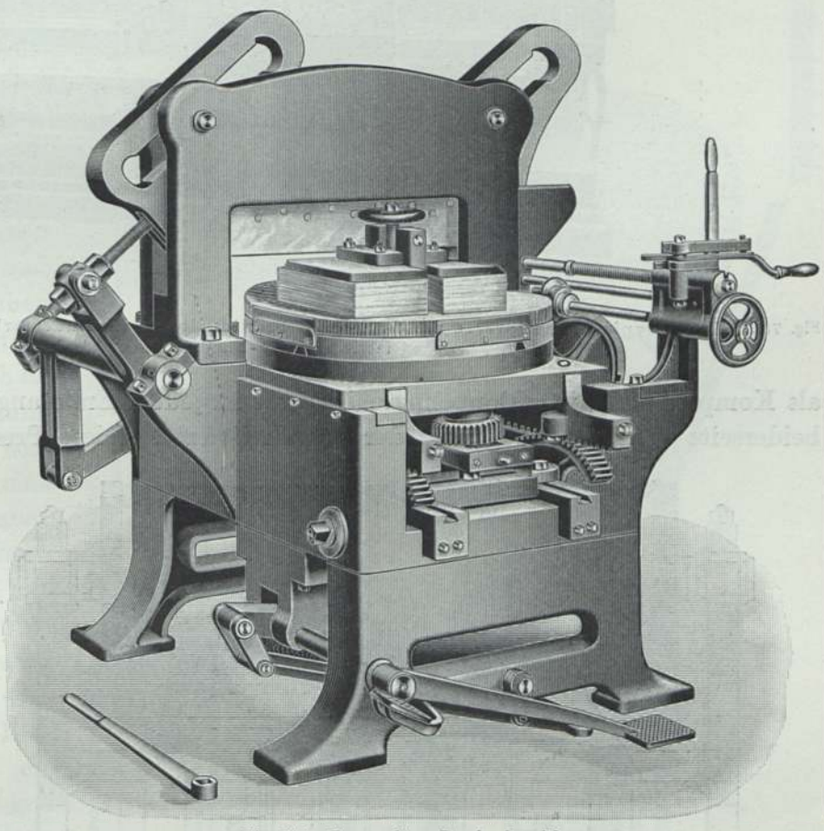


Fig. 746. Doppelter Dreischneider.

Auch das Runden der Bücher wird auf mechanisch bewegten Vorrichtungen *(Rückenrundmaschinen)* vorgenommen, die jedoch meist von Hand bedient werden. Dagegen sind für das Abpressen, durch welches das Buch seine bleibende Form erhält, *Abpreßmaschinen* mit Kraftantrieb gebräuchlich.

L. Buchdruckpressen.

1. Schnellpressen.

Die *Schnellpressen* entwickelten sich aus der Handpresse zur Erzeugung der Abdrücke des Typensatzes auf Papier, die, zuerst von dem Pariser Buchdrucker Jodocus Badius um 1500 angewandt, nach einer Reihe von Abänderungen und Ergänzungen erst von dem Baseler Schriftgießer

Wilhelm Haas 1772 aus Eisen konstruiert wurde. Diesen Handpressen war auch die erste, von Friedrich König und dem Mechaniker A. F. Bauer 1810 in London erfundene Schnellpresse nachgebildet; jedoch erfolgte bei dieser *Flachdruckmaschine* das Auftragen der Farbe bereits mittels selbsttätig bewegter Walzen. An die Stelle der Flachdruckmaschine trat 1811 die ebenfalls von König herrührende Zylinderdruckmaschine, die nach mehrmaliger Vervollkommnung (1814)

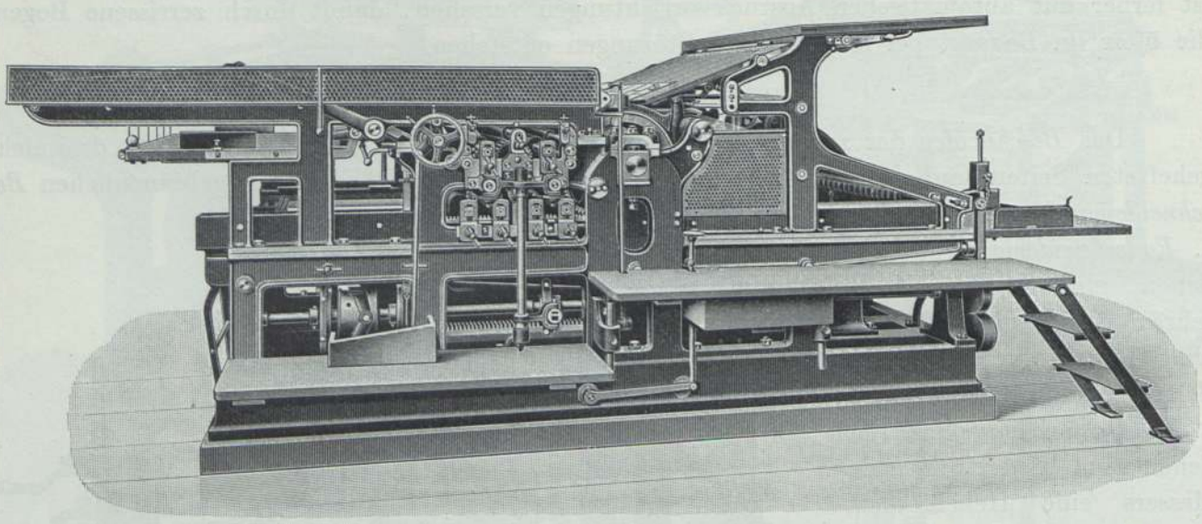


Fig. 747. Chromotypie-Schnellpresse mit Stab- und Frontausleger. Zylinderfarbwerk mit vier Auftragwalzen (Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.-G.). Ansicht.

als Komplettmaschine (Doppelmaschine) mit an jedem Ende angeordnetem Farbwerk 900—1000 beiderseits bedruckte Bogen in der Stunde lieferte. Diese Presse erfuhr bei ihrer Verbreitung wesentliche Verbesserungen durch den Ersatz der Zufuhrbänder durch am Druckzylinder angebrachte Klammern (Greifer), die das Papier festhalten und Faltenbildung vermeiden; ferner brachte man Anlegeapparate an, die das Papier dem Druckzylinder selbsttätig zuführen. Der gleichzeitige Druck zweier Farben wurde, nachdem die von Congreve erfundene Maschine den Anforderungen der Gegenwart nicht mehr entsprach, durch eine von Wilhelm v. König, dem ältesten Sohne des Erfinders Friedrich König, erfundene, von der Firma König & Bauer zu Kloster-Oberzell bei Würzburg erbaute *Zweifarbenmaschine* ermöglicht.

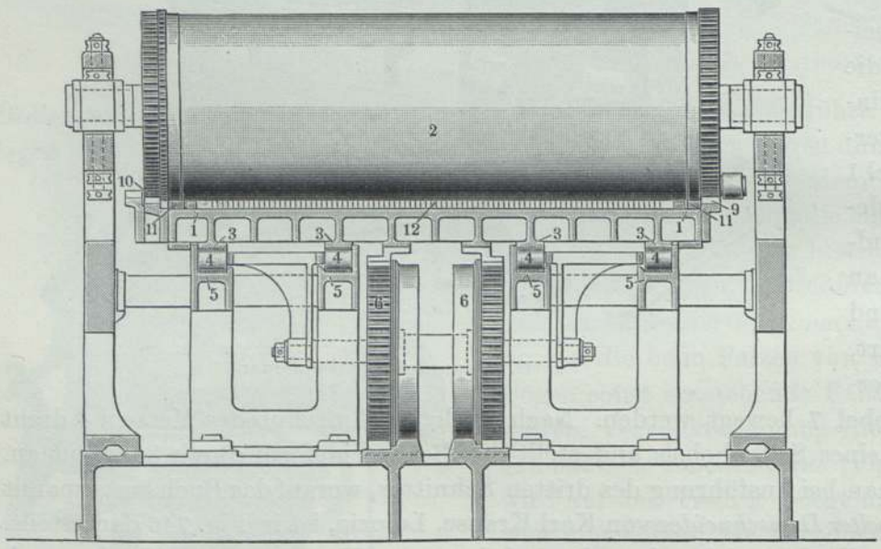


Fig. 748. Chromotypie-Schnellpresse mit Stab- und Frontausleger. Zylinderfarbwerk mit vier Auftragwalzen (Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.-G.). Querschnitt.

Eine *Chromotypie-Schnellpresse* mit Stab- und Frontausleger ist in den Figuren 747—749 dargestellt. Diese Maschinen werden zum Druck von schweren Illustrationen, insbesondere Autotypien und feinem Farbendruck, angewendet. Entsprechend der Bestimmung der Maschine ist sowohl das Druckfundament 1 als auch der Druckzylinder 2 sehr kräftig ausgeführt. Ersteres gleitet mit vier Stahlschienen 3 auf einer großen Anzahl von Stahlrollen 4, 4, die sich auf vier Stahlbahnen 5, 5 abwälzen. Das Druckfundament 1 erhält seinen Antrieb von einem einzigen

Wagenrollenpaar 6, das durch Schubstange 7 und Kurbel 8 in Bewegung gesetzt wird. Der aussetzend sich drehende Druckzylinder 2 erhält seinen Antrieb durch die Druckzylinderzahnstange 9 und die Beiläuferzahnstange 10. Auf beiden Seiten des Druckfundaments sind Druckleisten 11 von der Schrifthöhe 12 angeordnet, auf denen sich der Druckzylinder 2 gleichmäßig abrollt. Das Zylinderfarbwerk 13 ist versehen mit vier sehr großen Auftragwalzen 14, drei Nacktzylindern 15 aus poliertem Stahlrohr, drei Massewalzen 16, zwei Reibwalzen 17, einer Heberwalze 18 und der Duktorwalze 19. Die drei Nacktzylinder 15 und die beiden Reibwalzen 17 können beliebig regelbare Hin- und Herbewegungen ausführen, es können auch diese Bewegungen abgestellt werden. Der Farbstoff befindet sich im Farbkasten 20, dessen Ausflußöffnung durch gegen das Federlineal 21 wirkende Regulierungswinkel 22 in eine beliebig feine Farbstellung gebracht werden kann. Die Maschine kann mit Stabausleger 23 allein oder mit Stab- und Frontausleger 24 ausgerüstet werden. Letzterer wird beim Druck mit kleinerer Geschwindigkeit angewendet, wie sie für Illustrationen und Farbendrucke erforderlich ist. Dabei wird der Bogen während der ganzen Druckperiode von den Greifern 25 festgehalten, wodurch ein absolut genaues Register erreicht wird. Die bedruckte Seite des Bogens kommt auch weder mit Bändern und Schnüren noch mit Auslegerstäben in Berührung, sie bleibt daher völlig rein. Schließlich wird der Bogen mit der bedruckten Seite nach oben unmittelbar neben dem Farbkasten 20 abgelegt. Es ist daher sofort ersichtlich, an welcher Stelle des Farbkastens 20 die Farberegulierung 26 vorzunehmen ist; außerdem kann der Druck bequem kontrolliert werden. Der Frontausleger 24

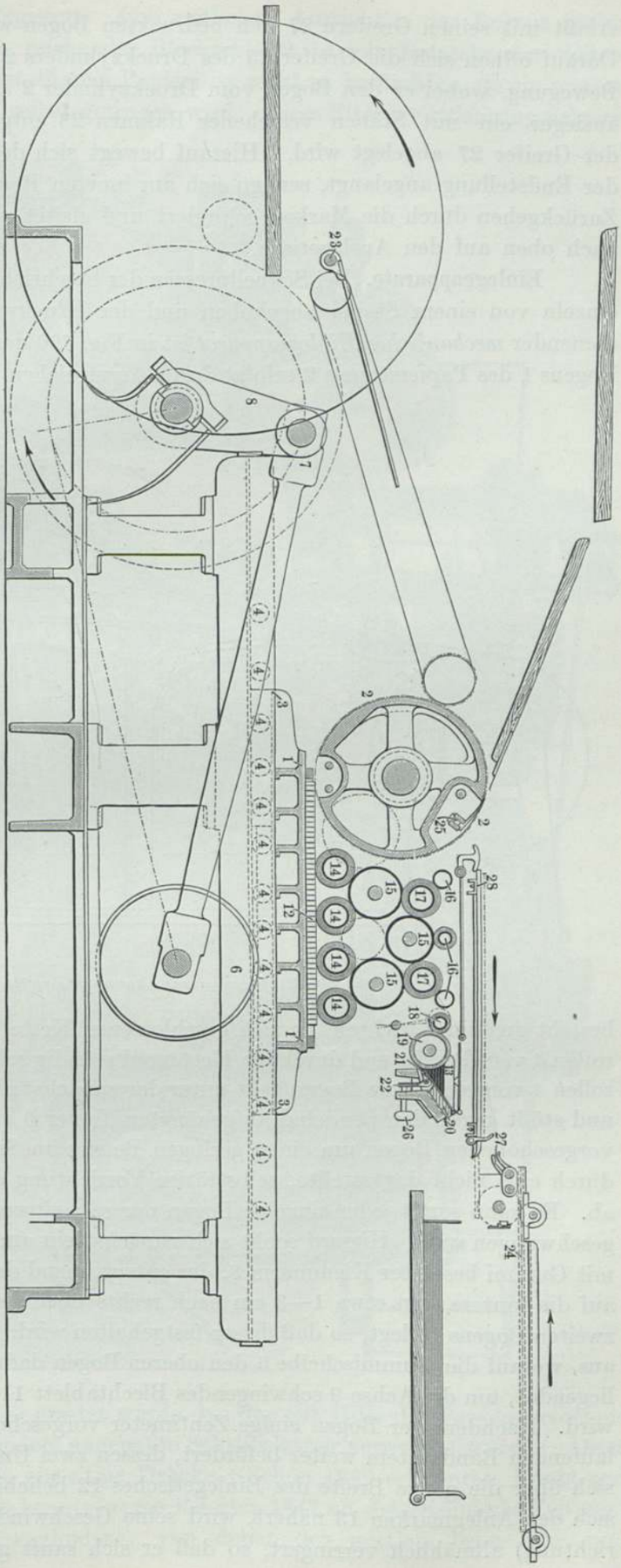


Fig. 749. Chromotypieschnellpresse mit Stab- und Frontausleger, Zylinderfarbwerk mit vier Auftragwalzen (Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.-G.). Längsschnitt.

erfaßt mit seinen Greifern 27 den bedruckten Bogen während des Stillstandes des Zylinders 2. Darauf öffnen sich die Greifer 25 des Druckzylinders 2, und der Frontausleger 24 setzt sich in Bewegung, wobei er den Bogen vom Druckzylinder 2 abhebt. Gleichzeitig kommt dem Frontausleger ein mit Stäben versehener Rahmen 28 entgegen, auf den der Bogen nach Öffnen der Greifer 27 abgelegt wird. Hierauf bewegt sich der Rahmen 28 über den Auslegetisch; in der Endstellung angelangt, senken sich am inneren Bogenende die Marken. Der Bogen wird am Zurückgehen durch die Marken gehindert und gleitet von den Stäben mit der bedruckten Seite nach oben auf den Auslegetisch.

Einlegeapparate. Bei Schnellpressen der beschriebenen Art werden die Bogen mit der Hand einzeln von einem Stapel abgehoben und der Druckwalze zugeführt. Ein demselben Zwecke dienender *mechanischer Einlegeapparat* ist in Fig. 750 dargestellt. Das Lösen des jeweils obersten Bogens 1 des Papierstapels 2 erfolgt durch Ausstreichen mittels einer Streichvorrichtung 3. Diese

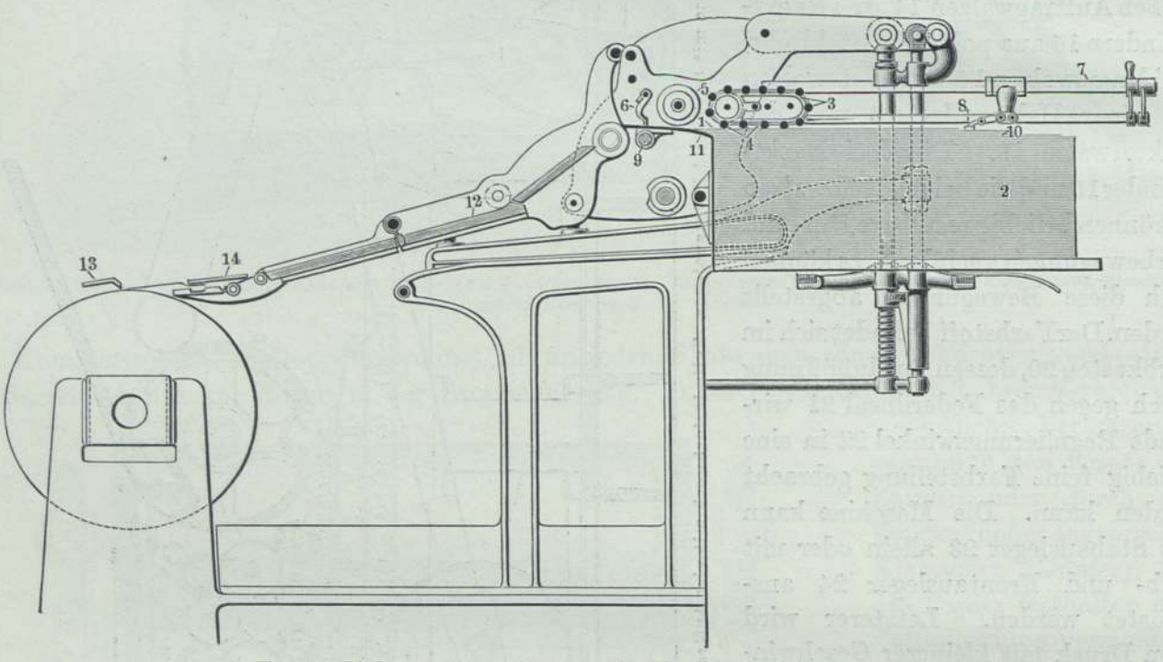


Fig. 750. Einlegeapparat „Augusta" der Maschinenfabrik Augsburg.

besteht aus einer leichten, in sich geschlossenen Kette, die mit einer Anzahl stählerner Streichrollen 4 versehen ist und durch ein Kettenrad ständig schnell bewegt wird. Der durch die Streichrollen 4 vorgeschobene Bogen geht unter der zunächst nicht wirkenden Gummischeibe 5 hindurch und stößt gegen den pendelnd aufgehängten Taster 6 aus Aluminium. Wird letzterer durch den vorgeschobenen Bogen um einen geringen Betrag im Sinne des Uhrzeigers gedreht, so hebt sich durch eine nicht dargestellte, selbsttätige Vorrichtung die Streichkette 3 plötzlich vom Stapel 2 ab. Es kann somit jeder einzelne Bogen nur so weit vorgeschoben werden, bis der Taster 6 ausgeschwungen wird. Hierauf senkt sich zunächst ein am hinteren Ende des Armes 7 befindlicher, mit Gummi besetzter Klemmarm 8, der entsprechend dem Format so einzustellen ist, daß er sich auf die hintere, um etwa 1—3 cm nach rechts über den ersten Bogen 1 vorstehende Kante des zweiten Bogens 10 legt, so daß dieser festgehalten wird. Der Taster 6 schwingt nun rechtsdrehend aus, worauf die Gummischeibe 5 den oberen Bogen dadurch abzieht, daß ein unter dieser Scheibe liegendes, um die Achse 9 schwingendes Blechtablett 11 durch ein Exzenter zeitweilig angehoben wird. Nachdem der Bogen einige Zentimeter vorgeschossen ist, wird er von einem ständig umlaufenden Bandsystem weiter befördert, dessen zwei Unter- und vier bis sechs kurze Oberbänder sich über die ganze Breite des Einlegetisches 12 beliebig einstellen lassen. Während der Bogen sich den Anlegmarken 13 nähert, wird seine Geschwindigkeit (durch eine nicht gezeichnete Vorrichtung) allmählich verringert, so daß er sich sanft gegen die Marken 13 legt. Man erreicht

hierdurch eine hohe Genauigkeit des Registers. Zum seitlichen Ausrichten des Bogens ist ein breiter, quer über die ganze Maschine reichender Blechschieber 14 mit feststehender Seitenmarke vorgesehen. Ein Einknicken selbst dünnen Papiers ist nicht zu befürchten, da ein wesentlicher Teil des Bogens vom Schieber 14 selbst getragen wird. Diese Einlegevorrichtung arbeitet auch bei höchster Geschwindigkeit der Schnellpresse sicher und tadellos, er ist ferner durch einen Handgriff abstellbar, wenn der Farbbehälter gefüllt werden soll.

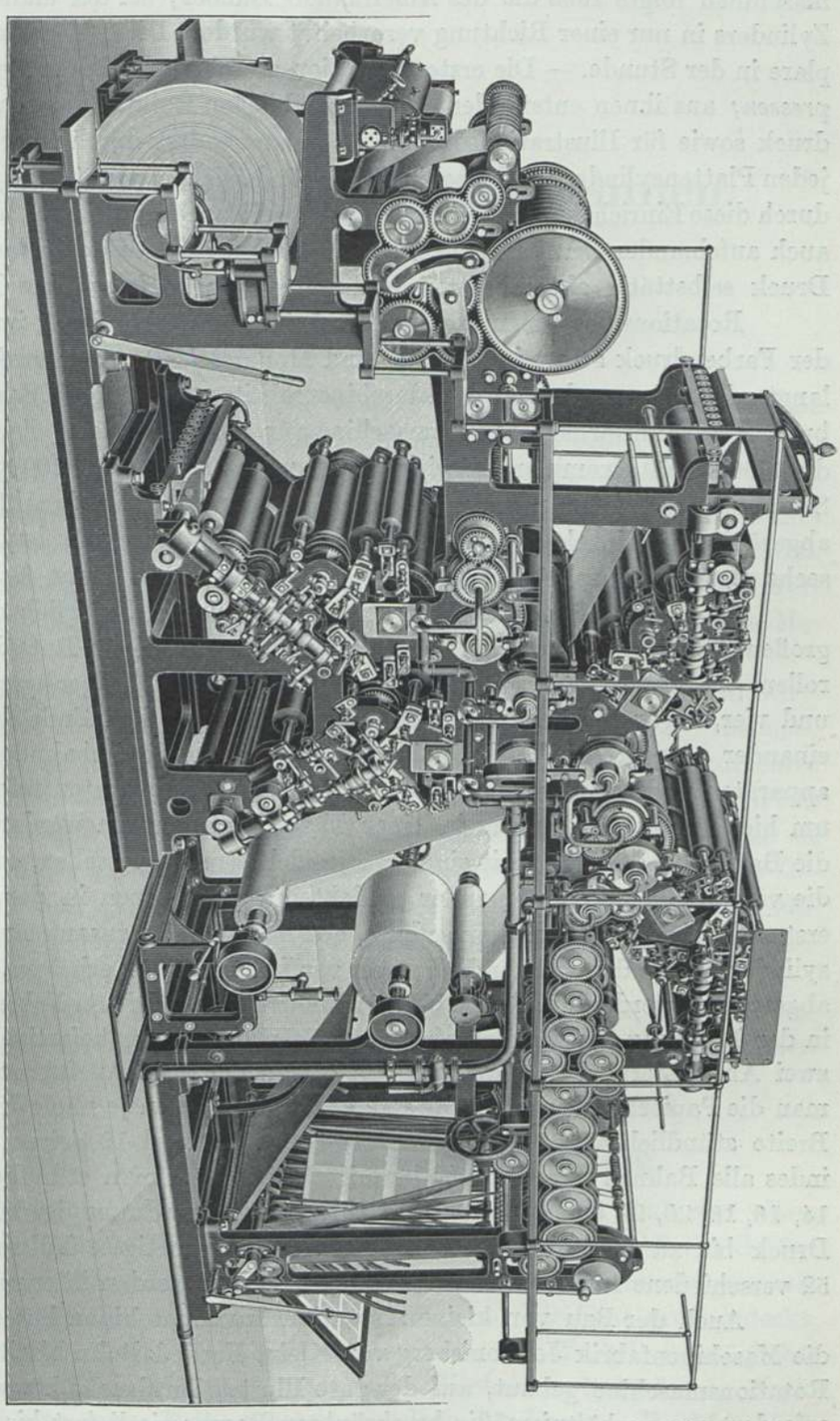


Fig. 751. Zweifarben-Rotationsdruckmaschine für veränderliche Formate (Maschinenfabrik Augsburg).

2. Rotationsmaschinen.

Die Maschinen zum Drucken von Zeitungen wurden zuerst 1828 von Applegath in London erbaut. Ihre Leistungsfähigkeit, die anfänglich 4000 Exemplare in der Stunde betrug, steigerte Little (1846) auf 6000 Exemplare. Nach anfänglich mißlungenen Versuchen, den Satz aus konisch geformten Typen auf einem rotierenden Zylinder herzustellen, gelang dies Applegath durch Anwendung eines Zylinders von 200 Zoll Umfang, der zwischen den Typenformen auch glatte Flächen zum Verreiben der Farbe trug, und um den herum acht Druckzylinder angeordnet waren. Bei jeder Umdrehung des großen Zylinders wurden acht Bogen auf einer Seite bedruckt, und die Leistungsfähigkeit dieser Schnellpresse betrug 12000 Drucke in der Stunde. Sie diente für den Druck der „Times", bis sie 1862 durch Hoes' sogenannte *Lightning-* oder *Mammutpresse* ersetzt wurde, bei der mit Hilfe der Papierstereotypie gebogene, den Segmenten des Schriftzylinders angepaßte Schriftplatten verwendet wurden. Diese Maschine lieferte stündlich bis zu 20000 einseitige Drucke. Schon 1832 erkannten König und Bauer die Möglichkeit, endloses Papier zu benutzen; sie lieferten 1847 an die „Kölnische Zeitung" eine vierfache Maschine mit drei Druckzylindern, von denen der mittlere beim Hin- und

Hergang der Form, die äußeren aber nur je einmal druckten, so daß jeder Doppelweg vier Abdrucke ergab. Die Maschine, die auch zum erstenmal Ausleger besaß, lieferte stündlich 6000 Drucke. — Die ersten französischen Maschinen waren nach dem Prinzip der Hoesschen Mammutschnellpresse mit zylindrisch gebogenen Stereotypen gebaut. Dieser Art von Rotationsmaschinen folgte 1863 die des Amerikaners Bullock, bei der endloses Papier unter Drehung des Zylinders in nur einer Richtung verarbeitet wurde. Diese Maschine lieferte 12000—15000 Exemplare in der Stunde. — Die ersten Rotationsmaschinen auf dem Kontinent waren englische *Walterpressen;* aus ihnen entstanden die heute üblichen Rotationsmaschinen für Zwei- und Mehrfarbendruck sowie für Illustrationsdruck. Es gelang weiter durch Anordnung eines Druckzylinders für jeden Plattenzylinder, die Maschine für veränderliche Formate und Werkdruck nutzbar zu machen; durch diese Einrichtung konnte man auch zwei Farben auf einmal nicht nur nebeneinander, sondern auch aufeinander drucken (Fig. 751, *Zweifarben-Rotationsmaschine*). Die Bogen werden vor dem Druck selbsttätig abgeschnitten und mittels Saugluft um den Druckzylinder gelegt.

Rotationsmaschinen kommen auch im Mehrfarbendruck immer mehr zur Verwendung, da der Farbendruck selbst in Wochen- und Monatsschriften mit großen Auflagen jetzt vielfach verlangt wird. So wurde von der Maschinenfabrik von König & Bauer, Kloster-Oberzell bei Würzburg, eine Fünffarbenrotationsmaschine für eine illustrierte Zeitung großen Formates gebaut, die 4000—6000 Exemplare 16seitiger Zeitungen und 6000—12000 bei acht oder vier Seiten in der Stunde druckt, falzt, mit Draht heftet, aufschneidet und in Abteilungen zu je 25 Exemplaren abgezählt oder einzeln auslegt. Für feinsten Autotypiedruck baut man Rotationsmaschinen mit sechs Auftragwalzen, Abschmutzrolle und bänderlosem Plano-Ausleger.

Im Zeitungsdruck wuchsen die Anforderungen bezüglich der Herstellung einer möglichst großen Zahl von Exemplaren in kürzester Zeit. Da hierfür Rotationsmaschinen mit zwei Papierrollen *(Zwillingsrotationsmaschinen)* vielfach nicht mehr genügen, so hat man solche mit drei und vier, sogar sechs Papierrollen gebaut, die an jedem Ende der Maschine zu je dreien übereinander gelagert sind. Die sich abwickelnden Papierbahnen gelangen zuerst zu Feuchtapparaten und dann zu den mit Reib- und Auftragapparaten reich ausgestatteten Druckwerken, um hier auf beiden Seiten in einer Farbe bedruckt zu werden. Im weiteren Laufe werden die Bahnen in der Mitte mit einem Längsklebestreifen versehen, erreichen die Falztrichter, welche die vereinigten und aufeinander geklebten Papierbahnen in der Richtung des Papierlaufs das erstemal falzen; sie passieren sodann, auf halbe Breite zusammengelegt, die Schneide- und Falzzylinder, wo sie den zweiten Falz, quer zur Laufrichtung, erhalten. Hierbei in einzelne Exemplare abgetrennt, werden sie durch eine Bandleitung dem dritten Falze zugeführt, den sie jetzt wieder in der Richtung des Papierlaufes empfangen. Als ausgabefertige Exemplare werden sie nun in zwei Ablegesterne befördert und von diesen auf zwei Ausfuhrvorrichtungen abgelegt. Verteilt man die Papierbahnen auf beide Falzwerke, so können je nach der Anzahl der Bahnen und ihrer Breite stündlich 44000 Exemplare zu 4, 6, 8, 10 und 12 Seiten hergestellt werden; führt man indes alle Bahnen nur einem Falzwerk zu, so kann man stündlich 22000 fertige Exemplare zu 14, 16, 18, 20, 22 und 24 Seiten herstellen. Die Anordnung der Druckwerke ermöglicht auch den Druck bis zu fünf Farben durch die verschiedenartigste Führung der Papierbahnen, so daß 52 verschiedene Kombinationen im Druck erzielt werden können.

Auch der Bau von kleinen Rotationsdruckmaschinen hat sich weiter entwickelt. So hat die Maschinenfabrik Johannisberg von Klein, Forst & Bohn Nachfolger in Geisenheim a. Rh. eine Rotationsmaschine gebaut, auf der gute Illustrationsdrucke hergestellt werden. Diese Maschine erfordert nur verhältnismäßig beschränkten Raum; sie liefert bis zu 67 : 100 cm Bogengröße 3500 bzw. 7000 treffliche Schrift- und Illustrationsdrucke, je nachdem von einer oder zwei Formen gedruckt wird. Das Papier wird, um die Schönheit des Druckes nicht zu beeinträchtigen, nicht gefeuchtet, passiert aber zwei Walzen, die es anwärmen. Das Farbwerk entspricht bezüglich der Verreibung und des Auftragens den höchsten Anforderungen.

Die landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen.

Von Prof. Dr. **W. Strecker**, Leipzig.

A. Einleitung.

Landwirtschaftliche Maschinen haben den Zweck, menschliche Arbeitskräfte zu sparen oder sie durch andere Kräfte zu ersetzen, oder aber die Arbeit schneller, wohlfeiler oder besser zu verrichten.

Die Verhältnisse des landwirtschaftlichen Betriebes bedingen, daß die Maschinen in der Landwirtschaft niemals die Wichtigkeit erlangen können wie in der Industrie, weil sie im Jahre nur wenige Wochen oder Monate betrieben werden, während die Maschinen der Industrie durch ständigen Betrieb viel günstiger ausgenutzt werden, so daß sich die für die Tilgung und Verzinsung aufzubringenden Beträge auf eine viel größere Anzahl Tage verteilen, wodurch die Maschinenarbeit sehr verbilligt wird.

Dennoch beträgt die Verbilligung der Produktion durch die Maschinen auch in der Landwirtschaft bei der Dreschmaschine etwa 15 Proz., Drillmaschine 15 Proz., Hackmaschine 7 Proz. usw. Je mehr es an Menschenkräften fehlt, je höher im allgemeinen der Tagelohn oder die Akkordsätze für bestimmte Arbeiten in einer Gegend sind, um so vorteilhafter läßt sich die Maschinenarbeit einführen. Kleinere Landwirte müssen sich den Vorteil des Arbeitens solcher Maschinen, die sie allein wegen des hohen Preises nicht ankaufen oder wegen der Unmöglichkeit häufigeren Gebrauchs nicht ausnutzen können, auf genossenschaftlichem Wege zu verschaffen suchen. Maschinengenossenschaften aller Art gehören daher zu den wichtigsten Einrichtungen zur Verbilligung der landwirtschaftlichen Produktion.

Die Zahl der landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen ist so groß geworden, daß hier nur die wichtigsten Arten angeführt werden können und auch über diese sich nur eine knappe Übersicht geben läßt.

B. Maschinen und Geräte zur Bodenbearbeitung.

Die Zwecke der Bodenbearbeitung sind sehr mannigfaltig. Der Boden muß vor allem jene Mischung besitzen, die eine möglichst gleichmäßige Vegetation erzielt. Er muß ein Gefüge haben, das die Aufnahme der Niederschläge begünstigt und die Bewegung der Nährstoffe gestattet und erleichtert. Wasser und Gase müssen Zutritt und Abwege finden. Die Saat muß gedeckt, dem Keim die Entwickelung nach Luft und Licht bequem gemacht, der Wurzel ein möglichst großes Nahrungsgebiet geschaffen werden. Während ihres großen Wachstums bedürfen die Nutzpflanzen einer öfteren Nachhilfe; eine ganze Reihe führt ja geradezu den Namen „Hackfrüchte", weil ihnen durch Bodenbearbeitung neue Nahrung zugeführt, ihr Stand gefestigt und das Überwuchern des Unkrauts beseitigt werden muß, wenn sie einen rentabeln Ertrag bringen sollen. Mannigfache Arbeiten sind erforderlich zur Ausgleichung und Ebnung der Oberfläche des Bodens, zur Ableitung des Tagewassers, zum Schutz gegen schädliche meteorologische Einwirkungen und zur Erhaltung der Bodenfeuchtigkeit. Ebenso erfordern die Regulierung der Niederschläge,

der wünschenswerte Zutritt der Luft, die Erhaltung oder Abwehr der Wärme mannigfache Vorkehrungen, die nur mittels mechanischer Hilfsmittel durchgeführt werden können. Alle diese Arbeiten haben den Gesamtzweck, den Boden in jenen Zustand zu versetzen, den man als „Bodengare" bezeichnet, und der als der geeignetste für die Entwickelung einer kräftigen Vegetation zu betrachten ist. — Die zu den genannten Arbeiten erforderlichen Geräte sind:

Pflüge aller Art. Sie sollen den Boden lockern, wenden und mischen; die Unkräuter zerstören; Stoppeln, Dünger und eventuell auch die Saat unterbringen.

Kultivatoren. Sie durchwühlen in ihrer ganzen Breite mit mehreren Zinken die obere Bodenschicht schneller und gründlicher als der Pflug. Sie lockern und mischen den Boden, wenden ihn aber nie, sind daher geeignet zur weiteren Bearbeitung des schon gepflügten Bodens und zur Unkrautvertilgung.

Eggen. Sie sollen den Boden nach der Bearbeitung mit Pflug und Kultivator krümeln und ebnen, feste Erdschollen zerkleinern, den Dünger verteilen und unter die Erde bringen, die Saat unterbringen und Unkräuter zerstören.

Schleifen und Hobel. Sie besorgen das Zerkrümeln, Ebnen und Glätten der Bodenoberfläche.

Walzen. Sie zermalmen die Schollen, pressen die losen Erdteile zusammen und walzen die Saat und die bereits im Wachstum begriffenen jungen Pflanzen an. Das Festpressen, Verdichten des durch den Pflug gelockerten Bodens beseitigt die größeren Hohlräume im Boden und vermehrt die Kapillarkraft, so daß der Boden nie so stark austrocknen kann wie bei lockerer Beschaffenheit, da die Feuchtigkeit aus den tieferen Schichten aufzusteigen vermag. Die Walzen zerstören aber auch das Unkraut, vertilgen Insekten (Erdflöhe) und dienen schließlich zum Unterbringen langen Düngers.

I. Pflüge.

Man teilt die Pflüge nach der Kraft, die sie bewegt, in *Gespannpflüge* und *Motorenpflüge.* Beide Gruppen zerfallen je nach den zu verrichtenden Arbeiten in folgende Unterabteilungen:

Gespannpflüge.

1. Pflüge zum Wenden des Bodens:
   a) Einseitig wendende Pflüge.
      α) Einfurchenpflüge.
      β) Mehrfurchenpflüge.
   b) Wechselseitig wendende Pflüge.
      α) Eigentliche Wechselpflüge.
      β) Kipppflüge.
   c) Beiderseitig wendende Pflüge.
      α) Einkörperige Häufelpflüge.
      β) Mehrkörperige Häufelpflüge.
2. Pflüge zum Lockern des Bodens:
   α) Haken.
   β) Untergrundpflüge.
   γ) Zochen.
3. Spezialpflüge für besondere Zwecke.

Motorenpflüge.

1. Gangmotorenpflüge.
2. Zugmotorenpflüge:
   a) Durch Dampf betriebene Pflüge.
   b) Durch Verbrennungsmaschinen betriebene Pflüge.
   c) Durch Elektrizität betriebene Pflüge.

1. Gespannpflüge.

a) Pflüge zum Wenden des Bodens.

Die Benennung der einzelnen Teile an einem vollständigen Pfluge geht aus Fig. 752 hervor. Im wesentlichen kann man drei Hauptteile unterscheiden: den Pflugkörper, den Pflugbaum oder Gründel, und die Zugvorrichtung.

Der Pflugkörper setzt sich zusammen aus dem Messer, dem Schar, dem Streichblech, der Griessäule, der Sohle und der Landseite. Das Messer (Kolter oder Sech) soll einen Erdbalken vertikal lostrennen und dadurch dem folgenden Schar die Arbeit erleichtern. Es wird so eingestellt, daß die Schneide um ein Geringes in das Land hineingerichtet ist, und so tief, daß es in der Tiefe der Sohle arbeitet. Bei leichtem Sandboden ist das Messer überflüssig. Das Material

ist Eisen mit verstählter Schneide oder Stahl. Das Schar durchschneidet den Erdbalken horizontal und übergibt ihn mit seiner oberen Fläche dem Streichblech, mit dem es durch Schrauben verbunden ist. Die Schare werden aus verstähltem Schmiedeeisen oder Stahl gefertigt. An ihrer der größten Abnutzung ausgesetzten Spitze sind sie mit einer Verstärkung oder mit Ersatzmaterial versehen, um die Spitze ergänzen zu können; auch läßt sich ein Stahlmeißel einsetzen, der in harten und trockenen Böden sicher eindringt und, weil doppelschneidig, umgewendet werden kann. Das Streichblech (s. Fig. 753), meist aus Schmiedeeisen oder glashartem Stahl, besteht bei einigen Fabriken aus einzelnen Teilen, die je nach Abnutzung ergänzt werden können. Die Form des Streichbleches hängt von der Art und dem Zustand des Bodens ab. Man hat Streichbleche hergestellt, die ihre Aufgabe erfüllen, wenn der Boden aus schwerem Lehm oder Ton besteht und ebenso, wenn derselbe vorwiegend Sandteilchen enthält. Beim Pflügen eines Bodens der ersten Art erhält das Streichblech eine schraubenförmig gewundene Form, wobei die Steigung der Schraube verschieden sein kann. Ist sie flach,

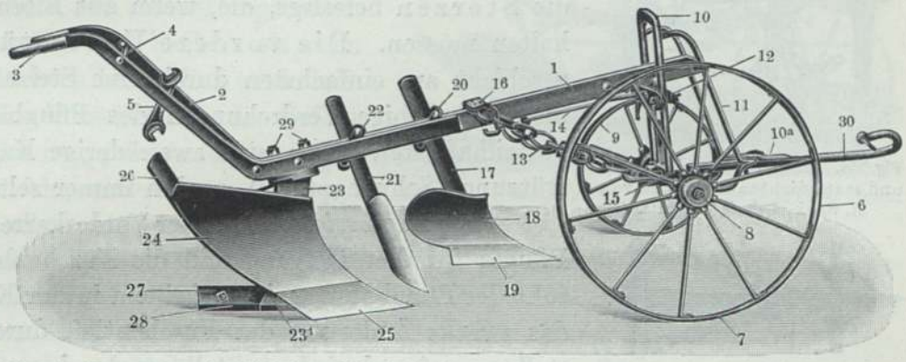


Fig. 752. Benennung der einzelnen Teile an einem Karrenpflug: 1 Pflugbaum (Gründel), 2 Sterzen, 3 Handgriff, 4 Sterzstrebe, 5 Schraubenschlüssel, 6 rechtes Furchenrad, 7 Radreifen, 8 Radbuchse, 9 linkes Landrad, 10 Karrenbügel, 10a Deichselbügel, 11 Bügelstreben, 12 Gründelträger, 13 Zugketten, 14 Gründelhaltestange, 15 Karrenachse, 16 Zugplatte, 17 Stiel zur Vorschäleranlage, 18 Streichblech zum Vorschäler, 19 Schar zum Vorschäler, 20 Klammer zum Vorschäler, 21 Messer oder Kolter, 22 Klammer zum Kolter, 23 Anlage mit Kopf, 23¹ kleine Sohle rechts, 24 Streichblech, 25 Schar, 26 Streichstock, 27 Doppelsohle, 28 T-Sohlstück, 29 Schrauben zur Kopfanlage, 30 Deichsel mit Zughaken.

so wendet das dadurch lang gezogene Streichblech den Erdbalken um, ohne ihn zu brechen und zu krümeln *(Flachwender);* ist die Steigung steiler, das Streichblech kürzer, so vergrößert sich der Druck des Streichbleches gegen den Erdbalken, wodurch der Boden bei der Wendung gebrochen bzw. gekrümelt wird *(Steilwender).*

Enthält der Boden vorwiegend Sandteile, so wendet man die *Ruchadlos (Krümelpflüge)* an. Bei ihnen bildet das Streichblech eine allmählich aufsteigende Zylinderfläche, deren Steigungswinkel am unteren Teile, bei dem Schar, ein sehr schwacher ist, damit die lockere Masse von dem Streichblech aufgenommen werden kann. Der Steigungswinkel wird dann aber steiler als der Böschungswinkel der Masse, so daß diese beim Höhersteigen übergeworfen wird und so vollständig in sich zusammenfällt und gelockert wird. Den zwischen diesen beiden extremen Bodenarten liegenden Bodenmischungen sucht man durch Übergangsformen von dem einen Streichblech zum anderen gerecht zu werden, so dadurch, daß das Streichblech vorn eine zylindrische, hinten aber eine etwas gewundene Form erhält, oder dadurch, daß man den zylindrischen Teil mehr oder weniger lang streckt und dem Winkel zwischen Pflugkörper und Furchenrichtung je nach den Bodenarten eine verschiedene Größe gibt; diese für mittelschwere Bodenarten passendsten *Kulturpflüge* sind am weitesten verbreitet.

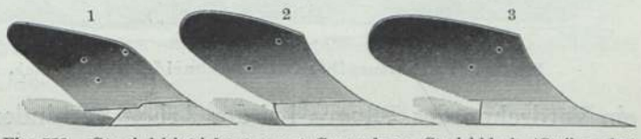


Fig. 753. Streichblechformen: 1 Gewundenes Streichblech (Steilwender) zum vollständigen Wenden von schwerem Boden, auch für Grasland; 2 Ruchadlo-Streichblech für leichtes Land aller Art zum Durcheinanderpflügen des Bodens und Herstellen einer rauhen Furche; 3 Kultur-Streichblech für mittelschweres und schweres Land zur Herstellung einer rationellen Mischung und Krümelung des Bodens.

Die Sohle des Pfluges ist der Teil, auf dem er unten aufliegt. Sie muß eine angemessene Länge und Breite erhalten, um die gute Führung des Pfluges zu ermöglichen, und wird durch eine oder durch zwei Flächen gebildet, die nach erfolgter Abnutzung ausgewechselt werden können. Die Landseite, mit welcher der Pflug an den senkrecht losgeschnittenen Boden andrückt, nutzt sich viel weniger ab als die Sohle und ist nicht immer auswechselbar. Die Griessäule (Pflugsäule oder Anlage), aus Gußeisen oder Gußstahl, dient zur Befestigung von

Sohle und Landseite sowie als Verbindungsglied von Schar und Streichblech und verbindet alle diese Teile mit dem Pflugbaum. Es werden Sohle, Landseite und Griessäule häufig auch aus einem Stück gefertigt.

Der Pflugbaum (Gründel oder Grindel) dient zum Zusammenfassen aller Teile des Pfluges. Die Form richtet sich nach diesen Teilen; immer muß sich zwischen dem Schar und dem Pflugbaum ein genügender Raum befinden, um Verstopfungen durch Erde, Stoppeln, Dünger usw. zu verhüten. Deshalb und auch der größeren Dauer wegen macht man den Pflugbaum aus Schmiedeeisen oder Stahl und biegt ihn hoch aus. An dem Gründel werden zur Führung des Pfluges die Sterzen befestigt, die, wenn aus Eisen, hölzerne Handgriffe erhalten müssen. Die vordere Unterstützung des Pflugbaumes geschieht am einfachsten durch eine Stelze oder ein Rad, oder, weil hierbei beliebige Verdrehungen des Pflugbaumes möglich sind, am vorteilhaftesten durch eine zweiräderige Karre. Pflüge ohne Unterstützung (Schwingpflüge) werden immer seltener.

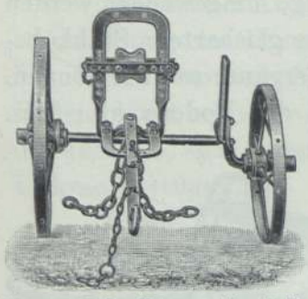


Fig. 754. Pflug-Vorgestell mit öl- und staubdichten Radnaben von R. Sack, Leipzig-Plagwitz.

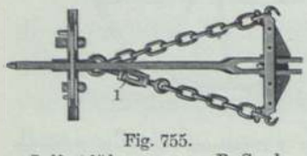


Fig. 755. Selbstführung von R. Sack.

Die Zugvorrichtung an der Vorderkarre muß eine Einstellung des Pfluges für den Tiefgang und die Furchenbreite gestatten. Deshalb ruht der Pflugbaum meist auf einem in der Karre angebrachten Lager, das zwecks Änderung der Furchentiefe durch einfache Splintstöpselstellung auf und nieder gestellt werden kann und zwecks Änderung der Furchenbreite mit dem ganzen Rahmen auf der Achse verschiebbar ist (s. Fig. 754). Der Zughaken greift mittels Zugstange an dem Vorderkarren an. Die Verbindung der Karre mit dem Pflugbaum geschieht durch zwei Ketten, die an den Enden eines mit dem Pflugbaum fest verbundenen Querbalkens kürzer oder länger einhakbar sind, und durch die stets die senkrechte Stellung des Pfluges hergestellt wird. Denn wollte der Pflug eine Drehung nach der einen Seite machen, so würde die Kette dieser Seite lose werden, die ganze Zugkraft aber auf die andere Kette wirken und somit ein Verdrehen des Pfluges bei der Arbeit verhindern. Eine richtige Spannung der Kette macht daher auch einen Führer an den Sterzen bei der Arbeit unnötig *(Sacksche Selbstführung);* sie wird dadurch erreicht, daß in der einen Kette eine Doppelmutter (1 in Fig. 755) mit Rechts- und Linksgewinde eingeschaltet ist, durch die sich die Kette kürzer oder länger schrauben läßt.

Fig. 756. Tiefkulturpflug mit Vorschneider von R. Sack.

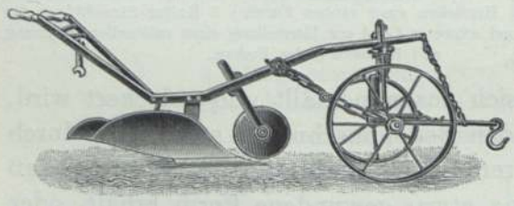


Fig. 757. Wiesenpflug „Pionier" von G. Even, Oldenburg.

Zum Schutze der Achse gegen Sand und Staub, also auch gegen schnelle Abnutzung, sind die Radnaben der Vorderkarre mit einem staubsicheren Verschluß versehen. Zum Transport setzt man den Pflug am besten auf eine zweiräderige kleine Karre.

Einseitig wendende Pflüge sind von allen Arten die gebräuchlichsten. Charakteristisch für sie ist ein Streichblech, das einen abgetrennten Erdbalken nur nach einer Seite (gewöhnlich der rechten) umlegt, d. h. „wendet". Die einseitige Wendung zwingt dazu, beim Hin- und Herpflügen jedesmal einen neuen Weg zu nehmen, und so bleibt schließlich eine offene Furche, die „Beetfurche", die das Feld in „Beete" teilt. Daher heißen diese Pflüge auch *Beetpflüge.* Nach der Anzahl ihrer Streichbleche und demgemäß auch der Zahl der von ihnen umgelegten Furchen unterscheidet man Einfurchen- und Mehrfurchenpflüge.

Einfurchenpflüge mit nur einem Streichblech liefern bei jeder Fahrt auch nur eine Furche. Sie werden von den Fabriken in den drei beschriebenen Streichblechformen für verschiedene Tiefe gebaut: zum „Schälen" bis zu 8 cm, zum „flachen Pflügen" bis zu 15 cm, zum gewöhnlichen Tiefgang 15—24 cm und zur „Tief-" oder „Rigolkultur" bis zu 35 cm. Für die „Tiefkultur" wird gern ein Vorschneider angebracht (Fig. 756), durch den die obere Erdschicht mit Stoppeln, Gras und Dünger nach unten gebracht wird. Durch das dahinterfolgende Hauptstreichblech wird die untere Schicht des Erdstreifens obenauf gelegt und gekrümelt, ohne Mehraufwand von Zugkraft. Die Krümelungsarbeit wird eine vollkommenere, weil in einer ungeteilten Furche größere Stücke oder Schollen bleiben, als wenn ein Erdstreifen in zwei Schichten bearbeitet wird; freilich ist mit Anwendung des Vorschneiders die Gefahr verbunden, daß Dünger oder Stoppeln zu tief zu liegen kommen und dadurch schlecht verwesen.

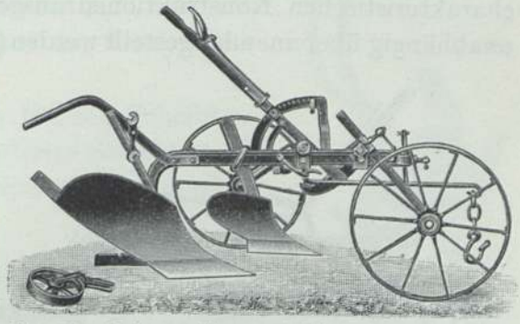


Fig. 758. Rahmenpflug von Ed. Schwartz & Sohn, Berlinchen.

Viele Fabriken stellen Universal-Beetpflüge her, bei denen an Stelle des eigentlichen Pflugkörpers eine große Anzahl verschiedener Kulturgeräte angebracht werden kann. Auch werden für besondere Zwecke noch Spezialpflüge gebaut; z. B. Pflüge zur Urbarmachung und zum Umbrechen von Heide, Grasland und Moor; Wiesenpflüge „Pionier" (Fig. 757), zum Ziehen von Wasserfurchen und von Be- und Entwässerungsgräben; ferner Gestellpflüge ohne Vorderkarren. Entweder ist der Pflugbaum mehr oder weniger wie bei den Mehrfurchenpflügen zu einem Rahmen ausgebildet, der auf zwei Rädern ruht (*Rahmenpflüge*, Fig. 758), oder der Pflugkörper ist auf einem kurzen, auf der Fahrradachse lagernden Gestell angebracht, das, mit Führersitz versehen, mittels Deichsel von den Zugtieren gezogen wird *(Fahrpflüge)*.

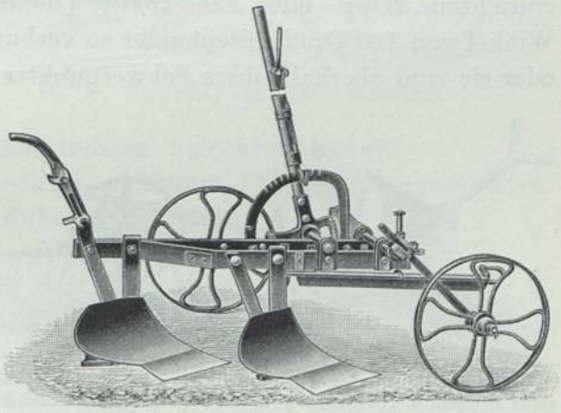


Fig. 759. Rekord-Zweifurchenpflug der Aktiengesellschaft H. Cegielski, Posen, in Arbeitsstellung.

Mehrfurchenpflüge dienen besonders zum Stoppelstürzen, zum flachen Schälen von Klee- und Grasnarben, zum Unterpflügen von Dünger und breitwürfiger Saat und für die Arbeiten auf Mooren, weil sie auch bei flacher Furche gut decken und in losem und queckigem Acker nicht stopfen. Sie werden viel angewendet, weil man mit ihnen an Menschen und Zugvieh spart. Es wird nur einer der Pflugkörper mit einer Sohle ausgerüstet, im übrigen aber der Pflug auf hohe Räder gestellt. Die Verstellbarkeit der beiden Räder erfolgt verschieden. Bei den Pflügen der Aktiengesellschaft Cegielski in Posen (Fig. 759) schwingen, solange die verzahnten Teile (s. Fig. 760 u. 761) in Eingriff stehen, beide Räder. Beim weiteren Vorwärtsdrücken des Hebels kommen die unverzahnten Teile zusammen; dann bleibt das Furchenrad stehen, und nur das Landrad wird für die gewünschte Tiefe gehoben. Die weitere Regulierung bis zur Senkrechtstellung beider Pflugkörper geschieht dann durch Verschiebung der Stellstange des Furchenrades. Bei den meisten Mehrfurchenpflügen ist der Ausschlag differential, d. h. das Furchenrad schlägt für die Arbeit nach vorwärts aus und das Landrad nach rückwärts, so daß eine sichere und feste Führung bei jeder Tiefe in allen, auch schweren und bindigen Böden stattfindet. Die Tiefenregulierung findet an einem Zahnbügel statt (s. Fig. 762),

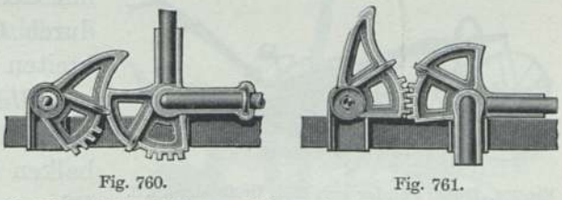


Fig. 760. Fig. 761.

Fig. 760 und 761. Räderverstellung des Rekord-Zweifurchenpflugs. (Fig. 760. Stellung bei der Arbeit. Fig. 761. Stellung zum Transport.)

kann auch während des Ganges erfolgen und durch Anbringung eines Verschluß-Stellklobens an dem Zahnbügel in einer bestimmten Furchentiefe festgelegt und abgeschlossen werden, so daß der Pflüger den Tiefgang nicht willkürlich ändern kann.

Wechselseitig wendende Pflüge sind so eingerichtet, daß der Pflugkörper sowohl nach der rechten als auch nach der linken Seite zur Arbeit eingestellt werden kann. Sie werden in drei charakteristischen Konstruktionen ausgeführt, entweder mit zwei besonderen Pflugkörpern, die unabhängig übereinander gestellt werden (Fig. 763, *Zwillingspflüge*), oder mit einem nach unten und oben gleich ausgebildeten zusammenhängenden Pflugkörper, der unter dem Pflugbaum um eine in der Mittelebene des Pflugkörpers liegende wagerechte Drehachse auf die andere Seite gedreht werden kann (Fig. 764, *Unterwender*). Das Streichblech muß bei diesen immer mit Rücksicht auf die Anforderung, in beiden Stellungen zu arbeiten, hergestellt sein, während den Streichblechen der Zwillingspflüge die für den betreffenden Boden zweckmäßigste Form gegeben werden kann. Schließlich kann man die Pflugkörper kipp- oder pendelbar einrichten: *Kipp-* oder *Pendelpflüge* (*Balancepflüge*, Fig. 765); sie sind dann etwa unter einem Winkel von 120 Grad miteinander so verbunden, daß der Verbindungspunkt auf der Karre ruht, oder sie sind oberhalb ihres Schwerpunktes pendelnd aufgehängt und werden durch zwei starke Federn reguliert. — Alle Wechselpflüge werden auch als Mehrfurchenpflüge gebaut, besonders die Balancepflüge bei den Motorenpflügen.

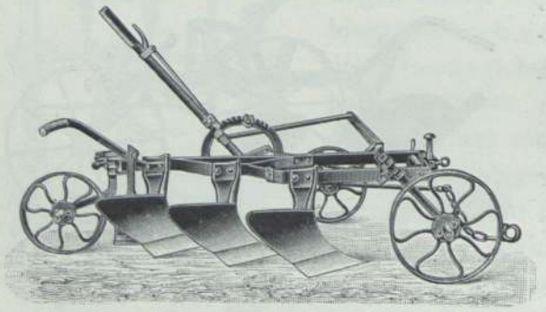


Fig. 762. Dreischariger Pflug der Aktiengesellschaft F. Eckert, Lichtenberg bei Berlin.

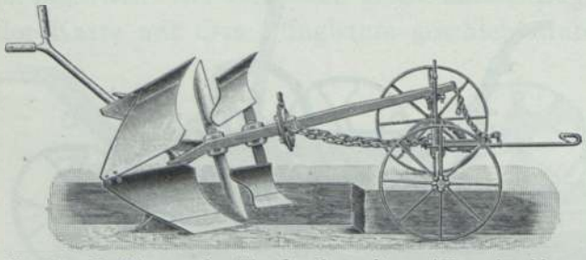


Fig. 763. Zwillings- oder Wendepflug mit zwei Vorschneidern, zwei Sechen, Selbstführung und Vorgestell mit drehbarer Achse (R. Sack).

Beiderseitig wendende Pflüge haben die Aufgabe, in einem bereits gelockerten Boden Furchen zu ziehen und dabei den Boden aus einer Tiefe von etwa 13—30 cm zu heben und zu einem Kamm zu häufen; daher *Häufelpflüge* genannt. Es gibt ein- und mehrkörperige.

Einkörperige Häufelpflüge oder *Häufelpflüge* schlechthin haben ein symmetrisches, nach beiden Seiten schneidendes, meist herzförmiges Schar (Fig. 766), das zur Bildung einer Furche mit der Spitze gegen den Boden geneigt ist. Die Streichbleche sind nach hinten in die Höhe gezogen, um Kamm und Furche rein zu gestalten; sie sind mit der mit ganz stumpfer Schneide versehenen Griessäule durch Gelenke verbunden, um für verschiedene Furchenbreiten eingestellt werden zu können.

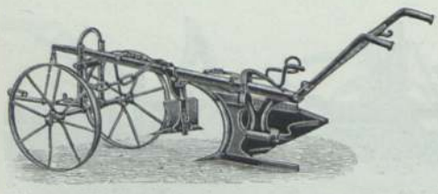


Fig. 764. Unterwender von Zill, Großschirma i. S.

Mehrkörperige Häufelpflüge haben zwei und mehr einzelne Häufelkörper, die an einem gemeinschaftlichen Grundbalken befestigt sind. Sie ziehen für die in Reihen gebauten Pflanzen vor der Saat Furchen oder bilden kleine Kämme, weshalb sie *Furchenzieher* oder *Kammformer* genannt werden. Ihre Körper sind meist kleiner als die der Häufelpflüge und für verschiedene Entfernungen stellbar. Auch steuerbar werden sie auf drei Rädern gebaut. Vielfach lassen sich auch die Gestelle der Drillmaschinen als Furchenzieher benutzen, wenn man an ihnen ein Markierrad mit Anhäufler und Zustreicher anbringt.

b) Pflüge zum Lockern des Bodens.

Diese Geräte lockern den Boden, ohne ihn zu wenden. Für die Lockerung der Ackerkrume hat man *Haken*, für die des Untergrundes *Untergrundlockerer*. Einen Übergang von den Haken zu diesen bilden die *Zochen*.

Die Haken haben gar kein oder nur ein rudimentäres Streichblech; sie sind nur noch in Ländern zu finden, die von Slawen bewohnt waren oder werden. Die hauptsächlichste Verwendung finden sie wohl bei der Kartoffelkultur zum Einpflügen der Saatknollen, um dieselben in einer Richtung bearbeiten zu können. Hierzu sind sie besonders geeignet, weil ihre Furchenbreite sich leicht regulieren läßt, weil sie in derselben Furche auf und nieder fahren können und den Boden besser lockern und mischen als der Pflug, also eine feiner zerkrümelte Erdschicht auf die Saatknollen bringen als dieser.

Die Untergrundlockerer sollen den Boden in den tieferen Schichten lockern und vertiefen, namentlich wenn ein Heraufholen dieser Schichten an die Oberfläche, wie solches durch die Tiefpflüge geschieht, nicht angezeigt ist und trotzdem die tieferen Schichten über 20 cm gründlich gelockert werden sollen. Man kann vier Systeme unterscheiden:

Fig. 765. Kipppflug von Dehne, Halberstadt.

1. Untergrund-, Schwing- oder Stelzpflüge als selbständige Pflüge (ohne Streichblech);
2. Einscharpflüge mit dahinterfolgender Vorrichtung (Schar, Hackmesser od. dgl.);
3. Pflüge mit seitlich angebrachter Lockerungsvorrichtung (Schar, Federzinken od. dgl.), welche die von der voraufgegangenen Fahrt fest gebliebenen tieferen Schichten lockert.
4. Das Untergrundlockerungsgerät ist als selbständiger kleiner Pflugkörper ausgebildet.

Am wenigsten ist wegen der ganz unsicheren Führung das erste System zu dem beabsichtigten Zwecke tauglich. Das zweite System erfüllt zwar den Zweck und bietet auch die Möglichkeit, den Dung flach unterzupflügen, hat aber den Nachteil, daß die Zugtiere in der lockeren Furche schneller ermüden und auch die gelockerte Furche wieder festtreten. System 3 und 4 erscheinen am zweckmäßigsten. Die gebräuchlichste Art von System 3 ist die Anwendung eines Zweischarpfluges, dessen vorderer Körper durch das Untergrund-Lockerungsgerät ersetzt wird (Fig. 767). Man kann mit den Systemen 3 und 4 auch den Dünger flach, 10—15 cm tief, unterpflügen und den Untergrundlockerer bis zu 30 cm tief arbeiten lassen. Das Gelockerte wird von dem nachfolgenden Streichblech gleich zugedeckt und von den Zugtieren nicht wieder festgetreten.

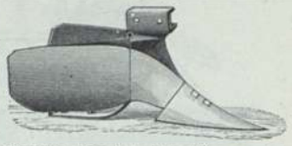


Fig. 766. Häufelpflugkörper von Eberhardt, Ulm.

Die Zochen stehen in ihrer Wirkung zwischen Haken und Pflug, sind slawischer Herkunft und in Deutschland nur noch in Ostpreußen hier und da gebräuchlich.

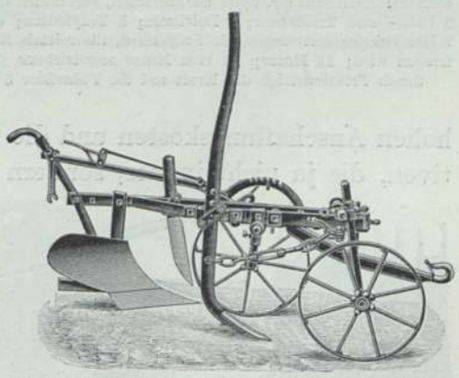


Fig. 767. Zweifurchenpflug, bei dem das eine Schar durch einen Untergrundlockerer ersetzt werden kann (Ostdeutsche Maschinenfabrik R. Wermke, Heiligenbeil).

2. Motorenpflüge.

Das Bedürfnis der intensiven Bodenkultur hat vielfach dazu geführt, die Bodenbearbeitungsgeräte, insbesondere den Pflug, nicht durch Zugtiere, sondern durch die weit leistungsfähigeren Motoren zu ziehen. Man unterscheidet *Gangmotorenpflüge*, bei denen der Motor selbst über das Feld läuft und die betreffenden Geräte unmittelbar hinter sich her zieht, und *Zugmotorenpflüge*, bei denen der Motor außerhalb des zu bearbeitenden Ackers aufgestellt ist und mit Zugwerkzeugen (Seilen, Windevorrichtungen, Rollen usw.) das den Acker bearbeitende Gerät zieht.

a) Gangmotorenpflüge brauchen einen großen Teil des dem Motor innewohnenden Arbeitsvermögens für die Transportarbeit des schweren Motors auf, so daß der Nutzeffekt meist nur ein ungünstiger ist. Erst die Konstruktion guter Verbrennungsmaschinen hat neuerdings die Konstruktionsmöglichkeit eines Gangmotorenpfluges geschaffen, und wenn auch die Ausbildung dieser *Motorenpflüge* noch nicht abgeschlossen ist, so läßt sich doch sicher erwarten, daß ein brauchbarer Motorpflug geschaffen werden wird. Gleichzeitig geht das Streben dahin, die „Pflugarbeit" durch die „Fräsarbeit" zu ersetzen, bei der der Boden nicht in Streifen zerlegt, sondern durch rotierende Werkzeuge abgeschabt und gekrümelt wird; das Werkzeug wird dem Motor gleich angehängt. Die Motoren lassen sich dann gleichzeitig zu allen Arbeiten in der Landwirtschaft verwenden, sie sind Universal-Landautomobile. Diese Automobile befinden sich ebenfalls noch im Stadium des Werdens. Außer dem Automobil Köszegi sind bekannt geworden die Automobile von König in St. Georgen (Schweiz) und von Meyenburg (Basel; Fig. 768—771).

Fig. 768. Motorkulturmaschine von v. Meyenburg, Basel.

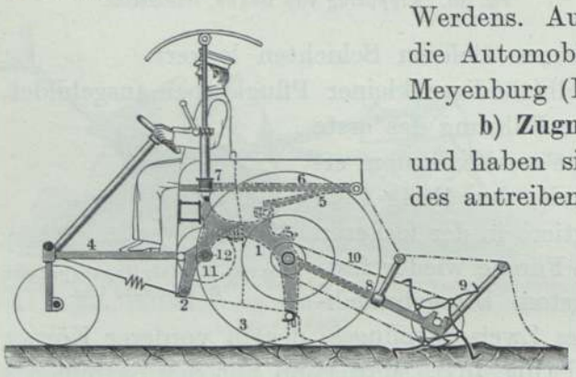


Fig. 769. Motorkulturmaschine von v. Meyenburg (Längsschnitt): 1 seitliche gekröpfte Stahlrahmen, verbunden durch Rohre 2; 3 Fahr- und Triebräder; 4 Deichseln; 5 Tragfedern; 6 Tragbalken; 7 Handwinde; 8 Ausleger mit Erdfräse 9, die mittels Kette 10 angetrieben wird; 11 Motor; 12 vom Motor angetriebene Querwelle, die durch Friktionstrieb die Kraft auf die Fahrräder 3 überträgt.

b) Zugmotorenpflüge sind schon seit längerer Zeit erprobt und haben sich bewährt. Man unterscheidet sie nach der Art des antreibenden Motors.

1. Dampfbodenkultur. Die Motoren sind selbstbeweglich als Lokomotiven angeordnet. Um an Betriebskraft zu sparen, hatte man versucht, mit nur einer Lokomotive mit Zuhilfenahme von Windetrommeln und Seilrollen auszukommen (Fig. 772—774). Allein es hat sich doch in der Praxis ergeben, daß die Vorzüge des sicheren und bequemen Betriebes mit zwei Lokomotiven (Fig. 775) so große sind, daß ihnen gegenüber die hohen Anschaffungskosten und die unvollständige Ausnutzung des Dampfes der beiden Lokomotiven, die ja nicht immer, sondern nur abwechselnd in Tätigkeit sind, nicht in Frage kommen. Die Lokomotiven (Fig. 776) besitzen sehr breite Fahrräder, so daß sie über den Acker zu fahren imstande sind. Unter dem (jetzt mit Heißdampferzeugung eingerichteten) Kessel jeder Maschine ist eine durch den Motor in Betrieb gesetzte Windetrommel, entweder horizontal oder senkrecht sich drehend, gelagert. Auf die Trommel aufgewunden ist ein etwa 2 cm starkes Stahldrahtseil, das an einem Ende mit dem Bodenbearbeitungsgerät in Verbindung gesetzt wird. Dieses kann demnach abwechselnd von einem zum anderen Motor bewegt werden, während jeder Motor beim Anlangen des Gerätes um die doppelte Arbeitsbreite desselben längs der Ackergrenze vorwärts rückt. Die Windetrommel, die zeitweilig nicht in Tätigkeit ist, wird von dem betreffenden Motor ausgelöst; sie dreht sich dann lose auf ihrer Achse,

Fig. 770.

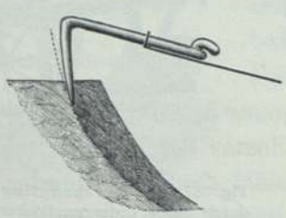


Fig. 771.

Fig. 770. Fräswerkzeug von Fig. 769. Fig. 771. Eingreifen des Fräswerkzeuges in den Boden.

und eine selbsttätig wirkende Bremse verhindert zu schnellen Gang und ein zu beträchtliches Auswerfen des Seiles. Das gleichmäßige Aufwickeln des Seiles auf die Windetrommeln wird durch Führungsrollen gesichert, die, an einem Hebel befestigt, mit diesem nach Maßgabe des Wechselns der Seillagen allmählich auf und nieder bewegt werden.

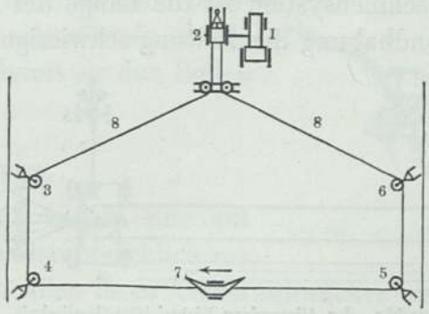


Fig. 772.

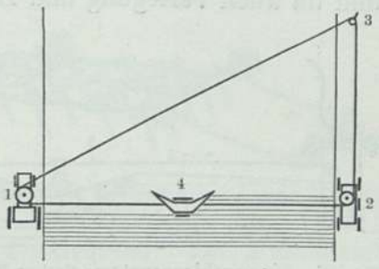


Fig. 773.

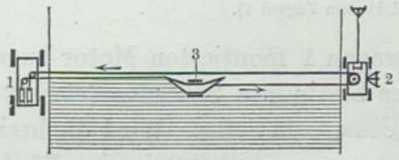


Fig. 774.

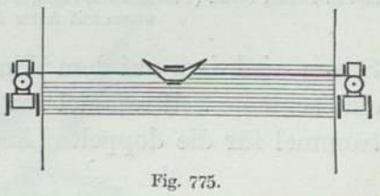


Fig. 775.

Als arbeitende Geräte sind am gebräuchlichsten die *Kipppflüge*. Sind ihre Hälften genau gleich, so wird der Pflug besonders bei geringem Tiefgang und großer Geschwindigkeit leicht aus dem Boden gerissen. Um dies zu verhüten, verschiebt man den Schwerpunkt durch die Antibalance-Vorrichtung (Fig. 777), die jedesmal beim Beginn der Pflugfahrt selbsttätig durch den Zug des Seiles die Fahrräder ein Stück nach vorn schieben läßt; die arbeitende Seite erhält dann ein Übergewicht über die schwebende Seite. Die Pflugkörper sind mit Messern und Vorschälern ausgerüstet.

Fig. 772. Howards Umkreisungssystem (1 Motor, 2 zwei Windetrommeln, 3, 4, 5 und 6 Seilrollen, 7 Pflug, 8 Drahtseil). Fig. 773. Einmaschinensystem (1 Motor, 2 Ankerwagen, 3 verankerte Seilrolle, 4 Pflug). Fig. 774. Einmaschinensystem (1 Motor, 2 Ankerwagen, 3 Pflug). Fig. 775. Zweimaschinensystem.

Neben den Kipppflügen wird vornehmlich noch mit zweiseitig wirkenden Geräten gearbeitet, die nach beiden Seiten arbeiten können und daher, ohne am Ende der Furche einer Wendung zu bedürfen, einfach hin und her gezogen werden. Insbesondere sind es 1. Eggen, 2. Walzen, 3. Egge oder Grubber mit Walze kombiniert, 4. Spateneggen zur Bearbeitung der Moore usw.

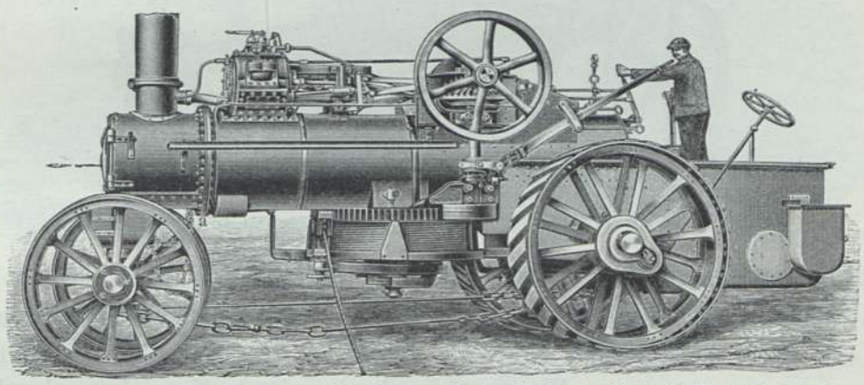


Fig. 776. Lokomotive mit wagerechter Trommel der Aktiengesellschaft Ventzki, Graudenz.

Fig. 777. Antibalance-Kipppflug mit Untergrundscharen der Aktiengesellschaft Ventzki, Graudenz.

2. Durch Verbrennungsmaschinen betriebene Pflüge. Verbrennungsmaschinen werden zur Bodenkultur von mehreren Fabriken zum Betriebe der gleichen Kulturgeräte wie bei der Dampfkultur gebaut. Meist sind es Benzin- und Spiritusmotoren, die nach dem Zweimaschinensystem aufgestellt werden. Wenn auch die Versuche ergeben haben, daß besonders die Spiritusmotoren sich praktisch verwerten lassen, so haben sie doch bis jetzt noch keine nennenswerte Anwendung gefunden.

3. Elektrokultur. Auch beim Betriebe mit Elektromotoren unterscheidet man Zweimaschinensystem und Einmaschinensystem. Die Zuführung und Leitung des Stromes ist zu dem Einmaschinensystem leichter. Beim Zweimaschinensystem ist die Länge der Leitungen nahezu die doppelte, und da auch Verlegung und Handhabung der Leitung schwieriger ist, zieht man bei der Elektrokultur im Gegensatz zur Dampfkultur das Einmaschinensystem (Fig. 778) dem Zweimaschinensystem vor. Der *Elektropflug* erscheint auch zum Flachpflügen rentabel, eignet sich daher für jede Form der Pflugarbeit. Die Wirkungsweise des Einmaschinensystems ist so: Der Strom wird dem auf dem Windewagen 1 montierten Motor zugeführt. Der Windewagen besitzt eine schmale Seiltrommel für eine bestimmte Seillänge (etwa 300—500 m) und eine breite Seiltrommel für die doppelte Länge des ersten Seiles. Wird die breite Trommel angetrieben, so zieht Seil 2 in der Pfeilrichtung den Pflug 3, und zwar indirekt nach Umlenkung am Ankerwagen 4 nach diesem hin, der dabei die doppelte Zugkraft auszuhalten hat, also fest verankert sein muß; dies geschieht durch den Erdanker rechts vom Wagen 4. Ist der Pflug beim Ankerwagen angekommen, so wird er umgelegt und zum Windewagen 1 mit dem kürzeren Seilende gezogen; das längere Seil läuft dann leer und dreht dabei eine Umlenkscheibe am Ankerwagen. Diese treibt eine kleine Seiltrommel auf dem Windewagen 5 an, die ein an dem Anker 6 befestigtes Zugseil 7 aufwickelt. Dadurch bewegt sich der Ankerwagen um eine doppelte Furchenbreite vorwärts, nachdem der Anker am Wagen 4 durch ein mittels Kuppelung durch das Seil betätigtes Windewerk aus der Erde gehoben ist.

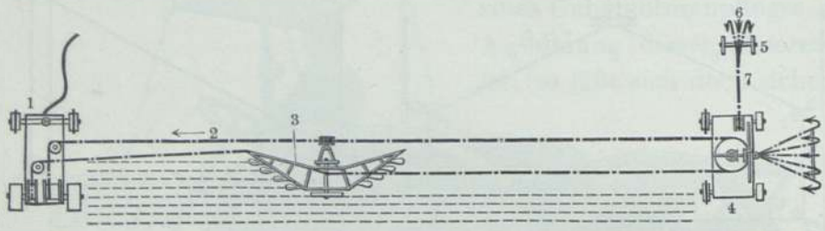


Fig. 778. Einmaschinensystem, System Brutschke, der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft und A. Borsig, Berlin (1 Motorwindewagen, 2 Seil, 3 Kipppflug, 4 Ankerwagen mit Anker, 5 Windewagen mit Anker 6 und kurzem Zugseil 7).

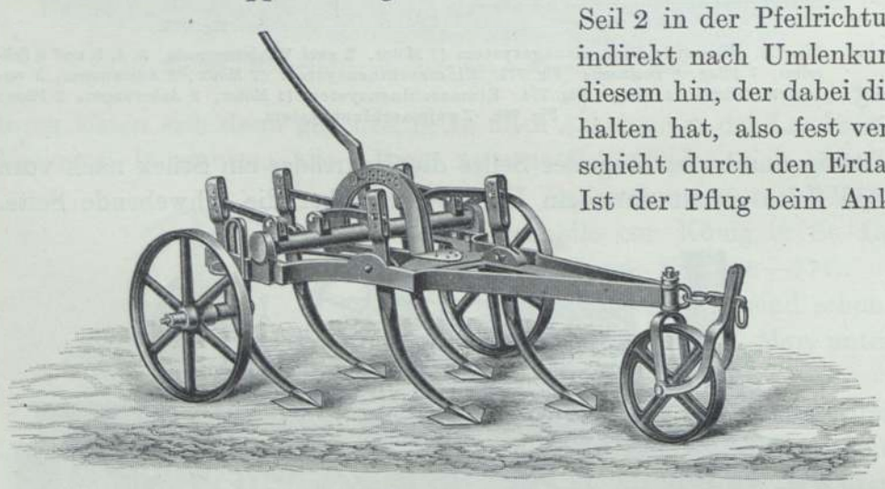


Fig. 779. Grubber von Fr. Dehne, Halberstadt.

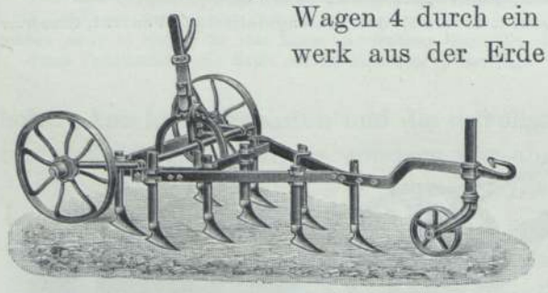


Fig. 780. Exstirpator mit Stelzrad der Aktiengesellschaft F. Eckert.

II. Kultivatoren.

Die Kultivatoren stehen in ihrer Wirkung zwischen den Pflügen und Eggen. Es sind mehrscharige Bodenbearbeitungsgeräte, um den Boden zu lockern, aufzureißen und zu zerkleinern, das Unkraut zu zerstören, die Saat unterzubringen und eine Mischung des Bodens vorzunehmen. Man unterscheidet *Grubber*, *Exstirpatoren*, *Skarifikatoren* und *Federzahnkultivatoren*.

1. Grubber.

Die Grubber (Fig. 779) bewirken eine tiefere (20—30 cm) Lockerung des Bodens. Sie dienen hauptsächlich im Frühjahr zum Aufgrubbern der Winterfurche vor der Drillmaschine, zum Reinigen des Ackers von Quecken und zum Aufreißen der Stoppel. Ihre Zinken sind angeordnet in einem dreieckigen, oder noch besser in einem kreisrunden Rahmen,

weil dieser eine Verstopfung eher vermeidet, und weil er ermöglicht, die Zahl der Füße je nach Bedürfnis zu wählen, sowie auch die festen Füße gegen Federzinken bequem auszuwechseln. Die Zinken haben *Gänsefüße*, d. h. sie sind pfeilförmig geflügelt oder schwach scharförmig, wenig gewölbt und stark zugespitzt, damit sie den Boden flach durchziehen.

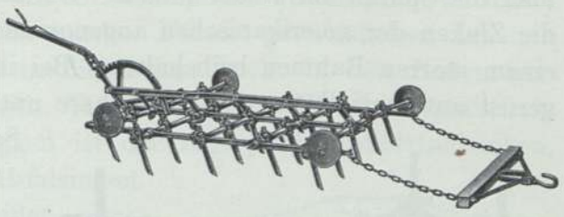


Fig. 781. Skarifikator von E. Groß & Co., Leipzig-Eutritzsch.

2. Exstirpatoren.

Exstirpatoren (Fig. 780) wirken nur auf eine Tiefe von 10—15 cm, dienen hauptsächlich zur Unkrautzerstörung und sind in allen ihren Teilen schwächer als die Grubber. Die Zinkenstiele gehen allmählich in die Zinken über, die daher nicht so flach liegen wie bei den Grubbern.

3. Skarifikatoren.

Diese sind weniger auflockernde Geräte; sie durchreißen mehr den Boden, z. B. zur Erleichterung des Wiesenumbruchs durch Zerschneiden der Narbe quer zur Richtung des nachfolgenden Pfluges und zu ähnlichen Zwecken. Deshalb haben sie sechartige Messer, die in einem meist eisernen Rahmen verstellbar befestigt sind. Fig. 781 zeigt einen fahr- und stellbaren Skarifikator von E. Groß & Co., Leipzig, mit 16 cm langen Messern, die in Entfernungen von 6 cm die Wiese etwa 7 cm tief durchschneiden, ohne die Narbe zu schädigen, und überhaupt eine vorzügliche Kulturarbeit ausführen.

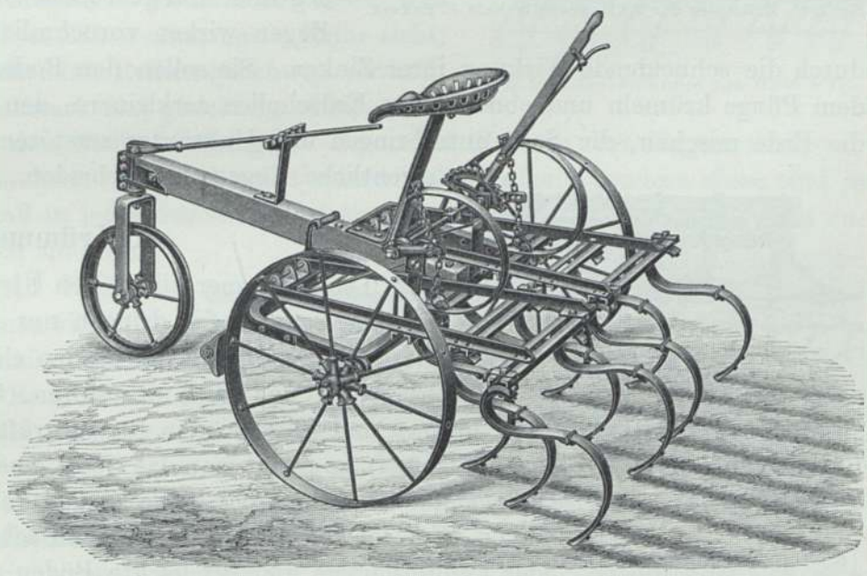


Fig. 782. Stahlrahmenkultivator von Massey Harris & Co., Charlottenburg.

4. Federzahnkultivatoren.

Federzahnkultivatoren, mit eigentümlich geformten Zinken, sind trotz ihres leichten Baues so widerstandsfähig, daß sie bei den verschiedenen Hindernissen im Boden sich zurückbiegen, aber nach Überwindung derselben in ihre frühere Lage zurückschnellen. Ihre beste Verwendung finden sie auf gepflügtem Boden, und sie können in solchem zu den Vorbereitungsarbeiten zur Saat mit Vorteil benutzt werden. Aber zum Aufreißen der Stoppelfelder stehen sie den Mehrscharpflügen nach. Bei den

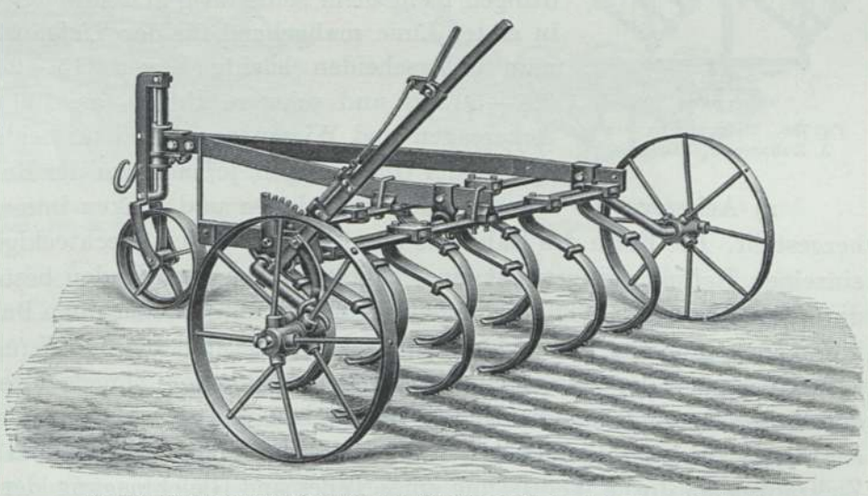


Fig. 783. Federzahnkultivator der Aktiengesellschaft A. Ventzki, Graudenz.

amerikanischen, mit Führersitz versehenen Federzahnkultivatoren (Fig. 782) sind die Zinken an voneinander ganz unabhängigen, sehr leicht beweglichen Einzelrahmen befestigt und arbeiten über die Spuren der Räder hinaus. Die deutschen Federzahnkultivatoren (Fig. 783) haben nur die Zinken der amerikanischen angenommen, im übrigen aber die Bauart der Grubber mit nur einem starren Rahmen beibehalten. Bei ihnen verstellen sich die Zinken oft durch ein Hebelgerüst automatisch so, daß die Schare unter allen Verhältnissen immer unter dem günstigsten Schnittwinkel durch den Boden gehen.

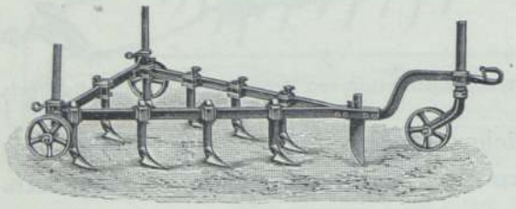


Fig. 784. Krümmer der Aktiengesellschaft F. Eckert.

III. Eggen.

Die Eggen werden durch ihr eigenes Gewicht in den Boden gedrückt; dieser wird daher nur so tief angegriffen und gekrümelt, wie die Zinken einsinken. Die Eggen wirken vornehmlich durch den Stoß, weniger durch die schneidende Wirkung ihrer Zinken. Sie sollen den Boden nach der Bearbeitung mit dem Pfluge krümeln und ebnen, feste Erdschollen zerkleinern, den Dünger verteilen und unter die Erde mischen, die Saat unterbringen und Unkräuter zerstören. Man kann *Krümmer* und eigentliche Eggen unterscheiden.

Fig. 785. Grubberegge der Aktiengesellschaft F. Eckert.

1. Krümmer.

Die Krümmer bilden den Übergang von den Kultivatoren zu den Eggen. Sie dringen nur noch bis zu einem gewissen Grade selbsttätig in den Boden ein, den sie nicht mehr so tief bearbeiten wie die Kultivatoren. Sie machen den Acker feiner als Grubber und Exstirpator, lockern und mischen den Boden kräftiger als die Eggen. Hat der Rahmen eine dreieckige Form (Fig. 784), so nennt man das Gerät einen *Krümmer;* wenn eine viereckige (Fig. 785), so *Grubberegge* oder *Krümmeregge.* Die Zinken ähneln schon mehr den Eggenzinken. Für schwere Böden nimmt man schmale, für Mittelböden spitze oder kuhhornartige und für leichte Böden etwas breitere Spitzen.

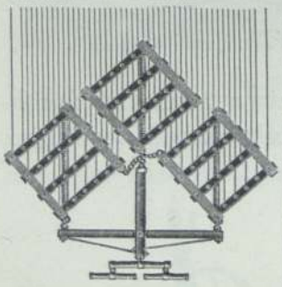


Fig. 786. Reformegge von A. Rohrmann, Raudten.

2. Eigentliche Eggen.

Die Eggen lockern den Boden nur noch bis zu einer geringen Tiefe, dringen nicht mehr selbsttätig in den Boden ein; vielmehr ist ihr Gewicht in erster Linie maßgebend für den Tiefgang. Dem Gewichte nach kann man unterscheiden leichte Eggen (15—25 kg), mittelschwere Eggen (25—50 kg) und schwere Eggen (ca. 150 kg); der Verwendung nach: Ackereggen und Wieseneggen, und bei beiden Arten haben wir Rahmeneggen oder Gliedereggen, je nachdem der Rahmen fest oder beweglich ist.

a) Ackereggen. Diese werden in Rahmen und Zinken immer mehr aus Eisen und Stahl hergestellt. Die Form des Rahmens war früher meist eine rechteckige oder rautenförmige, und die einzelnen Rahmen gingen mit einer Spitze nach vorn. Zu den besten Eggen dieser Art gehören die *Reformeggen* (Fig. 786), bei denen ein Aufspalten der hölzernen Balken an den Enden nicht vorkommen kann. Die Viereckform hat sich am meisten bei den *Feineggen* erhalten, die besonders zum Übereggen der keimenden Kartoffeln und des Sommergetreides dienen, auch zum Zerstören des Hederichs und um die Kruste zu brechen und den Boden aufs feinste zu krümeln. Sonst sind jetzt die gebräuchlichsten Rahmenformen die S- und Z- und Knieform, letztere aus den Zickzackeggen durch Weglassung eines Teiles und Gleichbiegung der beiden Restteile entstanden (Fig. 787—789). Die gebogenen einzelnen „Balken" werden zu 2—4 zu einem „Eggenfelde" miteinander verbunden, so daß jedes Feld für sich allein beweglich ist. Die Eggenfelder ohne Querverbindungen verstopfen am wenigsten.

In den Eggenbalken sind die meist stählernen Zinken eingeschraubt, um das Einsetzen neuer Zähne auf dem Acker eventuell selbst vornehmen zu können. Die Zahl der Zinken eines Eggensatzes ist 12—42. Die Länge der Zinken beträgt 15—25 cm; die Spitzen dürfen nicht zu scharf sein, weil sonst die Egge zu tief in den Boden einsinken würde. Für die gewöhnlichen Arbeiten ist die beste Form die messerartig breite, weil dann die Zinken leicht in den Boden einschneiden, ohne dabei zu tief in denselben einzudringen. Vierkantzinken sind dadurch praktisch, daß sie nach einer Seite geschärft sind. Für Feineggen ist der zugespitzte Rundstahlzinken, für intensivste Arbeiten der sich selbstschärfende Hohlzinken der beste, weil dieser leicht in den Boden einschneidet, ohne dabei zu tief einzudringen. Die Zinken werden in der Regel nicht vertikal, sondern unter einem Winkel von 60—80 Grad nach vorn geneigt, man sagt: auf „Griff" gestellt.

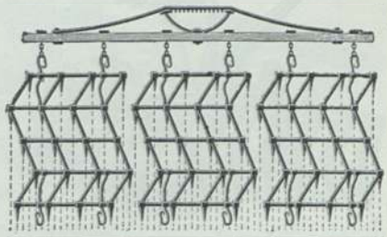


Fig. 787. Zickzackegge von Groß & Co.

Rahmen und Zinken müssen so zueinander passen, daß bei einer guten Egge jeder ihrer Zähne seine eigene Reihe zieht, die von den beiden nebenstehenden Reihen gleichweit entfernt ist, und daß alle Zinken gleichstark und gleichlang sind, damit sie alle gleichmäßig tief in den Boden eindringen. Besondere Formen von Eggen sind:

Gelenkeggen; sie haben keine durchgehenden starren Längsbalken, sondern diese sind in einzelne Glieder so geteilt, daß in jeder durch Rundeisen gebildeten Querreihe zwei Gelenke zusammenstoßen (Fig. 790). Sie sind sehr beweglich, können daher den Bodenunebenheiten folgen und eignen sich für sehr unreine, z. B. mit Maisstoppeln durchsetzte Äcker unebener Beschaffenheit, ferner beim Eggen quer über die Beete u. dergl.

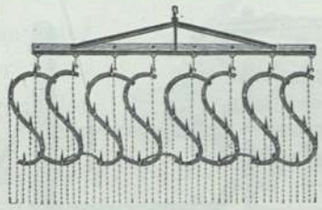


Fig. 788.

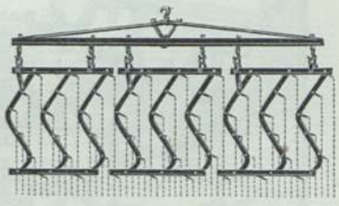


Fig. 789.

Fig. 788. Ackeregge von Groß & Co. Fig. 789. Knieförmige Egge der Aktiengesellschaft H. Cegielski, Posen.

Federzahneggen (Fig. 791) leisten im Kultivieren des Bodens ebenso gute Arbeit wie die Federzahnkultivatoren, besonders bei Vorbereitung des Ackers zur Saat und Einbringen dieser, bei Herausbringen der Quecken und Aufreißen der Stoppeln. Die Zinken decken sich fast völlig, so daß die ganze Fläche durchgearbeitet wird. Die Eggen mit Rahmen aus Winkelstahl können für verschiedene Tiefen auch während des Ganges durch Hebel reguliert und für den Transport gehoben werden; ihre Zinken sind auswechselbar und haben auswechselbare Stahlspitzen.

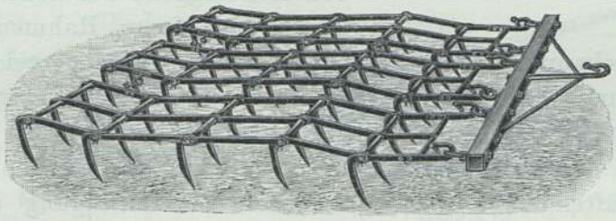


Fig. 790. Gelenkegge mit beweglichen Gliedern, für unebenes oder unreines Land, von R. Sack.

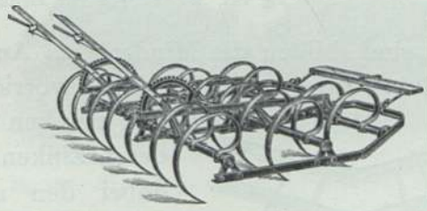


Fig. 791. Federzahnegge von Ed. Schwartz & Sohn, Berlinchen.

Scheibeneggen (Fig. 792) haben eine Anzahl kreisrunder, nach innen gewölbter Scheiben, die auf zwei, meist zur Fahrtrichtung schräg gestellten Achsen so befestigt sind, daß beide Achsstücke sich unabhängig voneinander den Unebenheiten des Bodens anpassen können. Die sich bei dem Gange drehenden Scheiben dringen ihrem Gewichte nach in den Boden ein, wobei sie den Boden durchschneiden, lockern und mischen. Geeignet sind die Scheibeneggen zum Umbrechen von Stoppeln, Niederwalzen starker Gründüngungsmassen, Unterbringen von Dungmitteln, Bekämpfung des Unkrautes. Insbesondere leisten sie zum Zerschneiden und Zerkleinern von Grasnarben und bei allen Urbarmachungen von Heide, Wald und Moor vortreffliche Dienste.

Spateneggen. Auch diese sind Scheibeneggen, jedoch sind die Scheiben etwa bis zur Hälfte noch sechsmal ausgeschnitten, so daß dadurch jede Scheibe aus sechs aufeinanderfolgenden Spaten besteht.

Flügeleggen. In eine feste kreisrunde Scheibe sind drei nach beiden Seiten flügelartig sich umbiegende flache Stahlleisten so eingesetzt, daß sie von den Scheiben quer übereinander eingeschlossen und festgehalten werden, oder es ist ein aus fünf Flügeln bestehendes Rad aus einem Stück gegossen. Die Flügel drehen sich und greifen dabei energisch in den Boden ein. — Spaten- und Flügeleggen sind zu denselben Arbeiten in schweren Böden und Moorböden geeignet, wie die Scheibeneggen, nur noch wirksamer.

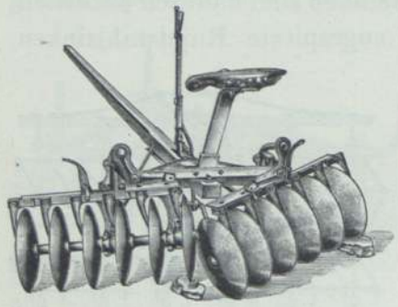


Fig. 792. Scheibenegge von W. Löhnert, Posen.

b) Wieseneggen. Die meisten Wieseneggen sind Gliedereggen (Fig. 793). In der Regel sind je drei Zinken in einem Gliede aus Schmiedeeisen mit gepreßtem, federndem Gehäuse befestigt. Die einzelnen Glieder werden durch Verbindungsteile in zwei bis fünf Reihen hintereinander zu einer vollständigen Egge vereinigt, bei der die erste Gliederreihe mit langen Ketten an einem hölzernen Zugbalken und an der letzten Reihe eine Eisenstange zum Ebnen angehängt ist. Die Verbindungsteile müssen so konstruiert sein, daß jeder Zahn der ganzen Egge seinen eigenen Strich zieht. Zinken und Verbindungsteile der einzelnen Glieder sind leicht zu ersetzen, und die Glieder haben an den Enden lösbare Einsatzstücke. Die Wieseneggen eignen sich auch zum Schröpfen und Aufeggen des Weizens und zum Übereggen der Kartoffel-, Luzerne- und Kleefelder.

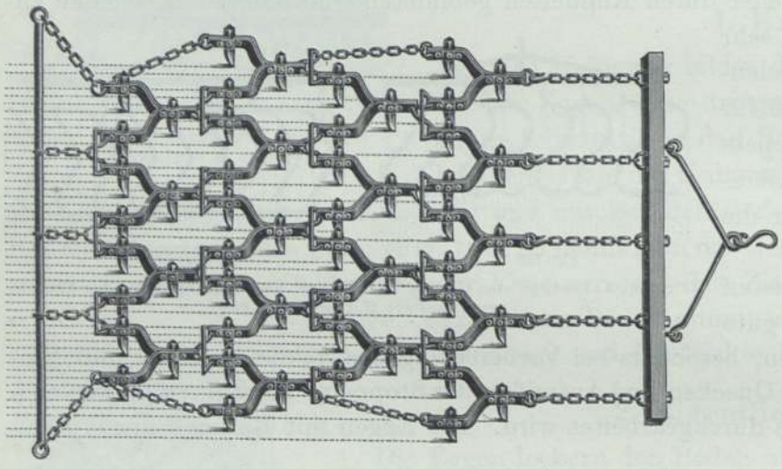


Fig. 793. Wiesenegge von Groß & Co.

Wieseneggen in der Form von Ackereggen, bei denen die Zinken in einem Rahmen befestigt sind, bilden die Minderheit. Am bekanntesten ist die Auraser Wiesenegge; sie zeichnet sich durch eine gute Reinigungsvorrichtung aus, die darin besteht, daß parallel zu den Eggenzinken drehbare rechenartige Vorrichtungen angebracht sind, deren Zinken an den Eggenzinken nach unten entlang streifen und dabei den anhaftenden Unrat entfernen. Die Reinigung kann während der Arbeit geschehen.

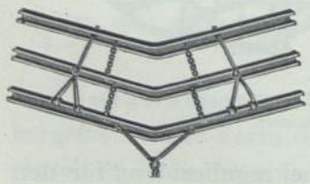


Fig. 794. Hoffmannsche Ackerschleife von W. Löhnert.

IV. Schleifen und Hobel.

Sie stehen in ihrer Wirkung zwischen Egge und Walze. Man hat *Ackerschleifen* und *Wiesenhobel* zu unterscheiden.

1. Ackerschleifen.

Ackerschleifen (Fig. 794), zum Ebnen, Glätten und Zerkrümeln der Bodenoberfläche, stellen an der Oberfläche eine dünne Schicht feinsten Bodens her, in der die darin enthaltenen Unkrautsamen sehr gut auskeimen. Sie bestehen meist aus einem oder mehreren parallelen, kantigen Balken, die beim Ziehen über das Feld mit ihren Kanten die Schollen zerkleinern und den Acker

ebnen. Die Balken sind aus Holz oder Eisen, gerade oder gebogen. Oft vereinigt man die Schleife mit einer kleinen Egge. Eine solche zusammengesetzte Ackerschleife glättet nicht nur den Acker, sondern schneidet auch die Klöße durch, pulverisiert diese und rauht den Acker gleich wieder auf.

2. Wiesenhobel.

Wiesenhobel (Fig. 795) sollen alle Unebenheiten auf Wiesen ausgleichen und Maulwurfs- und Ameisenhaufen beseitigen. Sie werden meist aus Eisen und Stahl gefertigt. Vordere Messer schneiden die Unebenheiten ab, und eine nachfolgende Egge mit einem Schleifbalken oder eine ähnliche bewegliche Schleifvorrichtung „hobelt" den Boden eben. Zum Planieren von Bodenunebenheiten dient auch noch das *Muldbrett* (Fig. 796), bei dem hinter dem Messer ein Kasten die losgeschnittene Erde aufnimmt, die dann in vertieften Stellen durch Überkippen des weitergezogenen Kastens entleert wird.

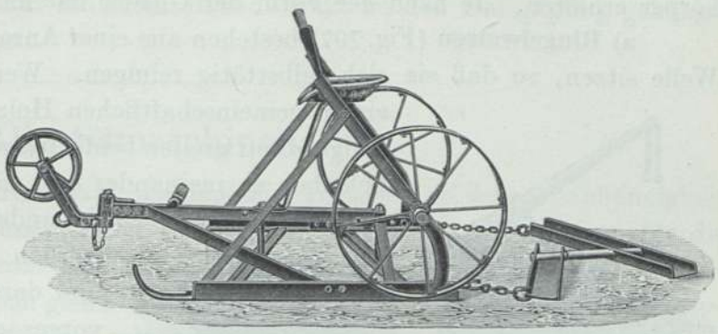


Fig. 795. Wiesenhobel „Mars" von G. Schieferstein in Lich.

Fig. 796. Muldbrett der Ostdeutschen Maschinenfabrik R. Wermke, Heiligenbeil.

V. Walzen.

Die Walzen dienen zum Zermalmen der Schollen, zum Ebnen des Ackers, zum Festpressen der losen Erdteile, zum Vertilgen der Insekten, zum Zerstören des Unkrautes, zum Festwalzen der Saat und der jungen Pflanzen, zum Brechen der Kruste der Felder im Frühjahr.

Bei großer Länge bestehen die Walzen meist aus drei, sich zwecks besseren Umwendens überdeckenden Teilen, die sich unabhängig voneinander drehen können, so daß jede einzelne Walze ihre volle Beweglichkeit behält, sich den Bodenunebenheiten möglichst anschmiegen kann; auch soll beim Wenden weder ein zu beträchtliches Gleiten stattfinden, noch ein Teil ungewalzten Bodens zurückbleiben, noch die Walze sich in den Boden einwühlen. Man unterscheidet bei den Walzen: Glatt-(Schlicht-) Walzen, Gliederwalzen und Stachelwalzen (Walzeneggen).

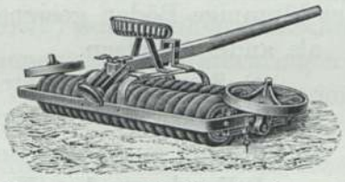


Fig. 797. Doppelte Ringelwalze von Groß & Co.

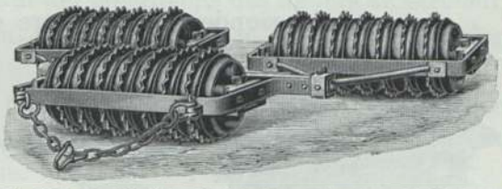


Fig. 798. Dreiteilige Cambridgewalze von Fr. Dehne.

1. Glattwalzen.

Glattwalzen dienen *a) auf dem Acker* zum Ebnen desselben und Einpressen der Saat sowie zum Nachwalzen der jungen Pflanzen. Sie sind einfache liegende Zylinder und haben einen geschlossenen Mantel aus Gußeisen. Der Durchmesser der Walzen beträgt 36—58 cm. Glattwalzen dienen *b) auf Wiesen und Weiden* zum Anwalzen der durch Frost gehobenen Narbe, zum Niederdrücken der Bülten und Kaupen, insbesondere auf Moorwiesen und -weiden zur Erzielung guter Wasserregulierung, sowie der nötigen Festigkeit und Tragkraft des Bodens. Diese *Wiesenwalzen* dürfen nur einteilig und müssen recht schwer (bis zu 1500 kg) sein.

2. Gliederwalzen.

Bei den Gliederwalzen ist keine glatte Oberfläche mehr vorhanden, sondern der Walzenkörper besteht aus mehreren einzelnen, nebeneinander lose auf einer gemeinschaftlichen Achse

befindlichen Gliedern. Aber wenn man sich den Umfang sämtlicher Glieder mit einem Mantel umgeben denkt, so würde man, wie bei den Glattwalzen, wieder einen zylinderförmigen Walzenkörper erhalten. Je nach der Form der Glieder hat man verschiedene Arten:

a) **Ringelwalzen** (Fig. 797) bestehen aus einer Anzahl scheibenförmiger Ringe, die auf einer Welle sitzen, so daß sie sich selbsttätig reinigen. Wenn man zwei Walzen hintereinander in einem gemeinschaftlichen Holzgestell oder in einem Eisenrahmen vereinigt, dann greifen beide Walzen mit ihren im Querschnitt dreiseitigen Scheiben so ineinander ein, daß die eine Walze die anhaftende Erde der anderen entfernt *(Doppelringelwalzen)*. Meist werden die Ringelwalzen dreiteilig verwendet und dann die Doppelringelwalzen den einfachen vorgezogen. Um das schwere Gerät bequem fahren zu können, gibt man ihm eine Transportvorrichtung, mit der die drei Teile hintereinander gefahren werden können. Ringelwalzen eignen sich besonders, um Krusten aufzubrechen, zum Einwalzen der Saat, zum Festpressen des Bodens, zum Nachwalzen des Getreides, sobald ein Lagern zu befürchten ist.

Fig. 799. Dreiteilige vereinigte Cambridge-Croskill-Walze von Fr. Dehne, Halberstadt.

b) **Croskill-Walzen** bestehen aus einzelnen, auf einer Welle lose sitzenden Scheiben, an deren beiden Seiten prismatische Zähne hervorstehen. Sie dienen besonders zum Zerkleinern oder Festigen sehr harten Bodens.

c) **Cambridge-Walzen** (Fig. 798) tragen zwischen je zwei am Umfange mit Spitzen versehenen Scheiben eine flach gewölbte Scheibe. Da die Scheiben lose auf der Achse sitzen, können sie sich bei der Arbeit aneinander verschieben, wodurch ein gutes Reinigen erfolgt. Sie sind zum Nachwalzen des Weizens sehr geeignet, weiter zur Vorbereitung des Ackers.

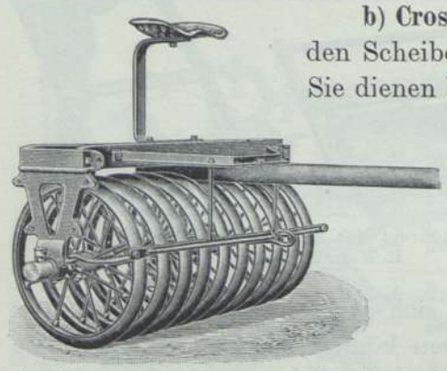


Fig. 800. Furchenpacker aus der Fabrik Kluckhohn in Lage.

d) **Croskill-Cambridge-Walzen** (Fig. 799) sind eine Vereinigung der Croskill-Walzen mit den Cambridge-Walzen. Auf der Welle sitzen Croskill-Ringe, und auf den Naben dieser drehen sich die Cambridge-Scheibenringe, wobei abwechselnd ein Croskill-Ring und eine Zackenscheibe angeordnet ist. Sie sind besonders für schwere oder klumpige Böden geeignet, die sie schärfer angreifen als andere Walzen.

Fig. 801. Nackesche Walzenegge von Kluckhohn.

e) **Sternwalzen** bestehen, wie die Ringelwalzen, aus Scheiben, aber der Umfang ist nicht glatt, sondern sternförmig eingeschnitten.

f) **Furchenpacker** (Fig. 800). Auf einer Stahlachse sind (meist 10) eiserne und auswechselbare Räder (Durchmesser nicht unter 62 cm) mit spitzkantigem Radkranz in einem Abstand von etwa 25 cm angeordnet. Mit dem Furchenpacker ist es möglich, den unteren Teil einer Furche fest zu packen und gleichzeitig eine lockere Schicht darüber zu schaffen. Mit diesem einen Gerät erreicht man daher die günstigste Struktur des Bodens, und so ist der Furchenpacker neben dem Pflug das wirksamste Bodenbearbeitungsgerät, insbesondere auf leichten und Mittelböden, dagegen für schwere Böden weniger geeignet.

3. Stachelwalzen oder Walzeneggen.

Sehr vorteilhaft hat sich die *Nackesche Walzenegge* erwiesen (Fig. 801). In einem starken Blechmantel von sehr großem Durchmesser sind Zinken („Stacheln") in einem Abstande von

84 mm eingeschraubt. Die Walze ist mit einem kurzen Vorgestell, Führersitz und Vorrichtung zum Langfahren versehen. Sie hat sich auf schweren Böden als der geeignetste Furchenpacker und beste Schollenbrecher bewährt. Auf schweren Böden direkt an den Dampfpflug gehängt, leistet sie auf ihnen schnell gute Arbeit.

C. Die Sämaschinen.

Die Maschinensaat hat vor der Handsaat mannigfache Vorteile: größere Unabhängigkeit von den Arbeitern; der Same wird schneller und gleichmäßiger ausgesät, so daß man für die gleiche Fläche oft mit einer um 10 Proz. geringeren Saatmenge ausreicht; Drill- und Dibbelmaschinen bringen außerdem die Saat auch gleich unter, so daß durch Fortfall der Unterbringungsarbeiten die Saat früher beendet ist. Die Saat mit der Maschine erfolgt daher nicht nur besser und gleichmäßiger, sondern wird auch billiger als die Handsaat.

Allgemein ist jede Sämaschine so eingerichtet, daß auf einem zweiräderigen Hinterwagen sich der Saatkasten befindet. Dieser hat den auszuwerfenden Samen aufzunehmen, zu bemessen und auszustreuen. Aus dem Saatkasten fließt das Saatgut durch Öffnungen, die durch Schieber gemeinschaftlich oder einzeln geschlossen werden können, zu den Säapparaten. Diese sind in angemessenen Abständen auf der von den Fahrrädern durch Zahnradübertragung in Umdrehung versetzten Säwelle angeordnet. Die Ausflußmenge läßt sich dadurch regeln, daß durch seitliche Verschiebung der Säwelle die Öffnungen der Säapparate mehr oder weniger geschlossen werden, oder dadurch, daß größere oder kleinere Zahnräder auf die Welle gesteckt werden und diese sich langsamer oder schneller dreht. Ein Vorderwagen hat den Gang der Maschine regelmäßiger zu gestalten und die Steuerung zu erleichtern. Man unterscheidet:

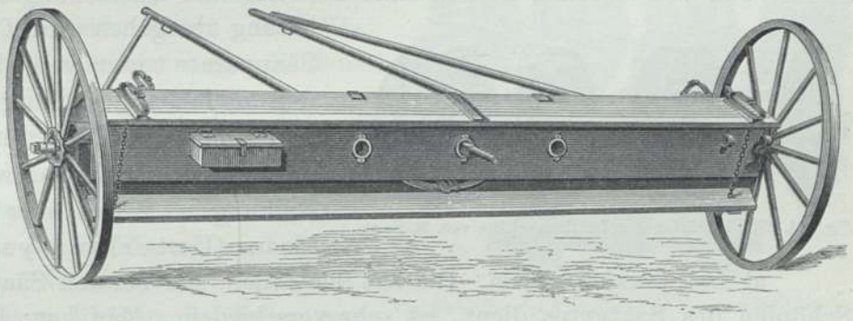


Fig. 802. Breitsämaschine der Aktiengesellschaft F. Eckert.

a) Breitsämaschinen, die den Samen gleichmäßig auf der Oberfläche des Ackers ausstreuen;
b) Drillmaschinen (Drills) oder Reihensämaschinen, die den Samen in geraden, parallelen und ununterbrochenen Reihen unterbringen;
c) Dibbelmaschinen, die den Samen in geraden, parallelen, aber unterbrochenen Reihen unterbringen;
d) kombinierte Maschinen für verschiedene Zwecke.

1. Breitsämaschinen.

Die Breitsämaschinen (Fig. 802) werden in kleinerer Ausführung auf einen durch einen Mann zu schiebenden Schubkarren gelegt oder, bei größerer Ausführung, an beiden Enden mit Rädern versehen und mittels Gabeldeichsel durch ein Zugtier gezogen. Bei jenen lagert der Saatkasten möglichst niedrig und fällt die Saat unmittelbar aus dem Saatkasten zu Boden; bei diesen gelangt die Saat erst auf ein Verteilbrett, das dann eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Saat bewirkt. Hauptsächlich dienen die Breitsämaschinen zum Einsäen des Klees, und die Sävorrichtung besteht aus Bürsten, die sich drehen und dabei den Samen herausbefördern. Sollen andere Sämereien damit ausgestreut werden, so werden dieselben Säapparate wie bei den Drillmaschinen verwendet (s. unten). Die Schere für ein Pferd läßt sich leicht in eine Deichsel für zwei Pferde umändern. Die Deichsel muß am Pferd so befestigt werden, daß sie nicht schlenkern kann, da die Maschine sonst wellig sät. Um die Maschine auf engen Wegen usw. fahren zu

können, werden die Fahrräder abgenommen und auf eine kurze, durch den Saatkasten geführte Querachse gesteckt.

2. Drillmaschinen.

Die Drillmaschinen sollen den Samen in parallelen Reihen gleichmäßig tief unterbringen; man braucht daher außer der eigentlichen Sävorrichtung eine Vorrichtung zum Unterbringen der Saat in den Reihen (Saatleitung und Saatunterbringung), sowie ein Fuhrwerk mit Steuervorrichtung, um die Maschine so zu lenken, daß die Reihen gerade und parallel werden.

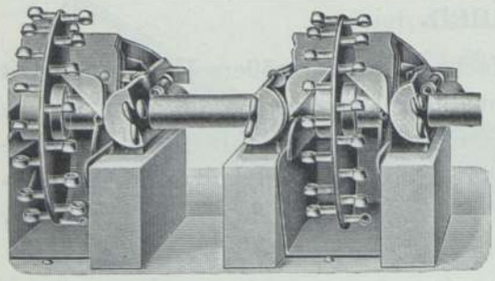


Fig. 803. Löffel der Drillmaschine „Ideal" von Fr. Dehne.

I. Die Säapparate sitzen auf einer gemeinsamen, durch die ganze Breite des Saatkastens gehenden und von den Fahrrädern meist nur an einer Seite durch Zahnradgetriebe in Drehung versetzten Säwelle. Bei ihrer Drehung arbeiten die Säapparate verschieden. Entweder treten sie von untenher in den Schöpfraum ein, wobei das Saatgut sich von oben ohne Reibung und Quetschung in die Zellen der Säapparate einlegt und von obenher wieder ohne Reibung und Quetschung frei aus den Zellen der Saatleitung übergeben wird (Oberlaufsystem); oder die Säapparate treten von obenher in den Schöpfraum ein und schieben das Saatgut mit ihrer unteren Hälfte durch einen längeren, für das Auge wie für die Hand unzugänglichen Kanal wesentlich durch gegenseitige Reibung der Samen über eine Überfallkante des Kanals hinaus (Unterlaufsystem).

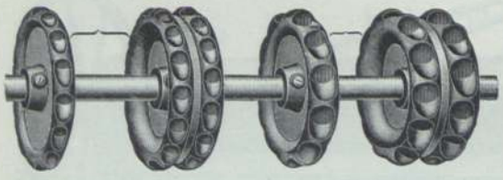


Fig. 804. Schöpfräder der Drillmaschine von R. Sack.

a) *Das Oberlaufsystem.* Die Art der Zellen, die bei den Säapparaten dieses Systems zum Schöpfen des Saatgutes dient, ist sehr verschieden. Man hat: Löffel (Fig. 803), Schöpfräder (Fig. 804), Scheibenzellenräder (Fig. 805), Muffenzellenräder (Fig. 806) und Schöpfmulden (Fig. 807).

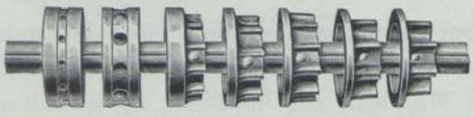


Fig. 805. Scheibenzellenräder der Drillmaschine der Maschinenfabrik Schlettau.

Bei Löffeln, Schöpfrädern und Scheibenzellenrädern wird die gewünschte Aussaatmenge durch Auswechseln der Getrieberäder erreicht; auch sind beim Übergang eines Saatgutes zu einem anderen die passenden Säapparate auszuwechseln. Löffel und Schöpfräder säen außerdem nur auf ebenem Lande gleichmäßig. Man zieht deshalb jetzt die Muffenzellenräder oder die Schöpfmulden vor, die im Bergland ebenso gleichmäßig säen wie in der Ebene, und bei denen das zeitraubende Wechseln der Getrieberäder und der Säapparate fortfällt, indem nur durch seitliche Verschiebung der Säwelle die Zellen der Säapparate sich vergrößern oder verkleinern. In Fig. 806 hat die Muffe einen großen Teil des Sägehäuses abgesperrt, also den Zellenraum verkleinert, so daß nur kleine Sämereien gesät werden können. Wenn dagegen die Säwelle mit den Säapparaten nach rechts verschoben wird, so wird die Muffe nur einen kleinen Raum des Gehäuses abdecken, d. h. die Zellen des Säapparates werden sich vergrößern und können größere Sämereien aussäen.

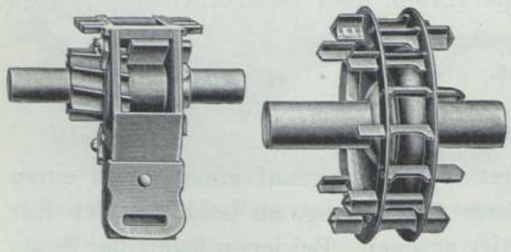


Fig. 806. Fig. 807.

Fig. 806. Muffenzellenrad von Fr. Dehne. Fig. 807. Schöpfmulden der Drillmaschine Patent „Melichar" von K. Kaiser in Eisleben.

b) *Das Unterlaufsystem.* Da die hierher gehörenden Säapparate das Saatgut wesentlich durch Reibung herausschieben, so nennt man sie allgemein *Schubräder.* Sie arbeiten alle außerhalb des feststehenden Saatkastens in Gehäusen; ihre Aussaat ist eine zwangläufige, und da die Stellungen der Maschine, ob bergauf oder bergab oder am Hange, ganz ohne Einfluß

auf die Füllung der Zellen und die Aussaat sind, nennt man Drillmaschinen mit Schubrädern auch *Bergdrills*. Dieser Name ist jedoch ungenau, da auch die Maschinen des Oberlaufsystems mit Schöpfmulden, Scheibenzellenrädern und Muffenzellenrädern zu den Bergdrills gehören. Man kann unterscheiden: auswechselbare Schubräder und verschiebbare Schubräder.

1. Auswechselbare Schubräder. Fig. 808—810 zeigen einige Beispiele. Wir sehen (Fig. 808), wie das Särad 1 von obenher in den Gehäuse-Schöpfraum 2 eingreift und das Saatgut durch den Kanal über die Kante der Gehäuseklappe 3 in die Gosse 4 abschiebt. Um das Saatgut nicht zu sehr zu quetschen oder auch Verstopfungen zu verhüten, gibt die Klappe durch die Feder 5 mit Anlage jedem Drucke nach. Die Schubräder (Fig. 809 und 810) sind der Größe des wechselnden Saatgutes angepaßt und müssen daher für verschiedenes Saatgut ausgewechselt werden. Die gewünschte Aussaatmenge wird durch Wechseln der Getrieberäder erzielt. Die Maschinen säen in der Ebene wie im Berglande ganz gleichmäßig.

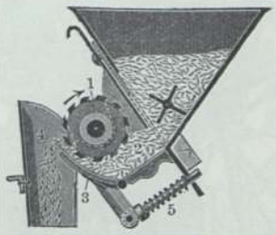


Fig. 808. Wechselschubrad des Saxoniadrills von W. Siedersleben in Bernburg (1 Särad, 2 Schöpfraum, 3 Gehäuseklappe, 4 Gosse der Saatleitung, 5 auf die Klappe 3 wirkende Feder).

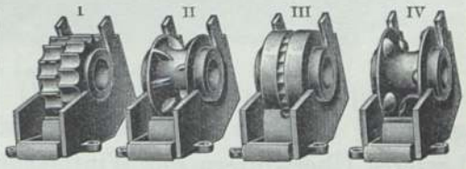


Fig. 809. Wechselschubräder der Drillmaschine „Simplex" von Fr. Dehne (I für Getreide, II für Rüben, Bohnen, Erbsen, III für Raps, IV für große Bohnen).

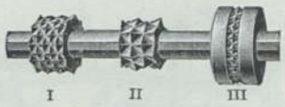


Fig. 810. Wechselschubräder der Drillmaschine „Augusta" der Fabrik vorm. Epple & Buxbaum, Augsburg (I für Getreide, II für Erbsen, Bohnen usw., III für Klee, Raps, Mohn).

2. Verschiebbare Schubräder. Die Säapparate sind dieselben wie die oben beschriebenen Muffenzellenräder. In der in Fig. 811 dargestellten Stellung (zum Säen von Roggen, Weizen, Gerste, Hafer, Wicken, Lupinen, kleinen Erbsen, Rüben, Spelz, Buchweizen, Leinsamen, Sonnenblumen, Serradella usw.) sind die Zellen etwa zur Hälfte frei; die andere Hälfte der Säöffnung wird durch eine feste Muffe geschlossen. Zwecks Säens von Klee, Raps, Mohn, Luzerne, Senf usw. bleiben die Zellen nur ganz wenig frei; der übrige Raum wird durch die Muffe geschlossen. Der Boden des Gehäuses ist durch eine Feder nachgiebig; auch kann der Boden sämtlicher Gehäuse durch einen Hebel behufs Entleerung ganz aufgeklappt werden.

c) *Ober- und Unterlaufsystem.* Um feuchtes und großes Saatgut (Bohnen usw.) durch das Unterlaufsystem nicht zu verletzen, hat man die Maschinen dieses Systems durch Einschalten eines Zwischenrades im Getriebe oder durch eine Umschaltevorrichtung auch für das Oberlaufsystem geeignet gemacht. Man kann dann Saatgut genannter Art mit Oberlaufsystem, gewöhnliches Saatgut (Getreide usw.) mit Unterlaufsystem säen.

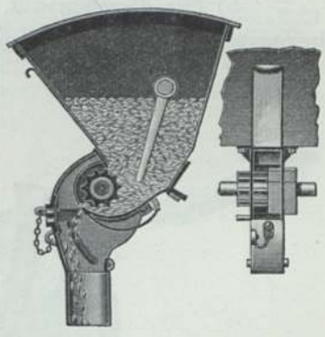


Fig. 811. Schubradgehäuse der Aktiengesellschaft F. Eckert.

II. Die Saatleitung. Zur Leitung und Unterbringung des Samens dienen Saatleitungsröhren. Diese können sein a) *Schütteltrichter* (einzelne kleine Blechtrichter hängen an Kettchen ineinander. Die Samen werden durch diese in beständiger Bewegung befindlichen Trichter hin und her geschüttelt); b) *Spiralröhren* (ein dünnes Stahlband ist fortlaufend schraubenförmig zu einer Röhre gewunden); c) *teleskopische Röhren* (zwei bis drei Blechröhren schieben sich fernrohrartig zusammen).

III. Die Saatunterbringung geschieht durch Schare oder Scheiben.

Bei der Unterbringung mit Scharen kann man Rillensaat und Furchensaat unterscheiden.

a) *Die Rillensaat.* Die Schare (Fig. 812) ziehen gleichmäßig tiefe Rillen, in denen der Same untergebracht wird. Zu diesem Zwecke erhalten sie kolterartige Schneiden und werden von zwei Blechbacken oder Drillschuhen umgeben, in welche die Saatleitung ausmündet. Das Schar ist, um es aus dem Boden heben zu können, an einem einarmigen Hebel angebracht, dessen

Ende dem zu erzeugenden Drucke entsprechend mit Gewichten belastet werden kann. Sämtliche Hebel sind an einer gemeinschaftlichen Hebelstange in Scharnieren aufgehängt, und zwar haben die Hebel zweierlei Länge, so daß zur Vermeidung von Verstopfungen die Schare in zwei Reihen hintereinander gehen. Beim Transport oder beim Wenden auf dem Felde werden die Schare hochgezogen, wobei gleichzeitig der Sämechanismus ausgerückt wird.

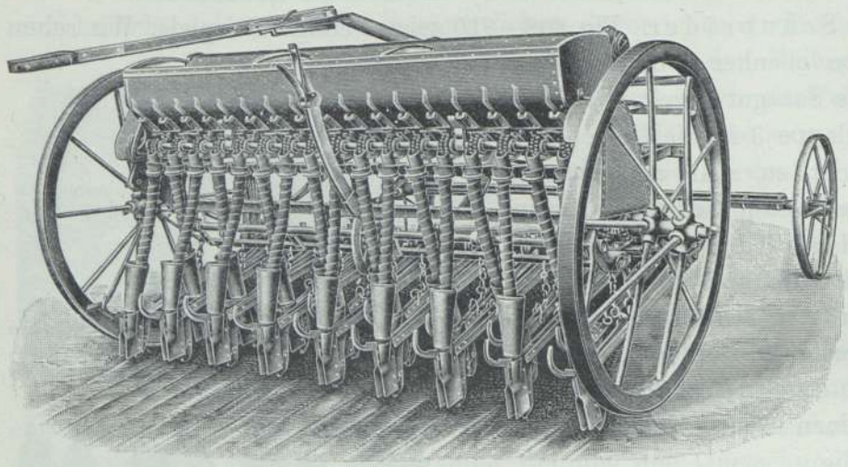


Fig. 812. Drillmaschine von Fr. Dehne.

Ist der Same in die vom Schar gezogene Rille gefallen, so läßt man hinter den Scharen Druckrollen gehen, um die gedrillten oder gedibbelten Rübenkerne im Boden festzudrücken und ihnen bei trockenem Boden einen möglichst guten Aufgang zu sichern, auch beim Getreide einen schnelleren und gleichmäßigeren Aufgang und besseres Überwintern der Wintersaat zu erzielen.

Die Druckrollen sind zum Transport leicht abnehmbar; sie bringen nur wenig krümelnde Erde auf die Rillen. Will man die Rillen stärker bedecken, so kann man mit oder ohne voraufgehende Druckrollen die Rillen durch *Zustreicher* zuwerfen, ohne dadurch die Lage der gesäten Samen zu stören, wie dies die Eggen tun. Die Zustreicher können bestehen aus einer eisernen Gabel mit Trägerarm und darauf ruhenden festen oder beweglichen Zinken, oder aus einer Anzahl dünner Eisenstäbe oder einem Holzstück mit gelenkigem Trägerarm und vier Rechenzinken, oder einer Kette oder einem der Druckrolle angefügten eisernen Bügel.

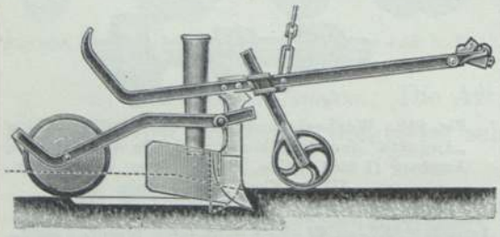


Fig. 813. Drillhebel zur Furchensaat von W. Siedersleben, Bernburg, mit schwerer prismatischer Druckrolle.

b) *Die Furchensaat.* Hierbei kommen die Pflanzen in tiefe Furchen zu stehen. Diese werden hergestellt durch einen voraufgehenden Furchenzieher oder mit einem solchen verbundenen Schar und dahinter folgende schwere prismatische Druckrolle bzw. einfache Druckrolle (Fig. 813 und 814). Bei dieser Saatmethode ist ein mindestens 18 cm breiter Abstand der Reihen erforderlich; es können daher auch alle Schare mit Druckrollen in einer Reihe liegen. Wählt man schwere Druckrollen, so machen diese eine zweite Aushebevorrichtung durch Hebelwinden hinter den Scharen erforderlich, während die Aushebevorrichtung für diese dann vor ihnen liegt.

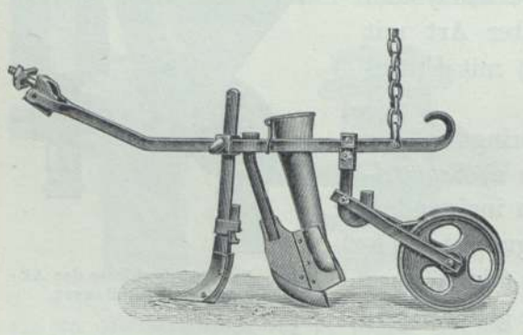


Fig. 814. Drillhebel zur Furchensaat von Fr. Dehne; vorn ein nach der Tiefe stellbarer Furchenzieher.

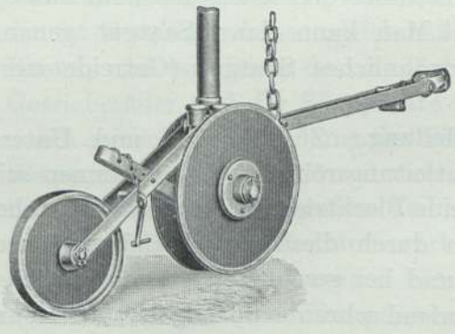


Fig. 815. Drillhebel mit Scheiben der Maschinenfabrik Tröster, Butzbach.

Bei der Saatunterbringung mit Scheiben mündet die Saatleitung statt zwischen den Backen der Schare zwischen zwei scharfkantigen Scheiben, die vorn in der Fahrtrichtung dicht

zusammenkommen, hinten auseinanderstehen. Sie bringen die Samen vorzüglich unter, drücken dabei die Wände der von ihnen gebildeten Rillen fest, so daß sie am besten durch Zustreicher zugestrichen werden, oder man läßt auch ihnen eine Druckrolle folgen (Fig. 815).

IV. Das Fuhrwerk. Um die Drillmaschine gut steuern zu können, fährt man sie mit einem Vorderwagen, an dem man die Steuervorrichtung anbringt. Man hat „Vordersteuer" und „Hintersteuer". Jene erfordern einen Mann besonders zum Steuern; diese können durch den Führer gelenkt werden und sind deshalb sehr beliebt. Wo kein ebenes Gelände ist oder die Drillmaschine eine große Spurweite hat, ist Vordersteuer sicherer.

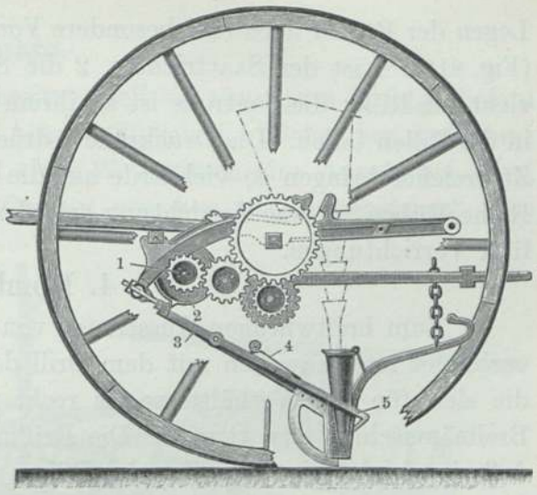


Fig. 816. Dibbelvorrichtung von Fr. Dehne (1 Welle, 2 Scheibe mit Nocken, welche beim Drehen die Nasen des zweiarmigen Hebels 3—5 nach oben ziehen, wodurch sich die Klappe im Schar einen Augenblick zum Fallenlassen des Samens hebt, um gleich darauf wieder durch die Feder 4 heruntergedrückt zu werden).

Die gebräuchlichsten Vordersteuer sind: a) *Schiebersteuer.* Auf dem Vorderwagen läßt sich ein Holm mit Handgriff an jedem Ende verschieben. Für Drillmaschinen bis 2 m Spurweite. b) *Kettensteuer.* Eine Kette läßt sich durch Hebel auf ein Schneckenrad winden. c) *Zahnstangensteuer.* Mit einem solchen läßt sich jede größere Maschine am besten steuern. Es lassen sich auch beide Steuerungsarten in einer Vorrichtung vereinigen.

3. Dibbelmaschinen.

Die Dibbelmaschinen sind besonders für die Aussaat der Rübenkerne bestimmt und bestehen aus einer Drillmaschine, bei der ein Apparat zum Unterbrechen des Saatstromes eingeschaltet ist. Durch das Dibbeln spart man an Samen, und das Aufgehen der Rüben wird bei ungünstigem Wetter erleichtert.

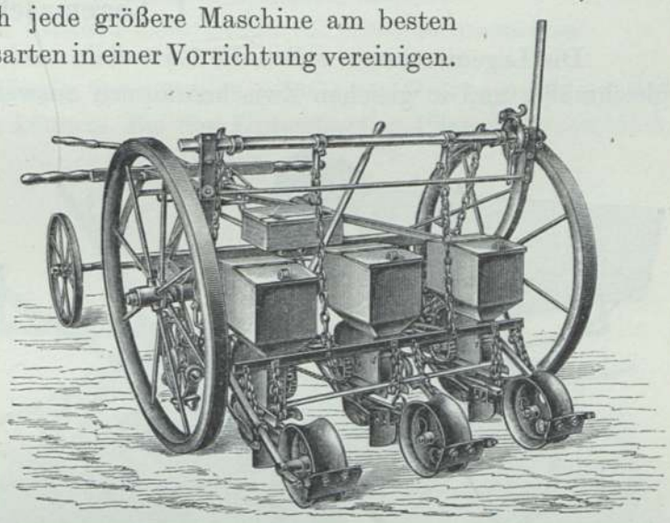


Fig. 817. Dibbelmaschine für drei Reihen, von Zimmermann & Co., Halle a. S.

In der Regel wird die Drillmaschine von 2 m Spurweite nach Wegnahme der überflüssigen Scharhebel in eine vierreihige Dibbelmaschine umgewandelt, so daß dieselbe Maschine sowohl zur gewöhnlichen Reihensaat als auch als Dibbelmaschine benutzt werden kann. Zu letzterem Zwecke läßt man den Samen ununterbrochen bis in das Schar fallen und bringt im Schar eine Klappe an, die an dem einen Ende eines am Scharhebel befestigten doppelarmigen Hebels angeordnet ist und durch eine Feder geschlossen gehalten wird. Das andere Ende des Klappenhebels wird durch die Daumen einer Zahnradwelle von Zeit zu Zeit geöffnet, um den angesammelten Samen in einem Augenblick fallen zu lassen (Fig. 816). Durch entsprechende Wahl der Zahnradwelle kann man in größeren oder kleineren Entfernungen die Klappen öffnen und den Samen fallen lassen. Die Außenansicht einer Dibbelmaschine für drei Reihen zeigt Fig. 817. Außer der Dibbelvorrichtung hat man für das

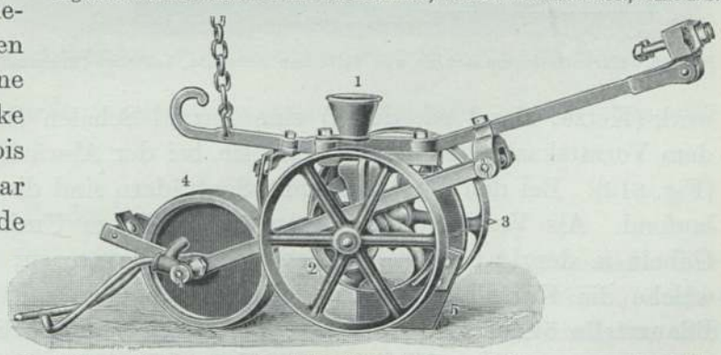


Fig. 818. Meinshausensche Rübenkern-Legevorrichtung von Fr. Dehne (1 Saattrichter, 2 Saatrolle, 3 vordere Laufräder, 4 Druckrolle, 5 Schar).

Legen der Rüben noch eine besondere Vorrichtung, die *Meinshausensche Rübenkernlegevorrichtung* (Fig. 818): 1 ist der Saattrichter, 2 die Saatrolle, 3 sind die vorderen Laufräder. Das Schar 5 zieht die Rille; die Saatrolle ist an ihrem Umfange mit „Tassen" versehen, aus denen die Kerne in die Rillen fallen. Die Druckrolle 4 drückt die gelegten Kerne fest, und die an ihr angebrachten Zustreicher bringen so viel Erde auf die Kerne, daß diese nicht unbedeckt daliegen. Für jede Reihe Rüben ist eine Vorrichtung erforderlich, also für eine fünfreihige 2 m breite Drillmaschine fünf Vorrichtungen.

4. Kombinierte Maschinen.

Zum breitwürfigen Ausstreuen von Klee usw. mit dem in Reihen auszusäenden Getreide verbindet man zuweilen mit dem Drill den Saatkasten einer Breitsämaschine, eine Anordnung, die sich für viele Verhältnisse als recht vorteilhaft bewährt hat, da hierdurch eine besondere Breitsämaschine erspart wird. Die Drillmaschine selbst kann aber auch so eingerichtet werden, daß sie gleichzeitig Getreide oder Rüben und pulverförmigen Dünger ausstreut *(Universaldrills)*. Sie werden ebenso behandelt wie die gewöhnlichen Getreidedrills. In Deutschland findet man die Universaldrills nur vereinzelt, um so mehr in Österreich und Rußland.

D. Geräte und Maschinen zur Aussaat von Kartoffeln.

1. Legemaschinen.

Die Legemaschinen sollen die Kartoffeln nach Art der Sämaschinen aus einem Saatkasten gleichmäßig und in gleichen Zwischenräumen auswerfen. Die Ungleichmäßigkeit und das große Volumen des Saatmaterials, ferner das hohe Gewicht der auf die Flächeneinheit zu legenden Saatmenge, endlich der Umstand, daß Fehlstellen sowie ungleiche Entfernungen dadurch entstehen, daß die in die Furche gelegten Kartoffeln leicht weiterrollen, sind die Ursachen der geringen Verwendung der bisherigen *Kartoffellegemaschinen*. Im wesentlichen kommen zwei Bauarten in Betracht: Maschinen mit Elevatoren (Paternosterwerken) und Maschinen mit Saaträdern. Bei jenen sind an einem um zwei Leitrollen laufenden endlosen Transportwerk (Kette, Band od. dergl.) eine Anzahl Schalen (Becher) befestigt, die die Kartoffeln aus dem Vorratskasten aufnehmen und sie bei der Abwärtsbewegung an der tiefsten Stelle ablegen (Fig. 819). Bei den Maschinen mit Saaträdern sind diese entweder vertikal oder horizontal umlaufend. Als Vertikalräder haben sie an ihrem Umfange Schöpfapparate (kleine gekrümmte Gabeln u. dergl.), die so arbeiten wie die Elevatoren; oder die arbeitenden Teile sind Greifer, welche die Kartoffeln einzeln erfassen, sie oben mit herumnehmen und sich erst über der Pflanzstelle öffnen und die Kartoffeln fallen lassen. Sind die Saaträder horizontal liegend, so haben sie an ihrem Umfange der Kartoffelgröße entsprechende Aussparungen, in die sich die Kartoffeln legen (Fig. 820) und aus denen sie in die Saatleitungsröhren fallen. Vor dem Legeapparat gehen Furchenzieher oder Stahlscheiben zur Herstellung der Furchen, und dahinter folgen wieder meist Stahlscheiben zum Zudecken der Kartoffeln, so daß eine Legemaschine alle drei Arbeiten: das Furchenziehen, das Einlegen in die Furchen und das Wiederzudecken der Kartoffeln, in einer Arbeit besorgt.

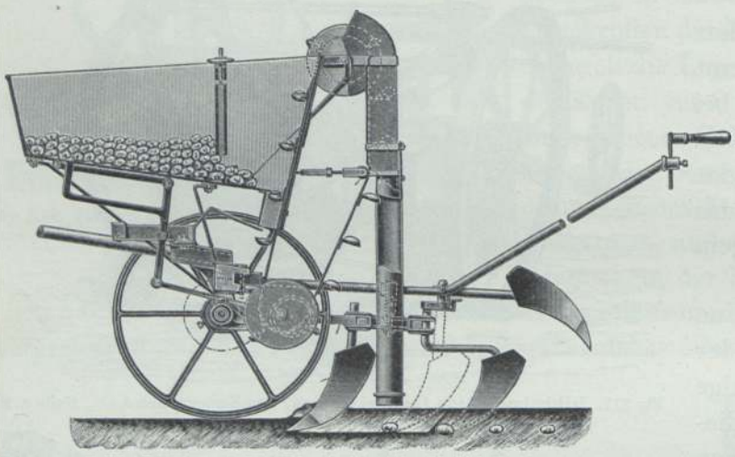


Fig. 819. Kartoffellegemaschine von Tillmann Schmetz, Lobberich (Rheinland).

2. Pflanzlochgeräte.

Pflanzlochgeräte (Fig. 821) sind allgemein verbreitet, weil sie günstigere Erfolge liefern als Legemaschinen. Sie stellen auf dem vorbereiteten Acker lediglich die Löcher zur Aufnahme der Saatkartoffeln durch Ausheben der Erde her. Auf einer Welle sitzen eine Anzahl Scheiben, deren Umfang mit den Scharen zur Erzeugung der Gruben versehen ist (Spatensterne). Bei der Fortbewegung des mit Vordersteuer versehenen Gerätes auf dem Acker drehen sich die Scheiben, und die Spaten stellen die Gruben her.

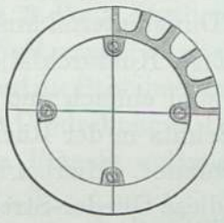


Fig. 820. Horizontale Säscheibe der Kartoffellegemaschine von Gebr. Adam, Greifenhagen.

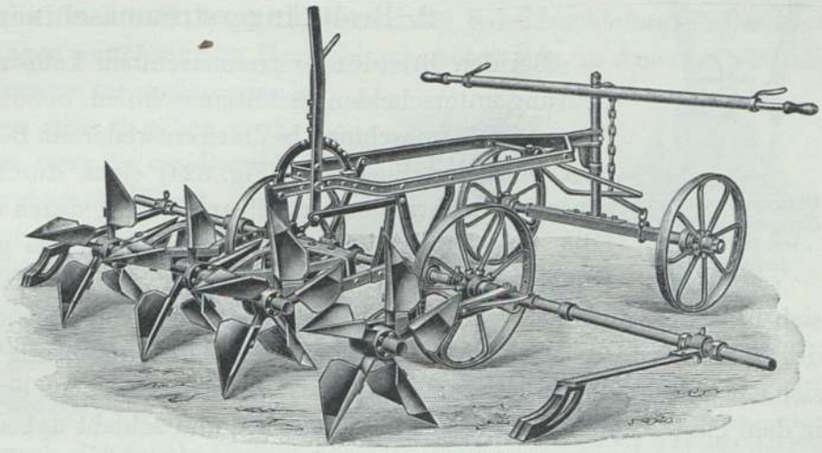


Fig. 821. Kartoffelpflanzlochstecher von W. Unterilp, Charlottenburg.

Die Geräte haben Vordersteuer und unabhängig voneinander arbeitende Grabespaten, so daß diese sich den Bodenunebenheiten anpassen können. Bei den Unterilpschen Pflanzlochmaschinen steht jeder Grabespaten noch unter Belastung durch eine Druckfeder, die den jeweiligen Bodenverhältnissen entsprechend angespannt werden kann. Die Spaten drücken sich regelmäßig in den Boden und hinterlassen lockere Pflanzlöcher. Die Entfernung der Reihen voneinander und der Pflanzstellen in den Reihen kann beliebig reguliert werden. Man läßt vielfach für schwereren Boden dem Lochapparat noch einen Furchenzieher oder einen federnd angeordneten Vorreißer voraufgehen, der das Eindringen der Scheiben erleichtert.

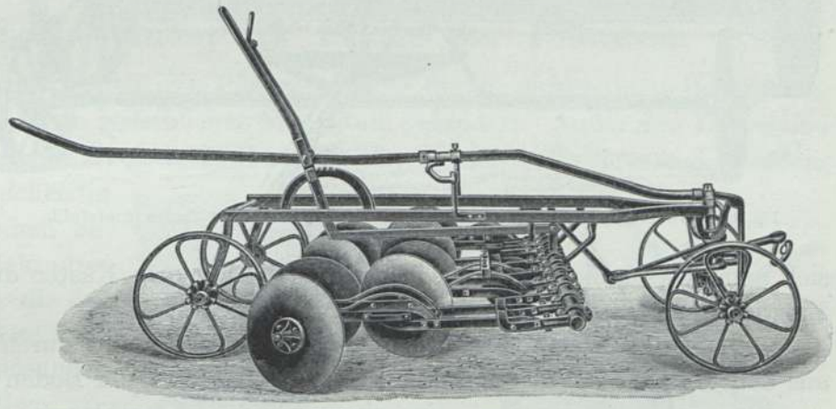


Fig. 822. Kartoffelzudeck- und -anhäufelmaschine von W. Unterilp, Charlottenburg.

3. Zudeckgeräte.

Diese Geräte arbeiten entweder für sich oder mit dem Pflanzlochgerät vereinigt. Die Grabespaten können gegen rotierende Scheiben ausgewechselt werden. Große gewölbte Stahlscheiben arbeiten (Fig. 822), häufig pendelnd unter Federdruck, in schräger Stellung so, daß immer je zwei zusammengehören und die Erde in der Kartoffelreihe übereinanderwerfen, wodurch die Kartoffeln bedeckt werden. Die rotierenden Scheiben sind auf der Achse verstellbar; es läßt sich also das Behäufeln nach Wunsch regeln: spitze oder breite Form der Dämme, tiefe oder flache Dämme.

E. Geräte und Maschinen zur Düngung.

1. Düngermühlen.

Düngermühlen werden gebraucht zum Zerkleinern insbesondere von Chilesalpeter und Kainit. Meist bestehen sie aus zwei kannelierten Walzen, welche die harten Dungmittel zerdrücken. Dann fallen diese noch auf zwei glatte Walzen, durch die sie vollends zerkleinert werden.

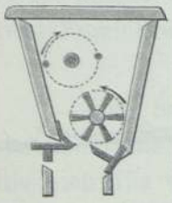


Fig. 823. Düngerstreuer von Hampel in Gnadenfrei (Schlesien). Durchschnitt.

2. Breitdüngerstreumaschinen.

Bei den Breitdüngerstreumaschinen kann man je nach Art ihrer Streuvorrichtung unterscheiden: Schlitzmaschinen, Schubmaschinen und Wurfmaschinen.

a) Schlitzmaschinen besitzen entweder am Boden des Düngerkastens (Fig. 823) oder in seiner Rückwand (Fig. 824) einen durch die ganze Breite der Maschine gehenden Schlitz von verstellbarer Weite, durch den das Dungmaterial hindurchfällt. Ist der Schlitz am Boden, so wird das gleichmäßige Hindurchfallen des Düngers durch eine Walze befördert. Solche Maschinen sind einfach und haben sich besonders auch als Kalkstreumaschinen bewährt. Befindet sich der Schlitz in der Rückwand des Düngerkastens, so ist die in Fig. 825 dargestellte Einrichtung sehr verbreitet. Hierbei bewegt sich eine durch Zahnradgetriebe vom Fahrrad aus angetriebene eiserne, endlose Glieder-Streukette in dem Saatkasten von einer zur anderen Seite und schiebt dabei den Dünger durch einen Schlitz heraus; er kann dann zur gleichmäßigen Verteilung noch über ein Verteilbrett geleitet werden. Jedes Glied ist sehr leicht aus dem ganzen Gliederverbande herauszuschieben. Durch Verstellen des Schlitzes und Wechseln der Getrieberäder kann die Maschine zum Streuen jeder beliebigen Menge eingestellt werden. Damit die Kette sich nicht verschmiert, wird sie beim Austritt aus dem Kasten durch eine Bürste und vor ihrem Eintritt in den Kasten durch einen Abstreicher gereinigt.

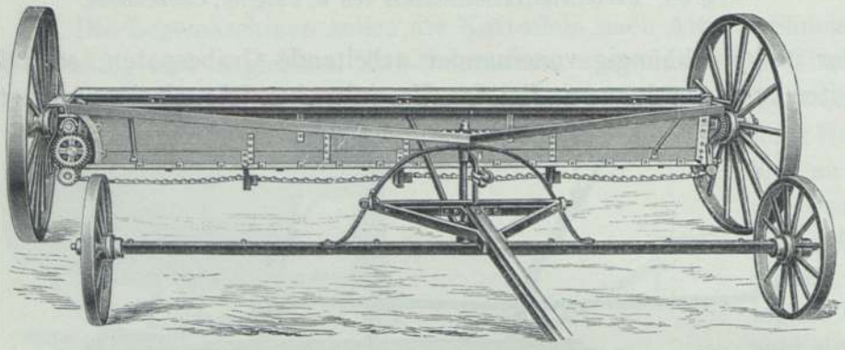


Fig. 824. Westfalia-Düngerstreumaschine von F. Cuxmann & Co. in Bielefeld.

b) Schubmaschinen befördern den Dünger entweder durch eine Walze oder eine Schnecke aus dem Kasten. Bei den Maschinen der ersten Art ist der Boden des Düngerkastens meist durch eine eiserne Walze abgeschlossen, die den Dünger in der ganzen Breite der Maschine herausschiebt, wobei mit Stiften besetzte Rührwellen, mit Zähnen versehene Kämme, Bürsten usw. für eine gleichmäßige Verteilung sorgen. In der Anordnung der Fig. 826 bewegt sich über der Walze eine eiserne Rührwelle, die den Dünger gleichmäßig zerkleinert. Durch den zwischen Walze und Welle bleibenden, durch einen verstellbaren Schieber zu regulierenden Schlitz wird der Dünger herausgeschoben; Wechselräder sind nicht nötig. Behufs Entleerung kann die Vorderwand des Kastens aufgeklappt werden. Der Antrieb erfolgt von beiden Fahrrädern. — Den Auswurf des Düngers durch eine Transportschnecke findet man bei den Kalkstreumaschinen. Der auf zwei Rädern fahrende Streuapparat kann einem Kalkwagen angehängt werden, von dem der Kalk über eine schiefe Ebene dem Transportapparat zugeführt wird, der nun den Kalk von der Mitte aus nach beiden Seiten verteilt.

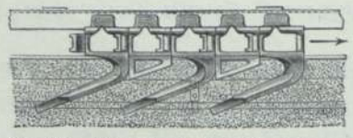


Fig. 825. Streukette der Fig. 824, von oben gesehen.

c) Wurfmaschinen. Das Auswerfen des Düngers geschieht bei ihnen mittels einer mit Stiften versehenen Welle, einer Trommel oder einer horizontal rotierenden Flügelscheibe. Bei

der Anordnung Fig. 827 sind die Wurfwellen mit Stiften besetzt, die in kleinen Portionen den Dünger aus dem Kasten abschieben und ihn nach hinten auswerfen. Der Düngerkasten besteht aus der festen Hinterwand 1 und der auf und ab beweglichen Vorderwand 2 mit dem geschwungenen Boden 3. Beim Fahren wird die Vorderwand durch das Zahnstangengetriebe 4 langsam der Stiftenstreuwelle 5 entgegengeführt. Ist der Düngerkasten bis oben unter die Streuwelle gehoben, also entleert, so ertönt ein Signal zum Zeichen, daß frische Füllung nötig ist. Eine Trommel als Vorrichtung für das Auswerfen des Düngers (Trommelmaschinen) ist besonders verwendet bei Wagen zur Verteilung der absoluten Dungmittel (Stalldung, Scheideschlamm, Müll, Kompost, Sägemehl usw.). Solche Wagen findet man in Deutschland noch wenig, in Amerika sind sie aber sehr üblich. — Bei Düngerstreuern mit rotierenden Flügelscheiben (Fig. 828) befinden sich zwischen zwei festen horizontalen Scheiben von etwa 70 cm Durchmesser 3 Paar gegeneinander gebogene Flügel. Der vom Kalkwagen in einen Rumpf geworfene Kalk gelangt auf die Scheiben und wird bei horizontaler Drehung (ca. 23 Umdrehungen bei einer Umdrehung des Rades) an den Flügeln entlang etwa 3 m breit ausgeworfen.

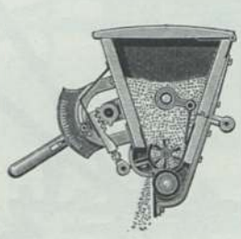


Fig. 826.

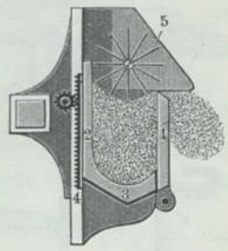


Fig. 827.

Fig. 826. Düngerstreuer, System Voß, von Wiechelt, Güstrow (Durchschnitt). Fig. 827. Querschnitt des Kastens der Schlörschen Düngerstreumaschine der Pommerschen Eisengießerei und Maschinenfabrik in Stralsund (1 feste Hinterwand, 2 bewegliche Vorderwand mit ihrem Boden 3, 4 Zahnstangengetriebe, 5 Stiftenstreuwelle).

3. Reihendüngerstreuer.

Diese Geräte haben den Zweck, den teuern Chilesalpeter für die Hackkulturpflanzen nur an die einzelnen Reihen, nicht auch zwischen diese zu bringen. Ursprünglich waren es einfache Handkarren (Fig. 829), doch werden, um die Arbeit lohnender zu machen, auch mehrreihige Geräte für Zugtiere gebaut.

F. Geräte und Maschinen zur Pflege der Pflanzen.

Von der Saat bis zur Ernte werden die Pflanzen häufig durch verkrusteten Boden, Unkräuter und schädliche Tiere an einem gedeihlichen Wachstum gehindert. Außer den Eggen und Walzen dienen zur Beseitigung dieser Übelstände Hackgeräte, welche die Kruste des Bodens brechen, diesen lockern und gleichzeitig das Unkraut zwischen den Reihen beseitigen. Zur Vernichtung des Unkrautes benutzt man Jätemaschinen, die das Unkraut ausraufen oder abreißen, und Spritzen, durch die Metallsalzlösungen auf die Pflanzen gespritzt werden, wodurch das Unkraut getötet wird.

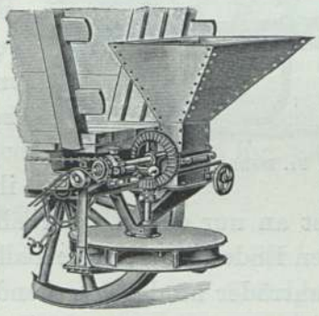


Fig. 828. Kalkstreuapparat von Hantzschmann, Sömnitz i. S.

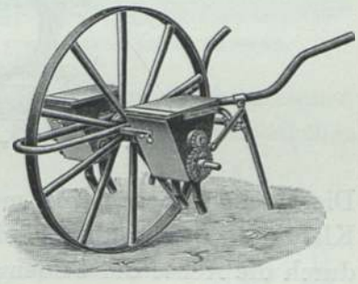


Fig. 829. Chilesalpeterstreuer von Fr. Dehne.

1. Hackgeräte.

Die Hackgeräte dienen zur Bearbeitung der Zwischenräume der in Reihen angebauten Kulturgewächse. Sie sollen das Unkraut zerstören, das Erdreich oberflächlich lockern und die Pflanzen behäufeln. Die beste Arbeit erzielt man mit Handhackgeräten, doch zieht man wegen ihrer größeren Tagesleistung für größere Wirtschaften die durch Tiere gezogenen Hacken, Gespannhacken, vor. Man unterscheidet Gespannhacken zur Bearbeitung einer Reihe und solche für mehrere Reihen.

a) Gespannhacken zur Bearbeitung einer Reihe können sein Igel oder Felg-(Hack-)Pflüge. Die *Igel* (Fig. 830) haben einen Mittelbalken und zwei nach hinten durch einen horizontalen Bügel auseinanderstellbare und in der gewählten Stellung zu haltende Seitenbalken. Vorn ist meist ein breites Hackmesser angeordnet; an den Seitenbalken können Eggenzähne, Messer usw. und zum Schluß an dem Mittelbalken ein Häufelschar angebracht werden. Sie werden in leichten und

Mittelböden zwischen den Reihen von Saatrüben, Kartoffeln, Bohnen und Mais gebraucht. — *Felg-(Häufel-)Pflüge* haben keine stellbaren Seitenbalken. Sie bestehen nur aus einem Gründel, an dem sich ein oder zwei, seltener drei Querbalken befinden (Fig. 831). Vorn am Gründel ist meist ein zweiflügeliges Schar befestigt; an den Querbalken sitzen Schare oder Messer u. dergl. den Reihenentfernungen entsprechende Werkzeuge; zum Schluß folgt wieder ein zweiflügeliges oder ein Häufelschar. Sie sind für schwere Böden geeignet. Für unreine Kartoffelfelder rüstet man die Querbalken auch gern mit Federstahlzinken (vom Kultivator) aus.

b) Gespannhacken zur Bearbeitung mehrerer Reihen dienen zum Behacken der Rüben und des Getreides für mehrere Reihen gleichzeitig. Sie werden in der Spur der vorangegangenen Drillmaschine so gesteuert, daß man möglichst dicht an die Pflanzenreihen heranhackt. Die arbeitenden Werkzeuge sind sogenannte *Hackmesser*, die je nach Bodenbeschaffenheit und Arbeitsbreite verschiedene Form haben. Sie sind entweder einseitig oder zweiseitig; erstere haben den Stiel an einer Seite *(Winkelmesser)*, letztere in der Mitte *(Doppelmesser)*. Ähnlich den Doppelmessern sind die *Gänsefußmesser*.

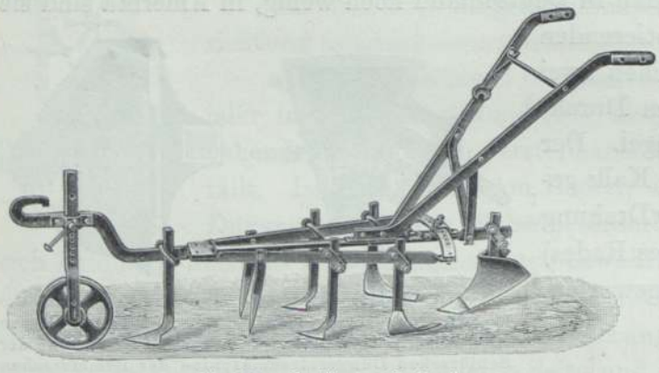


Fig. 830. „Igel" von R. Sack.

Mit diesen Geräten lassen sich verschiedene Kombinationen bei der Arbeit erreichen. Die Hackwerkzeuge sind in einem Rahmen so angeordnet, daß sie gemeinschaftlich von dem hinter der Maschine gehenden Arbeiter zur Seite bewegt werden können. Dabei gilt als Regel, daß der Führer immer nur eine Reihe beobachtet; sind die Messer der Hacke richtig gestellt, so folgen alsdann sämtliche Messer den etwaigen Krümmungen in den Reihen, ohne Pflanzen zu durchschneiden.

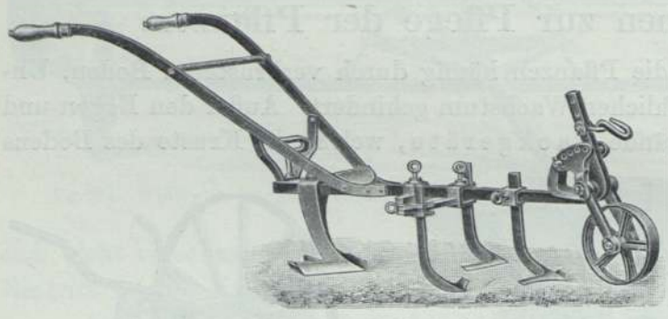


Fig. 831. Felgpflug von Fr. Dehne.

Nach der Art der Befestigung der Hackmesser unterscheidet man vier Gruppen: Hacken mit festen Messern, Hacken mit fest an Hebeln befestigten Messern, Hacken mit Messern in Parallelogrammhebeln und zusammengesetzte Hacken.

Einfache Hacken (Fig. 832) sind in ihrer Bauart einfach und viel in Gebrauch. Die Hackwerkzeuge sind meist an nur einem Querbalken, jeder Reihenweite entsprechend, mit Klammern befestigt. An seinen Enden ist der Querbalken mit Zugstangen versehen, die an einer durch die Achse der beiden Fahrräder hindurch gehenden Achse befestigt sind. So läßt sich der Rahmen mit sämtlichen Hackinstrumenten mittels eines mit Handhaben versehenen Steuerhebels durch Zahnradgetriebe nach beiden Seiten verschieben. Die Fahrräder gehen zwar nicht in derselben Spur wie die voraufgegangene Drillmaschine, können aber so verstellt werden, daß sie selbst bei verschieden großer Reihenzahl zwischen je zwei Reihen laufen können. Da die Werkzeuge fest sitzen und sämtlich in gleicher Tiefe in der ganzen Maschinenbreite arbeiten, so können sie sich Unebenheiten des Bodens nicht anschmiegen, daher auch nur für ebene, gleichmäßig lockere und steinfreie Böden verwendet werden. Hier haben sie aber den Vorzug, daß sie, da ihnen ein Ausweichen unmöglich ist, etwaige unverweste Wurzelreste sicher durchschneiden, so daß sich nicht derartige Teile, mit anhaftender Erde untermischt, an die Hackmesser anlegen und zu Verstopfungen Veranlassung geben können.

Hebelhacken können sich wegen der Beweglichkeit und Unabhängigkeit der einzelnen Hackinstrumente voneinander leichter den örtlichen Bodenverhältnissen anschmiegen und

daher auch in unebenen und nicht völlig steinfreien Böden Verwendung finden. Die Anordnung ist gewöhnlich so, daß die Hackinstrumente mit ihren Stielen an dem hinteren Ende von langen Hebeln, in ihrem Tiefgang stellbar, befestigt sind. Mit ihrem vorderen Ende sind die Hebel mit Klauen abwechselnd in einem hinteren und einem vorderen Querbalken fest verschraubt; diese beiden Querbalken sind wieder mit dem Fahrgestell verbunden. An den einarmigen Hebeln sind die Hackapparate in der Vertikalrichtung frei beweglich und dringen, entsprechend ihrer Form und Belastung sowie der Widerstandsfähigkeit des Bodens, mehr oder minder tief in diesen ein; anderseits heben sie sich beim Antreffen von Hindernissen selbsttätig aus.

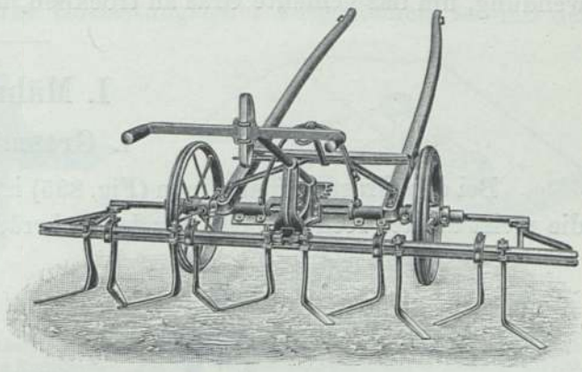


Fig. 832. Einfache Gespannhacke von Fr. Dehne.

Parallelhacken (Fig. 833). Bei Bodenunebenheiten werden sich Hebelhacken immer noch in einen verschiedenen Schnittwinkel zum Boden stellen, auf Erhöhungen tiefer, auf Senkungen flacher schneiden. Um dies zu vermeiden, befestigt man die Hackwerkzeuge an Gelenken, die zu einem Parallelogramm angeordnet sind. Ein solcher Parallelogrammhebel (Fig. 834) besteht aus vier beweglichen, zu einem Parallelogramm zusammengesetzten Gelenken. In der Parallelogrammaufhängung behält der Stiel stets eine senkrechte Stellung, so daß auch die Hackinstrumente immer denselben Eingriffswinkel beibehalten; es ist dadurch eine gleichmäßig tiefe Bearbeitung bei Bodensenkungen und -erhebungen gesichert. Der Tiefgang läßt sich dadurch regulieren, daß sich die gemeinschaftliche Achse, an welcher der Rahmen mit Zugstangen befestigt ist, drehen und damit die Hackinstrumente mehr oder weniger „auf Griff" stellen lassen. Auch läßt man dem Hackinstrument einen auf und ab stellbaren Schleifbügel oder besser, wie in Fig. 833, Führungsrollen voraufgehen.

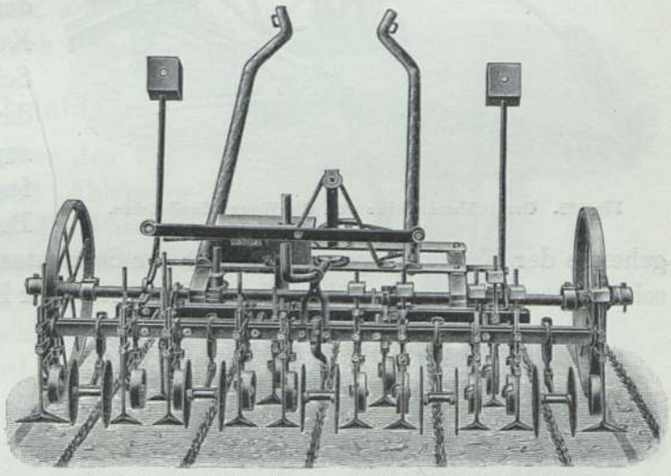


Fig. 833. Parallelhacke von Matthes, Leipzig-Eutritzsch.

2. Jätemaschinen.

In einigen Gegenden treten namentlich der weiße Senf und der Hederich so im Übermaß auf, daß besondere Geräte zur Vertilgung dieser Unkräuter angewendet werden müssen. Da diese Pflanzen zumeist Verästelungen besitzen, während die Getreidehalme glatt sind, ist es möglich, durch Maschinen, die mit kammartigen Werkzeugen ausgerüstet sind, die Unkrautpflanzen zu erfassen und entweder die Blüten derselben abzustreifen oder das Unkraut ganz aus dem Boden zu reißen, während die Getreidepflanzen zumeist unbeschädigt bleiben. Die Arbeitsweise einer Jätemaschine besteht darin, daß eine Trommel mit drei oder vier *Kämmen* auf zwei Rädern über das Feld gezogen wird. Die Kämme der sich beim Fahren drehenden Trommel erfassen der Reihe nach beim Durchzug den tiefsten Punkt des Unkrauts und nehmen es so lange mit herum, bis die einzelnen Zinken von einer sie umfassenden Reinigungsschiene automatisch ausgeputzt werden und dann zur Wiederholung ihrer Arbeit geeignet sind.

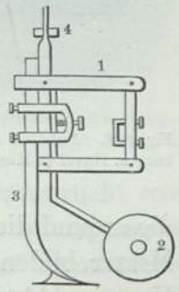


Fig. 834. Parallelogrammhebel zu Fig. 833 (1 das Parallelogramm mit Führungsrolle 2, Hackwerkzeug 3 und Gewicht 4).

G. Geräte und Maschinen zur Ernte.

Zur Ernte gebraucht man Mähmaschinen für Gras und Getreide; Maschinen zur Heuwendung, um das gemähte Gras zu trocknen, und Maschinen zur Ernte der Kartoffeln und Rüben.

I. Mähmaschinen.

1. Grasmähmaschinen.

Bei den Grasmähmaschinen (Fig. 835) ist der hauptsächlichste Teil die Schneidevorrichtung, die meist an der rechten Seite vor den Fahrrädern liegt. Ihr Antrieb erfolgt vom linken Fahrrade aus durch Zahnradübersetzung, z. B. in der Art der Fig. 836, wo das Treibrad ein Kegelrad ist. Das Einrücken zum Betriebe geschieht durch Herumlegen eines vom Kutschersitz bequem erreichbaren Fußhebels, wobei zwei Stahlkränze mit acht kräftigen Stahlnasen ineinandergreifen, wie in Fig. 837. Die Bewegung des Fahrrades wird durch das Getriebe auf die Kurbelwelle übertragen, die in eine zugleich als Schwungrad dienende Kurbelscheibe endigt. In der Kurbelscheibe ist exzentrisch der Kurbelzapfen gelagert, an dem die Schubstange befestigt ist. Die letztere wandelt die drehende Bewegung der Kurbelwelle in die hin und her gehende der Messerstange um, die mit der Schubstange verbunden ist. Die Schubstange aus geschmiedetem Stahl oder zähem Eschenholz ist in der Kurbelscheibe mittels Kurbelzapfens befestigt.

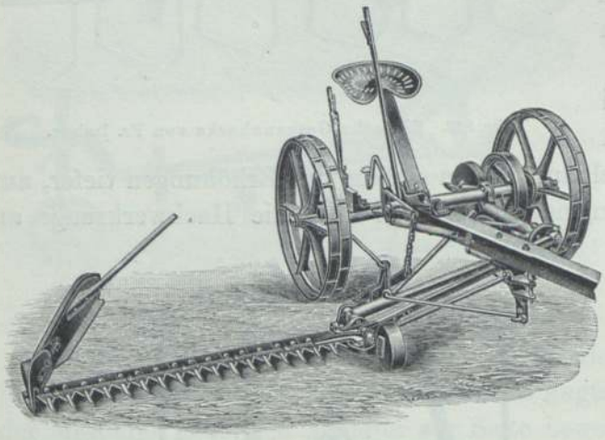


Fig. 835. Grasmähmaschine von Ch. Wery, Zweibrücken.

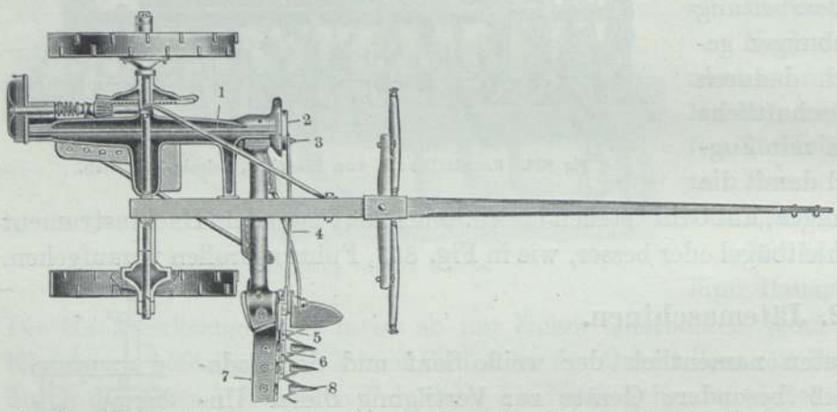


Fig. 836. Antrieb der Grasmähmaschine der Deutschen Mähmaschinenfabrik, Brandenburg a. Havel (1 Kurbelwelle, 2 Kurbelscheibe, 3 Kurbelzapfen, 4 Schubstange, 5 Messerstange, 6 Messer, 7 Fingerbalken, 8 Finger).

Der Schneideapparat (Fig. 838) besteht aus dem mit dem Rahmen gelenkig verbundenen Fingerbalken, an dem in Abständen von 68 bis 92 mm die mit einem Schlitz 1 versehenen Finger 2 befestigt sind. Nach vorn laufen die Finger in etwas nach oben gebogene Spitzen aus. Zwischen Finger und Fingerbalken bleibt eine Nute, in der die Messerstange leicht hin und her gleiten kann; auf dieser sind die Messer, dreieckige Stahlmesser 3, einzeln durch je zwei Niete befestigt. Sämtliche Messer bilden so ein zusammenhängendes Ganze und bewegen sich in den Schlitzen der Finger. Um ein Abheben der Messerklingen von ihrer Fingerunterlage zu verhindern, sind drei bis vier Führungsstücke 4 angebracht, die, mit dem Fingerbalken verschraubt, auf den Messerflächen leicht aufliegen, sie niederhalten und auch der Rückenseite der Messerstange als Führung dienen.

Durch die an der Messerstange angreifende Schubstange wird jene hin und her bewegt, wobei die Messer gegen die Finger drücken und mit diesen zusammen die Stengel scherenartig durchschneiden, weshalb auch die unteren Flächen der Fingerschlitze die Schärfe einer Schere haben müssen. Die Finger dienen auch zum Schutz der Messer vor deren Berührung mit Erde bei dem Durchfahren von Wasserfurchen und Maulwurfshaufen, auch vor der Berührung mit

Steinen. Um ein Einklemmen der Stengel zu verhüten, müssen die Messer, wenn sie bei jedem Hin- und Hergang zum Umkehren einen Augenblick stillstehen, sich stets in einem Finger befinden, so daß sie immer ruckweise von einem Finger zum anderen gehen.

Die Schneidevorrichtung ist durch eine starke Entlastungsfeder ausgeglichen, so daß der Kutscher die Hände zum Fahren und zum Bedienen der Hebel freibehält. Solcher Hebel gibt es drei: den Ein- und Ausrückhebel des Getriebes, dann einen *Aufhelfhebel*, mittels dessen der Schneideapparat während der Fahrt angehoben werden kann, um unbeschädigt über Hindernisse hinwegzugehen, und einen Kipphebel, mit dem der Fingerbalken auf- und abwärts bewegt werden kann. Der Fingerbalken ist unterstützt entweder an beiden Enden durch Gleitschuhe oder am äußeren Ende durch einen Gleitschuh, am inneren durch eine Rolle oder an beiden Enden durch eine Rolle.

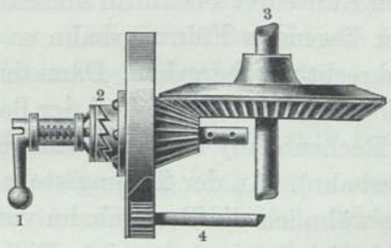


Fig. 837.

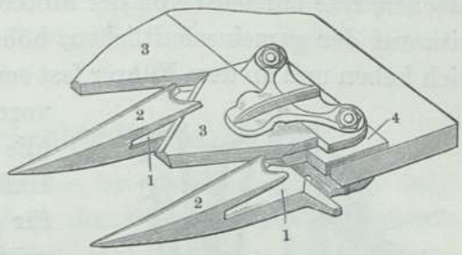


Fig. 838.

Fig. 837. Getriebe der Mähmaschine von E. Köthner, Lößnitz i. S. (1 Einrückhebel, 2 Stahlkranz mit acht Nasen, 3 Fahrradachse, 4 Kurbelwelle). Fig. 838. Schneideapparat der Grasmähmaschine von W. Siedersleben, Bernburg (1 Schlitze der Finger 2; 3 die einzelnen Messerklingen; 4 Führungsstück).

2. Getreidemähmaschinen mit Selbstablage.

Bei diesen Maschinen kommt gegenüber den Grasmähmaschinen noch eine Zuführungs- und Ablegevorrichtung hinzu, mit der das Getreide auf die *Plattform* gelegt, von dieser mittels Rechen abgenommen und in Gelege von regulierbarer Größe seitlich auf das Feld abgeschoben wird (Fig. 839). Die ganze Maschine wird von dem großen stählernen Fahrrade 1 und auf der anderen Seite von einem kleinen Getreiderad 2 getragen. Der Schneideapparat 3 hat dieselbe Einrichtung wie bei einer Grasmähmaschine, nur ist der Fingerbalken weit stärker, da er nun auch als Träger für die Plattform 4 dient; auch die Finger selbst sind stärker und haben größeren Abstand. Und da das Mähen des Getreides nicht so viel Kraft beansprucht wie das des weichen Grases, so schneiden die Messer von einem Finger bis zum dritten, überspringen also einen Finger. Um das geschnittene Getreide regelmäßig ablegen zu können, folgt unmittelbar hinter dem Messerbalken die Plattform 4, über die hinweg die geschnittene Frucht derartig zur Seite gelegt wird, daß die Maschine unbehindert die Fahrt fortsetzen kann. Die Plattform ist meist aus Holz, oben mit Blech beschlagen, unten durch Holz- und Stahlstäbe versteift. Gelenkig mit dem Gestell der Maschine verbunden, läßt sie sich zum Transport durch enge Tore, auf schmalen Wegen usw. hochklappen (Fig. 840). Das Zuführen und Ablegen des Getreides geschieht mittels der *Raffer* und *Rechen* (5 in Fig. 839), das sind meist vier mit Zinken versehene und an einem hölzernen Arm in ihrer Neigung stellbar befestigte Holzbretter. Jeder Arm hat an seinem Ende eine Rolle, und die Arme sind an einem Kreuzkopf (Rechenkopf) so vereinigt, daß

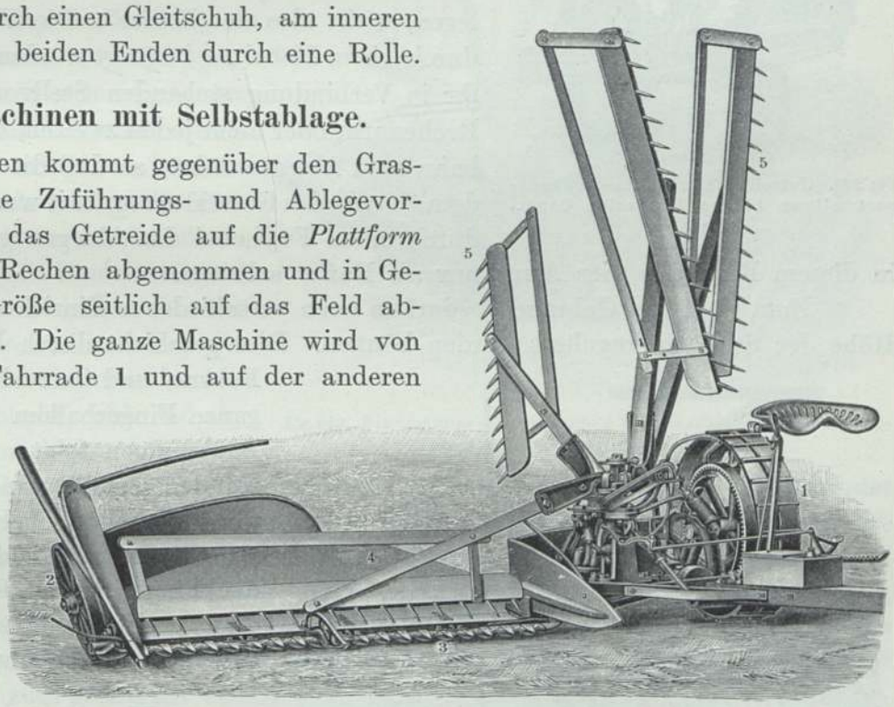


Fig. 839. Getreidemähmaschine von Walter A. Wood, Berlin (1 Fahrrad, 2 Getreiderad, 3 Schneideapparat, 4 Plattform, 5 Raffer und Rechen).

jeder von ihnen ohne Unterstützung lose herabhängt und unabhängig von den anderen ist. Der Rechenkopf mit den Armen ist mittels einer senkrechten Welle, der Rechensäule, auf einer nicht ganz horizontalen Rechenbahn drehbar. Diese Bahn ist an der Fahrradseite höher und fällt nach der Schneidevorrichtung schräg ab. Sie hat zwei Führungen, so daß die auf ihren Rollen laufenden Rechenarme zunächst von der hinteren Kante der Plattform hinten herum bis vor den Kutschersitz auf der gemeinschaftlichen, höher liegenden Führungsbahn so laufen, daß die vier Rechen sich heben und an dem Führer fast senkrecht vorübergehen. Dann teilt sich aber vor der Schneidevorrichtung der schräge Teil der Bahn in eine innere tiefliegende (die Rechenbahn) und eine äußere hochliegende Führung (die Rafferbahn). An der Teilungsstelle ist eine Weiche drehbar, die für gewöhnlich die Rechenbahn verschließt. Sobald die Weiche geöffnet ist, ist der mit seiner Rolle dort ankommende Arm gezwungen, die tiefere Rechenbahn zu laufen, dicht über der Plattform zu streifen und das Getreide abzulegen; er wirkt als „Rechen". Bleibt aber die Weiche geschlossen, so läuft der gerade ankommende Arm auf der höheren Rafferbahn hoch über der Plattform hinweg; er führt das Getreide nur zu, ohne es abzulegen, wirkt also als „Raffer". Die Weiche kann vom Führersitz durch einen Hebel so betätigt werden, daß sie mittels einer mit ihr in Verbindung stehenden Stellvorrichtung jeden einzelnen Rechenarm oder auch jeden zweiten, dritten usw. in die Rechenbahn zum Ablegen führt, so daß die Größe der Gelege je nach dem Stande des Getreides reguliert werden kann. Auch läßt sich durch einen Fußhebel das Ablegen ganz unterbrechen, so daß in diesem Falle alle vier Arme nur als Raffer arbeiten.

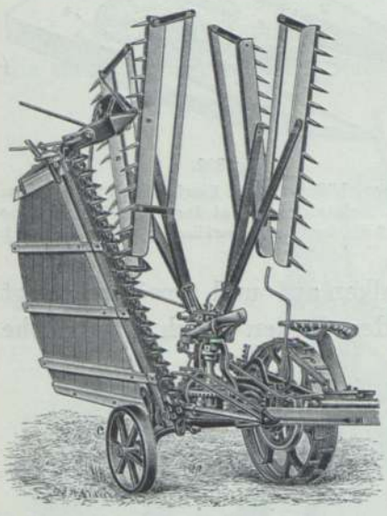


Fig. 840. Getreidemähmaschine in Transportstellung (Plano Harvester Comp., Berlin).

Zum richtigen Gebrauch bedarf es noch verschiedener Einrichtungen. Zunächst muß die Höhe der Stoppeln reguliert werden können. Dies geschieht durch Hoch- und Tiefstellen von Fahrrad und Getreiderad, womit dann auch der ganze Fingerbalken mit der Plattform diesen Bewegungen folgt. Dann gilt es, unter Umständen auch lagerndes Getreide zu meistern, wozu ein Kipphebel dient. Unterstützen läßt sich diese Arbeit noch durch mit der Spitze der Finger verbundene federnde *Ährenheber;* diese greifen unter die lagernden Halme und führen sie der Schneidevorrichtung zu.

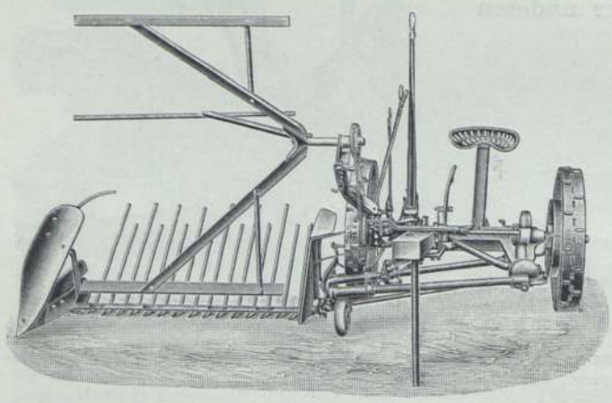


Fig. 841. Grasmähmaschine mit Selbstablage von P. Grams, Kolberg.

3. Kombinierte Mähmaschinen.

Um eine Grasmähmaschine auch zum Mähen von Getreide zu gebrauchen, lassen sich besondere Vorrichtungen an ihr anbringen. Je nach Art dieser hat man:

a) Mähmaschinen mit Handablage. Es ist ein zweiter Sitz auf dem Gestell angebracht, auf dem ein Arbeiter (der sogenannte Ableger) so Platz nimmt, daß er seinen rechten Fuß auf einem Hebel hat, der mit einem am Fingerbalken auf und ab beweglich angebrachten Gatter verbunden ist. Am Ende des Fingerbalkens wird ein Teiler und ein Laufrad angeordnet. Das abgeschnittene Getreide sammelt sich auf dem Gatter zu einer Garbe, deren Umfang ganz im Belieben des Ablegers steht; denn dieser kann das sich ansammelnde Getreide so lange zurückhalten, bis die Halme die gewünschte Größe der Garbe haben. Wird nun das Gatter niedergelegt, so gleitet das Getreide unter Nachhilfe des Ablegers ab und bleibt als geschlossene Garbe liegen.

b) Mähmaschinen mit Anhaublech. Der Ableger wird hier gespart. Das abgemähte

Getreide wird von einem an der Maschine angebrachten Ablegeblech *(Anhaublech)* an das stehende Getreide so gelegt, daß es von den der Maschine nachfolgenden Frauen aufgerafft und gebunden werden kann.

c) **Mähmaschinen mit Selbstablage** (Fig. 841). Auch hierbei wird der zweite Mann gespart. Durch einen Fußtritthebel wird der sich über dem Schneideapparat befindende und die Halme ablegende Haspel bewegt. Das Gatter besteht aus Röhren, von denen die Halme leichter heruntergleiten als von dem Holzgatter der Handablage.

4. Garbenbinder (Mähmaschinen mit Garbenbindeapparaten).

Der Garbenbinder (*Bindemäher*, Fig. 842) besitzt ein großes breites Fahrrad; dieses trägt das ganze mehrfach versteifte Gestell der Maschine, auf dem der Plattformrahmen und alle Triebwerke angebracht sind. Die Plattform 4 wird auf der Seite des stehenden Getreides von einem kleineren Rade getragen. Beim Hineinfahren in das Getreide wird durch einen sich nach hinten verbreiternden Abteiler 1 der abzuschneidende Streifen von dem stehenbleibenden Getreide getrennt und jener durch eine sich über dem Schneideapparat mit meist sechs Flügeln drehende Haspelwelle 2 auf die Plattform 4 niedergelegt. Die Haspelwelle läßt sich mittels Hebels vom Führersitz vor- und rückwärts, auch auf- und abwärts bewegen, um ganz nach dem Stande des Getreides dieses stets gut auf die Plattform bringen zu können. Bei stark lagerndem Getreide genügt die Tiefstellung des Haspels nicht immer; es sind dann, wie in Fig. 842, die Flügel mit Rechenzinken 3 versehen, die wie Kämme zwischen das Getreide fahren. Sie sind so stellbar, daß der eine Kamm in das Getreide eintaucht und es für den nachfolgenden anhebt, während der dritte es auf die Plattform legt. Außerdem unterstützen noch elastische, am Fingerbalken verteilte Ährenheber das Aufrichten lagernder Halme. Die Plattform des Getreidemähers wird beim Garbenbinder durch ein endloses wagerechtes Kanevastuch gebildet, das über hölzerne, parallel gelagerte Walzen geht und sich auf diesen mit Verbindungsriemen so spannen läßt, daß es von den Walzen mitgenommen wird. Durch die ununterbrochene Bewegung dieses wagerechten Tuches werden alle abgeschnittenen und auf das Tuch durch die Haspelwelle abgelegten Getreidehalme mitgenommen und meist nach rechts hin (zwischen zwei geneigten endlosen Tüchern, *Elevatoren* 5) über das Fahrrad gehoben. Die Elevatoren sind hinten offen, damit lange Halme hinüberhängen können, ohne geknickt zu werden; Querleisten verhindern das Herabrutschen der Halme. Ihr Zwischenraum läßt sich je nach dem Stande des Getreides vergrößern und so feststellen; oder der obere Elevator ist schwebend und kann sich heben, sobald langes und schweres, und sich senken, sobald dünnes Getreide hindurchgeht. An der höchsten Stelle befindet sich noch eine Walze, die das gleichmäßige Abfallen des aus den Elevatoren kommenden Getreides auf den Bindetisch befördert. Ist nun das Getreide über das Fahrrad gehoben, so fällt es, durch die dritte Walze unterstützt, auf den auf der anderen Seite des Fahrrades schräg abwärts gehenden Bindetisch 6 und wird durch aus Schlitzen des Tisches heraustretende Packerarme gegen eine Bindeschnur und gegen den am Ende des Bindetisches befindlichen Packerhebel geschoben. Sind durch die Packerarme genügend viele Halme zu einer Garbe vereinigt, so wird durch den Druck der so gebildeten Garbe der Packerhebel bewegt und dadurch die Bindevorrichtung eingerückt. Es tritt aus einem Schlitz im Bindetisch eine Nadel mit gebogenem Arme und eingefädeltem Bindfaden

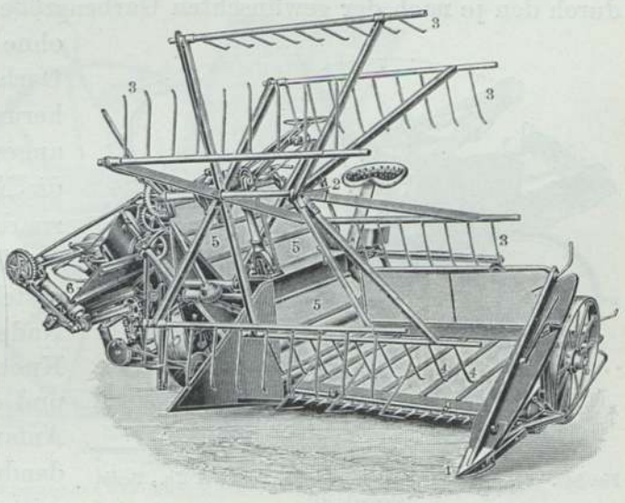


Fig. 842. Bindemäher der Deutschen Mähmaschinenfabrik Aktiengesellschaft, Brandenburg a. Havel.

hervor und umfaßt die bereits halbgebundene Garbe vollends, so daß oben an der gebundenen Garbe zwei Schnurenden über den Fingern eines Knüpfers nebeneinander liegen. Dieser dreht sich einmal herum, nimmt dabei die Schnur mit, eine Schlinge bildend; er öffnet seine Finger und hält beim Wiederschließen die Schnurenden mit ihnen fest, die dann durch das Gewicht der Garbe und die Bewegung der Abwerferarme durch die Schlinge von den Fingern herabgezogen werden, wodurch ein fester Knoten entsteht. Ist der Knoten fertig, so werden die beiden festgeklemmten Bindfadenenden von einem Messer abgeschnitten, wobei die eingeklemmten Stücke abfallen. Während sich Packerhebel und das vor demselben befindliche Brett niederlegen, liegt die gebundene Garbe frei da und wird von besonderen Abwerfern vom Tisch heruntergeworfen.

Bei dem Bindemäher von Adriance, Platt & Co. (Fig. 843), der schon eine ältere Konstruktion darstellt, nimmt ein mit Greifern versehener Zylinder 1 das Getreide von dem Tuch 2 ab und hebt es, worauf es von einer Reihe schräg liegender Arme 3 abgenommen und gesammelt wird. Dabei hebt es die Schnur 4, und gleichzeitig wird es gegen den Preßhebel 5 gedrückt, der in diesem Augenblick noch nicht die in der Figur dargestellte Lage eingenommen hat, und durch den je nach der gewünschten Garbengröße die Bindevorrichtung in Tätigkeit gesetzt wird, ohne aber den Packerzylinder 1 still zu setzen. Die Garbe I wird nun durch den Seitenpresser 6 und die herunterkommende Nadel 7 von der auf den Armen 3 angesammelten Getreidemenge abgeteilt. Damit sich die Nadel nicht durch festgepreßtes Getreide durchzuarbeiten braucht, wird der ganze obere Teil von der Trommel 1 nach links in die in der Figur dargestellte Stellung verschoben. Dadurch führt die Nadel 7 die Bindeschnur 4 dem Knoter 8 zu; der Knoten wird geknüpft, die Nadel 7 geht wieder hoch und schiebt sich mit der oberen Vorrichtung in ihre Anfangsstellung zurück. Sie kann nun die sich bildende zweite Garbe II aufnehmen, während Garbe I mittels des nach hinten ablegenden Auswerfers vom Bindetisch 9 entfernt wird. Dabei dreht der Auswerfer die Garbe um das Ährenende schnell herum, so daß ihr Stoppelende einen großen Kreis beschreibt und zuerst rückwärts auf die Erde außerhalb des von den Pferden bei der nächsten Runde zu nehmenden Weges abgelegt wird. Das Ährenende legt dagegen nur einen ganz kurzen Weg mit geringer Geschwindigkeit zurück, so daß ein Ausschlagen der Körner kaum zu befürchten ist.

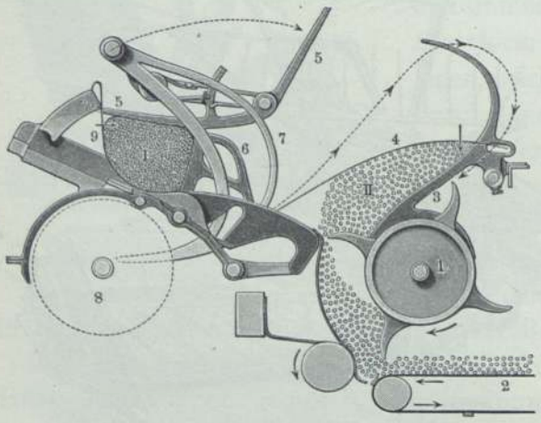


Fig. 843. Bindemäher von Adriance, Platt & Co., Berlin (Querschnitt).

II. Geräte und Maschinen zur Heuernte.

1. Heuwender.

Die Heuwender sollen das geschnittene, auf dem Boden liegende Gras wenden und lüften, um es der Sonne und der Luft auszusetzen. Dabei soll die bisher unten gewesene Seite möglichst nach oben kommen. Man kann Trommelwender und Gabelwender unterscheiden.

a) Trommelwender. Sie bestehen aus einer Anzahl kleiner Rechen, die auf eine wagerechte Welle gesetzt sind und mit dieser von den Fahrrädern in rasche Drehung versetzt werden. Die älteren *Bobywender* (Fig. 844) sind in zwei Richtungen, nach vorwärts und rückwärts, drehend; sie sind noch immer die besten. Bewegen sich die Rechen nach vorn, so nehmen sie das Heu mit um die ganze Rechentrommel herum, werfen es also über sich hinweg gut auseinander, durchlüften es vollständig und lassen es gewendet und gelockert auf den Boden fallen. Dieses „Streuen" fördert das Trocknen viel mehr als das einfache „Wenden", das durch das Bewegen der Rechen nach rückwärts entsteht; hierbei greifen die Rechen in das Heu ein und wenden es in der bei Handarbeit üblichen Weise. Diese Bobywender lassen aber das in der Radspur

liegende Heu ungewendet. Deshalb zieht man vielfach diejenigen Wender vor, bei denen auch das Heu in der Radspur gewendet wird, deren Rechen sich aber nur nach rückwärts bewegen, also nur ein Wenden besorgen können (Fig. 845). Die Rechenzinken sind bei diesen etwas schräg gestellt, so daß sie sich in senkrechter Richtung aus dem gewendeten Heu ziehen, dieses also rechtzeitig fallen lassen. Triebkette, Kettenräder, Fahrräder sind durch Einkapselung usw. gegen das Mitnehmen von Heu geschützt. Dennoch kommt bei widrigem Winde ein Wickeln vor. Dasselbe soll vermieden werden bei Verwendung der *Elevator-Heuwender* (Fig. 846), bei denen federnde Gabeln einzeln an endlosen Ketten befestigt sind, die sich in senkrechter Richtung bewegen. Um schließlich bei jedem Wetter den Heuwender gebrauchen zu können, hat man ihm eine Umstellvorrichtung gegeben, die es ermöglicht, ihn bei ruhigem Wetter mit starkem Wurf, bei windigem Wetter mit schwächerem Wurf arbeiten zu lassen; in diesem Falle ist er dann auch im Kleeheu zu gebrauchen. Aber nicht nur diese beiden Stellungen sind möglich, sondern alle Zwischenstellungen sind durch Umstellungen erreichbar, so daß der Wurf ganz nach Belieben reguliert werden kann.

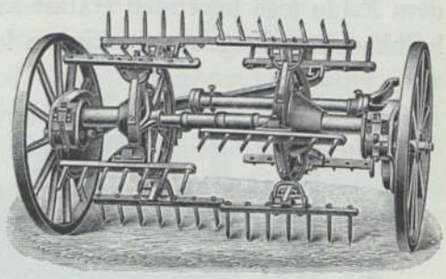


Fig. 844. Trommelheuwender von Fr. Dehne, Halberstadt.

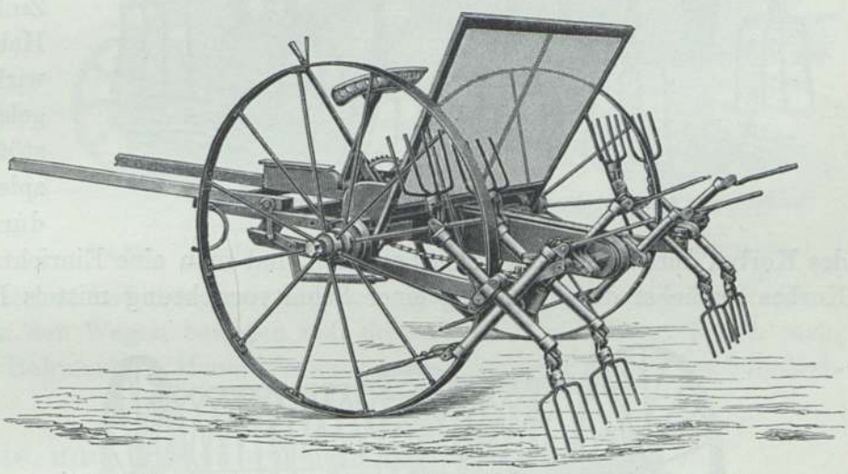


Fig. 845. Trommelheuwender der Maschinenfabrik Schlettau im Erzgebirge.

b) Gabelwender (Fig. 847). Sie haben eine mehrfach gekröpfte Welle, an der die an eigenartigen Lagern gehaltenen, meist vierzinkigen Gabeln an Stielen sitzen; der obere Teil der Stiele ist mit einer Gelenkstange fest am Rahmen der Maschine verbunden, während ihr unterer Teil frei bleibt. Dadurch, daß die Gabelstiele oben fest sind, an den Kröpfungen der Welle sich aber drehen müssen, erfassen die Gabeln das Heu von unten und lassen es wieder fallen. Die Gabeln sind am Ende des Gabelstiels drehbar und mit einer unter dem Einfluß einer starken Feder stehenden verschiebbaren Stange federnd in Verbindung, so daß sie Widerständen nachgeben und auch in unebenem Terrain arbeiten können. Die Gabelwender lüften eigentlich das Heu mehr als sie es wenden; sie haben aber den Vorzug, daß sie leichter gehen als die Trommelwender und bei langem und trockenem Grase nicht wickeln. Sobald das Gras länger als etwa 60 cm ist, sind sie entschieden vorzuziehen. Anderseits schlagen sie das Heu schneller an als die Trommelwender, schonen es also weniger.

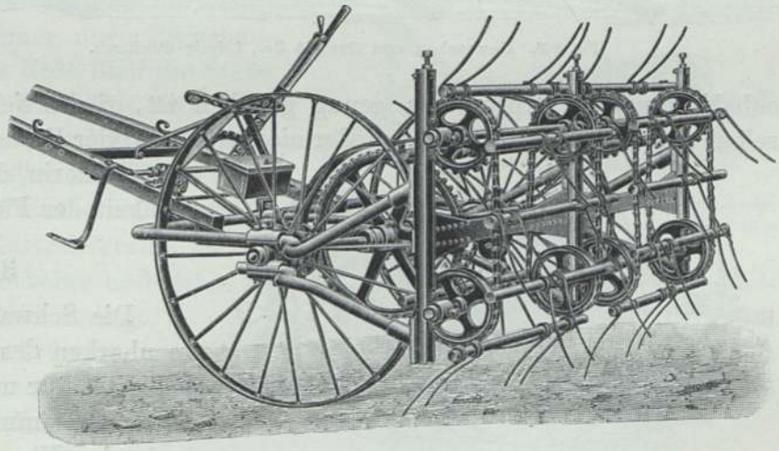


Fig. 846. Elevator-Heuwender „Thüringia" vom Eisenwerk Roßleben a. Unstrut.

2. Heurechen.

Heurechen (*Pferderechen*, Fig. 848) sollen die nicht zu Bunden oder Garben vereinigten, auf dem Felde lose liegenden Halme sammeln. Zu dem Zwecke sind an einem eisernen Zinkenträger halbkreisförmig gebogene Zinken lose so angebracht, daß sie federn und daher sich den Bodenverhältnissen anpassen können. So bilden die 26—38 Zinken in ihrer Gesamtheit einen „Korb", der sich beim Vorwärtsfahren nach und nach mit Halmen anfüllt. Das Entleeren dieses Korbes geschieht dadurch, daß vom Führersitz aus mittels eines Hand- oder Fußhebels der Zinkenträger nach unten gedrückt wird, wodurch sich die Zinken heben. Damit bei dem Heben Heu oder Getreide auch wirklich auf einen Haufen abgelegt und nicht verzettelt wird, stößt das Heu gegen Entleerungsspieße, die durch den Korb hindurchgehen. Um das Entleeren des Korbes durch das Zugtier zu bewirken, hat man eine Einrichtung, bei der das Anheben des Korbes zunächst durch Lösung einer Schaltvorrichtung mittels Hand- oder Fußhebels erfolgt und dann durch die Zugkraft des Pferdes fortgesetzt wird *(Halbautomat)*. Oder man veranlaßt, daß die Räder durch die Zugkraft das Entleeren selbsttätig derart bewirken, daß eine Hebevorrichtung durch Bremse oder Arretierkloben an den beiden Radnaben wirkt; sobald dann der Korb hoch genug gehoben ist, rückt sich Bremse oder Arretierkloben von selbst aus, und der Korb fällt wieder nieder *(Ganz-* oder *Vollautomat)*. Der Vorzug der Automaten besteht darin, daß der Führer seine ganze Aufmerksamkeit der Führung des Pferdes zuwenden kann.

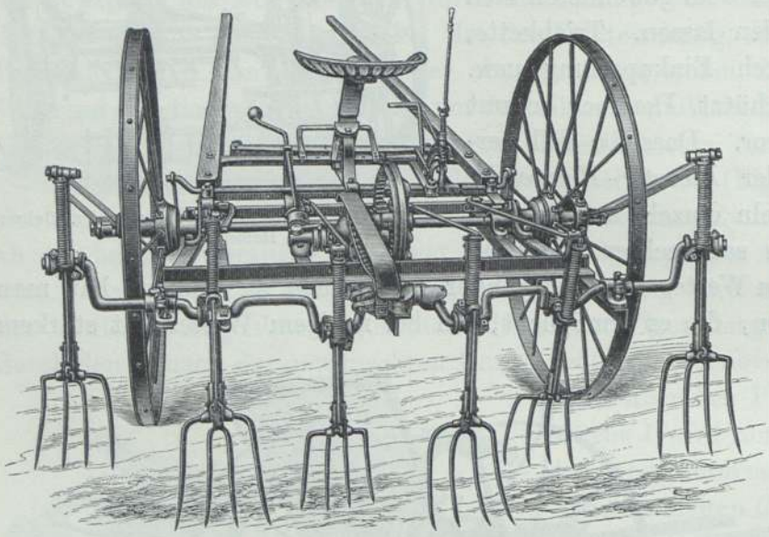


Fig. 847. Gabelheuwender von Ch. Wery, Zweibrücken.

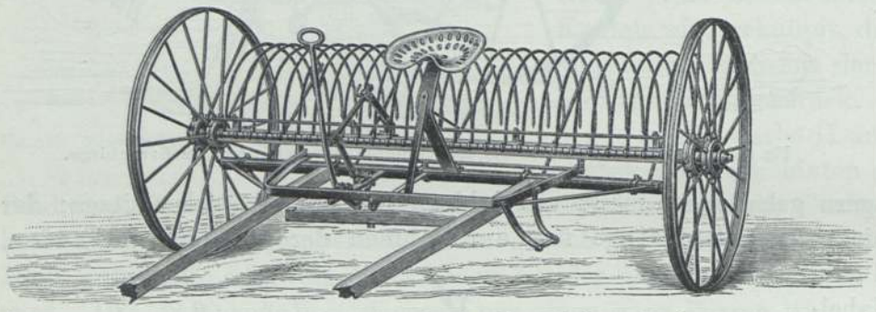


Fig. 848. Heurechen von Groß & Co., Leipzig-Eutritzsch.

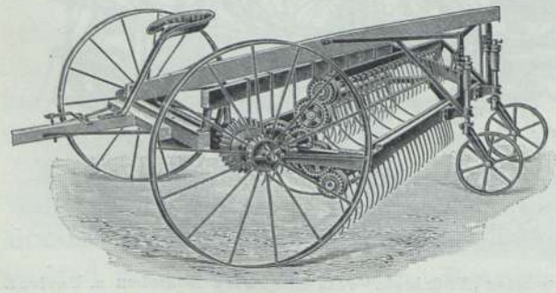


Fig. 849. Schwadenrechen von Massey-Harris, Berlin-Charlottenburg.

3. Schwadenrechen.

Die Schwadenrechen sollen das Wiederzusammenharken des Heues bewirken, wenn dieses ausgebreitet war und zur Bildung kleiner Haufen usw. wieder zusammengeharkt werden muß. Sie sammeln das Heu aber nicht, wie die Pferderechen, in ihrer ganzen Breite normal zur Fahrtrichtung, sondern legen das gesammelte Heu in einer fortlaufenden Linie, in *Schwaden*, seitwärts ab. Auf einer aus drei oder vier eisernen Wellen bestehenden, etwa 45° zur Fahrtrichtung geneigten und rotierenden Trommel sitzen federnde Zinken. Die Wellen der Trommel arbeiten so nach vorwärts, daß jede vordere das Heu so weit seitlich

abwirft, daß es von der nachfolgenden Welle mit ihren Zinken gefaßt wird, und so fort, bis schließlich das Heu in einem fortlaufenden „Schwaden" abgelegt ist; das Entleeren eines Korbes fällt also völlig fort (Fig. 849). Um ein Mitführen oder Werfen des Heues zu vermeiden, sind die Zinken so geführt, daß sie sich immer senkrecht aus dem Heu zurückziehen. Zur Führung des Rechens dienen nach hinten ein oder zwei federnde Laufräder, an denen auch die Tiefstellung vorgenommen werden kann. Durch Umschaltung des Getriebes mittels eines einzigen Hebels arbeiten die Zinken nach rückwärts: die Trommel erhält schnellere Umdrehung, läßt das Heu breit liegen und wendet es. Man kann also mit dem Schwadenrechen das Heu wenden, es auf Schwaden bringen, das zusammengerechte Heu wieder ausbreiten und schließlich durch Rundumfahren einen hohen Ladeschwaden bilden.

4. Heulader.

Heulader (Fig. 850) heben das in Schwaden gebrachte Heu auf einen Wagen. Sie werden hinten an den Wagen angehängt, so daß dann der Wagen mit ihnen die Schwaden zwischen seine Räder nimmt. Der Heulader erfaßt die Schwaden zunächst wie ein Heuwender; er hat aber auch über geneigte endlose Ketten gehende Querstäbe, die sich bis oben hin an den Wagen bewegen und dort das Heu abliefern. Durch mehr oder weniger steiles Stellen des Rahmens des Heuladers kann man höher oder weniger hoch fördern.

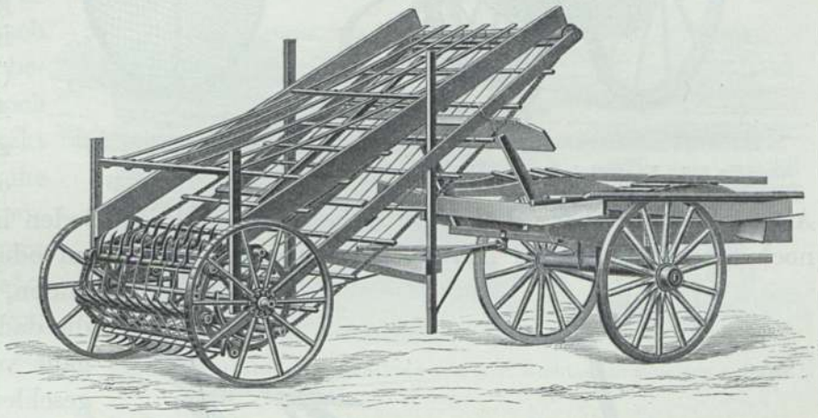


Fig. 850. Heulader von Keystone der Maschinenfabrik D. Wachtel, Breslau.

III. Geräte und Maschinen zur Kartoffelernte.

1. Rodepflüge.

Diese (Fig. 851) durchschneiden mit einem zweischneidigen Schar den Kartoffeldamm in einer solchen Tiefe, daß alle Kartoffeln samt der Erde auf das Schar kommen, von dem nach hinten hin aufwärts gerichtete Stäbe auseinandergehen, so daß sie nach den Enden hin immer mehr Zwischenraum zwischen sich lassen. Geht die Erde über die Stäbe hin, so fällt zunächst die feine Erde durch die Zwischenräume, dann allmählich die gröbere, und hinten fallen Knollen, Steine und größere Erdschollen ab. Ein vorausgehendes gekrümmtes Messer, der Krautheber, soll stark überhängendes oder gelagertes Kartoffelkraut gerade richten, während ein zwischen Krautheber und Schar angebrachter „Vorarbeiter" die Kartoffelstöcke seitlich untergreift und sie halb umlegt.

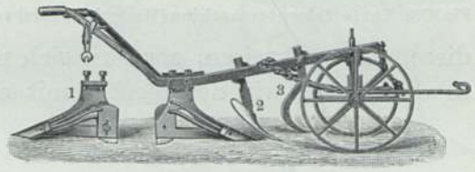


Fig. 851. Kartoffelausrodepflug von R. Sack, Leipzig-Plagwitz (1 Rodekörper, 2 Krautheber, 3 Vorarbeiter).

Der Kartoffelpflug kann nur in krümelndem, mildem Boden gute Arbeit verrichten. Krümelt die Erde nicht fein, so bleiben einzelne Knollen in den Erdschollen verborgen, und andere werden von den hinten abfallenden Erdstücken wieder bedeckt.

2. Kartoffelerntemaschinen.

Die erwähnten, besonders bei schweren Böden stark hervortretenden Übelstände hat man durch besondere Maschinen zu beseitigen gesucht, die zunächst die Erde, in der die Kartoffeln stecken, genügend krümeln, verteilen oder absieben, so daß die von Erde befreiten Kartoffeln leicht zu sehen und aufzulesen sind.

a) Schleuderradsystem *(Kartoffelgraber).* Hinter einem tief gewölbten, den Kartoffeldamm in seiner ganzen Breite unterfahrenden Schar dreht sich ein mit gebogenen Armen versehenes Schleuderrad ganz rasch und zerschlägt den losgetrennten Erddamm in kleine Stücke, so daß die Erde und Kartoffeln seitlich über eine große Fläche zerstreut werden und sich dabei so gut trennen, daß die Kartoffeln rein daliegen. Die gebogenen Arme des Rades endigen in eine kleine zweizinkige Gabel (Fig. 852), oder es sind gerade Arme, die in eine federnde vierzinkige größere Gabel auslaufen, oder schließlich sind die festen Arme selbst drehbar. Bei nicht klebendem und losem Boden hängt man in einiger Entfernung noch einen Fangrechen mit frei schwingenden Stäben auf oder läßt ein Sieb auf dem Boden laufen, gegen das die Kartoffeln fliegen, die dadurch die noch anhaftende Erde ganz verlieren und auch nicht so weit geschleudert werden. Man gibt der Maschine eine Deichsel, um sie sicher zu führen und sie leicht auf die Kartoffelzeilen einstellen zu können. Mit einem Hebel läßt sich die Maschine nach vorn kippen, das Schar aus dem Boden heben und gleichzeitig aufrechtstellen, sowie das Schleuderrad außer Betrieb setzen.

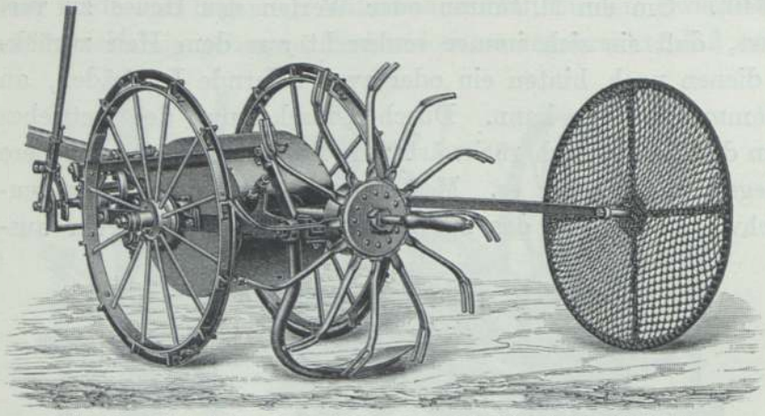


Fig. 852. Kartoffelerntemaschine von Groß & Co., Leipzig-Eutritzsch.

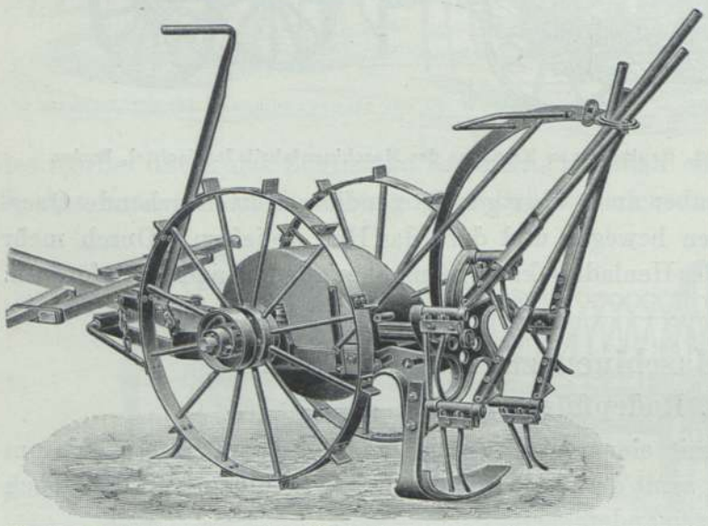


Fig. 853. Kartoffelerntemaschine (Wurfgabelsystem) von Georg Harder, Lübeck.

b) Wurfgabelsystem. Bei diesem System sind Wurfgabeln an einem Kurbelstern nicht starr, sondern drehbar auf Wellen gelagert, so daß sie nicht wie die Gabeln am Schleuderrad mit diesem herumkreisen, sondern sich mit nach unten zeigenden Spitzen auf und nieder bewegen, in der Weise, wie der Mensch mit einer Gabel arbeitet. Infolge dieser eigenartigen Bewegung wirken die Gabeln nicht schlagend auf den Kartoffeldamm, sondern ziehen die Kartoffeln mehr aus dem Damm heraus. Die Gabeln werden die Kartoffeln natürlich weniger verletzen und auch nicht so weit seitlich abwerfen. Sie können dabei von starken Stäben aus Eschenholz geleitet werden (Fig. 853). Fehlen die Führungsstangen, so bewegen sich die Gabeln so, daß sie zuerst schräg in den Kartoffeldamm eingreifen und in dieser Schräglage bis zu einem Kippunkt weiter geführt werden, wo sie durch die Kippbewegung aus der schöpfenden in eine abwerfende Stellung übergehen.

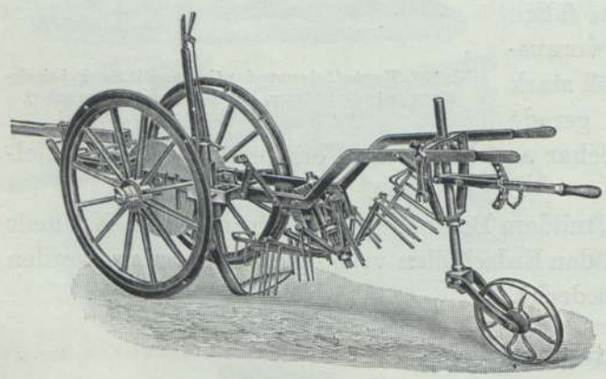


Fig. 854. Kartoffelerntemaschine von E. Hampel in Gnadenfrei (Schlesien).

c) Das Rundeggensystem. Hinter dem Schar arbeitet eine aus zwölf Armen bestehende verstellbare Rundegge mit Krautausreißer und Ableger. Ein hinteres Laufrad dient zur

Einstellung des Tiefganges. Mit einfachem Schar (Fig. 854) versehen, nimmt die *Kartoffelegge* die Kartoffeln wie die Kartoffelgraber aus; mit einem Doppelschar versehen, dient sie zum Herausnehmen der Kartoffeln, Furche an Furche, indem dann, wenn eine Furche ausgefahren ist, das andere Schar eingestellt wird und die Egge sich in entgegengesetzter Richtung dreht. Vorzuziehen ist die Maschine mit einfachem Schar, weil durch das Doppelschar viele Kartoffeln wieder bedeckt werden.

d) Das Elevatorsystem (Fig. 855). Der durch das Schar aufgenommene Kartoffeldamm mit Erde und Kartoffeln gelangt hinter dem Schar auf eine gleichzeitig ein Sieb bildende, zwischen zwei Seitenwänden sich bewegende Elevatorkette. Die Erde fällt zwischen den Eisenstäben hindurch, und die so gesäuberten Kartoffeln werden nach dem hinteren Teil der Maschine befördert, wo sie, von dem etwa noch mitgenommenen Kraut befreit, direkt hinter der Maschine in einer Reihe zum Aufnehmen abgelegt werden. Zu beiden Seiten des Vorderwagens ist noch ein Krautheber angebracht, der alles Kraut und Unkraut auf die Elevatorkette leitet, damit sie die Maschine nicht verstopfen; im hinteren Teile der Maschine befindet sich dann eine Art Kurbelwelle, die das Kraut zwingt, nach hinten und seitlich herauszutreten.

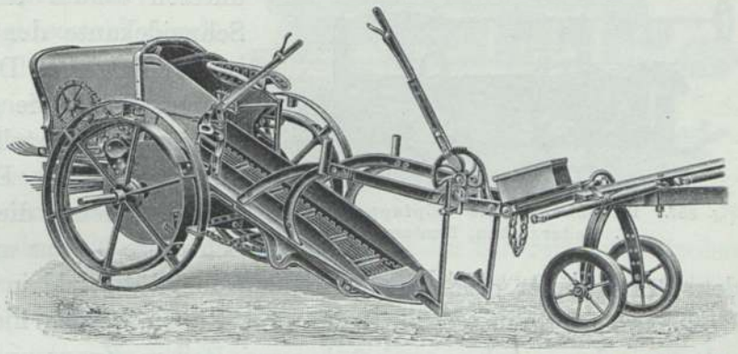


Fig. 855. Kartoffelerntemaschine von C. F. Richter, Brandenburg a. Havel.

IV. Maschinen zur Rübenernte.

Rübenheber werden statt der Handgeräte (Rübengabel) besonders in sehr hartem Boden verwendet, wo die Handarbeit zu beschwerlich ist. Sie untergreifen die Rüben mittels eines Hebeschares, oder sie drängen sie mittels zweier Schare heraus. In beiden Fällen aber werden die Rüben nur gelockert, gelüftet und angehoben, so daß sie mit der Hand leicht herausgenommen werden können.

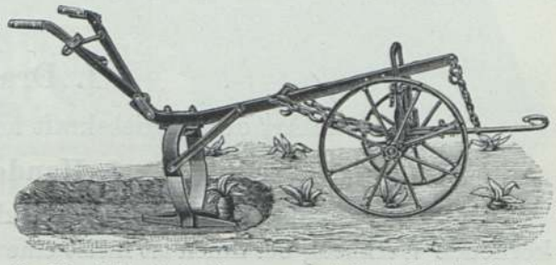


Fig. 856. Rübenhebepflug von Rud. Sack, Leipzig-Plagwitz.

a) *Einreihige Rübenheber.* Entweder ist das Schar so eingerichtet, daß es die Rüben nur von einer Seite „untergreift", oder die Rüben werden etwa in ihrer Mitte durch Zinken wie zwischen einer Gabel gefaßt (Fig. 856). Die Zinken steigen nach hinten an und drängen dadurch bei ihrer Fortbewegung die Rüben aus ihrem Standort heraus. Haben die Rüben die schrägen Flächen der Zinken passiert, so sinken sie, aus ihrer Verbindung mit dem Boden losgelöst, in ihre frühere Lage zurück, so daß sie dann bequem mit der Hand herausgenommen werden können. Bei den Maschinen der ersteren Art geht das Hebeschar 20—22 cm tief in den Boden und lockert ihn so sehr, daß eine schwierigere Abfuhr der Rüben und auch eine bessere Entwickelung der den Rüben feindlichen Nematoden mit dieser tiefen Lockerung verbunden ist. Die Maschinen mit zwei Scharen arbeiten nur bis zu einer Tiefe von etwa 13 cm, wobei dann auch die erforderliche Zugkraft und die Bodenlockerung verhältnismäßig gering ist.

b) *Die zweireihigen Rübenheber* arbeiten ebenfalls entweder mit einem Schar zum Untergreifen oder mit je zwei Scharen zum Herausdrängen. Auch bei ihnen wird die letztere Art meist vorgezogen. Bei den Rübenhebern wird von einigen Fabriken auch noch eine Köpfvorrichtung eingebaut (Fig. 857). Der Apparat besteht aus von den Hinterrädern her in Drehung versetzten, schräg gestellten Scheiben 1, welche die Köpfe der Rüben sicherer als feste Messer abschneiden,

aber auch die Messer nicht verstopfen und das Kraut gleichzeitig beiseiteschaffen. Zur Verhütung des Wickelns haben die Scheiben mantelförmige Aufsätze 2 erhalten, während die auf dem Scheibenrad durch Spiralfeder 4 aufsitzenden Abstreicher 3 das Kraut sicher abstreifen. Die Scheibenwelle 5 ist vertikal verschiebbar, was durch eine kammartige Streichvorrichtung 6 bewirkt wird. Diese Streichkämme gehen den Messerscheiben um etwa eine Handbreite voraus und stehen durch den Lenker 7 mit der Scheibenwelle 5 in Verbindung. Steht nun ein Rübenkopf höher aus dem Boden heraus, so wird die Streichvorrichtung, die über diesen Kopf hinüberläuft, in die Höhe gehoben und mittels des Lenkers 7 auch die Welle 5 und die Messerscheibe 1. Die Höhe des Kopfes bestimmt sich nun aus der Höhendifferenz des am Boden streichenden unteren Endes des Streichkammes und der vorderen Schneidekante der Messerscheibe; diese Kopfhöhe bleibt stets die gleiche. Durch Verändern der Länge des Lenkers können die Köpfe größer oder kleiner eingestellt werden; die einmal eingestellte Kopfhöhe bleibt während der ganzen Arbeit erhalten. Die hinter den Messern einhergehenden Schare 8 heben die geköpften Rüben durch aufgebogene Schwänze 9 ganz aus dem Boden heraus. Die Arbeit mit dem Rübenköpfer geschieht derart, daß das Rübenfeld in Blöcke eingeteilt und stets in gleichem Drehsinne befahren wird. Kraut und Rüben werden hierbei durch die Maschine getrennt abgelegt, und zwar derart, daß je zwei Reihen Kraut und je zwei Reihen Rüben zu je einer Reihe vereinigt werden.

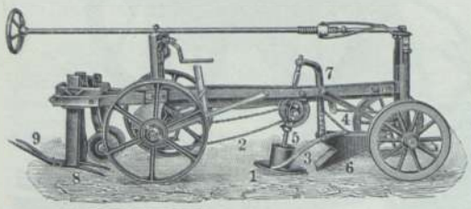


Fig. 857. Rübenheber mit Köpfapparat von W. Siedersleben, Bernburg.

H. Maschinen zur Körnergewinnung.

Bei Mehl-, Hülsen-, Ölfrüchten und einigen anderen Pflanzen müssen nach der Ernte die Samen (Körner usw.) von dem Stroh getrennt und aus den Ähren, Schoten usw. gewonnen sowie darauf von den Verunreinigungen der verschiedensten Art getrennt werden. Dazu dienen Dreschmaschinen und Samenreinigungs- und -sortiermaschinen.

I. Dreschmaschinen.

Je nach der Art der Betriebskraft hat man: Hand-, Göpel- und Motorendreschmaschinen.

1. Handdreschmaschinen.

Handdreschmaschinen finden in kleinen Besitzungen vielfach Anwendung. Das entkörnende Werkzeug bei ihnen ist meist eine *Stiftentrommel*. Bei diesem *Stiftensystem* befindet sich am Umfang einer schnell rotierenden, entweder offenen (Fig. 858) oder geschlossenen Trommel eine Anzahl Stifte in mehreren parallel der Achse verlaufenden Reihen, die bei der Drehung der Trommel zwischen entsprechenden Stiften eines Mantels, des *Dreschdeckels* oder *Dreschkorbes*, hindurchgehen und hierbei die Körner aus den Ähren streifen. Der Dreschdeckel kann in einem der jeweiligen Fruchtart angepaßten Abstande zu der Trommel eingestellt, auch gehoben oder ganz umgelegt werden. Die Stiftmaschinen nennt man *Langdrescher*, weil bei ihnen, um nicht das ganze Stroh mit zu zerkleinern und dadurch die Betriebskraft erhöhen zu müssen, die Halme der Länge nach eingelegt werden müssen, mit den Ähren voran. Die Halme werden bei diesem System vielfach geknickt, so daß sie dann als glattes Stroh (zu Matten, zum Dachdecken u. dergl.) schwer zu verwenden sind; sie liefern „Krummstroh". Das Stroh

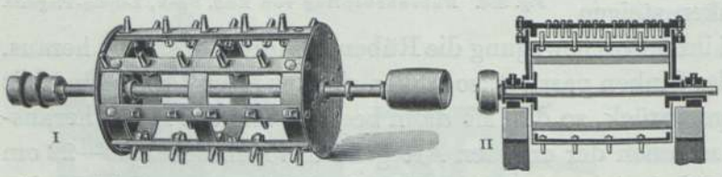


Fig. 858. Stiftentrommel an Dreschmaschinen der Aktiengesellschaft H. F. Eckert. I Ansicht, II Längsschnitt.

fällt nach dem Verlassen der Trommel aus der Maschine, muß daher zur Gewinnung der mit dem Stroh ausgefallenen Körner noch mit Gabeln ausgeschüttelt werden.

2. Göpeldreschmaschinen.

Göpelmaschinen werden bei kleineren Maschinen auch meist nach dem Stiftensystem, bei größeren Maschinen mit Göpeln von vier und mehr Pferden nach dem *Schlagleistensystem* gebaut. Bei diesem sind am Umfange der Trommel, parallel zur Achse, eiserne oder stählerne Leisten mit gerippter Oberfläche angebracht (Fig. 859). Der die Trommel umgebende Dreschkorb hat gleichfalls Leisten und kann zur Trommel, der Fruchtart und dem Reindrusch entsprechend, eingestellt werden. Das Dreschen erfolgt sowohl durch die reibende Wirkung der sich schnell über der Getreidemasse bewegenden Leisten, die in dem Zwischenraum allmählich vorwärts geschoben werden, als auch durch die schlagende Wirkung derselben. Die ausgedroschenen Körner treten durch die Zwischenräume der Dreschkorbstäbe hindurch; ein hier angebrachtes Drahtgitter verhindert das Eintreten des Strohes in diese Zwischenräume. Das Stroh würde dann am Ende des Dreschkorbes aus der Maschine fallen. Um aber die Leistungsfähigkeit der Maschine besser auszunutzen, läßt man das Stroh zuvor über *Strohschüttler* gehen, die die mit dem Stroh ausgeschleuderten oder noch lose in den Ähren hängenden Körner ausschütteln. Die Konstruktion dieser Strohschüttler ist sehr verschieden. Wählt man die sogenannte *Glattstrohbreitschüttler*-Form der Fig. 860, so hat man den Vorteil, daß man selbst bei Stiftentrommeln das Stroh ziemlich glatt erhält und es auch in lange Bunde einbinden kann.

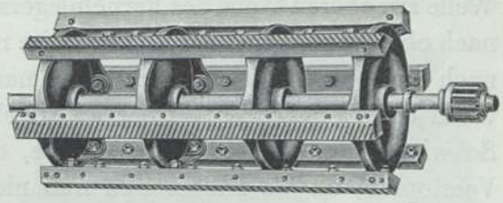


Fig. 859. Schlagleistentrommel der Dreschmaschinen von H. F. Eckert.

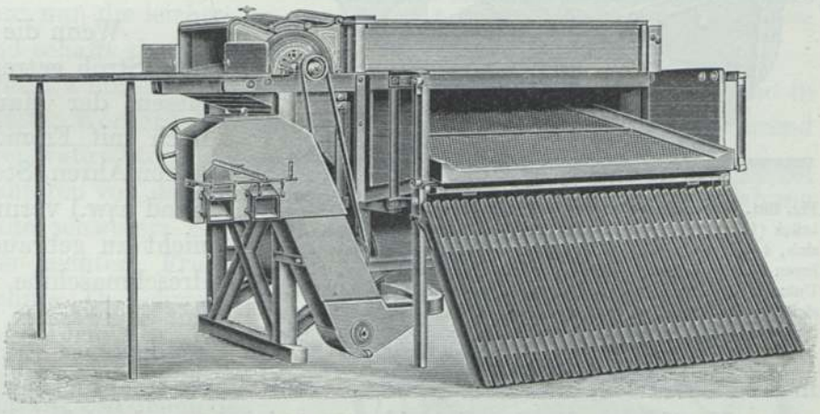


Fig. 860. Göpeldresch-(Putzdresch-)maschine von Heinrich Lanz, Mannheim

3. Motorendreschmaschinen.

Motorendreschmaschinen finden überall Anwendung, wo in größeren Wirtschaften der Betrieb mit Pferden am Göpel nicht mehr genügt. Sie werden durch einen Motor betrieben und sind stets mit Strohschüttlern und Reinigungsapparaten vereinigt, auch stets fahrbar angeordnet. Fast immer sind sie mit Schlagleistentrommeln versehen und so eingerichtet, daß sie das Dreschgut marktfertig gereinigt und nach der Größe sortiert in Säcke liefern. Ihr Vorteil den Göpeldreschmaschinen gegenüber besteht darin, daß das Getreide nach der Dreschmaschine keine weitere Arbeit mehr durchzumachen hat, daß die Kontrolle über das Ergebnis des Drusches sehr vereinfacht ist und daß auch keine Verluste entstehen.

Die Einrichtung einer Motorendreschmaschine zeigt das aufklappbare Modell nebst Erläuterung. Zur Förderung und Sicherung des Betriebes mit Motorendreschmaschinen sind vielfach *Selbsteinleger* und *Ferneinleger* in Gebrauch.

a) Der Selbsteinleger ist ein Apparat, der Getreide, Gemenge und auch Raps, sobald die vorher aufgeschnittenen Garben auf ihn gelegt und von seiner Walze erfaßt sind, gleichmäßig verteilt, so daß ein Nichtreindreschen, Wickeln um die Trommel oder eine Überlastung der Dreschmaschine nicht vorkommen kann. Der Apparat erspart den Einleger, schützt die auf der Maschine arbeitenden Leute vor jedem Unfall, vermeidet die beim ungleichmäßigen Einlegen

mit der Hand vorkommenden Stöße und auch den Leergang in den Einlegepausen und verbessert und vergrößert daher die Leistung der Dreschmaschine bei größerer Schonung dieser.

b) Der Ferneinleger ermöglicht es, das Getreide von der Erde oder von der Getreidemiete oder der Scheune aus auf die Dreschmaschine und auch in die Dreschtrommel selbsttätig und in einem Arbeitsgange einzulegen, wodurch ein Selbsteinleger erspart wird. Zu diesem Zweck erhält die Dreschmaschine in der Nähe der Trommel ein kleines Vorgelege mit kurzer Welle und Riemenscheibe, angetrieben von einer der Wellen der Dreschmaschine so, daß die obere kleine Welle mit ca. 100 Umdrehungen in der Minute kreist. Die Kraftübertragung von dieser Welle zur oberen Welle des Ferneinlegers erfolgt durch eine biegsame Welle, wodurch ein Schwenken nach oben, unten und der linken Seite möglich ist. Eine schmale Förderbahn fährt das der Länge nach aufgelegte Getreide der Dreschmaschine zu; dieses gelangt zunächst auf eine an der Innenwand des Einlegetrichters schräg angebrachte, durch die Erschütterung der Dreschmaschine in Schwingungen versetzte Blechplatte, die *Prelltafel*. Die schwingende Prelltafel verhindert ein Verstopfen, da die Halme sich nun nicht lange halten können und in eine Verteilungstrommel aus Wellblech fallen. Durch den Apparat wird die Dreschmaschine nicht überladen, die Leistung gesteigert, und die Arbeiter sind völlig geschützt, da sie mit der Dreschmaschine gar nicht in Berührung kommen.

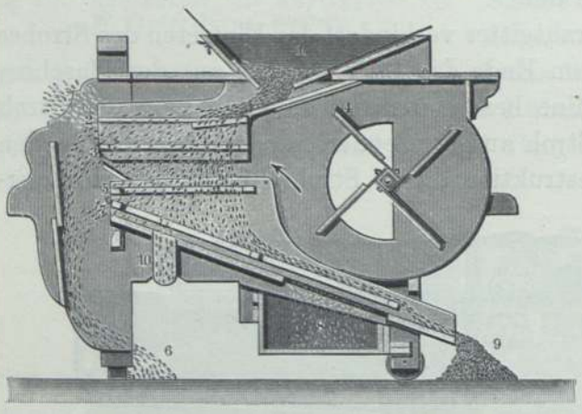


Fig. 861. Getreidereinigungsmaschine von H. Dreyer, Osnabrück (Längsschnitt): 1 Aufschütttrichter, 2 Rostenspreusieb, 3 Spreusieb, 4 Ventilator, 5 feines Spreusieb, 6 Ausscheidungsplatz aller gröberen Unreinigkeiten, 7 Bodensieb zur Ausscheidung von Sand und Unkraut, die sich in 8 sammeln, 9 das gereinigte Getreide, 10 Ablaufstelle der leichten Körner, wenn die Getreidereinigungsmaschine nach Wegnahme der Siebe 2, 3 und 5 als Windfege benutzt wird.

II. Reinigungs- und Sortiermaschinen.

Wenn die Körner durch das Dreschen von dem Stroh getrennt sind, so sind sie nach Verlassen der Handdresch- und Göpelmaschinen noch mit Fremdkörpern aller Art (Strohteilen, leeren Ähren, Steinen, Unkrautsämereien, Staub, Sand usw.) verunreinigt, so daß sie ohne weiteres nicht zu gebrauchen sind. Selbst die Motorendreschmaschine vermag ein tadelloses Saatgut mit schwersten ausgeglichenen Körnern nicht zu liefern. Erst die Reinigungs- und Sortiermaschinen stellen vollkommen reines und bestes Saatgut her.

Maschinen, die das Getreide nur reinigen, und solche, die es nur sortieren, finden, wenn man die nur sortierenden Windfegen ausnimmt, wenig Verwendung; meist verrichten die benutzten Maschinen beide Arbeiten gleichzeitig.

1. Getreidereinigungsmaschine.

Bei der Getreidereinigungsmaschine (*Putzmühle, Klapper-, Wannenmühle;* Fig. 861) gelangt das aus der Dreschmaschine mit Kaff und sonstigem Gemisch kommende Getreide durch den Aufschütttrichter 1 auf ein kurzes Rostenspreusieb 2, darunter auf das vollständige Spreusieb 3. Der von dem Ventilator 4 kommende Windstrom gelangt unter diese beiden Siebe und schafft die leichteren Kaff-Strohteile usw. aus der Maschine. Alle gröberen Beimengungen, die der Windstrom nicht ausscheiden konnte, werden durch das feinere Spreusieb 5 ohne Mitwirkung des Windes ausgeschieden. Alle diese Ausscheidungen sammeln sich dann bei 6 unter der Maschine an. So von den gröberen Beimengungen befreit, muß das Korn dann noch über ein 1,05 m langes Bodensieb 7 wandern, wo Unkraut und Sand ausgeschieden werden, die sich in 8 sammeln. Das Bodensieb hat bei flacher Lage eine rasche und kurze Bewegung, wodurch die Sortierung gut bewirkt wird. Das gereinigte Getreide verläßt die Maschine bei 9.

2. Windfege.

Da die Getreidereinigungsmaschine das Getreide durch die unteren Siebe nur nach der Größe sortiert, so ist es erforderlich, die gereinigte Ware auch noch nach dem Gewicht zu sortieren, um schweres, keimfähiges Saatgut zu erhalten. Dazu dienen die *Windfegen*. Man kann auch die Reinigungsmaschine als Windfege benutzen, indem man (Fig. 861) die Siebe 2, 3, 5 entfernt. Das Getreide kann dann ungehindert vom Trichter 1 auf das Bodensieb 7 fallen. Hierbei strömt in der Pfeilrichtung vom Flügel 4 her der Wind durch das Getreide und treibt die leichten Körner über die obere Endseite des tiefgestellten Bodensiebes hinweg in die Rinne 10, während die schweren Körner auf das Bodensieb fallen und hier wieder der Größe nach sortiert werden; die größte Frucht kommt dann bei 9 heraus. Immerhin ist der Wind durch die oberen Siebladen 2 und 3 gehindert; deshalb arbeitet der Windstrom zuverlässiger, wenn man die Sortierung nach der Schwere durch ein besonderes Gerät, die Windfege, vornimmt.

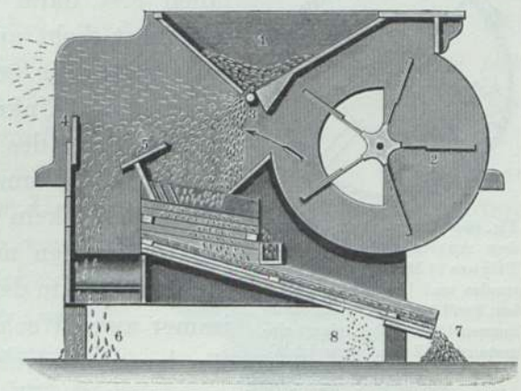


Fig. 862. Windfege von H. Dreyer, Osnabrück (1 Rumpf, 2 Flügel im Windkasten, 3 Speisewelle, 4 verstellbares Endbrett, 5 stellbare Scheidewand zwischen leichteren und schwereren Körnern, 6 die leichteren Körner, III. Sorte, 7 die beste, I. Sorte, 8 die II. Sorte).

In der Windfege (Fig. 862) wird die zu sortierende Frucht in den Rumpf 1 geschüttet; die Flügel 2 werden mittels Riemenübertragung durch Handkurbel in Bewegung gesetzt und der Rumpfschieber aufgezogen. Die Speisewelle 3 sorgt für eine gleichmäßige Verteilung, damit der Wind die Frucht in der ganzen Breite der Maschine erfaßt. Der Wind nimmt nun die leichtesten Teile (Staub, Spreu usw.) mit und schafft sie über das in seiner Höhe verstellbare Endbrett 4 hinter die Maschine. Die Frucht selbst wird der Wind in der Weise sortieren, daß die schwersten Körner fast senkrecht durch den Windstrom fallen, während die leichteren aus ihrer senkrechten Fallrichtung gebracht und daher über die Scheidewand 5 weggeführt werden, die somit die leichteren von den schwereren Körnern trennt. Durch Verschiebung dieser Scheidewand kann man die schwerere Sorte vermehren oder vermindern; die leichtere Frucht, III. Sorte, fällt bei 6 aus der Maschine. Die schwerere Frucht kann man dann noch eine Sieblade passieren lassen, die sich in ihrer Querrichtung gleichmäßig bewegt und mit zwei Sieben versehen ist, von denen das obere Spreusieb die größten Körner, I. Sorte, aussortiert, die dann das Saatgut 7 abgeben, während die kleineren Körner, II. Sorte, über das feinere Sieb bei 8 zur Ablage gelangen.

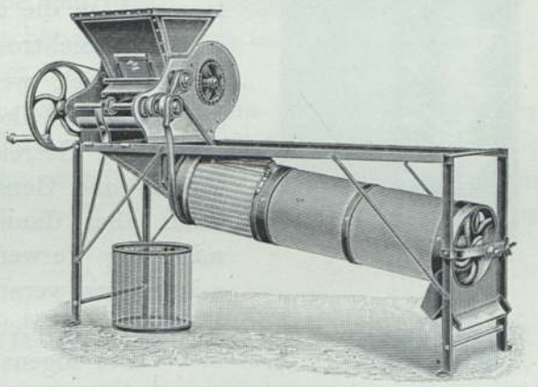


Fig. 863. Einfacher Trieur mit Ventilation von A. Mayer, Kalk bei Köln a. Rh.

3. Trieur.

Mit Sieben kann man nur der Dicke nach trennen; es sind deshalb insbesondere runde Körner (Raden, Wicken, Erbsen usw.) schwer aus dem Getreide mit Sieben zu entfernen. Zu ihrer Abscheidung dienen besondere Maschinen, die *Trieure (Auslesezylinder)*, von denen Fig. 863 eine übliche Form zeigt. Die Frucht geht aus dem Aufschüttrumpf durch eine Speisevorrichtung zunächst über ein Rüttelsieb, das so weit ist, daß es zwar die dicksten Getreidekörner durchgehen läßt, alle noch dickeren länglichen Beimengungen aber ausscheidet. Dabei streicht gleichzeitig über das Rüttelsieb hinweg aus einem kleinen Gebläse ein Windstrom, der auch die leichten Fremdkörper (schwache Körner, Staub, Spreu usw.) entfernt. So vorgereinigt gelangt die Frucht mit den runden Unkräutern in den Trieurzylinder, der in seinem ersten Drittel ein Blechsieb mit länglichen Zellen zur Ausscheidung dünner rundlicher sowie länglicher Samen hat. Von hier gleitet die Frucht mit den verbleibenden Unkrautsamen in dem schrägen Zylinder allmählich durch die

anderen zwei Drittel nach unten. Diese zwei Drittel des Zylinders haben Auslesezellen (Fig. 864), die am besten die Form eines schief durchschnittenen halben Eies haben, weil sie dann die Unkrautsamen, die sich beim Drehen in diese Zellen legen, in der Drehrichtung weit mit in die Höhe nehmen und sie spät entleeren, sie auch weiter in die Mulde 1 fallen lassen, als wenn die Zellen halbkugelförmig wären, wobei dann leicht runde Samen zwischen Mulde und Zylinder fallen könnten. Die Drahtabstreicher 2 und 3 streichen alle aus den Zellen vorstehenden langen Getreidesamen heraus; die kurzen und runden in den Zellen liegenden Unkrautsamen gehen aber unter den Abstreichern durch, passieren auch noch die Kante der Mulde und fallen erst dann in sie von oben herab. Die Kante der Mulde muß möglichst dicht an den Zylinder herangehen. In der Mulde liegt gewöhnlich eine (in Fig. 864 fortgelassene) Schraube ohne Ende, welche die runden Samen und Unkräuter hinausschiebt, während die Getreidekörner am unteren Ende des Zylinders herausfallen. Die Abstreicher und die Mulde sind stellbar, um durch Ausprobieren diese Teile so hoch stellen zu können, daß kein Getreide in die Mulde gelangt; aber auch wieder so tief, daß die runden und andere Unkrautsamen nicht vor dem Passieren der Muldenkante in den Zylinder zurückfallen. Man braucht für eine Maschine immer zwei Wechselzylinder und zwei Wechselsiebe, von denen die einen für langes Getreide (Gerste und Hafer), die anderen für kurze Körner (Roggen und Weizen) genommen werden.

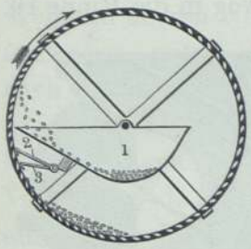


Fig. 864. Querschnitt durch den Auslesezylinder eines Trieurs (1 Mulde, in welche die runden und Unkrautkörner fallen; 2 und 3 Drähte, welche die im inneren Umfang des Trieurs eingestanzten Zellen abstreichen).

Die Trieure werden noch brauchbarer dadurch, daß sie sich in ihrer Wirkung sehr erweitern lassen. So können sie z. B. zur Trennung von langem und kurzem Getreide dienen; es wird dazu im ersten Zylinderteil das kurze Getreide mit allen runden Samen und halben Körnern aus dem langen Getreide ausgeschieden, und im zweiten Teile werden aus dem kurzen Getreide die runden Samen usw. ausgelesen. Mit den Trieuren kann auch eine Sortierung nach der Größe vorgenommen werden, und zwar mittels einer den Auslesezylinder umgebenden Siebtrommel, in die das Saatgut durch einen Schneckengang hineingeleitet wird; die Siebtrommel kann, dem verschiedenen Saatgut entsprechend, ausgewechselt werden. Endlich wird der Auslesezylinder noch mit zweierlei Zellenlochungen versehen, so daß auch Mischungen verschiedener Getreidearten, wie Hafer und Gerste, Hafer und Weizen, Weizen und Gerste, gesondert und unkrautfrei erhalten werden; es kann aber dann eine Maschine nur für eine bestimmte Getreidemischung Verwendung finden. Um mehrere verschiedene Getreidemischungen verarbeiten zu können, ist für jedes Gemenge ein besonderer Zylinder erforderlich.

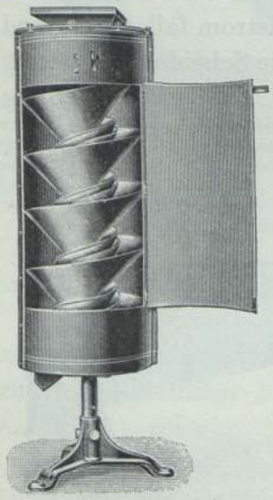


Fig. 865. Schneckentrieur von Mayer & Co., Kalk bei Köln a. Rh.

Der sogenannte *Schneckentrieur* (Fig. 865) besteht aus einer viergängigen Blechschnecke, die um einen senkrechten, etwa 2 m hohen Schaft gewunden ist, und einer darunterliegenden, ebenfalls schneckenförmig laufenden Fangrinne. Das Ganze ist umgeben von einem geschlossenen Blechmantel. Aus dem Einlauftrichter fällt der Samen, mittels eines Schiebers regulierbar, gleichmäßig verteilt in die vier Abteilungen der Innenschnecke und entwickelt dort je nach der Schwere oder der flachen oder kugeligen Form der Körner eine größere oder geringere Laufgeschwindigkeit. Die flachen und leichten Teile bleiben in der viergängigen Schnecke und fallen schließlich durch den Auslauf, in den die vier Schneckengänge ausmünden. Die runden und schweren Körner laufen rascher und nähern sich immer mehr dem Rand der Schnecke, um endlich über diesen Rand hinweg in die untere Fangrinne zu fallen. Körner, die gerade noch den Schneckenrand erreichen oder auf dem Grund der Fangrinne laufen, bilden eine Mittelsorte, bestehend aus rundlichen und flachen Teilen, und verlassen den Apparat durch

einen besonderen Auslauf. Alle anderen runden Körner aber sind ganz rein und laufen durch den dritten Auslauf, in den die Fangrinne endigt.

4. Schleudermaschinen.

Die Schleudermaschinen werfen das zu sortierende Gut gegen die Luft. Dabei bietet die Luft den leichtesten Körnern am meisten Widerstand; sie werden daher zunächst an der Maschine zu Boden fallen, während die schwersten Körner am weitesten geschleudert werden. Zwischen diesen Zonen liegen, ihrer spezifischen Schwere nach geordnet, die übrigen Körner. Derartige Maschinen sind für die Sortierung des Getreides die besten, nehmen aber einen sehr großen Raum ein und haben sich deshalb kaum in die Praxis eingeführt. Dagegen beansprucht die zum Teil auf Schleuderkraft beruhende *Getreidezentrifuge* (Fig. 866) wenig Raum. Sie ist zugleich mit Ventilator und Trieur versehen und sortiert das durch diese Vorrichtungen gereinigte Getreide dadurch, daß es in eine Schleudertrommel geleitet wird; der nach oben sich verbreiternde Mantel der Schleudertrommel besteht aus dünnen, beweglichen Wechselstäben, die unten enger als oben auseinanderstehen. Die Schleuder macht 400 Umdrehungen in der Minute, sondert durch die Schleuderkraft die Getreidekörner ihrer Schwere nach und wirft sie gegen den Siebmantel, durch dessen Zwischenräume unten die kleineren Körner, oben die mittleren Körner ablaufen, während die schwersten Körner über die Trommel hinausgeschleudert werden. Zur Herstellung von ausgeglichenem Saatgut ist es wohl die beste Maschine.

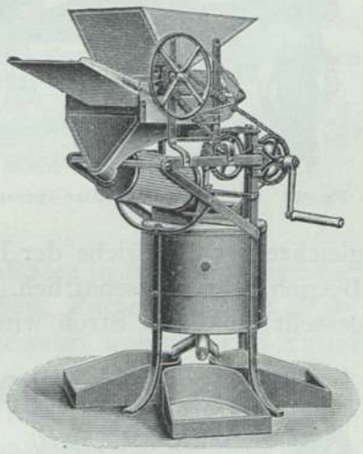


Fig. 866. Getreidezentrifuge von H. Kayser, Leipzig.

5. Kartoffelsortiermaschinen.

Die Kartoffelsortiermaschinen werden im wesentlichen nach zwei Anordnungen gebaut. Sie bestehen entweder aus einem Drahtzylinder, dessen Weite durch eine Stellvorrichtung für Kartoffeln von verschiedener Größe eingestellt werden kann, oder aus einem Gestell mit Rüttelwerk. Dieses hat eine schwingende und pendelnde Bewegung und besteht aus zwei übereinander hängenden Siebkasten, in die je nach Bedarf Siebe verschiedener Maschenweite eingelegt werden können. Unter dem unteren Siebkasten ist ein Reinigungsgatter angebracht, durch das Sand, Erde usw. fällt, während die durch das zweite Sieb gehenden kleinen Knollen nach dem Auslauf rollen und in einem Korbe aufgefangen werden können. Bevor die Kartoffeln auf das erste Sortiersieb gelangen, werden sie durch einen kurzen Vorreiniger vom größten Schmutze befreit.

J. Heu-, Stroh- und Grünfutterpressen.

Soll Heu oder Stroh zum Versand gebracht oder auf einen möglichst kleinen Raum gelagert werden, so kann man es mit *Heu- und Strohpressen* zu Ballen pressen, in welcher Form sich das Ladegewicht eines Eisenbahnwagens gut ausnutzen läßt. — *Futterpressen* wendet man an, wenn Grünfutter nicht getrocknet werden kann.

1. Heu- und Strohpressen.

Für den *Handbetrieb* dienen Apparate, bei denen das Heu in der zur Herstellung eines Ballens (etwa 50—60 kg Gewicht) erforderlichen Menge in einen hölzernen Preßkasten gegeben und mit einem Stempel bedeckt wird. An den nach außen reichenden Enden des Stempels greifen die Zugketten zweier Windewerke an, die durch lange Hebel in Bewegung gesetzt werden und die Pressung bewirken. Nach der Pressung wird der Kasten zwecks bequemer Entleerung auseinander geklappt.

Beim *Göpelbetrieb* wird eine unter der Presse liegende Kette aufgewickelt, und am anderen Ende werden mit auf Schienen laufenden Rollen versehene Kniehebel nach der Mitte zu in die Höhe gedrückt, wodurch eine auf den Hebeln ruhende Platte oder ein Tisch gehoben wird. Es entstehen Ballen von etwa 90—100 kg Gewicht.

Für *Motorenbetrieb* eignen sich die Pressen besonders auch in Verbindung mit einer Dreschmaschine. Man hat *Krummstroh-* und *Glattstrohpressen*. Der Vorgang des Pressens ist bei beiden ziemlich übereinstimmend. Das zu pressende Material wird kontinuierlich in eine sich verjüngende Lade mittels eines starken Selbsteinstopfers eingedrückt, der nach bestimmter Zeit in seine ursprüngliche hohe Stellung zurückgeht, damit in dieser Stellung wieder neues Material zum Pressen zugeführt werden kann. Aus diesem Raum wird das gepreßte Material durch einen Stempel in einen langen, meist horizontal, zuweilen auch schräg gelegenen, selten senkrecht gestellten Schlauch hineingedrückt, in dem das Binden der Ballen erfolgt, so daß diese den Schlauch ununterbrochen und fertig gebunden verlassen. Die Pressen finden auch gesondert von dem Dreschmaschinenbetrieb vielfach Anwendung; da aber der einmal vorhandene Motor zum gleichzeitigen Betriebe der Dreschmaschine und der Presse ausreicht, ist ein solcher vereinigter Betrieb sehr wirtschaftlich. Die Pressen werden dann meist hinter der Dreschmaschine aufgestellt, und das Stroh wird ihnen von dieser selbständig übergeben, wobei auch noch das Kurzstroh ihnen zugeführt wird.

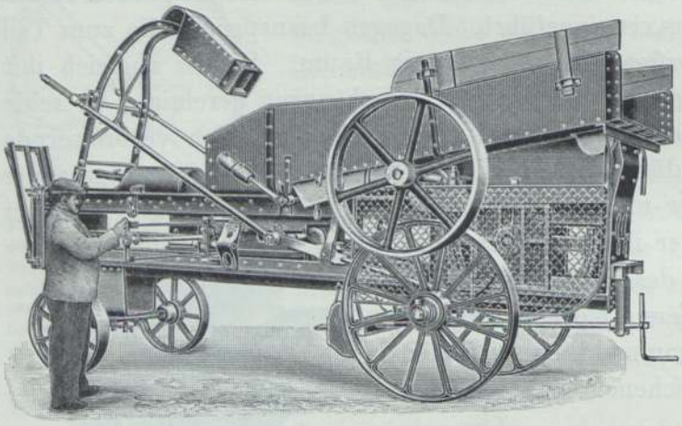


Fig. 867. Krummstroh-(Ballen-)presse von Gebr. Welger, Seehausen.

Fig. 868. Glattstrohpresse von Klinger, Altstadt-Stolpen i. S. (1 Einführungszinken, 2 hin und her gehender Preßwagen, 3 auf und ab gehender Stopfer, 4 Preßkanal, 5 Nadel, 6 Stütze für die Nadel, 7 der die Nadeln tragende Bügel, 8 Abnehmerbügel für die Fadenschlinge).

a) Die **Krummstroh- oder Ballenpressen** (Fig. 867) drücken das Stroh sehr fest in viereckige, mit Draht zu bindende Ballen zusammen und eignen sich daher besonders für diejenigen Wirtschaften, die einen erheblichen Teil ihres Strohes oder Heues mit der Eisenbahn verladen. Das Schnüren der Ballen geschieht durch zwei Personen, die die Drähte abschneiden und neuen Draht zum Verschnüren einführen. Hilfe leistet ihnen dabei eine Drahtabfang-Vorrichtung; diese zieht den Bindedraht, den die Nadeln nach eingestellter Ballengröße selbsttätig durch den Preßraum befördern und um den Ballen legen, hervor, wodurch einem Verletzen der Hände vorgebeugt ist. Die Pressen sind mit Ballenzähler und Glocke versehen, die selbsttätig das Zeichen zum Einführen des Drahtes gibt. Ein Ballen ist etwa 65 cm hoch, 1 m lang, 50 cm breit und wiegt ca. 40—60 kg. Die Ballenpressen können auch zum Pressen von Glattstroh verwendet werden. Wo aber das Stroh hauptsächlich in der eigenen Wirtschaft verbraucht oder nicht verfrachtet wird, zieht man die besonderen Glattstrohpressen vor.

b) **Glattstrohpressen** (Fig. 868) binden die Ballen nicht mit Draht, sondern mit Bindfaden. Die Presse wird unmittelbar hinter der Dreschmaschine aufgestellt, und die Zuführung des von dieser kommenden Strohes erfolgt selbsttätig durch die Presse, so daß eine Nachhilfe der Strohzuführung durch Menschenhand nicht erforderlich ist. Das Stroh wird durch elliptisch bewegte Zinken 1, die durch Schlitze des Zuführungstisches hindurchgreifen, und

den vom Preßwagen 2 auf und ab bewegten Stopfer 3 in den Preßkanal 4 eingeführt. Ist die einer Ballengröße entsprechende Strohmenge zusammengepreßt, so wird durch einen auf der Maschine sitzenden Jungen oder Arbeiter die die Nadeln 5 in ihrer gehobenen Stellung haltende federnde Stütze 6 durch einen Handgriff zurückbewegt, so daß nun der die Nadeln 5 tragende Bügel 7 herabsinkt und beim nächsten, durch den Preßwagen bewirkten Hochgang die unter der Presse gespannte Bindeschnur in Form einer Schlinge durch den Preßkanal heraufholt. Diese Fadenschlinge gelangt auf Abnehmerbügel 8, welche die Schlinge beim allmählichen Vorwärtsschreiten des Preßstranges weiterführen, bis sie von verstellbaren Messern aufgeschnitten wird. Vorher war das zum zweiten Ballen gehörige Fadenende von einer federnden Klemme erfaßt worden. Die Fadenenden werden dann, eventuell unter Zuhilfenahme eines besonderen Werkzeuges, von Hand zusammengeknüpft. Um eine möglichst große Gleichmäßigkeit der Ballen zu erzielen, kann eine durch den sich allmählich verschiebenden Preßstrang angetriebene Anzeigevorrichtung angebracht werden, die den Zeitpunkt genau angibt, in dem der Arbeiter den Nadelbügel auszulösen hat. Diese Auslösung kann auch selbsttätig bewirkt werden. Am Mundstück des Preßkanals ist eine verstellbare Rinne angebracht, welche die fertigen Ballen durch den Druck des Preßkolbens bis zu einem bequem liegenden Auflade- oder Stapelplatz weiter fortleitet. Um den Arbeiter zu sparen, der die Bindeschnüre zusammenbindet, werden auch *selbsttätige Knotenknüpfer* vorgesehen. Diese bestehen aus den von den amerikanischen Bindemähern her bekannten Knüpfern.

Die Ballen werden bei den Glattstrohpressen nicht so stark zusammengepreßt, damit das Stroh wirtschaftlich brauchbar wird; sie erhalten ein Gewicht von etwa 15—20 kg.

2. Grünfutterpressen.

Grünfutterpressen bezwecken, durch das Einmieten von Grünfutter in freier Luft mit den denkbar geringsten Kosten Viehfutter im Freien in Feimen herzustellen. Futter jeder Art (Mais, Grummet, Stoppelklee, Serradella usw.) kann in diesen Pressen aufbewahrt werden. Das Futter wird möglichst senkrecht auf dem nackten Boden aufgeschichtet; dann wird durch Ketten mittels eines oder zwei Paar Hebel ein Druck auf die Feime ausgeübt, der die Luft nach und nach abschließt und das Futter konserviert. Der Druck auf die Feime muß kontrolliert und täglich regelmäßig so lange erneuert werden, bis ein Zusammensacken nicht mehr erfolgt, bis also die Luft völlig abgeschlossen ist.

K. Maschinen für die Futterzubereitung.

Ein großer Teil der in einer Wirtschaft gewonnenen Pflanzen wird in dieser selbst wieder zur Ernährung der Tiere verbraucht, muß aber zur Verfütterung je nach Art der Früchte in verschiedener Weise zubereitet werden. Halme und Stengel müssen zerkleinert, Körner gequetscht und geschroten, Hackfrüchte gewaschen, geschnitten und gedämpft werden.

I. Futterschneidemaschinen.

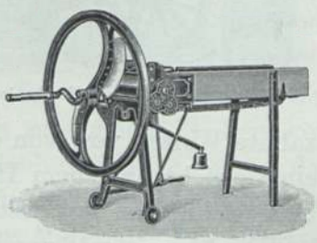


Fig. 869. Häckselmaschine (Scheibenradfutterschneider) von H. Lanz, Mannheim.

Futterschneidemaschinen sollen das Futter (Stroh, Heu, Grünfutter) in kleinere Stücke (Häcksel) zerschneiden. Sie bestehen aus einem Kasten, der *Lade*, an deren äußerem Ende der Schneideapparat vorbeigeht und alle vorstehenden Halme abschneidet. Eine Vorrichtung zum regelmäßigen Vorschieben und Zusammenpressen sorgt für den ununterbrochenen Betrieb.

1. Die Schneidevorrichtung besteht aus Messern, die an dem Mundstück der Lade scharf vorbeigehen. Entweder sind 1, 2 oder 3 Messer in ein Schwungrad gesetzt, um dessen Achse sie gedreht werden (*Scheibenradfutterschneider*, Fig. 869); ihre Schneiden müssen in einer geraden

Ebene liegen, um glatt an dem Mundstück anliegen und abschneiden zu können. Oder es bilden 4—5 gewundene Messer eine rotierende Trommel; ihre Schneiden müssen im Umfange des Zylinders liegen (*Trommelfutterschneider*, Fig. 870). Die Messer der Scheibenradfutterschneider sind in einer Spirallinie gekrümmt, um den Schnitt unter einem gleichbleibenden Winkel auszuführen; sie werden mittels Stellschrauben so eingestellt, daß sie den unteren Nutteil des Mundstücks auf seiner ganzen Länge zwar streifen, das Mundstück jedoch nur ganz schwach berühren können. Dieses genaue Einstellen ist bei den Messern der Trommelfutterschneider schwieriger, denn bei ihnen sind die Messer nur an ihren äußersten Enden befestigt, und die Schneiden gehen schräg gegen die untere Kante des Mundstücks, sind daher schwer so zu stellen und zu erhalten, daß sie in ihrer ganzen Breite genau in der Zylinderfläche liegen. Die Messer müssen stets scharf sein, also eine gute Schneide haben, damit der Schnitt ohne ein Herunterdrücken oder Abquetschen des Strohes erfolgt.

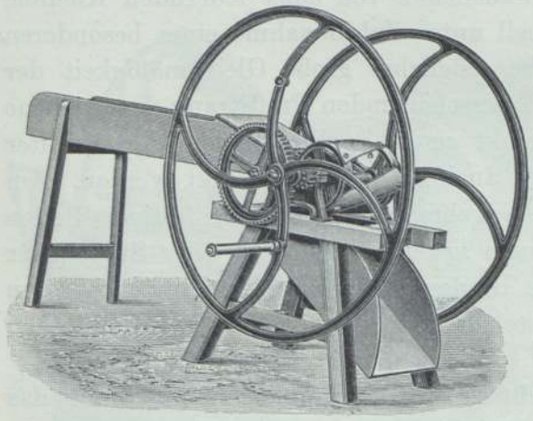


Fig. 870. Trommelfutterschneider der Aktiengesellschaft R. Wermke, Heiligenbeil.

Werden die Messer nach Fig. 869 eingerichtet, so tritt nach jedem Schnitt ein längerer Leergang ein, der zweckmäßig ist, wenn man langen Häcksel schneiden und die Pause zum Vorschieben benutzen will. Will man kürzeren Häcksel bei ununterbrochenem Betriebe schneiden, so muß man derart gekrümmte Messer wählen, daß das folgende Messer zu schneiden beginnt, sobald das voraufgehende mit Schneiden aufgehört hat. Zu diesem ununterbrochenen Betriebe braucht man auch das kleinste Schwungrad. Die Trommelfutterschneider erfordern zur Überwindung der toten Punkte große Schwungräder.

2. *Die Vorschiebevorrichtung* kann auf mannigfaltige Weise wirken. Der stoßweise Vorschub, den man gern zum Schneiden von Krummstroh und Grünfutter nimmt, geschieht in den Pausen zwischen je zwei Schnitten durch einen über zwei Walzen gespannten Gurt, der durch Sperrklinken, ovale Daumen, Klemmschaltwerke und Räder von der Hauptwelle aus in stoßweise Bewegung versetzt wird. Dabei wird das Stroh während des Schnittes durch einen Stempel gepreßt, wodurch der Schnitt reiner und sicherer wird.

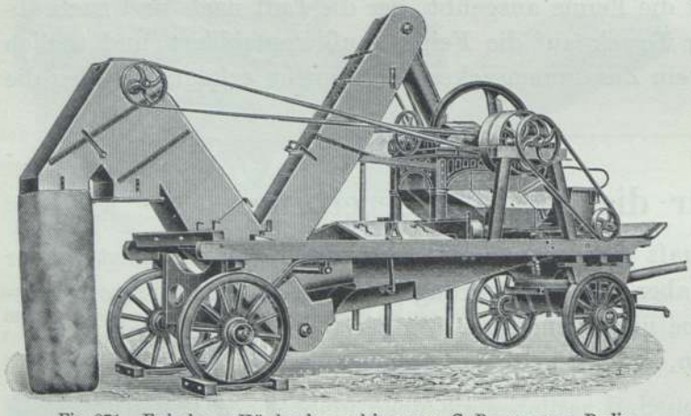


Fig. 871. Fahrbare Häckselmaschine von C. Beermann, Berlin.

Bei dem ununterbrochenen Vorschub ist das Stroh immer in Bewegung und schiebt sich durch zwei in entgegengesetzter Richtung arbeitende, scharf gezahnte Walzen vor, von denen die obere mit ihrem Deckel auf und ab bewegbar ist und durch ein Gewicht an einem Hebel oder durch Spiralfedern niedergedrückt wird, so daß das Futter beim Schneiden gut festgehalten wird, während anderseits auch bei größerer Belastung oder bei Eindringen größerer fremder Körper durch das Nachgeben der oberen Walze Verstopfungen verhütet werden. Der unterbrochene Betrieb der Walzen wird durch Zahnrädervorgelege oder Gelenkwellen von der Hauptwelle aus herbeigeführt.

Die Häcksellänge wird beim stoßweisen Vorschub durch eine Sperrklinke mit verstellbarem Hube bestimmt, derart, daß die Klinke eine mehr oder minder große Zähnezahl des Sperrades übergreifen und diesem eine Drehung von veränderlicher Größe erteilen kann. Beim ununterbrochenen Betrieb wird die gewünschte Häcksellänge durch Verschieben des auf der

Hauptwelle sitzenden Rädchens in die meist 4—5 Kränze des Scheibenrades erzielt. Um Unglücksfälle zu verhüten, müssen die Messer und Zahnräder durch eine Schutzkappe überdeckt sein; auch ist eine Vorrichtung angebracht, um die Speisewalzen augenblicklich abstellen und ihre Rückwärtsbewegung veranlassen zu können.

Die Futterschneidemaschinen werden für Hand-, Göpel- und Motorenbetrieb gebaut und auch fahrbar angeordnet. Sie lassen sich dann (Fig. 871) bedeutend vervollständigen. Der Häcksel fällt von dem Mundstück auf eine Siebvorrichtung, die durch eine Kurbelwelle hin und her bewegt wird und aus übereinanderliegenden geteilten Sieben besteht. Der gesiebte Häcksel fällt in den hinteren Elevator, wird von diesem gehoben und gelangt in die Säcke. Die über die Siebe hinweggehenden Halme und Stoppeln werden in den nach vorn führenden Elevator geleitet, von diesem nach oben gefördert und gelangen von dort durch eine Auslaufrinne wieder in die Lade der Häckselmaschine, um nochmals geschnitten zu werden.

II. Körner-Zerkleinerungsmaschinen.

Körner-Zerkleinerungsmaschinen sollen die Einspeichelung und Verdauung der stärkemehlhaltigen Körner erleichtern. Die Zerkleinerung kann erfolgen durch gleichzeitiges Abscheren zwischen scherenartig wirkenden Schneiden und Zerreißen zwischen zwei sich übereinander bewegenden rauhen Flächen (Mahlgänge) oder nur durch Abscheren zwischen zwei rauhen Hartguß- oder Stahlflächen (Schrotmühlen) oder durch Quetschen zwischen zwei gegeneinander gedrückten Flächen (Quetschmühlen).

1. Mahlgänge.

Mahlgänge (vgl. S. 261) dienen zur Bereitung von feinem Schrot und Mehl. Man läßt das Getreide in den Zwischenraum zwischen zwei Steinen gelangen; die Schneidekanten der nahe zusammengestellten Steine scheren dann die Körner ab und schieben sie dabei etwas weiter nach auswärts, wo die Hauschläge immer flacher werden, so daß immer wieder neues Abscheren stattfindet. Kleine Teilchen gelangen auch zwischen die rauhen Flächen und werden dort zerrissen, so daß am äußeren Rande der Steine, je nach der engeren oder weiteren Stellung derselben, weiches Schrot oder Mehl ausgeworfen wird. Man wählt gern Quarzitsteine, die eine harte Mahlbahn und weiche Luftfurchen haben und bis zu einem gewissen Grade selbstschärfend sind, so daß ein kunstgerechtes Nachhauen der Luftfurchen nicht häufig nötig wird.

Fig. 872. Schrotmühle „Rapid" von Lehrens, Magdeburg.

2. Schrotmühlen.

Schrotmühlen (Fig. 872) dienen zur Herstellung von gröberem oder feinerem Schrot; sie haben meist Hartgußwalzen bzw. Scheiben, die das Zerkleinern der Körner bewirken und auswechselbar sind. Es arbeiten immer zwei Scheiben zusammen, und zwar derart, daß die eine (auf der Hauptwelle befindliche) direkten Antrieb erhält und sich vor der zweiten (in dem Gestell festsitzenden) vorbeidreht. Die Scheiben sind auf beiden Seiten mit vielen Reihen von kleinen Zähnen, oder besser mit schiefstehenden Riefeln besetzt. Nach der Mitte zu, wo das Schrotgut aus einem mit Schüttelvorrichtung versehenen Rumpfe zwischen die Scheiben tritt, sind die Zähne bzw. Riefeln etwas gröber und dienen zum Vorbrechen des Materials. Die Feinheit des Schrotes ist abhängig von dem Abstand der Mahlscheiben, der durch eine Stellvorrichtung an der sich drehenden Scheibe geregelt werden kann.

3. Quetschmühlen.

Quetschmühlen (Fig. 873) zum Zerdrücken der Körner bestehen aus zwei gegeneinander arbeitenden Walzen, denen das zu quetschende Material (Hafer, Gerste, Lein, Malz, Erbsen,

Bohnen usw.) aus einem Aufschütttrichter durch eine geriefelte Speisewalze zugeführt wird; diese wird von der einen Quetschwalze aus durch Kette betrieben und regelt die Zufuhr des Quetschgutes. Von den beiden eisernen Quetschwalzen wird nur die eine von der Betriebskraft in Umdrehung versetzt, während die andere sich durch Reibung mitdreht. Für Kraftbetrieb sind beide Walzen gleichgroß; für Handbetrieb macht man die von der Kurbel getriebene größer, die andere, nur durch Reibung mitgenommene kleiner, damit auf der Kurbelwelle kein oder nur ein leichtes Schwungrad nötig wird. Die Welle der sich durch Reibung drehenden Walze ruht in verschiebbaren Lagern, wodurch die Walzenstellung regulierbar wird, so daß man mehr oder weniger stark quetschen kann. Diese Regulierung geschieht durch Einwirkung einer Druckschraube auf eine starke Spiralfeder an der Walze; die Spiralfeder ermöglicht es, daß die Walzen beim Hineinkommen von harten Gegenständen, Steinen usw. auseinandertreten können.

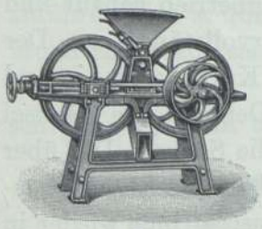


Fig. 873. Quetschmühle der Aktiengesellschaft F. Eckert, Lichtenberg bei Berlin.

Auch Schrotmühlen mit Hartgußwalzen lassen sich zum Quetschen und auch zum Vermahlen von Gewürzen, Drogen und Ölsaaten verwenden. Bei diesen *Universal-Schrot- und Quetschmühlen* ist ebenfalls die eine Walze fest gelagert, die andere federnd und schwingend; über ihnen sitzt der Aufschütttrichter, der mit einem Schieber zur Regulierung des zu schrotenden Materials gegen die Walzen abgeschlossen ist.

III. Kartoffel- und Rüben-Zubereitungsmaschinen.

Kartoffel- und Rüben-Zubereitungsmaschinen sollen zunächst diese Früchte von anhaftenden Unreinigkeiten befreien (Waschmaschinen), dann die gereinigten Früchte zum Verfüttern im rohen Zustande zerkleinern (Rübenschneider) und schließlich die zum Verfüttern im gekochten Zustande bestimmten Früchte zuerst dämpfen und dann zerkleinern (Futterdämpfer und Kartoffelquetschen).

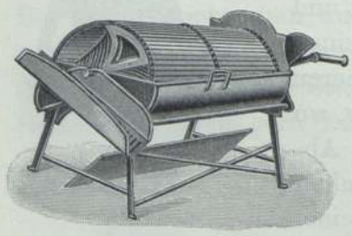


Fig. 874. Kartoffel- und Rübenwaschmaschine von Groß & Co., Leipzig-Eutritzsch.

1. Waschmaschinen.

Waschmaschinen (Fig. 874) für Rüben und Kartoffeln bestehen aus einer Trommel von Eisenstäben, die in einem Wasserkasten gedreht werden kann. Man dreht zunächst so lange von links nach rechts, bis man die eingeschüttete Menge für gereinigt erachtet; dann bewirken einige Umdrehungen in entgegengesetzter Richtung die völlige Entleerung mittels der im Innern angebrachten Ausschütteschaufeln. Der Boden des Einschüttekastens ist durchbrochen, um anhaftende Erdteile zu beseitigen; der Auslauf ist ebenfalls durchbrochen, damit das Wasser abgelassen werden kann und Rüben und Kartoffeln rein und wasserfrei gewonnen werden.

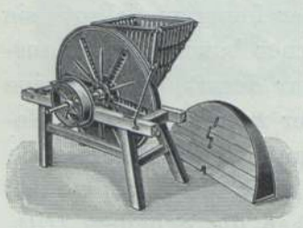


Fig. 875. Rübenschneider von Gebr. Kappe, Alfeld.

2. Rübenschneider.

Solche sollen die Rüben so weit zerschneiden, daß sie ohne Gefahr, im Schlunde steckenzubleiben, von den Tieren gefressen werden können. Die Rüben gelangen durch ihr eigenes Gewicht aus einem Rumpfe unter die Wirkung von Messern. Die Anordnung dieser ist eine sehr mannigfaltige; man unterscheidet danach drei Arten von Rübenschneidern:

a) **Scheibenrübenschneider** (Fig. 875). Auf einem hölzernen oder eisernen Gestell ist eine ebene Scheibe um eine horizontale Achse drehbar. Auf dieser Scheibe können die aus Stahlblech hergestellten Messer mittels Nieten in einzelnen Sektionen befestigt werden, so daß man die Messer, wenn abgenutzt, leicht ersetzen kann. Die Rüben werden in gleichmäßige

Streifen von halbrundem Querschnitt geschnitten, die beim Durchmischen leicht in kleinere Stücke zerbrechen. Die ebene Scheibe kann auch mit Messern der verschiedensten Form versehen werden, z. B. mit langen Messern, die an der einen Seite eine glatte, an der anderen eine gezahnte Schneide haben. Dreht man nun das eine Mal rechts, das andere Mal links herum, so erhält man Scheiben oder Streifen. Die Leistung läßt sich vergrößern, wenn man zwei konische Messerscheiben gegeneinander stellt.

Bei den Scheibenrübenschneidern läßt sich der Einschüttrumpf so formen, daß die Rüben der Messerscheibe nicht ausweichen und nicht rollen, also sich der Einwirkung der Messer nicht entziehen können. Man zieht sie daher meist den Trommelschneidern vor, bei denen die Rüben in Drehung versetzt und abgedrängt werden können, so daß sie den Messern ausweichen.

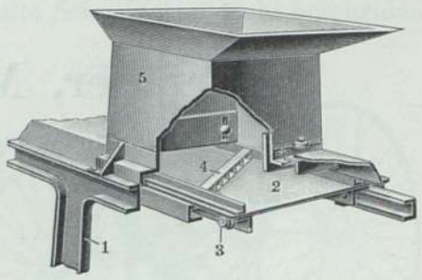


Fig. 876.
Schlittenschneider von Grebe & Vahle, Bielefeld (1 eisernes Gestell; 2 eiserne Platte, auf Gleitrollen 3 verschiebbar; 4 Messer; 5 Kasten, der das Material aufnimmt).

b) **Trommelschneider.** Unter einem eisernen Aufschütttrichter liegt eine eiserne konische Messertrommel, deren Drehung durch ein kräftiges Schwungrad erleichtert wird und an deren Umfang die Messer sitzen. Auch bei diesen Futterschneidern hat man einfache oder glatte und getollte Messer, so daß man je nach der gewählten Drehungsrichtung in Streifen oder Scheiben schneiden kann.

c) **Schlittenschneider** zerreißen die Rüben nicht, sondern schneiden regelmäßige Stücke mit glatten Seiten ab. Dadurch wird jeder Saftverlust vermieden und die Verdunstung auf ein Minimum beschränkt, die Schnitzel zersetzen sich weniger schnell und halten sich länger. Nach Fig. 876 ist auf einem hölzernen oder eisernen Gestell 1 eine ebene Eisenplatte 2 auf Gleitrollen 3 gelagert, so daß dieser 70 cm lange Schlitten sich etwa 33,5 cm hin und her bewegen läßt. In einem entsprechenden schrägen Ausschnitt dieses Tisches ist ein mit zweischneidigen senkrechten Messern von 5 cm Höhe versehenes Horizontalmesser 4 angebracht. Durch Kurbelbetrieb wird der Schlitten hin und her bewegt, und das Messer schneidet von dem aus dem Kasten 5 nachfallenden Material gleichmäßige vierkantige Stücke von 4 cm Breite, deren Höhe sich durch Auswechseln des Messers 4 nach Wunsch von 0,1—3 cm ändern läßt. Die Schnitzel fallen durch einen Schlitz im Schlitten ab.

Fahrräder, Motorräder und Motorwagen.

Von Regierungsbaumeister **B. Albrecht**, Berlin-Friedenau.

A. Fahrräder.

I. Allgemeines.

Die Lösung des Problems der automobilen Fortbewegung fällt in die Mitte des 17. Jahrhunderts und beruht auf den Erfindungen des Nürnberger Zirkelschmiedes Johann Hantsch und des in Alsdorf bei Nürnberg um die gleiche Zeit lebenden Uhrmachers Stephan Farfler. Sie waren die ersten, die ein Fahrzeug konstruierten, das durch inneren Mechanismus bewegt wurde; da es sich aber bei beiden um drei- oder vierrädrige Wagen handelte, dürfte es richtiger sein, die grundlegende Idee für das Fahrrad in den zweirädrigen sogenannten *Laufmaschinen* zu sehen. Diese stammen von unbekannten Erfindern aus der Mitte des 18. Jahrhunderts und haben jedenfalls dem als Vater der Radelei geltenden badischen Oberforstmeister Freiherrn von Drais zum Modell gedient. Er konstruierte ein Fahrzeug aus zwei hintereinander stehenden Rädern, deren Achsen in Gabeln gehalten und durch eine über den Rädern laufende Stange verbunden waren. Durch Abstoßen der Füße vom Boden wurde die etwas schwerfällige Maschine vorwärts bewegt und dabei eine Querstange, die als Handhabe für den Fahrer diente, gleichzeitig zum Lenken des Vorderrades benutzt. Das moderne Niederrad entspricht in seiner Theorie und Form der Erfindung des Freiherrn von Drais ganz überraschend, und mit Ausnahme des Triebwerkes sind fast alle Hauptteile bei beiden in gleicher Weise vertreten. Das Laufrad wurde 1817 von Drais in Mannheim vorgeführt, geriet aber bald in Vergessenheit. Drais hat später noch einen Wagen erfunden, der, auf Bahnschienen laufend, durch Kurbeln und Handgabeln bewegt wurde; trotzdem hat er niemals einen Versuch mit der Einführung der Kurbeln bei seiner Laufmaschine gemacht. Der erwähnte Wagen findet in etwas veränderter Form noch heute unter dem Namen *Draisine* im Eisenbahnwesen praktische Verwendung.

Fig. 877. Hochrad.

Das Verdienst, das Fahrrad mit Kurbeln und Pedalen ausgerüstet zu haben, wird meistens dem Pariser Michaux zugeschrieben, obwohl nach anderen Überlieferungen der Schweinfurter Instrumentenmacher Fischer schon vorher ein Rad konstruiert und aus eigener Idee mit Kurbeln versehen haben soll. Michaux brachte die neuen Räder im Jahre 1868 unter dem Namen *Velociped* auf den Markt; sie waren ganz aus Holz gefertigt und hatten nur geringfügige metallene Bestandteile, wie Schrauben, Achsen usw. Mit dem Kriege 1870/71 trat ein Stillstand in der Entwickelung des Fahrrades in Frankreich und Deutschland ein, und nunmehr bemächtigte sich die englische und amerikanische Industrie des Fahrradbaues. Mit den steigenden Anforderungen wurde auch das

verwendete Material durchgreifenden Änderungen unterworfen, so daß Stahl und Eisen bald das Holz verdrängten. Die Räder erhielten Gummireifen, um dem Rade mehr Elastizität zu geben, und in wenigen Jahren hatte das Fahrrad eine so veränderte Gestalt erhalten, daß von Drais' Erfindung nur noch wenig zu erkennen war. Als Bereifung der Räder kam zuerst der mit einer Art Gummikitt oder Zement in der halbkreisförmigen Felge befestigte runde und massive Vollreifen in Anwendung. Ein weiteres Verdienst der englischen Industrie ist die Einführung der Rollenlager und bald darauf der Kugellager. Am einschneidendsten, wenn auch nicht gerade glücklichsten, war die dann folgende Veränderung des Radmodells. Der geringe Raddurchmesser der Maschinen bewirkte nämlich, daß die trotz ermüdend raschem Treten erzielte Schnelligkeit recht bescheiden war und in keinem Verhältnis stand zu der angewendeten Kraft. Diese Erwägungen führten dazu, daß man den Durchmesser des Vorderrades wesentlich vergrößerte, während das Hinterrad, nur zur Stütze des Sattels und des Gestelles dienend, ebenso stark verkleinert wurde; so entstand das *Hochrad* (Fig. 877), dem seine englischen und amerikanischen Erfinder den Namen *Bicycle* beilegten. Als dann noch der Franzose Renard die gewöhnlichen, d. h. direkten Speichen, die infolge des vergrößerten Raddurchmessers bei gesteigerter Schnelligkeit einer zu starken Spannung ausgesetzt waren, durch die tangentialen Speichen ersetzt hatte, erfuhr diese Maschine eine weit größere Verbreitung als irgendeine der früheren. Die Fährlichkeiten des Hochradfahrens standen jedoch einem allgemeinen Gebrauch und einer volkstümlichen Einführung stark im Wege. Abgesehen von der Unbequemlichkeit des Aufsteigens und der schreckhaften Höhe des Sitzes war ein schwerwiegender Nachteil der, daß der gemeinsame Schwerpunkt von Fahrer und Maschine fast über die Achse des Vorderrades und damit zu weit nach vorn verlegt war. Bei dem geringsten Widerstand sowie besonders beim Bergabfahren hatte das Hochrad stets die Neigung, nach vorn überzuschlagen und den Fahrer einem Kopfsturze auszusetzen. Infolge dieser Mängel griff man zunächst wieder auf das *Dreirad* zurück. Zuerst dreispurig, mit kleinem Steuerungsrade vorn und mit Triebrädern von 36 Zoll (Fig. 878), ermöglichte es zwar ein nicht so schnelles, jedoch bedeutend sichereres Fahren als mit dem Hochrade. Das Tretwerk dieser Maschine wurde namentlich durch den Engländer James Starley bedeutend verbessert; insbesondere erfand er das sogenannte *Differentialgetriebe*, einen an der Triebachse angebrachten Mechanismus, der bei der Kurvenfahrt die verschiedene Geschwindigkeit der Räder ausgleicht. Auch wurde das Dreirad mit zwei hintereinander angebrachten Sitzen als *Tandem* gebaut. Eine weitere Abart waren die Dreiräder der englischen Rudge Cycle Company in Coventry, die ein großes Triebrad auf einer Seite und zwei kleinere Lauf- bzw. Steuerräder auf der anderen Seite hatten. Es waren dies die ersten zweispurigen Dreiräder. Wieder eine andere Bauart hatte zwei Triebräder vorn, die, starr miteinander verbunden, beim Steuern gedreht wurden, während der Fahrer auf einem zum rückwärtigen, kleineren Laufrade führenden Rücken seinen Sitz hatte. Zu Anfang der 1880er Jahre wurde das drehbare Vorderrad wieder stark vergrößert, und nach Erfindung der Pneumatikreifen entstand das Dreirad mit den drei gleichgroßen Rädern von 71—75 cm Durchmesser.

Fig. 878. Dreirad.

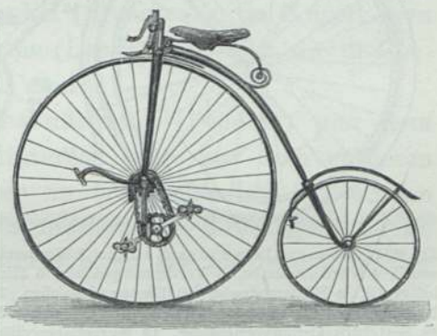


Fig. 879. Cangaroo.

Durch die Anwendung des indirekten Antriebes mittels der Transmissionskette, die man fast ohne Ausnahme beim Dreirade gebrauchte, wurde nun die Anregung gegeben, auch Zweiräder nach diesem Prinzip zu bauen. Das Vorderrad des Hochrades, dessen Achse man rechts und links durch Ketten mit einem weit tiefer liegenden Kurbelmechanismus verband, wurde stark

verkleinert, das Hinterrad gleichzeitig beträchtlich vergrößert. Dadurch war der Sitz nicht mehr so sehr nach vorn geschoben, außerdem auch niedriger, daher im ganzen weniger gefährlich. Die so entstandene Maschine, das sogenannte *Cangaroo*-Modell (Fig. 879), fand unter dem Namen des *Sicherheits-Bicycle* wieder mehr Anklang. Durch den Transmissionsmechanismus war hier schon das Verhältnis von Kurbelumdrehungen zu Radumdrehungen auf 1 : 1½ gebracht. Man trachtete nun, die Kettenübertragung noch zu vereinfachen und zugleich die Last des Fahrers in einer Weise zu verteilen, die jede Überlastung des vorderen Teiles der Maschine und damit jede Möglichkeit des Vornüberschlagens ausschloß. Man verließ daher die Bauart des Hochrades vollständig, führte einen veränderten Rahmenbau ein und ließ die Transmission auf das Hinterrad wirken. Das neue Modell, das *Sicherheitsniederrad*, bewies bald eine vollständige Überlegenheit über alle bisherigen Konstruktionen. Bemerkenswert war neben der erheblich höheren Übersetzung seine leichte Lenkbarkeit, da das Vorderrad eine wesentliche Belastung nicht mehr zu tragen hatte. Seine geringe Höhe, die praktische Anordnung des Sitzes und der bequeme Auf- und Abstieg waren seine weiteren Vorzüge. So war das neue Modell des *Kreuzrahmen-Rovers* (Fig. 880) seiner äußeren Form nach merkwürdigerweise zu den alten Modellen von Drais und Michaux zurückgekehrt. In der Mitte der 1880er Jahre zum ersten Male in Gebrauch gekommen, verbreitete es sich bald ganz allgemein, und das Fahrrad fand nun neben der früheren alleinigen Benutzung als Sportmittel auch allgemeinere Verwendung als Verkehrsmittel. Aus dem Kreuzrahmen-Rover entwickelte sich allmählich das stabile und ästhetisch schöne Humber-Modell mit wagerechtem oberen Rohr (Fig. 881).

Fig. 880. Kreuzrahmen-Rover mit Vollreifen.

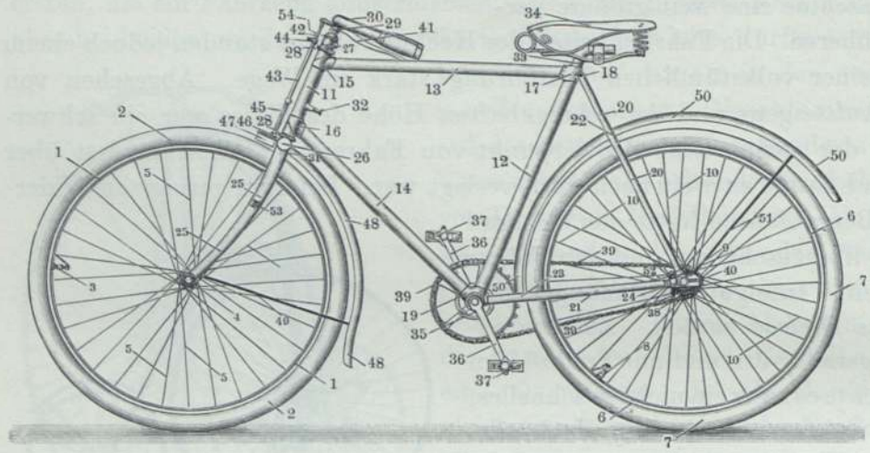


Fig. 881. Nomenklatur des Rades: 1 Vorderradfelge, 2 Vorderradgummireifen, 3 Vorderradluftventil, 4 Vorderradnabe, 5 Vorderradspeichen, 6 Hinterradfelge, 7 Hinterradgummireifen, 8 Hinterradluftventil, 9 Hinterradnabe, 10 Hinterradspeichen, 11 Steuerrahmenrohr, 12 Sattelstützrohr, 13 oberes Rahmenrohr, 14 unteres Rahmenrohr, 15 obere Muffe, 16 untere Muffe, 17 Sattelstützrohrmuffe, 18 Sattelstützklemmvorrichtung, 19 Kurbellagergehäuse, 20 obere Hinterradstreben, 21 untere Hinterradstreben, 22 oberer Steg, 23 unterer Steg, 24 Hinterradgabelendenmuffe, 25 Gabelscheiden, 26 Gabelkopf, 27 Steuerkopf, 28 Steuerungslager, 29 Lenkstangenschaft, 30 Lenkstange, 31 Schutzblechaugen, 32 Verschlußstift, 33 Sattelstütze, 34 Sattel, 35 großes Kettenrad, 36 Kurbeln, 37 Pedale, 38 kleines Kettenrad, 39 Blockkette, 40 Kettenspannschraube, 41 Bremshebel, 42 Bremsstange, 43 Bremsrohr, 44 Kuppelungsmuffe, 45 Bremsspiralfeder, 46 Führungsauge, 47 Gummibremse, 48 Vorderradschutzblech, 49 Vorderradschutzblechstreben, 50 Hinterradschutzblech, 51 Hinterradschutzblechstreben, 52 Auftritt, 53 Fußruhen, 54 Lampenhalter.

Auch auf dem Gebiete der Reifen erfolgte noch eine gewaltige Umwälzung. Der alte Vollreifen wurde durch eine amerikanische Erfindung, den Kissenreifen, verdrängt. Dieser zeigte ebenfalls kreisrunden Querschnitt mit größerem Durchmesser als der massive Vollreifen (bis 1¼ Zoll = 32 mm), hatte aber einen luftgefüllten Hohlraum von 8—10 mm Durchmesser. Den hervorragenden Platz, den das Fahrrad heute unter den Verkehrsmitteln einnimmt, sicherte ihm die Erfindung des *Pneumatiks* oder *Luftreifens* durch den schottischen Tierarzt Dunlop.

Neuere Verbesserungen des Niederrades sind noch die Konstruktionen des Freilaufes, der veränderlichen Übersetzung und der kettenlosen Übertragung. Den Fortschritten der modernen Technik entsprechend versuchte man schließlich, sich zur Fortbewegung des Fahrrades eines Motors zu bedienen; das damit entstandene Motorrad ist S. 374ff. besprochen.

Je nach Art und Zahl der Räder unterscheidet man *Hochrad* und *Niederrad*, *Zweirad* (Bicycle) und *Dreirad* (Tricycle). In der Regel bezeichnet man heute kurzweg mit „Fahrrad" das zweirädrige Niederrad mit zwei gleichhohen Rädern von meist 71 cm Durchmesser. Im folgenden soll daher auch, entsprechend seiner Bedeutung, das Niederrad vor allem eingehend behandelt werden.

II. Einzelheiten des Zweirades.

Jedes Fahrrad setzt sich der Hauptsache nach zusammen aus den Rädern, dem Rahmen oder Gestell, der Lenk- oder Steuervorrichtung und dem Getriebe oder Triebwerk.

Das *Prinzip der Fortbewegung* beruht auf der Übertragung der beim Treten ausgeübten mechanischen Kraft des Radfahrers auf die beiden Räder, die ihrerseits auf ihren Achsen das Gestell mit dem Fahrer zu tragen haben. Die Füße des Radfahrers treten auf die Pedale und bringen die beiden Kurbeln in drehende Bewegung; auf deren Achse ist ein Zahnrad gesetzt, das die Bewegung mittels einer endlosen Kette auf ein kleineres Zahnrad auf der Hinterradnabe überträgt. Hierdurch wird das *Hinterrad* in Drehung versetzt und die Fortbewegung des Fahrrades bewirkt.

Das *Vorderrad* hat den Zweck, das Gestell des Fahrrades tragen zu helfen und die Lenkung zu vermitteln. Durch Verlegung des Antriebes auf das Hinterrad wurde eine freiere Beweglichkeit des Fahrrades erzielt.

Das *Gestell* des Fahrrades besteht aus einem System von Rohren, die mittels Muffen verbunden sind. Die vordere und die hintere Gabel dienen zur Aufnahme der beiden Räder, während der eigentliche Rahmen die Verbindung der Räder herstellt und gleichzeitig zur Aufnahme des Sitzes und des Lagers für die Tretkurbelachse eingerichtet ist; auch gestattet er die Anbringung von Glocke, Laterne usw.

Um das Vorderrad zum Zwecke des *Lenkens* leicht um eine vertikale Achse drehen zu können, ist dessen Gabel mittels der Gabelkrone (Gabelkopf) mit einem Rohr (Gabelrohr) als Drehachse verbunden; dieses Gabelrohr ist in dem vorderen Gestellschenkel (Steuerrohr) in Kugellagern drehbar und nimmt mittels eines T-Stückes oben zwei Lenkarme (Lenkstange) auf, die des bequemen Haltens wegen gebogen und mit Handgriffen versehen sind.

Das *Triebwerk* besteht aus den Tretkurbeln mit den Fußtritten (Pedalen) und dem Mechanismus zur Übertragung der Drehbewegung auf das Hinterrad, also aus dem größeren und kleineren Kettenrade mit der Kette oder, bei der später zu besprechenden kettenlosen Übertragung, aus je zwei im Eingriff stehenden konischen Zahnrädern am Trittlager und an der Hinterradnabe. In der folgenden Aufstellung sind alle Einzelheiten des Fahrrades an der Hand der Fig. 881 bezeichnet und gleichzeitig so in Gruppen zusammengefaßt, wie sie nachher besprochen werden:

Vorder- oder Steuerrad. Die Vorderradfelge 1 von entsprechender Form zur Aufnahme des Gummireifens 2; das Vorderradluftventil 3, das durch die Felge 1 zum Luftschlauch innerhalb des Gummireifens 2 führt; die Vorderradnabe 4, die durch Speichen 5 mit der Felge 1 verbunden ist.

Hinter- oder Treibrad. Die Hinterradfelge 6, der Gummireifen 7, das Luftventil 8, die Hinterradnabe 9 und die Speichen 10 in der gleichen Anordnung wie beim Vorderrade.

Rahmen oder Gestell. Das Steuerrahmenrohr 11 mit dem in seinem Innern liegenden Gabelrohr, mit der oberen Muffe 15 zur Verbindung mit dem oberen Rahmenrohr 13 und der unteren Muffe 16 zur Verbindung mit dem unteren Rahmenrohr 14; das Sattelstützrohr 12 mit der Sattelstützrohrmuffe 17 zur Aufnahme der Sattelstütze 33 und des Sattels 34; die Sattelstützklemmvorrichtung 18 am oberen Ende der beiden oberen Hinterradstreben 20; das Kurbellagergehäuse 19 mit den Anschlüssen für das untere Rahmenrohr 14 und das Sattelstützrohr 12; der Steg 22 an den beiden oberen Hinterradstreben 20 und der Steg 23 an den beiden unteren Hinterradstreben 21; die Hinterrad-Gabelendenmuffen 24 mit Vorrichtung zur Kettenspannung und mit Augen für die Hinterrad-Schutzblechstreben.

Lenk- oder Steuervorrichtung. Die Gabelscheiden 25, durch den Gabelkopf 26 mit dem im Innern des Steuerrohres 11 liegenden Gabelrohr verbunden; der Steuerkopf 27 mit Schrauben-Klemmvorrichtung für den Lenkstangenschaft 29 mit der Lenkstange 30; das obere und untere Steuerungslager 28, ausgebildet als Kugellager, für die Drehung des Gabelrohres; Schutzblechaugen 31 zum Befestigen des Vorderradschutzbleches 48; federnder Verschlußstift 32 zum Feststellen des Vorderrades oder der Steuervorrichtung.

Getriebe oder Triebwerk. Das große Ketten- oder Kurbelrad 35; die rechte und die linke Kurbel 36 mit je einem Pedal 37; das kleine auswechselbare Kettenrad 38 auf der Hinterradnabe 9; die über die beiden Kettenräder 35 und 38 laufende Blockkette 39, und die Kettenspannschraube 40.

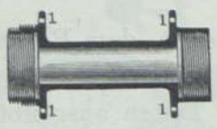


Fig. 882. Radnabe.

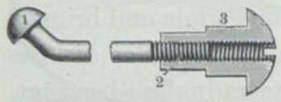


Fig. 883. Speiche mit Nippel.

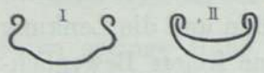


Fig. 884 Felgen.

Bremsvorrichtung. Der Bremshebel 41 und seine Verbindung mit der Lenkstange 30; die Bremsstange 42 und ihre Verbindung mit dem Bremshebel 41; das Bremsrohr 43, das mit der Bremsstange 42 durch die Kuppelungsmuffe 44 gekuppelt ist; die Bremsspiralfeder 45, die sich gegen das Bremsstangen-Führungsauge 46 legt, und die Gummibremse 47.

Sonstige Vorrichtungen. Das Vorderradschutzblech 48 und die dasselbe stützenden Schutzblechstreben 49, in gleicher Weise für das Hinterrad das Schutzblech 50 und die Streben 51; der Auftritt 52 an der unteren Hinterradgabel; Fußruhen 53 rechts und links an den vorderen Gabelscheiden 25 und der Lampenhalter 54 am Steuerkopf 27.

1. Die Räder.

Vorderrad und Hinterrad des Zweirades sind im wesentlichen einander gleich und haben fast allgemein einen Durchmesser von 71 cm; bei Damenrädern beträgt er häufig, bei Motorrädern stets 65 cm. Aus der Zeit der Allein- und Vorherrschaft des (meist 50—56zölligen) englischen Hochrades hat sich die Unsitte erhalten, auch beim heutigen Niederrade die Länge des Durchmessers in Zollen auszudrücken (71 cm = 28 Zoll, 65 cm = 26 Zoll). Die Räder bestehen aus der Nabe mit der Achse, den Speichen und dem Radkranz (der Felge) mit dem Gummireifen.

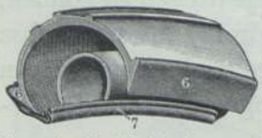


Fig. 885. Preßluftreifen nach dem System Continental.

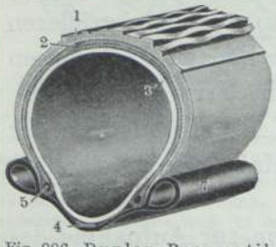


Fig. 886. Dunlop-Pneumatik mit Drahtreifen, auf Stahlfelge.

Die *Nabe* (Fig. 882) ist ein Hohlzylinder, der sich um eine feste Stahlachse in Kugellagern dreht, wobei die Achsenenden mittels der Achsenmuttern in der vorderen bzw. hinteren Gabelscheide gehalten werden. Bei dem Hinterrade vertritt der in Fig. 881 mit 52 bezeichnete Auftritt die Stelle der linken Achsenmutter. Die Kugellager (vgl. S. 369), welche die Reibungsarbeit und dadurch den Kraftaufwand zur Umdrehung erheblich vermindern, auch die Abnutzung wesentlich verringern, sind sehr verschieden angeordnet, beruhen aber fast alle auf dem Prinzip, daß die Kugeln zwischen nachstellbaren Kegelflächen rollen. Zu diesem Zweck sind in die Naben sogenannte Konen eingesetzt oder eingedreht, die mit Konen auf der Radachse korrespondieren. Vgl. hierzu Fig. 892. Die Nabe hat außerdem zwei herumlaufende Flanschen mit Löchern 1 (Fig. 882) zum Einhängen der Speichen, deren anderes Ende am Radkranze befestigt wird. Alle Teile des Lagers sind aus Stahl gefertigt, um die Abnutzung so gering wie möglich zu halten.

Die *Speichen* aus meist vernickeltem Stahldraht wurden früher in die Nabe eingeschraubt *(Radialspeichen)*, jetzt allgemein in tangentialer Anordnung in die Nabenspeichenlöcher eingehängt *(Tangentialspeichen)* und am Radkranze befestigt. Dadurch wird die Radnabe mit dem auf ihr lastenden Gewicht gewissermaßen durch die jeweilig oben befindlichen Speichen am Radkranze aufgehängt und demnach der dünne Speichenstahl auf Zug, anstatt wie bei den radialen Speichen auf Druck oder Biegung, beansprucht. Der zu Speichen verwendete Stahl wird

auf Richtmaschinen geradegerichtet, dann in bestimmten Längen abgeschnitten und an einem Ende mit einem angestauchten Kopf 1 (Fig. 883) zum Einhängen in die Löcher der Nabenflansche versehen. Das andere Ende erhält ein Schraubengewinde 2, um mittels einer langschaftigen Mutter, einem sogen. *Nippel* 3, am Radkranze befestigt zu werden. Diese kleinen, aus einem Kopf und einem Schaft bestehenden Nippel 3 werden aus Messing-, seltener Stahldraht angefertigt; der Schaft erhält eine Bohrung mit Muttergewinde und zwei oder vier einander gegenüberliegende Flächen, um an diesen mittels eines Schlüssels zum Spannen der Speichen gefaßt werden zu können. Die Zahl der Speichen beträgt gewöhnlich 36 für jedes Rad.

Die *Felge* bildet die feste Einfassung des Rades und erhält eine gewölbte Querschnittsform je nach der Art des darauf zu befestigenden Reifens. Sie besteht aus gebogenem Eschen-, Eichen-, Buchen- oder Hickoryholz oder, häufiger, aus Stahlblech oder Aluminium, und zwar entweder aus einem einfachen, stärkeren, gewalzten Blech (I in Fig. 884) oder, wo Leichtigkeit mit höherer Tragfähigkeit verbunden werden soll, aus zwei leichteren Blechstreifen mit hohlem Zwischenraum (*doppelthohle Felge;* II in Fig. 884).

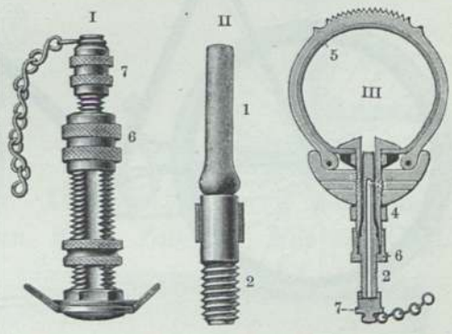


Fig. 887. Dunlopventil.

Als *Bereifung* hat der *Pneumatik* (Preßluftreifen) seine Vorgänger, den Vollgummireifen und den Kissenreifen sowie die späteren Wespennest- und andere antipneumatische Systeme, völlig verdrängt. In Amerika ist das sogenannte Einkammersystem in Anwendung, wobei ein Schlauchreifen, der zugleich als Luftbehälter und Laufgummi dient, in die Felge eingekittet ist. Er ist sehr leicht im Gewicht, aber schwer zu reparieren und nur für die Rennbahn geeignet. In Europa verwendet man die Doppelschlauchreifen (Zweikammersystem). Man unterscheidet hierbei den in sich geschlossenen, inneren *Luftschlauch*, der die Luftkammer darstellt und den zur Einkleidung und zum Schutz des Luftschlauches dienenden *Laufmantel*. Der letztere besteht aus vulkanisiertem Gummi und hat innen eine mehrfache, wenig nachgiebige Gewebeschicht, um der Ausdehnung des Luftschlauches Schranken zu setzen und eindringenden Nägeln und Glasscherben Widerstand zu bieten. Die äußere Gummilage ist in der Lauffläche zum Schutze gegen spitze Fremdkörper bedeutend verstärkt und besitzt noch zur Verhinderung des Ausgleitens meist Längsriefen von verschiedener Form. Von den zahlreichen in den Handel gebrachten Laufmänteln zeigen die Figuren 885 und 886 das System Continental bzw. Dunlop. Bei ersterem wird der Mantel durch einen Wulst 6, bei letzterem durch einen eingelegten Drahtreifen 5 in der Felge festgehalten. Die einzelnen Teile des Pneumatiks sind, den Zahlen in Fig. 885 und 886 entsprechend, die folgenden: 1 Mantel, 2 Mantelgewebe, 3 Luftschlauch, 4 Schutzband über den Speichenköpfen, 5 Drahteinlage, 6 Wulst, 7 Felge. Das Schutzband 4 ist bei dem Continental-Pneumatik überflüssig, da hier die Form der Felge zwischen ihrem Boden und den Ansätzen des Reifens einen Hohlraum läßt. Der Luftschlauch 3 besteht aus feinem Paragummi; er preßt beim Aufpumpen (auf etwa 2 Atmosphären Überdruck) die Wülste des Reifens in die entsprechenden Vorsprünge (Ohren) der Felge und bildet so eine automatische Befestigung. Die Füllung des Schlauches geschieht mittels kleiner Hand- oder Fußpumpen durch ein Ventil, das sich nach jedem Pumpenstoß automatisch wieder abdichtet. Die bekanntesten Ventile sind das *Dunlopventil* (Fig. 887) und das *Rückschlagventil* (Fig. 888). In Fig. 887 ist I die Außenansicht, II der Verschlußkörper mit Gummischlauch, III das Ventil montiert in einem Dunlop-Pneumatik auf Holzfelge. Der Gummischlauch 1 ist auf einem dünnen, bei 3 seitlich ausgebohrtem Metallrohr 2 befestigt und dieses wieder in ein weiteres, kurzes Rohr 4 luftdicht eingeschraubt, das mit dem Luftreifen 5 kommunizierend verbunden ist. Der Schlauch hebt sich vom Rohre ab, wenn Luft eingepreßt wird, läßt sie aber

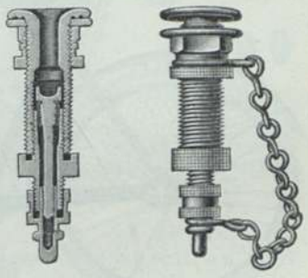


Fig. 888. Rückschlagventil.

nicht zurück entweichen. Dieses Ventil ist einfach in Konstruktion und Handhabung, hat aber den Übelstand, daß man den großen Widerstand zu überwinden hat, den der innere Luftdruck beim Aufpumpen bietet. Besser erscheint in dieser Beziehung das Rückschlagventil (Fig. 888). Für das Demontieren eines Pneumatikreifens löst man die Ventilschraube 6 (Fig. 887), zieht den Ventilkegel heraus und läßt die im Reifen vorhandene Luft ausströmen. Der nunmehr schlaff gewordene Reifen läßt sich leicht samt dem Luftschlauch aus der Felge nehmen. Beim Montieren schiebt man den einen Wulst des Mantels samt dem Luftschlauch in die Felge und steckt zugleich das Ventil durch das entsprechende Loch des Radkranzes. Man legt dann den zweiten Wulst des Mantels in die Felge, ersetzt die Ventilkapsel 7 (Fig. 887) durch die anzuschraubende Pumpe und pumpt allmählich auf.

Fig. 889. Columbia-Fahrrad mit doppelter Übersetzung.

2. Der Rahmen.

Der Rahmen des Zweirades hat jetzt einheitlich *Diamantform*, d. h. er ist ein Fünfeck, gebildet aus der Vereinigung eines Vierecks als Vorderführung und eines Dreiecks als Hinterführung (Fig. 889). Die Rohre sind nahtlose, kalt gezogene Stahlrohre und haben kreis-, ellipsen- oder ⌓-förmigen Querschnitt. An den Anschlußstellen sind sie durch gepreßte oder aus Blech geformte Anschlußstücke (Muffen), die bei besseren Marken innen liegen *(Innenlötung)*, mittels Hartlötung verbunden. Teilweise hat man statt der nahtlos gezogenen Rohre auch die sogenannten *Helikalrohre* verwendet, die aus Stahlstreifen schraubenförmig gewunden und verlötet sind. Der Rahmen trägt in seinem Stützrohr 12 (Fig. 881) die Sattelstütze, in seinem Steuerrohr 11 das Gabelrohr und den Lenkstangenschaft und am Verbindungspunkt von Stützrohr und unterem Rahmenrohr 14 das Lager für die Tretkurbel. Das obere, wagerechte Rahmenrohr 13 verbindet Stützrohr und Steuerrohr. — Beim *Damenrad* (Fig. 890) ist das obere Rahmenrohr nahe an das untere herangerückt, und beide sind mehr oder weniger stark geschweift.

Fig. 890. Gritzners kettenloses Damenrad.

Die *Gabeln*, die den Rahmen auf der Achse der Räder stützen, sind unter sich verschieden. Die vordere 25 (Fig. 881) ist mittels der Gabelkrone (Gabelkopf) 26 mit dem Gabelrohr, als Drehachse beim Lenken, verbunden. Die Gabelkrone besitzt zur Aufnahme der oval geformten Gabeln entweder (I in Fig. 891) zwei durch einen Steg verbundene Platten oder (II) zwei oben geschlossene ovale Kammern 1, 1. Die beiden Gabelscheiden, zwischen denen das Vorderrad läuft, werden, verlötet oder durch Schrauben befestigt, am oberen Ende von dem Gabelkopf getragen und sind unten durchlocht zur Aufnahme der Achse des Vorderrades, die beiderseitig durch Muttern festgestellt wird. Die Gabel des hinteren Rades setzt sich aus vier schwächeren Stahlrohren zusammen, nämlich den oberen (20 in Fig. 881) und den unteren (21) Hinterradstreben. Sie sind, paarweise unter

sich, im allgemeinen mit Stegen (22 und 23) zusammenhängend, seltener ohne feste Verbindung und verspreizen sich vom oberen bzw. unteren Ende des Stützrohres nach rückwärts, um, durchlocht oder auch geschlitzt, das Lager für die durch Muttern festzustellende Hinterradachse zu bilden.

3. Die Lenkungsvorrichtung.

Die Steuerung oder Lenkung des Rades durch Drehung der Lenkstange 30 (Fig. 881) wird, wie schon vorher besprochen, auf das Vorderrad übertragen durch Verbindung von Vorderradgabel und Gabelrohr mittels des Gabelkopfes. Das Gabelrohr ist in einem oberen und einem unteren Kugellager 28 in dem Steuerrohr des Rahmens drehbar gelagert; an seinem oberen, aus dem Steuerrohr herausragenden Ende ist es geschlitzt und nimmt hier den *Lenkstangenschaft* 29 mit der *Lenkstange* 30 auf. Die Höhenlage dieser kann beliebig verstellt und durch eine Schraubenklemmvorrichtung festgestellt werden. Der Lenkstangenschaft ist, ebenso wie die mit ihm verlötete Lenkstange, ein Stahlrohr. Die Lenkstange ist mannigfach gebogen und trägt an den Enden *Handgriffe* aus Holz, Horn, Kork, Zelluloid, Filz od. dergl.

Fig. 891. Gabelkronen.

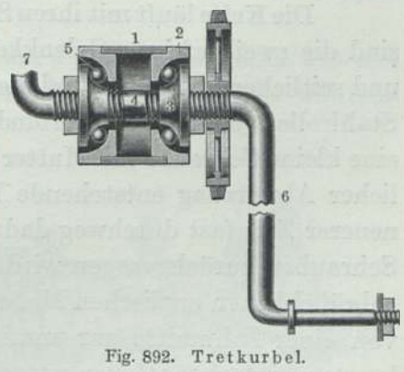


Fig. 892. Tretkurbel.

4. Das Getriebe.

Der Antrieb des Zweirades erfolgt durch Treten des Fahrers auf die Pedale, die an den Enden der Tretkurbeln sitzen; durch Drehung der letzteren wird das große Kettenrad auf der Tretkurbelachse und mittels Kettentriebes das kleine Kettenrad auf der Hinterradnabe und so das ganze Fahrrad bewegt. Die *Achse* der Tretkurbeln läuft dabei, wie alle beweglichen Teile des Fahrrades, in einem *Kugellager* (Fig. 892), wodurch man aus den bereits früher angeführten Gründen die gleitende Reibung eines Zapfenlagers durch die wesentlich günstigere Wirkung der rollenden Reibung ersetzt. Die Stahlkugeln 5 laufen dabei zwischen zwei kegelförmigen Flächen, von denen die eine der in das Gehäuse 1 eingesetzten Lagerschale 2, die andere dem sogenannten Konus 3 angehört, der auf die Achse 4 aufgeschraubt ist. Der Konus ermöglicht die Nachstellbarkeit des Lagers; er bewegt sich beim Treten über die Kugeln hin, während letztere mit etwa halb so großer Geschwindigkeit auf der Lagerschale rollen. Die *Tretkurbeln* 6, 7 sind entweder mit der Kurbelachse durch Keile mit Sicherheitsschrauben verbunden oder aber, wie in Fig. 892, um das Lockern dieser Teile zu verhüten, mit der Achse aus einem Stück durch Schmieden und Abdrehen erzeugt. Eine andere Befestigungsart der Kurbel ist das Aufpressen auf einen Vierkantansatz, oder es werden die rechtwinklig umgebogenen Tretkurbelenden mit Rechts- und Linksgewinde in einer gemeinsamen, die Achse ersetzenden Hülse verschraubt. Das große Kettenrad sitzt hierbei auf einer glockenartigen Schale (Fig. 893), die gleichzeitig Kurbel ist *(Glockenkurbel)*.

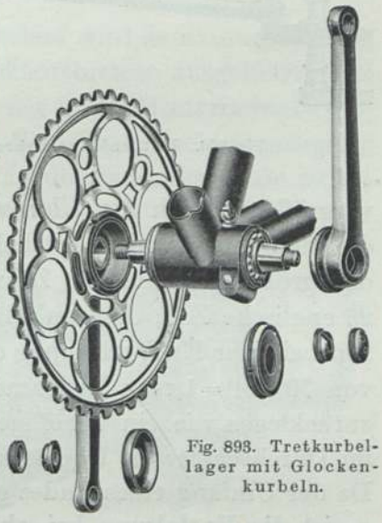


Fig. 893. Tretkurbellager mit Glockenkurbeln.

Fig. 894. Blockkettenglied.

Fig. 895. Rollenkettenglied.

Die **Pedale** bestehen in der Grundform aus einem Rahmen, dessen mittlerer Teil, als Nabe ausgebildet, in Kugellagern, ähnlich Fig. 892, um die Pedalachse drehbar gelagert ist. Die beiden äußeren, mit der Pedalachse parallellaufenden Teile haben bei Tourenrädern eine Gummi- oder Filzhülse übergestülpt, um dem Fuß einen festen und doch elastischen Halt zu geben. Bei Rennrädern pflegen diese Seitenteile aus leichten Metallstücken mit glattem oder gezacktem Rande zu bestehen. Die *Pedalachsen* werden gewöhnlich mit den Tretkurbeln verschraubt.

Der Mechanismus zur Übertragung der Kurbelbewegung auf das Rad besteht aus Kettenrädern mit Ketten oder aus Kegelzahnrädern. Durch die Zähnezahl der *Kettenräder* wird die Übersetzung bestimmt. Das große Kettenrad ist hinter der rechten Tretkurbel, an den Konus anschließend, aufgekeilt oder aufgeschraubt oder sitzt, wie bei der Glockenkurbel (Fig. 893), auf einer glockenartigen Schale. Das kleine Kettenrad ist rechtsseitig auf die Nabe des Hinterrades aufgeschraubt.

Die **Kette** läuft mit ihren Stahlgelenken über die Zähne der Kettenräder. Am gebräuchlichsten sind die zweilaschigen Gelenkketten: die *Blockkette* (Fig. 894) mit einem gehärteten Mittelstück 1 und seitlichen Laschen 2, und die *Rollenkette* (Fig. 895) mit den Doppellaschen 2 und einer gehärteten Stahlrolle 3 über jedem Verbindungsbolzen 1, um das Auf- und Abwickeln zu erleichtern. Durch eine kleine Schraube mit Mutter werden die beiden Enden der Kette verbunden; die infolge allmählicher Abnutzung entstehende Dehnung wird durch Spannen ausgeglichen. Letzteres erfolgt in neuerer Zeit fast durchweg dadurch, daß die in Schlitzen gelagerte Achse des Hinterrades durch Schrauben zurückgezogen wird. Die Kettenräder sowie die Ketten besitzen nach den immer noch gebräuchlichen englischen Maßen ganzzöllige oder ½- bzw. $^5/_8$ zöllige Teilung, das ist der Abstand von einer Zahnmitte zur unmittelbar darauffolgenden. Die heute wieder zur Vorherrschaft gelangten einfachen Rollenketten sind auf ½- oder $^5/_8$ zöllige Teilung gearbeitet. Den Abstand der Kettenmitte von der Rahmenmitte nennt man *Kettenlinienmaß;* er soll so gering als möglich gehalten werden, damit der Zug der Kette so nahe wie möglich in die Mitte des Radsystems fällt.

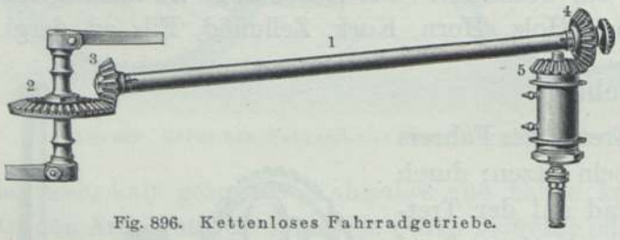


Fig. 896. Kettenloses Fahrradgetriebe.

Mit *Entfaltung* bezeichnet man den bei einer Pedalumdrehung zurückgelegten Weg; dieser war beim Hochrad gleich dem Radumfang, wird aber beim Niederrad bedeutend vergrößert durch die *Übersetzung*, d. h. diejenige Zahl, nach englischem Maße ausgedrückt, die den einer vollen Kurbeldrehung entsprechenden Raddurchmesser bezeichnet. Hat z. B. das große Kettenrad 20 Zähne, das kleine 8 Zähne, und ist der Raddurchmesser, wie üblich, 28 englische Zoll, dann erhält man eine Übersetzung: $\frac{20}{8} \times 28 = 70$ engl. Zoll, d. h. das Fahrrad legt bei einer Kurbeldrehung denselben Weg zurück, als wirkten die Kurbeln direkt auf ein Rad von 70 Zoll = 1,78 m Durchmesser, oder: die Maschine würde in der Zeiteinheit denselben Weg zurücklegen wie ein 70zölliges Hochrad, das es in der Praxis natürlich nicht gibt. Man wählt im Durchschnitt als Übersetzung für ein Damenrad 65—75 Zoll, für das Herrenrad 70—80 Zoll. Da der Umfang eines Rades gleich ist seinem Durchmesser multipliziert mit der Zahl π (3,1415), so ist die Entfaltung bei obigem Beispiel: $\frac{20}{8} \times 28 \times \pi = 220$ Zoll, das sind 5,59 m als zurückgelegte Strecke bei einmaliger Kurbeldrehung. Daraus ergibt sich, daß je höher die Übersetzung, desto größer auch der mit einer Drehung zurückgelegte Weg ist, allerdings auch desto größer der Kraftverbrauch für die Fortbewegung.

Kettenloses Rad. Bei diesem ist der Kettenantrieb ersetzt durch ein System von Kegelzahnrädern und Wellen, die eingebaut und dadurch vor Schmutz geschützt sind (s. Fig. 890). Trotz ihres etwas größeren Gewichtes und etwas starreren Trittes haben die kettenlosen Räder einige Vorzüge, hauptsächlich die Unempfindlichkeit des stets geschützt in Fett laufenden Getriebes gegenüber Schmutz, Regen und Staub; ferner dessen äußerst geringe Abnutzung bei schärfster Beanspruchung, da die Zähne außen glashart, innen aber (gegen Bruch) weich sind. Das Getriebe besteht aus je zwei im Eingriff stehenden konischen Zahnrädern (Fig. 896) am Tretkurbellager (2 und 3) und an der Hinterradnabe (4 und 5), die durch eine in Kugellagern laufende Welle 1 miteinander verbunden sind. Das auf der Kurbelachse sitzende Hauptantriebsrad 2 ist entweder auf der Achsenmitte (wie in Fig. 896) oder rechtsseitig befestigt; im ersteren Falle erteilt es dem im Eingriff stehenden zweiten Rade 3 und dadurch der Welle 1 eine rechtsseitige, im anderen Falle eine linksseitige Drehung, und je nachdem ist von den hinteren beiden Zahnrädern das auf der

Nabe sitzende Rad 5 vor (wie in Fig. 896) oder hinter dem zweiten Zahnrade 4 der Welle gelagert. Die Welle selbst dreht sich entweder um die rechtsseitige, untere Hinterradstrebe als feste Achse oder, häufiger und praktischer, innerhalb derselben.

Die Übersetzung der kettenlosen Räder ergibt sich, wenn man die Radien der beiden Kegelräder der Achsen mit I und IV, diejenigen der Kegelräder auf der Welle mit II und III bezeichnet, für ein 28zölliges Rad zu: $28 \times \frac{I}{II} \times \frac{III}{IV}$. Sie ist gewöhnlich so gewählt, daß das Rad doppelt soviel Umdrehungen macht wie die Tretkurbelachse.

Freilauf. Eine der wichtigsten Neuerungen im Getriebe, um 1899 von England aus eingeführt und jetzt sehr verbreitet, ist der *Freilauf*. Er ermöglicht, das ganze Getriebe während der Fahrt nach Belieben und unabhängig von der Schwungkraft der weiterrollenden Maschine samt den Pedalen und den darauf ruhenden Füßen in Stillstand zu setzen und ebenso nach Belieben weiter zu treten. Bei Gefällen kann ein Mitgehen der Füße ganz unterbleiben; bei günstigem Wind in der Ebene genügt es, wenige Tritte zu machen und dann die Maschine ein größeres Stück rollen zu lassen, bis ein paar neue Tritte nötig sind. Dieses zeitweise Ausruhen der Füße auf den stillstehenden Pedalen bedeutet eine erhebliche Kraftersparnis und zugleich Annehmlichkeit. Der Freilauf wird heutzutage bei den Fahrrädern fast nur noch in gleichzeitiger Verbindung mit der Rücktrittbremse ausgeführt. Bei dem *Rotax-Freilauf* von F. Gottschalk & Co., Dresden-N. (Fig. 897), der in die Hinterradnabe eingebaut ist, ist auf der durchgehenden Achse 4 die Hülse 5 in einem Kugellager drehbar gelagert; sie trägt, an dem äußeren Ende aufgeschraubt, das Kettenrad 9, an dem anderen Ende ist sie außen mit einem steilen Gewinde versehen, mittels dessen sie den Konus 2 verschiebt. Letzterer legt sich bei einer Verschiebung nach rechts gegen den Nabenkörper 1. Wird nun das Kettenrad 9 in der Fahrtrichtung bewegt, so zieht die Hülse 5 mittels des steilen Gewindes den Konus 2 fest gegen die konische Fläche im Nabenkörper 1, und die Nabe wird mitgenommen. Bei leichtem Zurückhalten der Pedale dagegen wird der Konus 2 gelöst, und die Nabe bewegt sich frei weiter, während das Kettenrad stillsteht. Da bei dem einfachen Freilauf (s. Fig. 902) das Gegentreten zum Zwecke der Hemmung, wie es bei dem gewöhnlichen Betriebe ausgeführt wird, ausgeschlossen ist, so müssen die damit ausgerüsteten Maschinen ganz besonders wirksame Bremsen haben. Dem genannten Übelstande des einfachen Freilaufes, der besonders bei starkem Gefälle gefährlich werden könnte, begegnet man durch Verbindung des Freilaufs mit der *Rücktrittbremse*. Ihre Ausführung als Nabeninnenbremse ist gleichfalls in Fig. 897 dargestellt. Die Hülse 5 ist für diesen Zweck mit einem steilen Innengewinde versehen, mittels dessen sie auf dem Bremskonus 8 sitzt. Letzterer bewegt sich lose auf der Achse 4, während ein zweiter Bremskonus 3 auf der anderen Achsenseite fest mit der Achse verbunden ist. Von diesem und dem Konus 8 werden die Bremsbacken 6 getragen. In die Ausbohrung des Konus 3 ist eine durch eine Feder nach außen gedrückte Hemmung 7 eingeschoben, deren Nasen in Schlitze des Konus 8 eingreifen. Werden nun beim Treten die Pedale nicht nur, wie vorher, leicht angehalten, sondern etwas rückwärts bewegt, so nähert sich mittels des steilen Gewindes zwischen der Hülse 5 und dem achsenartigen Teil des Konus 8 dieser dem auf der Achse festsitzenden Konus 3, wodurch die Bremsbacken 6 nach außen gegen die Innenwand des Nabenkörpers 1 gepreßt werden. Am vorderen

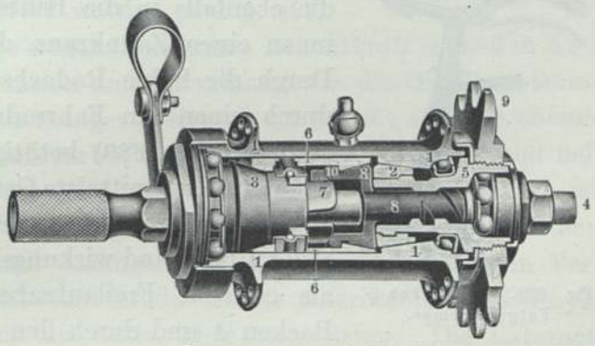


Fig. 897. Rotax-Freilauf.

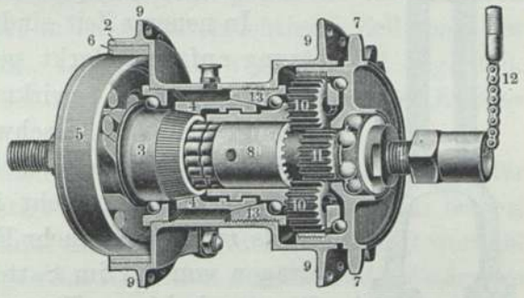


Fig. 898. Doppelübersetzungs-Freilaufnabe Eadie.

Ende trägt der Konus 8 einen überstehenden Rand 10, der in einer Ausdrehung der Backen 6 liegt und beim Übergang von der Rück- in die Vorwärtsbewegung zwangläufig durch Zurückziehen der Backen 6 die Bremswirkung aufhebt.

Doppelte Übersetzung. Während der Freilauf eine Kraftersparnis durch Ausruhen an geeigneten Stellen bezweckt, will man durch die auswechselbare *doppelte Übersetzung* die Kraftentfaltung dem Terrain anpassen, d. h. durch Ändern der Übersetzung während der Fahrt in der Ebene eine größere, beim Bergfahren eine kleinere Wegstrecke bei jeder Kurbeldrehung zurücklegen. In den *Doppelübersetzungs-Freilaufnaben* ist der genannte Zweck mit dem des Freilaufs vorteilhaft verbunden; Fig. 898 zeigt die Konstruktion der *Eadie-Freilaufnabe*, die ebenfalls in die Hinterradnabe eingebaut ist. Das Kettenrad 7 trägt innen einen Zahnkranz, der mit den Planetenrädern 10 in Eingriff steht. Durch die hohle Radachse 1 geht ein leichter Ketten- und Seilzug 12, der durch einen am Fahrradrahmen unterhalb der Lenkstange angebrachten Hebel (s. Fig. 889) betätigt werden kann. Der Seilzug dient dazu, während der Fahrt das mittelste Getrieberad 11 (Fig. 898) auf Achse 1 zu verschieben. Bei gespanntem Seil (in der gezeichneten Stellung) drehen sich die Planetenräder 10 frei und wirkungslos um sich selbst, und die ganze Vorrichtung wirkt als einfache Freilaufnabe, indem der Konus 3 beim Vorwärtstreten die Backen 4 und durch den mit dem Nabenkörper 9 verbundenen Teil 13 die Nabe mitnimmt. Wird dagegen die Spannung gelockert, so tritt das Planetengetriebe in Tätigkeit, indem sich die Planetenräder 10 auf dem nun nach innen verschobenen und mit der feststehenden Achsenmuffe 8 starr verbundenen, inneren Getrieberade 11 abwickeln müssen, wodurch die Umlaufszahl des Nabenkörpers (und damit des Hinterrades) gegenüber dem kleinen Kettenrade 7 um etwa 25 Proz. zurückbleibt. Die Rücktrittbremse besteht hierbei aus einer starken, ringförmigen Stahlfeder 5, die gegen die Innenseite des mit Messing 6 belegten Bremsansatzes 2 gepreßt wird.

Fig. 899. Vorderrad-Felgenbremse.

In neuerer Zeit sind von den Adlerwerken sogar Räder mit dreifacher Übersetzung auf den Markt gebracht worden, wobei die mittlere Übersetzung durch direkten Antrieb bewirkt wird. Beim Umschalten auf die kleine Übersetzung ermäßigt sich die Geschwindigkeit um 24 Proz., während sie sich beim Umschalten auf die große Übersetzung um 31 Proz. erhöht.

Der **Sattel** besteht in der Regel aus einem herzförmigen Stück Leder, das mittels zweier oder mehr Federn in elastischer Spannung erhalten wird. Er wird getragen von der im Sattelstützrohr durch eine Schraube festgeklemmten Sattelstütze (vgl. hierzu Fig. 881).

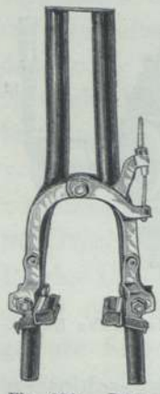


Fig. 900. Bowdens Hinterrad-Felgenbremse.

5. Ausrüstungsteile.

Bremsvorrichtung. Eine solche ist am Fahrrad sowohl zur eigenen Sicherheit des Fahrers als auch wegen polizeilicher Vorschriften notwendig. Zu verwerfen ist die sogenannte *Polizeibremse*, ein federnder Stahlstreifen, der in der Nähe des Vorder- oder Hinterrades befestigt und durch Druck mit einem vom Pedal genommenen Fuß gegen den Gummireifen betätigt wird. Die für gewöhnliche Fälle genügende *Stichbremse* besteht aus einem an der Lenkstange handlich angebrachten Hebel, durch dessen Aufwärtsziehen mit der Hand eine vor dem Steuerrohr des Rahmens oder auch innerhalb desselben laufende Stange abwärts gedrückt und dadurch ein Gummiklotz, eine Rolle oder eine Bürste gegen den Reifen gepreßt wird. Eine größere Schonung der Reifen ergibt die amerikanische *Duk Roller Brake*, die mittels zweier konischer Gummirollen die Bewegung des Rades auf Pockholzklötze überträgt und diese in sinnreicher, einfacher Weise abbremst. Sehr gut bewähren sich die *Felgenbremsen*, bei denen wiederum von einem Hebel an der Lenkstange aus mittels des Bremsgestänges gleichzeitig von zwei Seiten Gummiklötze gegen die Vorderradfelge (Fig. 899) oder

gegen die Hinterradfelge, bei den Zwillingsfelgenbremsen sogar gegen beide, gepreßt werden. Sie haben den Vorzug, von anderen Radbestandteilen unabhängig zu sein, während z. B. die Stichbremse versagen würde, wenn durch irgendeinen Umstand die Luft aus dem Pneumatik entweicht; die vorher besprochene Rücktrittbremse würde durch ein Reißen der Transmissionskette außer Tätigkeit gesetzt sein. Die *Bowden-Bremse* ist eine Felgenbremse ohne Gestänge; ihre Bedienung erfolgt mittels des Bowden-Drahtzuges, d. h. eines Stahlseiles aus feinen Litzengewinden innerhalb eines starken Spiraldrahtes. Diese Bremsen werden so ausgeführt, daß die Bremsbacken die Felge des Hinterrades entweder von unten oder seitlich angreifen (Fig. 900). Die *Nabeninnenbremsen*, die in bezug auf ihre Wirkung wohl als die vorteilhaftesten gelten können, sind bei dem vorher besprochenen Freilauf erläutert worden (s. Fig. 897).

Laternen. Von solchen ist die Azetylenlampe wegen ihrer hohen Leuchtkraft schnell in Aufnahme gekommen und funktioniert ebenso ökonomisch und zuverlässig wie die Öl-, Petroleum- und Kerzenlaterne; für kurze Fahrten ist sie jedoch weniger geeignet. Sie beruht auf dem chemischen Vorgange, daß, wenn man Wasser auf Kalziumkarbid tropfen läßt, sich das leicht und hell brennende Azetylengas entwickelt. Eine der einfachsten und zuverlässigsten Konstruktionen ist diejenige mit Schlauchleitung des Gases vom Entwickelungsgefäß zum Brenner; sie besitzt einen leicht stellbaren und auswechselbaren Brenner und durchgehende Reinigungsnadel gegen Verstopfung der Tropfröhre. Unter den Petroleumlaternen ist die leichte amerikanische X-Rays-Laterne mit indirektem Zutritt vorgewärmter Luft die beste, aber recht teuer. Die Laternen werden an der Lenkstange (54 in Fig. 881) oder an der Achse des Vorderrades aufgehängt.

Schutzbleche und **Schmutzfänger.** Gegen das Anspritzen des Straßenschmutzes durch die Räder dienen *Schutzbleche* oder die abnehmbaren *Schmutzfänger*. Erstere sind durch Schrauben mit den Gabeln des Vorder- und Hinterrades und mittels der Schutzblechstreben auch mit den Achsen verbunden (s. Fig. 881). Die abnehmbaren Schmutzfänger bestehen aus Holz, Gummistoff, Hanfgurten oder Segelleinwand und werden mittels dünner Drähte am Rahmen und über den Rädern ausgespannt. Zum Schutze der Kette bzw. Sicherung des Kleides gegen die Kette führen die Damenräder einen *Kettenkasten* aus Leder, Blech oder meistens durchsichtigem Zelluloid, der bei kettenlosen Rädern, wo das Getriebe verdeckt ist, naturgemäß wegfällt (vgl. Fig. 890). Außerdem wird bei Damenrädern das Hinterrad zum Schutze gegen das Verfangen der Kleider mit einer Verschnürung versehen (s. Fig. 890).

Zum Warnen der Fußgänger sind *Glocken* polizeilich vorgeschrieben, die entweder an der Lenkstange in unmittelbarer Nähe der Handhaben befestigt sind oder bei starkem Verkehr besser, als Läuferglocke ausgebildet, mittels Ziehens an einer Schnur durch das Vorderrad betätigt werden. Zu erwähnen sind noch die *Fußhalter* an den Pedalen gegen das Abgleiten der Füße; die *Fußruhen* an den Vordergabeln (53 in Fig. 881); der *Auftritt* an der linken Seite der Hinterradgabel, gleichzeitig als Achsenmutter dienend; die *Gepäcktragevorrichtungen*, die entweder innerhalb des Rahmenvierecks oder unter dem Sitz oder am Steuerkopf über dem Vorderrade angebracht werden, und schließlich die *Kilometerzähler (Zyklometer)* zum Messen der zurückgelegten Entfernung.

6. Leistung.

Die mit einem Niederrade zu erzielenden Leistungen sind sehr verschieden, je nach der Leistungsfähigkeit des Fahrers, nach Bodenbeschaffenheit, Windrichtung, Übersetzung der Maschine usw. 12—15 km in der Stunde dürften dem Kraftverbrauch eines normal ausschreitenden Fußgängers entsprechen, was bei größeren Touren einer Tagesleistung von 80—100 km gleichkommt. In einzelnen Fällen mögen Tagesleistungen von 120—150 km erzielt werden. Diese Zahlen werden natürlich auf Rennbahnen bei weitem übertroffen; so sind Leistungen der Rennfahrer von 80—90 km in der Stunde hinter Motorrädern als Schrittmacher wohl die Regel.

Das Gesamtgewicht eines Fahrrades beträgt am vorteilhaftesten etwa ein Fünftel der zu tragenden Last, so daß z. B. ein gutes, stabiles Tourenrad für einen Fahrer von 75 kg etwa 14—15 kg wiegen soll. Für die Rennbahn geht das Gewicht auf 11—12, selbst auf 9—10 kg herab.

III. Mehrsitzer und Dreiräder.

Die *mehrsitzigen Niederräder* für bis zu sechs Sitze, aber in der Grundform ähnlich dem Niederrade gebaut, wurden nur zu Reklamezwecken oder als Schrittmachermaschinen auf der Rennbahn benutzt, werden aber auch als solche jetzt allgemein durch Motorräder ersetzt. Der *Zweisitzer (Tandem)* war einige Zeit als Herrenmaschine oder für gemischte Paare beliebt.

Das **Dreirad** ist als Sport- und Tourenmaschine wohl wegen seines Nachteils der drei Laufspuren fast vollständig verschwunden, findet dagegen in großen Städten als *Gepäckdreirad* viel Verwendung. In seiner Bauart lehnt es sich völlig an das Zweirad an; meistens ist die Hinterachse geteilt, und die beiden Stücke sind in einem Zahnradgetriebe, dem sogenannten Differentialgetriebe, vereinigt, das ihnen beiden und damit den Hinterrädern verschiedene Geschwindigkeiten gestattet, um auch Kurven sicher befahren zu können.

B. Motorräder.

I. Allgemeines.

Über die geschichtliche Entwickelung des Motorrades ist wenig zu sagen. Nach dem Ausbau des Fahrrades bis zu seiner heutigen vollendeten Gestalt ist das Motorrad einfach dem Gedanken entsprungen, die Schwierigkeiten, die sich bei starker Steigung oder Gegenwind dem durch Menschenkraft betriebenen Fahrrade entgegenstellen, mit Hilfe eines Motorantriebes zu bewältigen. Abgesehen von Daimlers erstem zweiräderigen Fahrzeuge, das als Ausgangspunkt des heutigen Automobilwagens anzusehen ist, muß das Hildebrand- und Wolfmüllersche Motorzweirad von 1894 als das erste seiner Gattung betrachtet werden. Bei diesem wurde die Kraft des Motorrades ganz abweichend von allen heutigen Systemen durch Kurbeln auf das Hinterrad übertragen. Die ersten brauchbaren Maschinen kamen jedoch erst gegen Ende der 1890er Jahre aus Frankreich, namentlich das Motordreirad von de Dion und Bouton und das am Vorderrade angetriebene Motorzweirad von Werner Frères. Obwohl das *Motordreirad* sich bedeutend rascher einzuführen schien als das *Motorzweirad*, ist es zurzeit fast völlig aus dem Gebrauch gekommen, das Motorzweirad dagegen im Aufschwunge begriffen. Fast alle größeren Fahrradfabriken widmen sich seinem Bau, und zwar scheint das leichte Motorrad zurzeit die meisten Anhänger zu haben. Neben seiner Verwendung als Schrittmachermaschine auf Radrennbahnen hat es sowohl als Tourenrad bei Privatpersonen wie zum geschäftlichen Verkehr bei Behörden, Firmen usw. Eingang gefunden. Zu dieser wachsenden Beliebtheit mag der Umstand viel beigetragen haben, daß sein Preis in diesen 10 bis 15 Jahren auf etwa die Hälfte heruntergegangen ist. In ebenem oder leicht hügeligem Terrain kann ein starkes Motorrad auch einen leichten Beiwagen mit einer Person mitnehmen. —

Allgemein versteht man unter Motorrad das durch einen Benzinmotor angetriebene Motorzweirad. Es beansprucht kleineren Raum beim Unterstellen sowie geringere Betriebskosten als das in den Hintergrund gedrängte Motordreirad. Da das Motorzweirad wesentlich leichter ist und damit ein geringeres Reibungsgewicht besitzt, so ist auch sein Kraftbedarf kleiner, was sich beim Benzinverbrauch stark geltend macht. Einer seiner bedeutendsten Vorzüge vor dem Dreirad ist die Einspur, die es mit dem Fahrrad gemeinsam hat, und die ihm gestattet, sich dem städtischen Straßenverkehr sowohl wie der Fahrbarkeit der Landstraßen anzupassen.

II. Einzelheiten des Motorrades.

Das Motorrad besitzt außer den Einrichtungen des gewöhnlichen Zweirades noch den Antrieb durch einen Benzinmotor, wobei Motor, Behälter für Benzin und Öl und alle Nebenteile in den Fahrradrahmen eingebaut sind, aber nicht als konstruktiver Bestandteil desselben angesehen werden können.

Der *Rahmen* ist der Raumbeanspruchung der Maschinerie entsprechend etwas verändert und wegen der großen Schnelligkeit und des größeren Gewichtes auch besonders stark ausgeführt.

Der *Motor* wird von den meisten Fabrikanten vertikal vor dem Trittlager eingebaut. Einzelne Werke, wie Cyclon und Progreß, lagern ihn wohl auch oberhalb des Vorderrades und treiben dieses an. Diese Anordnung hat sich besonders für die sogenannten leichten Motorräder als vorteilhaft erwiesen. Der Motor besteht aus einem gußeisernen Zylinder, in dessen Innern ein Kolben die Kraft der Explosionen des vergasten Benzins aufnimmt und mittels Kolbenstange auf die Motorachse fortpflanzt. Diese überträgt die Bewegung durch Riemen, Kette, Stirnräder oder Kardangetriebe auf das Hinterrad und setzt so die ganze Maschine in Gang. Das übliche Zweiradgetriebe dient nur zum Anlassen des Motors und allenfalls zu seiner Unterstützung auf steilen Steigungen.

Die gebräuchliche Anordnung der Bedienungsorgane, also aller der Teile, die das gewöhnliche Zweirad nicht enthält, ist in Fig. 901 an einem Wanderer-Motorzweirade von 3 PS mit Magnetzündung veranschaulicht: 1 ist der Benzinkasten für etwa 8,5 l, ausreichend für 180 km; 2 ist der Behälter für 2,5 l Schmieröl. Durch das dünne Rohr 3 fließt das Benzin in den Spritzvergaser 4, wird zerstäubt, mit Luft gemischt in den Motor geleitet und mittels der Zündkerze 5 entzündet. Nach der Verbrennung gehen die Gase durch den Auspuff 6 und den schalldämpfenden Auspufftopf 7 ins Freie. Bei 8 befindet sich der Hufeisenmagnet für die kleine magnetelektrische Zündmaschine, die Zahnradantrieb von der Motorwelle aus besitzt. Am oberen Rahmenrohr sitzen die Bedienungshebel 9 für die Drosselklappe zur Gaszufuhr, 10 für die Luftregulierung, 11 für den Verschluß der Schmierung. Auf der Lenkstange rechter Hand sitzt der Hebel 12 zum Öffnen des Auspuffventils beim Anschieben, um den Kompressionswiderstand zu beseitigen, und ein Druckknopf 19 zum schnellen Abstellen der elektrischen Zündung durch Kurzschluß; linker Hand der Hebel 13 zum Einstellen auf Früh- oder Spätzündung. Der Riemen 14 übermittelt die Kraftübertragung von der kleinen, nicht sichtbaren Motorriemenscheibe nach der größeren am Hinterrade. Durch die Ölpumpe 15 wird mittels des Handhebels 16 in angemessenen Zeitabständen frisches Öl in das Motorgehäuse (bei 20) gepreßt. Das Hinterrad trägt eine kräftig wirkende Bandbremse 17 auf einer besonderen Bremsscheibe 18. — Alle übrigen Teile entsprechen den bei dem gewöhnlichen Fahrrade bereits besprochenen und sind nur zum Teil verstärkt.

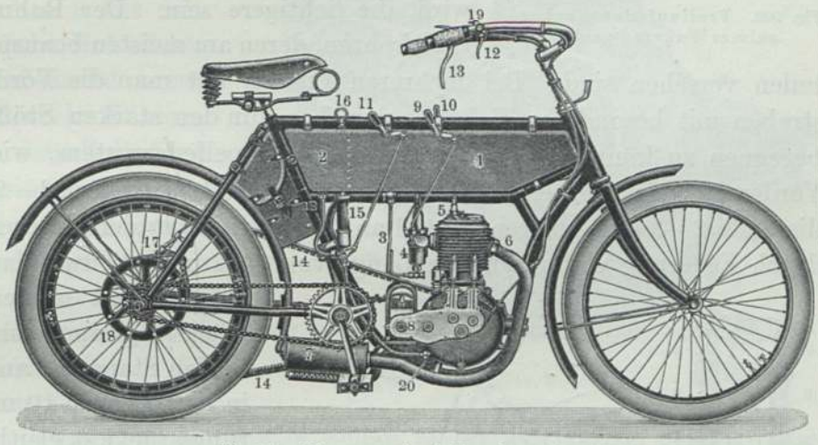


Fig. 901. Motorzweirad Wanderer (3 PS).

1. Die Räder.

Der Durchmesser der Räder des Motorrades ist fast allgemein 26 Zoll = 660 mm. Um den erhöhten Beanspruchungen zu genügen, sind *Felgen* und *Speichen* besonders stark gehalten; auch die *Reifen* sind stärker als beim Fahrrad: 2—2½ Zoll = 51—63 mm und mehr. Als Schutz gegen das Eindringen von Nägeln usw. in den Luftschlauch dienen entweder schwache Kettchen, die außen auf dem Reifen schleifen, oder eine Schutzeinlage aus starkem Gummi zwischen Laufdecke und Luftschlauch; ferner das sogenannte Lederlaufband, oder endlich die aus dickem Leder bestehende Gleitschutzdecke, die über den Laufmantel gezogen wird und an der Oberfläche mit eisernen Platten oder Nieten besetzt ist. Es wird fast allgemein der Mantel mit dem Wulst (vgl. Fig. 885) statt desjenigen mit Drahteinlage verwendet. Auch das Gummi des *Luftschlauches* ist stärker als dasjenige beim Fahrrad. Die *Nabe* ist mit Ausnahme der entsprechenden Verstärkung von derselben

Konstruktion wie die des Fahrrades; die Hinterradnabe ist mit dem Freilauf ausgestattet, in neuerer Zeit aber nicht mehr in Verbindung mit der Rücktrittbremse, sondern mit dem *einfachen Freilauf* (Fig. 902). Der Zahnkranz des Kettenrades 1 nimmt bei der normalen Bewegung nach vorn mittels Walzen 2 die Nabe 3 mit; wird das Getriebe angehalten, so werden die Walzen nach hinten, nach dem breiten Teile ihrer schiefen Ebene zu, gedrückt, und die Verbindung zwischen Kettenrad und Nabe ist aufgehoben, letztere kann sich also unabhängig vorwärts drehen. Die hinter den Walzen befindlichen Federchen 4 dienen zum Vordrücken der ersteren, die sonst in ihren Einbettungen verharren würden.

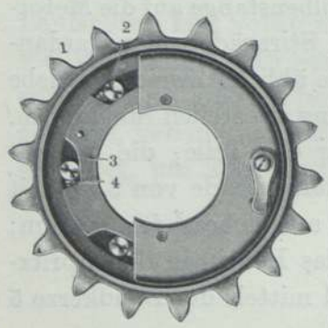


Fig. 902. Freilauf der Neckarsulmer Fahrradwerke.

2. Der Rahmen.

Bei einigen Fabrikaten ist der *Rahmen* unverändert vom Fahrrad übernommen und nur entsprechend verstärkt. Da es aber wichtig ist, den Schwerpunkt einer Maschine so tief wie möglich zu legen, dürfte die langgestreckte, niedrige Form des Rahmens, wie sie in Fig. 901 gezeigt ist und jetzt von den meisten Firmen bevorzugt wird, die richtigere sein. Der Rahmen besteht aus starkwandigen Stahlrohren, deren am meisten beanspruchte Stellen mit Verstärkungsteilen versehen sind. Bei mehreren Firmen hat man die Vorderradgabel oder die Hinterradstreben mit besonderer *Federung* versehen, um den starken Stößen auf unebenem Boden besser begegnen zu können. Fig. 903 zeigt ein Doppelfedersystem, wie es die Wandererwerke für die Vorderrad- oder Hinterradgabel anwenden. In dem Dreieck 1—2—3 des Rahmengestelles gehört die Seite 2—3 dem starren Gestell an; 1 ist das Lager der hinteren Achse, und 1—3 ist infolge der durch Federung veränderlichen Länge von 1—2 um 3 schwingbar zu denken. Der Verbindungsbolzen 2 ist in dem kräftig ausgebildeten Gabelstück 4 gelagert und vermittelt den Anschluß der beiden Stangen 5 an den Rahmen. Die Stangen 5 sind in den Rohren 10 mittels der eingeschraubten Führungsstücke 6 gleitbar geführt und stützen sich mit den auf ihr Ende aufgeschraubten Muttern und Gegenmuttern 7 gegen je zwei Federn 8—9. Die beiden Rohre 10 sind durch das Querstück 11 zu einem starren Ganzen verbunden. Wirkt nun eine Stoßkraft auf die Achse des Hinterrades 1 ein, so wird die Dreieckseite 1—2 verkürzt, indem sich die Muttern 7 in den Rohren 10 verschieben; durch die Kraft der beiden Federn 8 und 9 wird aber sofort die normale Stellung wieder herbeigeführt.

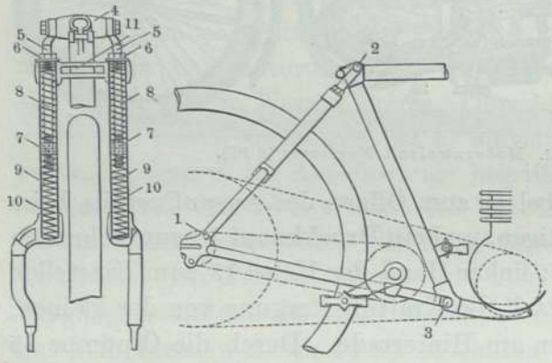


Fig. 903. Hinterrahmen-Federung.

Als besonderes Erfordernis für das Motorrad bleibt noch zu erwähnen der in den Rahmen eingebaute *Benzinkasten* 1 (Fig. 901) und der *Behälter für Schmieröl* 2 (Fig. 901). Sie bestehen meist aus Messingblech und bilden entweder einen gemeinsamen Behälter mit eingelöteter Zwischenwand oder sind vollkommen getrennt.

3. Der Motor.

Der Einzylindermotor. Der Benzinmotor und seine inneren Vorgänge sind ausführlich in der Abteilung „Verbrennungsmaschinen“ besprochen. Deshalb sind hier nur diejenigen Teile eingehender behandelt, die infolge der Eigenart des Fahrradmotors anders gestaltet sind. Fast alle Fahrradmotoren sind, wie auch die der Motorwagen, Viertaktmotoren. Da nur während einer von vier Perioden (der Explosionsperiode) wirklich Arbeit geleistet wird, so müssen die drei anderen Kolbenbewegungen durch die lebendige Kraft einer Schwungscheibe übernommen werden. Die rasch aufeinander folgenden Explosionen erzeugen in dem Metall des Zylinders eine beträchtliche Wärme, die ständig abgeleitet werden muß, wenn nicht die Leistung des Motors dadurch

beeinträchtigt werden soll. Während man bei allen größeren Automobilmotoren Wasser zur Kühlung des Zylindermantels anwendet, erfolgt die Kühlung bei den Motorrädern fast ausschließlich nur durch die Luft, seltener mit Unterstützung eines Ventilators.

Die wichtigsten Bestandteile des Motors sind in den Figuren 904 und 905 an einem 1½ PS-Motor der Wandererwerke gezeigt. Das *Motorgehäuse* besteht aus zwei Hälften (1 und der dahinter liegenden) und wird durch Schrauben 2 zusammengehalten; eine Abdichtung, meistens aus Asbest, verhindert das Entweichen des Öles. Das Gehäuse ist aus Aluminiumlegierung, seltener aus dem schwereren Grauguß. Die seitlich angegossenen Ansätze 3 tragen nach dem Zusammenfügen beider Hälften den Zündapparat. Der *Zylinder* 4, der Kompressionsraum und das Ventilgehäuse sind aus besonders haltbarem Eisen aus einem Stück gegossen und durch vier Schrauben 5 mit dem Motorgehäuse verbunden. Sämtliche Hohlräume des Zylinders tragen an der Außenseite breite Kühlrippen 6, um dem Luftstrom zwecks Kühlung große Oberflächen zu bieten. In dem Zylinder 4 gleitet der Kolben 7 mit etwas geringerem Durchmesser; die Abdichtung erfolgt durch gußeiserne, innen exzentrisch gebohrte Kolbenringe 8, die in eingedrehte Nuten des Kolbens gelegt sind und sich infolge ihrer schrägen Spaltung 9 federnd gegen die Zylinderwandung pressen. Quer in der Mitte des hohlen und am unteren Ende offenen Kolbens befindet sich der Kolbenbolzen, der an beiden Seiten in breiten Warzen gelagert und durch ein um den Kolben herumführendes Stahlband gesichert ist. Dieser Bolzen nimmt das obere Auge der *Bleuel-* oder *Kurbelstange* 10 auf, während das untere den Kurbelzapfen 11 umschließt. Letzterer stellt zugleich die Verbindung der beiden *Schwungscheiben* 12 dar und wird zu beiden Seiten durch die Muttern 13 und die Mutternhalter 14 festgehalten; die Schwungscheiben ersetzen dabei die Kurbelarme. Da sich infolge dieser Anordnung die Bleuelstange zwischen den beiden Schwungscheiben bewegt, so ist die Motorachse geteilt, und die beiden Hälften 15 sind mit je einer Schwungscheibe durch eingepreßte Flanschen und Nieten fest verbunden. Sie laufen in eingepreßten langen Bronzebüchsen, die von dünnen Schmierkanälen durchzogen sind, damit das Öl die ganze Länge der Achse benetzen kann. Die Zuführung des Öles nach den verschiedenen Schmierkanälen und dem Zylinder erfolgt durch die umlaufenden Schwungscheiben, die ständig in das im Gehäuse befindliche Öl eintauchen und dieses durch ihre schnelle Umdrehung herumschleudern. Um zu vermeiden, daß der Zylinder zu viel Öl bekommt, ist er von dem Motorgehäuse durch eine Wand getrennt, die außer dem Schlitz für die Bleuelstange nur noch einige kleine Löcher für den Durchtritt des Öles hat. Außen an dem Gehäuse befindet sich ein Loch mit aufgeschraubtem Stutzen (20 in Fig. 901), durch das dem Motor Öl nach Bedarf zugeführt wird.

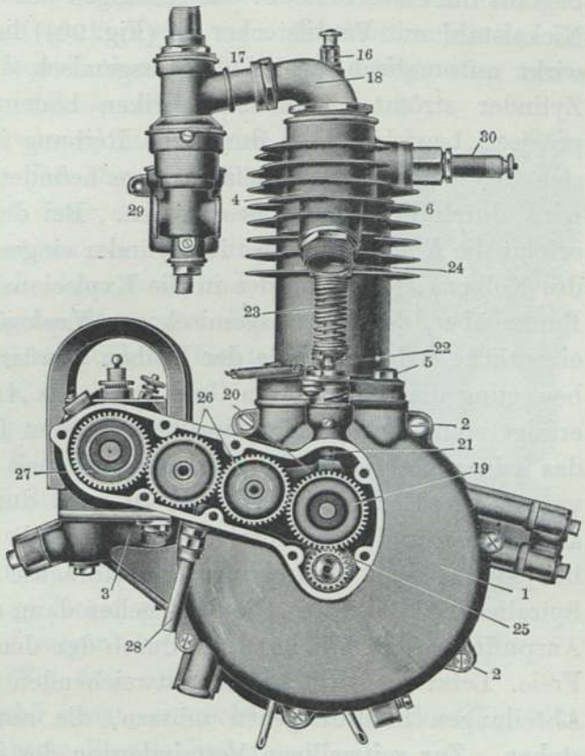


Fig. 904. Wanderer-Motor von 1½ PS.

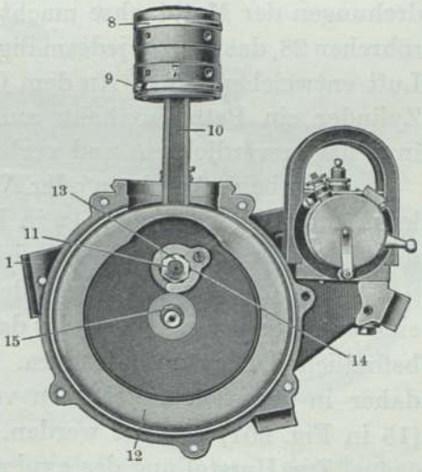


Fig. 905. Wanderer-Motor von 1½ PS.

Das *Anlassen des Motors* geschieht entweder durch Antreten der Maschine mittels der Pedale

oder durch kräftiges Anschieben des Rades und nachheriges Aufspringen des Fahrers. Die Bewegung des Hinterrades wird dabei durch den Riemen auf die Riemenscheibe und durch diese auf das Antriebszahnrad übertragen. Letzteres ist auf die Motorachse aufgekeilt, setzt also mittels der Bleuelstange den Kolben in Bewegung. Bei der ersten Abwärtsbewegung des Kolbens beginnt die erste Periode: das Ansaugen des Gasgemisches. Das *Ansaug-* oder *Einlaßventil* aus Nickelstahl mit Ventilstecher 16 (Fig. 904) liegt im Ventilgehäuse über dem Auspuffventil und wirkt automatisch, wobei das Gasgemisch durch das Rohr 17 und das Kniestück 18 in den Zylinder strömt. Manche Fabriken bauen auch gesteuerte Ansaugventile; diese arbeiten präziser, bewirken aber durch die Reibung im Steuerungsgestänge einen Kraftverlust. Wenn sich der Kolben in der tiefsten Lage befindet, hört die Saugwirkung auf, und das Einlaßventil wird durch Federdruck geschlossen. Bei der nun folgenden Aufwärtsbewegung des Kolbens erfolgt die *Kompression* des im Zylinder eingeschlossenen Gasgemisches. In der obersten Stellung des Kolbens springt an der in die Explosionskammer hineinragenden Zündkerze ein elektrischer Funke über, der das Gasgemisch zur *Explosion* bringt. Durch die Kraft der letzteren wird als eigentliche Arbeitsperiode der Kolben abwärts getrieben, während bei der folgenden Aufwärtsbewegung die verbrannten Gase durch das *Auspuffventil* entweichen. Die Öffnung des letzteren erfolgt stets zwangläufig, im vorliegenden Beispiel durch Drehung des Nockenzahnrades 19, das seinerseits das Heben des Nockenhebels 20, des Ventilstiftes 21 und des Ventilkegels 22 veranlaßt. Das Nockenzahnrad 19 wird durch das auf der Motorachse sitzende Zahnrad 25 angetrieben und wirkt infolge seines doppelt so großen Durchmessers auf den Nockenhebel nur bei jeder zweiten Umdrehung der Motorachse ein. Das Schließen des Auspuffventils wird durch Spiralfeder 23 bewirkt. Die Gase gehen dann durch die Öffnung bei 24 in das dort angeschlossene Auspuffrohr (6 in Fig. 901) und durch den den Schall dämpfenden *Auspufftopf* (7 in Fig. 901) ins Freie. Letzterer wirkt auf die entweichenden Gase dadurch dämpfend ein, daß sie durch mehrere Abteilungen hindurchgehen müssen, die nur durch feine Löcher miteinander in Verbindung stehen. Zur zeitweiligen Verminderung des durch diese Einrichtung bedingten Kraftverlustes, und um einer zu starken Erhitzung des Motors vorzubeugen, wird häufig eine Auspuffklappe angebracht, die ein unmittelbares Entweichen der Auspuffgase ins Freie gestattet. Die Drehung des Nockenzahnrades 19 (Fig. 904) wird durch zwei Zwischenräder 26 auch auf das Ankerzahnrad 27 des Zündapparates übertragen, das ebenfalls nur *eine* eigene Umdrehung bei zwei Umdrehungen der Motorachse macht. In diesem Rädergehäuse befindet sich noch das Entlüftungsröhrchen 28, das die bei jedesmaliger Abwärtsbewegung des Kolbens im Motorgehäuse komprimierte Luft entweichen läßt. An dem Gehäuse befindet sich ferner noch ein Ölablaßhahn und an dem Zylinder ein Petroleumhahn zum Einspritzen von Petroleum zwecks Reinigung des Zylinderinnern von verdicktem und verbranntem Öl.

Um beim Anfahren oder Anschieben die im Zylinder entstehende Kompression aufzuheben, kann durch einen Hebel (12 in Fig. 901) mittels eines Bowden-Drahtseilzuges das Auspuffventil unabhängig von seiner mechanischen Betätigung gehoben werden.

Die *Ölung* spielt wegen des raschen Laufes des Motors (etwa 2000 Touren in der Minute) eine wichtige Rolle. Sie erfolgt dadurch, daß die Schwungscheiben das in dem Boden des Gehäuses befindliche Öl herumschleudern. Ein Teil des Öles wird durch die Explosion verbrannt und muß daher in gewissen Zeiträumen von dem Ölbehälter (2 in Fig. 901) aus mittels der Handpumpe (15 in Fig. 901) ergänzt werden.

Zur Herstellung des explosibeln Gasluftgemisches dienen *Spritzvergaser* (vgl. S. 106). Bei ihnen wird das Benzin durch die feine Bohrung einer Düse beim Herabgehen des Kolbens angesaugt und spritzt gegen einen Kegel, durch den es zerstäubt wird. Gleichzeitig tritt durch eine der seitlichen Öffnungen 29 (Fig. 904) Luft ein, mischt sich mit dem zerstäubten Benzin und bringt dieses vollständig zur Vergasung. Dieses Gemisch von Luft und Gas tritt durch das Ansaugventil in den Zylinder, um dort mittels Zündkerze entzündet zu werden. Gas- wie Luftzufuhr können durch Hebel (9 und 10 in Fig. 901) am oberen Rahmenrohr reguliert werden.

Die *Zündung* (vgl. S. 113ff.) erfolgt entweder durch Akkumulatoren oder Trockenelemente und zugehörigen Funkeninduktor, oder durch magnetelektrische Abreißzündung, oder neuerdings bei Motorrädern fast allgemein durch magnetelektrische Kerzenzündung. Die Zündkerze liegt in Fig. 901 bei 5, in Fig. 904 bei 30. Die kleine magnetelektrische Maschine, bei 8 in Fig. 901 geschützt hinter dem Motor eingebaut, wird in der bereits angegebenen Weise durch Zahnradübertragung, zuweilen auch durch Kettenübertragung (vgl. Fig. 906), von der Motorachse aus angetrieben. Je nachdem die Zündung in der oberen Totlage des Kolbens erfolgt oder etwas später, spricht man von Vor- oder Nachzündung *(Früh-* oder *Spätzündung)*. Sie dient zur Regulierung der Fahrgeschwindigkeit und wird von dem kleinen Hebel 13 (Fig. 901) aus eingestellt. Der Druckknopf 19 (Fig. 901) direkt vor dem rechten Lenkstangengriff dient dazu, durch Erzeugung eines Kurzschlusses in dem Zündungsstromkreis die Zündungen ganz zu unterbrechen. Hiermit kann durch die dann im Zylinder entstehende Kompression eine starke Bremswirkung erzielt werden. Bei zweizylindrigen V-förmigen Fahrradmotoren wird häufig auch die Lichtbogenzündung (System Bosch) angewendet.

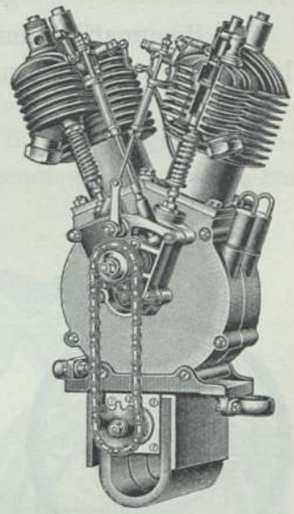


Fig. 906. Zweizylindermotor Germania.

Mehrzylindermotoren. Die Einzylindermotoren mit Luftkühlung werden von 1¾ bis zu 3½ PS hergestellt. Da bei kräftigeren Einzylindermotoren diese Kühlung nicht genügen würde, so ist man zu Zwei-, Drei- und Vierzylindermotoren übergegangen. Sie bieten gleichzeitig den Vorteil gleichmäßigeren Ganges und der Entwickelung größerer Kraft bzw. Schnelligkeit. Der zweizylindrige Motor wird meist als sogenannter *V-Motor* hergestellt, so bezeichnet wegen der gegeneinander geneigten Stellung der beiden Zylinder (Fig. 906). Bei den drei- und vierzylindrigen Motoren stehen die Zylinder meist senkrecht nebeneinander (Fig. 907). Die Arbeitsweise entspricht genau derjenigen mehrerer Einzelzylinder.

4. Die Kraftübertragung.

Die Kraft wird von der Motorachse auf das Hinterrad übertragen durch Kette, durch Stirnräder, durch Gelenkwellen (sogenannte Kardangetriebe) oder, weitaus am häufigsten, durch *Riemen*. Bei der (seltener angewandten) Übertragung auf das Vorderrad benutzt man nur Riemen. Die vordere Riemenscheibe sitzt auf der linken Schwungradachse, während die hintere, auch *Riemenfelge* genannt, an den Speichen oder bei stärkeren Motorrädern stets an der Felge des Hinterrades befestigt ist. Die Größe beider bestimmt in dem Verhältnis ihrer Durchmesser die Übersetzung der Umdrehungszahlen von Motorachse und Hinterrad. Zur Übertragung wurde bei den ersten Maschinen der runde, sogenannte Kordelriemen verwendet; jetzt benutzt man nur noch den flachen Riemen oder weitaus häufiger den Keilriemen mit trapezförmigem Querschnitt; dieser wird oft aus Gummi gefertigt. Bei Verwendung der *Kette* als Übertragungsmittel hat man versucht, durch eine federnde Ausgleichvorrichtung zwischen Motor und Antriebsrad die schädlichen Stöße aufzunehmen. Der Kettenantrieb wird nur hin und wieder an Schrittmachermaschinen verwendet. Die Übertragung durch *Gelenkwellen (Kardangetriebe)* entspricht dem bei den Fahrrädern erläuterten kettenlosen Antriebe mittels Kegelräder, nur mit dem Unterschiede, daß bei den

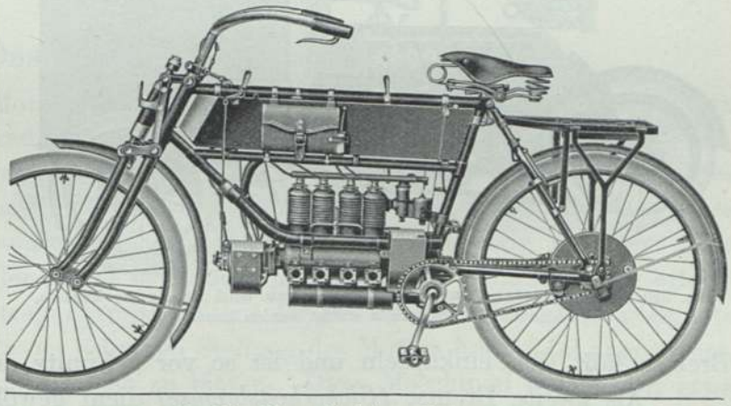


Fig. 907. Vierzylindriges Motorzweirad.

Motorrädern zwei Kardan- oder Universalgelenke (vgl. Fig. 935) in die Wellenübertragung eingeschaltet werden, die der Welle seitliche Bewegung gestatten. Diese Übertragung wird mit Vorliebe bei mehrzylindrigen Motorrädern angewendet und kann leicht mit Leerlauf und doppelter Übersetzung kombiniert werden.

Die Verbindung zwischen Tretmechanismus und Hinterrad erfolgt mittels Kettenräder und Kette in genau derselben Weise wie beim Fahrrad.

5. Bremsvorrichtungen.

Pneumatikbremsen wie bei den Fahrrädern sind für Motorräder ungeeignet; auch verlangen die polizeilichen Vorschriften zwei Bremsen. Sehr viel angewendet wird die *Bandbremse*. Sie ist schematisch in Fig. 908 dargestellt und ausgeführt deutlich in Fig. 901 am Hinterrade zu sehen. 1 (Fig. 908) ist die auf der Hinterradnabe befestigte Bremsscheibe; 2 ein Bremsband, das aus Stahlband besteht und mit Leder 3 oder einem weichen Metall, z. B. Kupfer, gefüttert ist. Das Bremsband ist mit einem Ende (bei 4) an einem geeigneten Punkte des Motorrades, z. B. an der Gabel des Hinterrades, befestigt; am anderen Ende trägt es ein mit Gewinde versehenes Metallstück 5, in das eine Stellschraube 6 eingeschraubt ist, die zum Nachstellen der Bremse dient. An dieser Stellschraube ist das Zugseil 7 befestigt. Durch Ziehen an letzterem wird das Bremsband an die Scheibe angedrückt und hemmt damit das Rad. Da die Bremswirkung von der Größe der Auflagefläche des Bremsbandes abhängt, so wird die Bremsscheibe ziemlich groß ausgeführt. Das Ziehen an dem Zugseile 7 geschieht gewöhnlich von der Lenkstange aus mittels Hebel und Bowden-Drahtseilzuges.

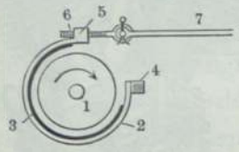


Fig. 908. Bandbremse.

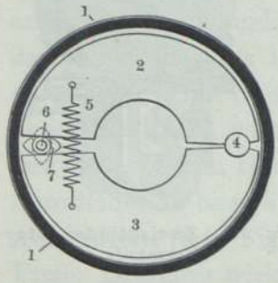


Fig. 909. Innenbremse.

Sehr bewährt hat sich auch die *Innen-* oder *Backenbremse* (Fig. 909): die Bremstrommel 1 ist mit dem Hinterrade des Motors fest verbunden. In ihrem Innern befinden sich zwei durch ein Gelenk 4 miteinander verbundene Backen 2 und 3. Der Bolzen des Gelenkes 4 ist am Motorrade festgemacht, und die Feder 5 dient dazu, die Backen bei Nichtbetätigung der Bremse von der Trommel abzuhalten. Zwischen den Enden der Backen ist auf der Welle 6 ein mit zwei Nasen versehener Nocken 7 angebracht; wird letzterer durch einen entsprechend angeordneten Hebel und Seilzug in die gestrichelte Lage gedreht, so werden die Backen auseinander und gegen die Innenseite der Trommel gepreßt. Der ganze Mechanismus der Bremse läßt sich einkapseln und ist so vor Schmutz und Öl geschützt.

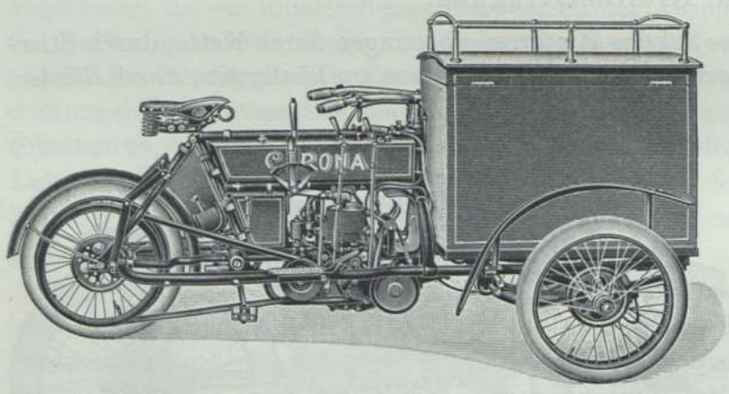


Fig. 910. Motorzweirad mit Vorspannwagen und Transportkasten, der durch Personensitz ersetzt werden kann.

Als zweite Bremse *(Sicherheitsbremse)* dient gewöhnlich die *Riemenfelgenbremse*, die als Zangenbremse meist an der Hinterradfelge angreift und durch Pedalrücktritt bedient wird; oder auch eine *Freilaufrücktrittbremse* ähnlich der bei den Fahrrädern beschriebenen.

6. Zubehörteile.

Außer den beim Fahrrade erwähnten Zubehörteilen kommt hier noch der *Motorradständer* in Betracht, der häufig am Rade aufklappbar befestigt ist und eine Untersuchung der Maschine bei eintretenden Defekten erleichtern soll. Er wird zuweilen als sogenannter Kippständer ausgeführt, der selbsttätig aufklappt, sobald beim Anfahren die Arretiervorrichtung vom Pedal

ausgelöst wird. *Gepäckständer* werden für Tourenzwecke vorn oder hinten am Gestell befestigt (vgl. Fig. 907). Mit Einführung der starken Motoren ist es möglich geworden, in einem *Beiwagen* eine zweite Person zu befördern. Man verwendet entweder Vorspannwagen, die mit dem Vorderrade der Maschine ausgewechselt werden, und dann für Personen- oder Gepäckbeförderung eingerichtet sind (Fig. 910), oder Seitenwagen, die an das Motorrad angekuppelt werden. Hauptsächlich aus dieser Kombination der Motorräder mit Beiwagen hat sich die Notwendigkeit einer Leerlaufvorrichtung ergeben, um den Motor bei stehendem Wagen andrehen zu können; ebenso erschien eine zweite um etwa 50 Proz. reduzierte Übersetzung zum Anfahren und bei schweren Steigungen wünschenswert.

7. Leistung.

Die *Kraft* des Motors ist abhängig von dem Druck infolge der Explosion, von dem inneren Zylinderdurchmesser und dem Kolbenweg. Die gebräuchlichsten Maße für den Zylinderdurchmesser sind 66—85 mm und für den Hub 70—80 mm. Mit diesen Abmessungen werden bei dem üblichen Druck und voller Tourenzahl von etwa 2000 in der Minute 1¾ bis 3½ PS entwickelt. Die zu erzielenden *Geschwindigkeiten* schwanken für Tourenmaschinen zwischen 60 und 70 km pro Stunde, sind aber wieder auf Rennbahnen wesentlich höher. Von guten Maschinen bis zu etwa 3 PS können *Steigungen* bis zu 14 Proz. gewöhnlich schon ohne Mithilfe durch die Pedale genommen werden. Die mehrzylindrigen Motoren entwickeln durchschnittlich etwa 5½ PS, werden aber für Rennbahnen bis zu 14, als Schrittmachermaschinen sogar bis zu 30 PS gebaut.

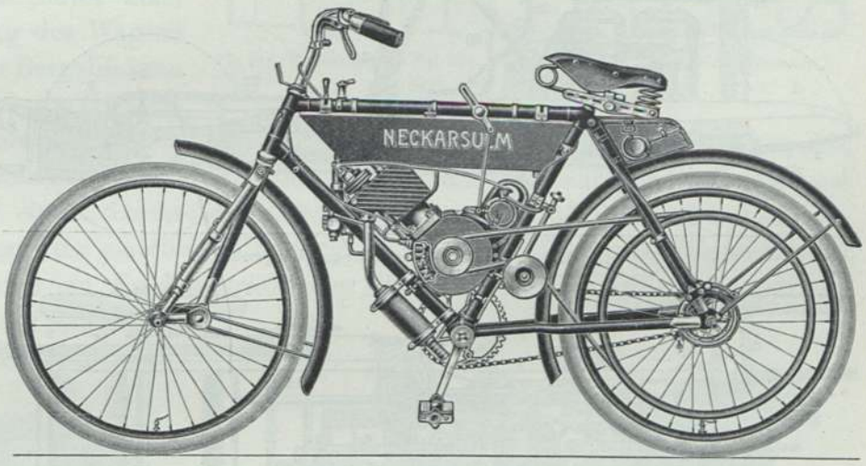


Fig. 911. Leichtes Motorzweirad.

III. Das leichte Motorrad.

Eine Sonderstellung unter den Motorrädern nimmt das in neuerer Zeit von einigen Firmen auf den Markt gebrachte leichte Motorrad ein. Es soll in erster Linie für den Nahverkehr dienen, aber auch für kleinere Touren in gebirgigem Gelände geeignet sein. Fig. 911 zeigt ein leichtes Motorrad der Neckarsulmer Werke. Der Motor von etwa 1¼ PS ist schräg in dem Rahmen eines besonders stark gebauten Fahrrades angeordnet. Die Übersetzung ist niedrig gehalten. Die Geschwindigkeit beträgt trotzdem in der Ebene etwa 50 km pro Stunde. Die Zündung erfolgt durch einen Bosch-Apparat. Als Übertragungsmittel dient der für leichte Motorräder geeignete Rundriemen. Die Kühlrippen sind trotz der schrägen Stellung des Motors horizontal angeordnet, um dem Luftstrom eine günstigere Angriffsfläche zu bieten. Diese Maschinen wiegen nur etwa 35 kg, gegenüber dem Gewicht der schweren Motorräder von 65—90 kg und darüber.

C. Motorwagen.

I. Allgemeines.

Zum besseren Verständnis der Entwickelung des Motorwagens muß man ihn unter dem allgemeineren Begriff eines selbstfahrenden Fahrzeuges betrachten. Als solches können schon die Wagen angesehen werden, die im 15., 16. und 17. Jahrhundert in China, England, Holland und auch

Deutschland zu finden waren und durch Menschen im Innern des Wagens fortbewegt wurden. Den ersten Dampfwagen baute Cugnot 1769; ihm folgten zahlreiche Konstruktionen von Engländern sowie von dem Amerikaner Evans, dessen *Amphibium-Dampfwagen* sowohl zu Wasser wie auch zu Lande fahren sollte. Gordon baute Anfang des 19. Jahrh. einen Dampfwagen mit Krücken, die den Gang der Pferdefüße nachahmten. 1827 erschien die Stephensonsche Lokomotive, in der zwar das Prinzip des Selbstfahrens verwirklicht war, wobei jedoch der Betrieb an Schienen gebunden war. Die Bestrebungen, Selbstfahrer zu bauen, die im Gegensatz zur Eisenbahn eine individuelle Benutzung gestatten, wurden deshalb fortgesetzt, in England jedoch mit dem Erfolge, daß 1865 ein Gesetz die Geschwindigkeit der Wagen außerordentlich beschränkte und damit die englische Automobilindustrie lahmlegte. In Frankreich wurden von Bollée, von de Dion und Bouton sowie von Serpollet um 1873 mehrere Wagen gebaut.

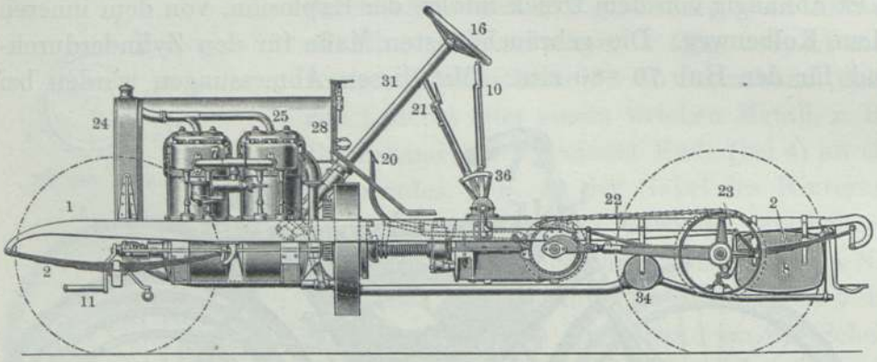


Fig. 912. Mercedes-Simplex-Wagen (Längsschnitt).

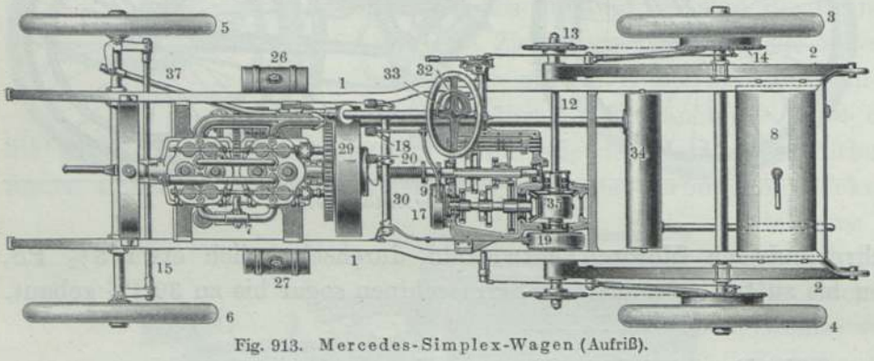


Fig. 913. Mercedes-Simplex-Wagen (Aufriß).

Einen neuen Aufschwung erhielt dann der Bau von Motorwagen durch die beiden deutschen Techniker Daimler und Benz, die, unabhängig voneinander, um die Mitte der 1880er Jahre den Explosionsmotor so ausbildeten, daß er den automobilen Bedingungen einwandsfrei genügte. Die Erfindungen dieses leichten Motors, ferner der Pneumatiks und der übrigen Bestandteile des modernen Automobils haben schließlich den Motorwagen zu einem Verkehrsmittel ersten Ranges gemacht.

Ebenso wie das Fahrrad heute noch in hohem Maße Sportzwecken dienend, ist der Motorwagen gleichzeitig in die verschiedensten Zweige des modernen Wirtschaftslebens eingedrungen und hat sich als Personenwagen, Lieferungswagen, Lastwagen für Fabriken, Brauereien, Spediteure usw. unentbehrlich gemacht. Diese Verdrängung des Pferdebetriebes verdankt der Motorwagen den geringeren Betriebskosten, der erhöhten Schnelligkeit, der leichten Lenkbarkeit und der Möglichkeit rascher Bremsung. Auch im Heer und im Postdienst findet er steigende Verwendung, ferner zur städtischen Straßenreinigung sowie namentlich im Feuerlöschwesen. —

Unter *Motorwagen*, *Automobil* oder *Kraftwagen* versteht man heute ein von Schienen unabhängiges Fahrzeug mit motorischem Antrieb. Man unterscheidet nach der Art der motorischen Kraft: Benzin-, Spiritus-, Dampf- und elektrische Wagen, nach der Wagenform: Dampfkalesche, -Kutsche, -Omnibus usw., Duc, Coupé, Phaeton, Tonneau, Landaulette, Limousine usw.; nach dem Gewicht: Voiturettes, leichte Wagen und schwere Wagen; nach dem Zweck: Renn-, Touren-, Lieferungs- und Lastwagen.

II. Einzelheiten des Benzinwagens.

Am verbreitetsten ist der Benzinwagen, dem alle anderen Gattungen soweit als möglich nachgebildet sind; daher soll er in folgendem am eingehendsten behandelt werden. Der

Benzinwagen besteht aus dem Gestell *(Chassis)* mit dem maschinellen Teil und aus dem vom Gestell unabhängigen Wagenkasten *(Karosserie)*.

Die allgemeine Anordnung eines *Chassis* zeigen die Fig. 912 und 913. Ein fester Rahmen 1 aus Holz mit Eisenarmierung oder aus Stahl ruht in Federn 2 auf den vier Rädern, von denen die beiden hinteren 3, 4 vom Motor 7 aus angetrieben werden, die beiden vorderen 5, 6 zum Lenken dienen. Auf dem Chassis ruht der *Motor* mit dem Antriebsmechanismus, ferner Behälter 8 für das Kraftmittel, sowie Steuer-, Brems- und Kühlvorrichtung. Da bei dem Benzinmotorwagen der Motor nur nach einer Richtung laufen und seine Geschwindigkeit nur wenig ändern kann, so wird zwischen Motor und Treibrädern ein *Geschwindigkeitsgetriebe* 9 eingebaut, um den Wagen mit verschiedener Geschwindigkeit vor- und auch rückwärts laufen lassen zu können. Die Umschaltung dieses Getriebes erfolgt vom Sitz des Führers aus mittels des Hebels 10. Die Motoren laufen nicht selbsttätig an und müssen daher mittels der Handkurbel 11 angekurbelt werden. Eine Leerlaufvorrichtung gestattet, den Motor auch unabhängig von der Bewegung des Wagens laufen zu lassen oder ihn beim Bergabfahren auszuschalten. In den Antrieb der Hinterradachse ist das bei den Motorrädern bereits erwähnte *Differentialgetriebe* 35 eingeschaltet, das den beiden Rädern der Hinterradachse beim Befahren von Kurven, entsprechend der verschiedenen Länge ihrer Wege, auch verschiedene Geschwindigkeiten ermöglicht. Die federnde Lagerung des Rahmens bedingt eine elastische Übertragung zwischen Motor und Hinterrädern; sie wird erreicht entweder durch ein *Kardangetriebe* oder, indem man das Differentialgetriebe statt auf die Hinterradachse auf eine Vorgelegewelle 12 verlegt, von der aus die beiden

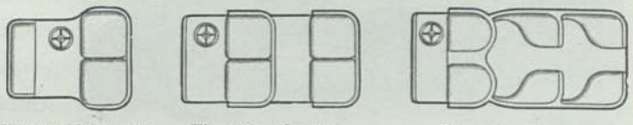


Fig. 914. Voiturette. Fig. 915. Phaeton. Fig. 916. Tonneau.

Fig. 914—916. Karosserieformen.

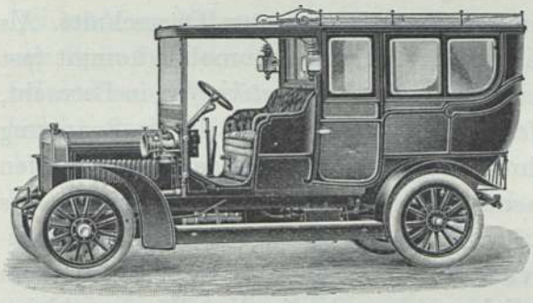


Fig. 917. Limousine (sechssitzig, Adler).

Fig. 918. Motordroschke mit 12 PS-Zweizylindermotor.

Hinterräder unabhängig voneinander mittels Kettenübertragung angetrieben werden. Der *Hauptbehälter* für das Benzin 8 liegt hinten unter dem Chassis, und die Zufuhr der Flüssigkeit zum Motor wird durch Überdruck bewirkt, zu dessen Herstellung man die Spannung der Auspuffgase benutzt. Zum Anlassen des Motors dient ein kleineres Reservoir, in dem man den zur Speisung benötigten Luftdruck durch eine Handpumpe herstellt. Die zum *Lenken* des Wagens dienenden Vorderräder sitzen nicht wie bei anderen Fuhrwerken auf einem Drehgestell, sondern sind einzeln schwenkbar. Sie werden mittels einer Verbindungsstange 15 gemeinsam von dem Lenkrad 16 aus betätigt. Als *Bremsvorrichtungen* besitzt der Wagen erstens eine Backenbremse, die auf Scheibe 17 wirkt und durch Fußhebel 18 betätigt wird; zweitens eine Backenbremse, die durch Fußhebel 20 auf Scheibe 19 der Vorgelegewelle 12 wirkt, und drittens eine Bandbremse, die auf den Innenumfang der Kettenräder 14 wirkt und durch Handhebel 21 mittels des Zuges 22 und des Hebels 23 betätigt wird.

An dem vordersten Teile des Gestelles befindet sich der Wasserkühler 24, unmittelbar dahinter der (in Fig. 912 nicht dargestellte) Ventilator. Dann folgen: der Motor 7 mit der über den Zylindern liegenden Kühlwasserrohrleitung 25, rechts der Ölbehälter 26 und links der

Kühlwasserbehälter 27. Hinter dem Spritzbrett 28 folgt dann das Schwungrad 29 und die Querwelle 30 mit den Fußpedalen für Kuppelung und Bremsen. Weiter folgt das schrägliegende Steuerrohr 31 mit dem Lenkrad 16 und den auf geriffelten Segmenten einstellbaren Handgriffen für die Gemischeinstellung 32 und für die Zündungseinstellung 33. Vor der Hinterradachse sitzt noch der Auspufftopf 34, durch den die vom Motor entweichenden Gase ins Freie gehen.

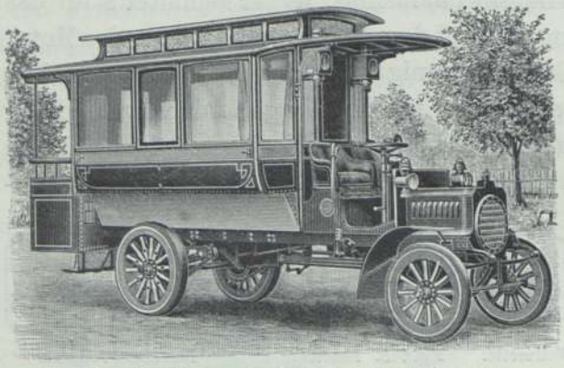


Fig. 919. Omnibus mit 12 PS-Zweizylindermotor.

Die Form der *Karosserie* richtet sich nach der Verwendung. Die Figuren 914, 915 und 916 zeigen die Anordnung von *Voiturette*, *Phaeton* und *Tonneau*. *Limousine* (Fig 917) heißt ein Tonneau, das mit Glasfenstern abgeschlossen ist. Die Figuren 918 und 919 zeigen eine Motordroschke und einen Omnibus.

1. Die Räder.

Die Räder der Automobile wurden ursprünglich denen der Kutschwagen nachgebildet. Dann ging man zu Drahtspeichenrädern über, die für kleinere Fahrzeuge teilweise noch verwendet werden; bei Wagen über 400 kg Gewicht ist man zu den Holzrädern zurückgekehrt. Die Räder sind kräftig gebaut, von 800—920 mm Durchmesser und dabei vorteilhaft für Vorder- und Hinterräder von gleichen Abmessungen, um dieselben Reservebereifungen benutzen zu können. Aus den bei den Fahrrädern erwähnten Gründen laufen die Räder in *Kugellagern*, die auch nach demselben Prinzip wie dort konstruiert sind.

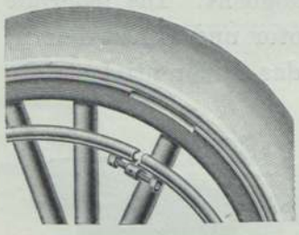


Fig. 920.

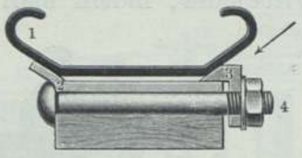


Fig. 921.

Fig. 920. Peters teilbare Unionfelge. Fig. 921. Vinet-Felge.

Auf den Umfang der Holzräder aufgezogen ist die *Felge* mit dem durch die Form der Gummibereifung bestimmten Querschnitt. Als Bereifung für Personenautomobile kommt fast ausschließlich der *Pneumatikreifen* in Betracht, und zwar derjenige mit Wulst (vgl. Fig. 885). Die Reifen sind 90—135 mm stark, die Spannung der Luft beträgt im Durchschnitt 4—6 at. Zum Schutze gegen das Eindringen von scharfen Gegenständen in die Pneumatikreifen wie zum Verhindern des Gleitens auf schlüpfriger Straße dienen *Schutzdecken* oder *Schutzstreifen* aus Leder oder vulkanisiertem Gummi mit aufgesetzten Platten, Nieten usw. Beliebt sind auch die Nagelfänger: kleine Kettchen, die auf dem Rade schleifen und einen nur oberflächlich eingedrungenen Nagel wieder herausziehen. Bei den trotzdem unvermeidlichen Pneumatikdefekten herrscht bei Motorwagen das Prinzip, statt der langwierigen Ausbesserung auf offener Straße eine neue Bereifung aufzusetzen. Zur Erleichterung dieses Pneumatikwechsels kam man zuerst auf die *teilbaren Felgen* (Fig. 920). Der eine Felgenrand ist abnehmbar und erspart daher das schwierige Einbringen des Wulstes in den Felgenrand; Luftschlauch und Mantel werden von der Seite eingeschoben. Der bei dieser Konstruktion noch verbleibende Übelstand des Abmontierens, Aufmontierens und Aufpumpens ist durch die *abnehmbaren Felgen* beseitigt. Bei der *Vinet-Felge* (Fig. 921) legt sich die abnehmbare Felge 1 (betriebsfertig, mit aufgepumptem Gummireifen mitgeführt) gegen einen schrägen Rand der festen Felge 2 und wird durch einen abnehmbaren Ring 3 mit schräger Fläche mittels Spannschrauben 4 festgehalten. In der Anordnung Fig. 922 ist zum Zwecke der Gewichtserleichterung der abnehmbare Ring durch Befestigungskeile ersetzt. Hierbei liegt die abnehmbare Felge jedoch nur in

Fig. 922. Abnehmbare Continentalfelge.

acht Punkten auf; auch nimmt das Festziehen der Schrauben noch eine beträchtliche Zeit in Anspruch. Eine Verbesserung in dieser Beziehung bedeutet die *Alpha-Felge* der Adlerwerke (Fig. 923, 924 und 925). Auf den Holzkranz 1 des normal ausgebildeten Holzrades ist die feste Felge 2 aufgezogen, an deren einer Seite sich eine konische Anlagefläche 3 befindet, und deren andere Seite in eine Ringnute 4 ausläuft. In dieser ist der Spannring 5 geführt, der ebenfalls eine konische Fläche 6 besitzt, und dessen Durchmesser durch einen Gelenkverschluß vergrößert und verkleinert werden kann. Bei aufgelegter Felge und auseinandergepreßtem Spannring wird die abnehmbare Felge zwischen den konischen Flächen 3 und 6 keilförmig eingespannt. Der Verschluß, also das Auseinanderspreizen des Ringes 5, erfolgt mittels der Hebel 7 und 8 in der in den Figuren gezeigten Weise, indem der Hebel 7 mittels eines in das Vierkantloch gesteckten Schlüssels gedreht wird. Die Schraube 9 dient zur Sicherung. Ein Nachteil aller genannten Ausführungen ist die erhebliche Gewichtsvermehrung durch Mitführen der Reservereifen, sowie die Schwierigkeit, die abnehmbare Felge unterwegs neu zu bereifen, falls auch deren Gummi defekt wird. Andere Konstruktionen lassen die Zwischenfelge ganz weg und befestigen die abnehmbare Felge direkt auf den Speichen durch besondere Ausbildung der Speichenköpfe als Spannvorrichtung. Schließlich hat man auch Reservefelgen, die mittels besonderer an ihnen angebrachter Halter an den Speichen des Rades befestigt werden, so daß das Reserverad neben das Wagenrad mit dem defekten Pneumatik zu liegen kommt.

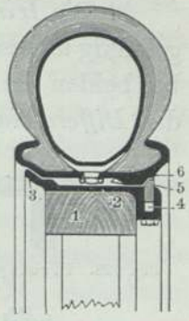


Fig. 923. Abnehmbare Alpha-Felge.

Wegen des hohen Preises der Pneumatiks, ihrer schnellen Abnutzung und der Empfindlichkeit gegen Beschädigung durch scharfe Gegenstände hat man versucht, Ersatz dafür zu schaffen, teils durch künstliches Gummi, teils durch federnde Räder. Bei letzteren hat man an Stelle der Speichen kräftige Spiralfedern angewendet oder auch die Nabe federnd ausgestaltet. Zu einer allgemeinen Einführung haben es diese Konstruktionen nicht gebracht, zum Teil wohl, weil diese Federn meist nur nach einer Richtung hin nachgiebig sind, die Automobilräder jedoch in den verschiedensten Richtungen beansprucht werden: radial durch die Belastung und durch Stöße, axial beim Durchfahren von Kurven und schließlich tangential durch die Antriebs- und Bremskräfte. *Vollgummireifen* sind nur bei Wagen mit geringerer Geschwindigkeit zulässig, also bei Lastwagen, Omnibussen usw. Für Lastwagen werden die Räder häufig aus Stahlguß ausgeführt und dann mit Gummi- oder Eisenbereifung versehen; auch werden für die Hinterräder dann oft Doppelreifen nebeneinander angewendet.

Fig. 924. Fig. 925.
Fig. 924 und 925. Alpha-Felge. Fig. 924. Verschluß zu, Alpha-Felge betriebsfertig. Fig. 925. Verschluß offen, Alpha-Felge kann abgenommen werden.

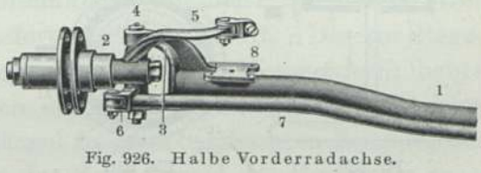


Fig. 926. Halbe Vorderradachse.

Die *Vorderradachse* (Fig. 926) besteht aus einem festen Mittelteil 1, das je nach Erfordernis nach unten durchgekröpft ist, und den beiden Schenkeln 2; diese sind in den gabelförmig ausgebildeten Achsenenden 3 mittels Bolzen 4 drehbar gelagert. Am rechtsseitigen Achsschenkel sitzt ein Hebel 5, durch den er mit der Zugstange der Steuerung in Verbindung steht (vgl. auch Fig. 913). Außerdem sind beide Achsschenkel mit einem Ansatz 6 versehen und durch eine Verbindungsstange 7 (Teil 15 in Fig. 913) miteinander gekuppelt. Auf dem festen Mittelstück befinden sich die Platten 8, die zur Befestigung der Tragfedern des Wagens dienen. Die Achsen werden aus profiliertem Stahl meist mit I-Form-Querschnitt hergestellt. Die Anordnung der *Achsschenkelsteuerung* (Fig. 927) steht im Gegensatz zu der an anderen Fahrzeugen üblichen Drehgestellsteuerung. Während dort die beiden Vorderräder gemeinsam mit ihrer Achse ein Drehgestell bilden, so daß sich beim Befahren von Kurven beide Räder um denselben Punkt in der Mitte der Achse drehen, wird bei der Achsschenkelsteuerung jedes Vorderrad um seinen eigenen Drehpunkt, nämlich den Bolzen 4 (Fig. 926)

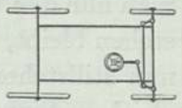


Fig. 927. Achsschenkelsteuerung.

in der Achsgabel, bei der Kurvenfahrt geschwenkt, während die Achse selbst fest mit dem Rahmen verbunden ist und in ihrer Lage beharrt. Dieser wesentlich kleinere Abstand des Rades von seinem Drehpunkt bedeutet einen viel kürzeren Hebelarm für Stöße, die das Rad z. B. durch Steine erleidet. Die Anordnung der Achsschenkel selbst erfolgt entweder nach dem *Pivotsystem* (Fig. 928) oder nach dem *Gabelsystem* (Fig. 929 und 926).

Die *Hinterradachse* unterscheidet sich von der Vorderradachse nur dadurch, daß sie keine gelenkig angesetzten Achsschenkel besitzt; im übrigen ist die Konstruktion nebst Kugellagern usw. bei beiden die gleiche. Ein wesentlich anderes Aussehen erhält die Hinterradachse jedoch, wenn das *Differentialgetriebe* nicht, wie in Fig. 913, auf eine Vorgelegewelle verlegt ist, sondern direkt auf der Hinterradachse sitzt. Im ersten Falle hat das Automobil Kettenantrieb, und die Naben der Hinterräder drehen sich lose um die Achsschenkel der stillstehenden Achse; im zweiten Falle hat der Wagen Kardanantrieb, wobei die Räder mit den Achsschenkeln fest verbunden sind, die ganze Hinterachse also mit rotiert. Das Differential- oder Ausgleichgetriebe (Fig. 930 und 931) hat den Zweck, den beiden Rädern der Hinterachse beim Befahren einer Kurve die Möglichkeit ungleichgroßer Geschwindigkeiten zu geben, da z. B. das äußere Rad in der Kurve einen größeren Weg zurückzulegen hat, sich also schneller drehen muß. Die beiden Vorderräder können dieser Forderung ohne weiteres genügen, da sie unabhängig voneinander sind. Die beiden Hinterräder 1, 2 (Fig. 930) dagegen sind auf die in zwei Hälften 3, 4 geteilte hintere Achse aufgekeilt und durch das Differentialwerk miteinander verbunden. Letzteres wird dabei vom Motor aus unter Zwischenschaltung des Geschwindigkeitsgetriebes mittels Übertragung durch Kardanwellen angetrieben. Auf den beiden Hälften der Hinterradachse 3 und 4 sitzen die Kegelzahnräder 5 und 6. Mit diesen stehen im Eingriff die beiden kleinen Kegelräder 7 und 8, die drehbar in dem Gehäuse 9 gelagert sind. Mit dem Gehäuse verbunden ist das Kegelrad 10, und dieses steht im Eingriff mit dem von der Kardanwelle angetriebenen kleinen Kegelrad 11. Beim Fahren auf gerader Strecke wird also mittels der Räder 11 und 10 das Gehäuse 9 gedreht und nimmt die Kegelräder 7 und 8 mit. Diese würden sich auf den Rädern 5 und 6 abrollen, wenn ihnen nicht dadurch eine Bewegung nach entgegengesetzten Richtungen erteilt würde. So aber heben diese beiden Wirkungen einander auf; die beiden Räder 7 und 8 drehen sich überhaupt nicht, sondern werden gewissermaßen zwischen den Rädern 5 und 6 eingeklemmt und nehmen nun diese in der von dem Gehäuse 9 eingeschlagenen Richtung mit, drehen also damit auch die Achshälften 3 und 4 und die Räder 1 und 2. Nimmt man nun den Grenzfall an, daß der Wagen eine so scharfe Kurve befährt, daß das eine Rad, z. B. 1, stehen bleibt, so werden sich bei der gleichen Übertragung wie vorher die Rädchen 7 und 8 auf dem nun stillstehenden Rad 5 abrollen können und dabei gleichzeitig dem Rad 6 eine Bewegung in gleichem Sinne wie die des Gehäuses erteilen. Das bedeutet, daß das eine Rad stillsteht, trotzdem das andere angetrieben wird, oder, allgemeiner gesagt: die Geschwindigkeiten der beiden Hinterräder sind verschieden. Statt der beiden Rädchen 7 und 8 sind häufig vier solche, kreuzförmig zueinander stehend, angebracht, was an der Gesamtwirkungsweise natürlich nichts ändert. Das Gehäuse 9 schließt staub- und öldicht; die Achshälften 3 und 4 pflegen in Rohre eingeschlossen zu sein, die mit sogenannten Federbrücken zum Tragen der Wagenfedern versehen sind.

Fig. 928. Pivotsystem.

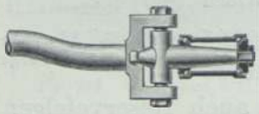


Fig. 929. Gabelsystem.

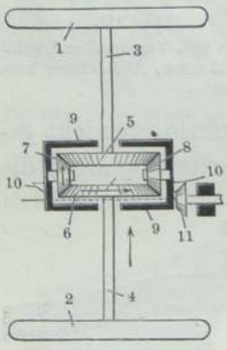


Fig. 930.

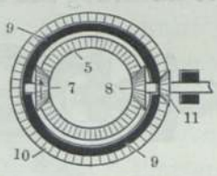


Fig. 931.

Fig. 930 und 931. Differentialwerk.

2. Der Rahmen.

Während man mit Chassis das gesamte Untergestell eines Motorwagens mit den zugehörigen Maschinenteilen bezeichnet, ist der *Rahmen* derjenige aus Längs- und Querträgern

zusammengesetzte Teil des Gestelles, an dem die Federn mit den Achsen sowie der ganze maschinelle Teil befestigt sind. Je nach dem Material, aus dem er hergestellt ist, unterscheidet man eisenarmierte Holzrahmen, die an den Ecken mittels Bolzen, Zapfen und Winkeleisen zusammengefügt sind; Rahmen aus gepreßtem Stahlblech, bei denen die Längsträger durch zwei oder mehrere Querträger verbunden sind; Rahmen aus profilierten Stahlträgern, deren Längsträger aus Walzeisen durch angenietete Querstücke verbunden sind; Rahmen aus Stahlrohren, die verschweißt bzw. hartgelötet und mit Stahlbolzen gesichert sind. Am meisten verwendet man heute Rahmen aus U-förmigen Stahlträgern. Um das Befahren kleiner Kurven zu erleichtern, wozu eine starke Drehung der Vorderachsen notwendig ist, wird dem Rahmen eine nach vorn verjüngte Form gegeben (s. 1 in Fig. 913). Die Achsen des Wagens stehen mit dem Rahmen in federnder Verbindung. Die Stärke der *Federn*, ihre Anzahl und Ausführung richtet sich nach dem Wagengewicht und der Stärke des Motors. Am häufigsten ist die Anordnung von vier langen, halbelliptischen Blattfedern, und zwar so, daß die vorderen Enden der Vorderachsfedern direkt am Rahmen, alle übrigen mittels Hängependel befestigt werden (vgl. Fig. 912). Die stählernen Federn werden gewöhnlich auf den Federplatten der Achsen 8 (Fig. 926) durch Federbunde mit diesen verschraubt. Um die Schwingungen der Federn zu dämpfen und ein starkes Hin- und Herpendeln der Karosserie zu vermeiden, bringt man zuweilen sogenannte *Stoßdämpfer* an; dies sind entweder einfache Gummipuffer, die zwischen den Federn befestigt werden, oder sie beruhen darauf, daß durch die Federbewegung in einem Zylinder ein Doppelkolben zwischen zwei Kammern, die mit Flüssigkeit gefüllt sind, hin und her bewegt und durch einen Verbindungskanal die Flüssigkeit abwechselnd von der einen Kammer in die andere gedrückt wird.

3. Der Motor.

Als Kraftquelle besitzt das Benzinautomobil einen ein- oder mehrzylinderigen Motor, dessen *Zylinder* meist *stehend* angeordnet sind; bei kleineren Fahrzeugen wird mit Rücksicht auf die leichtere Unterbringung der ganzen Maschinerie noch häufig der *liegende* Einzylindermotor verwendet. Der Motor ist in den Vorderteil des Rahmens eingebaut, weil er hier den Steuerungsmechanismus günstiger belastet, leicht zugänglich ist und dem Konstrukteur gestattet, den dahinter folgenden Führersitz zugunsten einer besseren Stabilität des Wagens niedrig zu legen. Die Arbeitsweise des Motors ist in der Abteilung „Verbrennungsmaschinen“ behandelt. Der Motor arbeitet als *Viertaktmotor*, d. h. von vier Huben liefert nur einer Kraft. Die zur Regelung des Gaseintritts erforderlichen *Ventile* sind (im Gegensatz zu den Motorrädern) heute ebenso wie die Austrittsventile gesteuert, d. h. ihr Öffnen erfolgt zwangläufig durch Nocken, die auf einer besonderen Steuerwelle sitzen und die Ventilkegel zu ganz bestimmten Zeitpunkten heben; das Schließen erfolgt durch Federdruck. Bezüglich der *Zylinderzahl* des Motors ist man bestrebt, den Einzylinder durch zwei- und vierzylinderige, auch fünf-, sechs- und selbst achtzylinderige Motoren zu ersetzen. Bei mehreren Zylindern werden nämlich die durch die Explosionen periodisch hervorgerufenen Erschütterungen am vollkommensten ausgeglichen, d. h. es wird ein ruhigerer Gang erzielt. Das Andrehen des Motors erfolgt mittels Handkurbel (11 in Fig. 912), die meist vor dem Vorderende des Wagens angebracht ist und ein Sperrwerk besitzt, um sich, sobald der Motor läuft, selbst auszuschalten. Um ein Durchgehen des Motors in unbelastetem Zustande zu verhindern und den veränderlichen Widerständen während der Fahrt gerecht zu werden, bringt man einen *Regulator* an. Allgemein angewendet wird ein Zentrifugalregulator, der in Verbindung mit einem Gestänge auf die Drosselklappe in der Gaszuleitung einwirkt. Er wird beeinflußt durch einen am Motorgetriebe vorgesehenen Hebel, mit dem man die Tourenzahl verändern kann. Zur Erzeugung des Gemisches von Benzindampf und Luft dient der *Vergaser (Karburator)*, fast durchweg ein Spritzvergaser. Die Erzielung einer vollkommenen Gasbildung wird erleichtert, indem man dem Vergaser unter Verwendung einer doppelten Wandung die Wärme der Auspuffgase oder des Kühlwassers zuführt. Das Luftzuführungsrohr endet gewöhnlich am Auspuffrohr, so daß auch die Luft vor Eintritt in den Mischraum angewärmt wird.

Zündung. Zur Erzeugung der Explosion des Gas- und Luftgemisches wendet man allgemein die *elektrische Zündung* an. Bei der *Induktions-* oder *Batteriezündung* werden aus einer Batterie von 2—4 Primärelementen oder Akkumulatoren Stromstöße mittels Unterbrechers durch die Primärwickelung einer Induktionsspule geschickt, wodurch zwischen den Polen der sogenannten *Zündkerze*, die in den Sekundärstromkreis geschaltet ist, Funken überspringen. Bei der *Magnetzündung* treibt der Motor eine kleine magnetelektrische Maschine, und durch eine Abreißvorrichtung erfolgt eine Unterbrechung des Stromkreises im Innern des Zylinders, wobei der auftretende Öffnungsfunke die Zündung bewirkt. Der Mißstand der für den Abreißmechanismus erforderlichen Stangen- und Hebelverbindung hat der Zündkerze zur Wiedereinführung verholfen, die in Verbindung mit dem Elektromagnet verwendet wird. Bewährte Konstruktionen sind die von Bosch, Eisemann und anderen.

Kühlung. Um den schädlichen Einfluß der bei den Explosionen auftretenden hohen Temperaturen auf die Zylinderwandung aufzuheben, umgibt man den Zylinder mit einem von *Kühlwasser* durchströmten Hohlraum. Das erwärmte Wasser wird dann in einen Kühlapparat (24 in Fig. 912) geleitet, der in den Vorderteil des Wagens verlegt ist, um den dort sich entwickelnden starken Luftzug während der Fahrt zur Kühlung des Wassers auszunutzen. Ein für Automobile sehr verbreiteter Kühlapparat ist der sogenannte *Waben-* oder *Bienenkorbkühler*, bei dem das Wasser durch zahlreiche gitterförmig angeordnete Kanäle geleitet wird, während die Luft durch die horizontalen Öffnungen des Gitters streicht. Die Wasserzirkulation wird fast durchweg durch eine Pumpe, und zwar meist eine Rotations- oder Zentrifugalpumpe, bewirkt. Zur Verstärkung des Luftzuges bei langsamem Fahren des Wagens, z. B. bergauf, oder um auch bei Stillstand des Wagens Luftkühlung zu haben, treibt der Motor einen kleinen, direkt hinter dem Kühlapparat stehenden Ventilator, der Luft ansaugt und dadurch kühlend auf das Wasser wirkt. Bisweilen wird zu dem gleichen Zwecke das Schwungrad mit Flügeln ausgestattet. Die reine Luftkühlung wie bei den Motorrädern durch angegossene Kühlrippen am Zylinder findet nur für kleinere Fahrzeuge mit schwächeren Maschinen Verwendung.

Die **Schmierung** des Motors erfolgt gewöhnlich automatisch durch eine Ölpumpe, die das Öl aus dem Ölbehälter nach den verschiedenen Tropfölern des *Zentralschmierapparates* führt. Dieser ist mit seinen Schaugläsern sichtbar an der vorderen Querwand (Spritzwand) des Wagens angebracht, so daß vom Führersitz aus jederzeit der richtige Gang der Ölpumpe kontrolliert werden kann. Bei den meisten Konstruktionen wird zur Schmierung der motorischen Teile ein unter Überdruck stehendes Öl verwendet; der Druck wird durch die Energie der Auspuffgase erzeugt und dient gewöhnlich außerdem zur Beförderung des Benzins aus dem meist tief gelagerten Benzinhauptbehälter zum Vergaser des Motors. Kleinere Wagen haben nur Handpumpen für die Ölung des Motors.

Unmittelbar hinter dem Kurbelgehäuse sitzt auf der Welle der Hauptachse das *Schwungrad*. Es dient dazu, die periodisch wirkenden Kolbenkräfte auszugleichen, also einen ruhigeren Gang der Maschine zu bewirken. Es ist meist als Kuppelung von Motor und Geschwindigkeitsgetriebe ausgebildet.

4. Die Kraftübertragung.

Jeder Benzinmotor zeigt seine größte Leistung bei einer bestimmten Tourenzahl; sinkt diese, dann vermindert sich die Leistung bedeutend. Deshalb ist jedes Automobil mit einer Vorrichtung versehen, die gestattet, seine Tourenzahl auch in solchen Fällen auf normaler Höhe zu halten, wo ein Nachlassen der Kraft des Motors eintreten würde. Man erreicht dies durch Änderung des Übersetzungsverhältnisses zwischen der Antriebswelle des Motors und den Treibrädern des Wagens, so daß bei einer stärkeren Beanspruchung des Motors, z. B. beim Bergauffahren, dieser nicht gezwungen wird, auf Kosten seiner Tourenzahl eine größere Kraft zu entwickeln, vielmehr hält man durch Änderung der Übersetzung seine Tourenzahl konstant und verringert statt dessen die Fahrgeschwindigkeit des Wagens. Diese Veränderung des Übersetzungsverhältnisses wird durch Einschalten eines Zahnräderwechselgetriebes (Geschwindigkeitsgetriebes) oder auch des

einfacheren Planscheiben- (Reibrad-, Friktions- oder Diskus-) Getriebes erzielt. Um jedoch den Motor auch in unbelastetem Zustande anlassen zu können, und damit die Zahnräder beim Übersetzungswechsel durch das Ineinanderschieben nicht beschädigt werden, ist hinter dem Motor eine lösbare *Kuppelung* eingeschaltet, die, wie schon erwähnt, gewöhnlich in das Schwungrad verlegt wird.

Kuppelung. Fig. 932 zeigt die am meisten verbreitete *Konuskuppelung*, die als Friktionskuppelung wirkt. Die Motorachse 1 trägt die innen kegelförmig ausgehöhlte Schwungscheibe 2. Auf der Welle 3 (Getriebewelle) ist der außen mit Leder oder Kamelhaar bekleidete Kuppelkonus 4 verschiebbar, aber nicht drehbar angeordnet. Durch die Feder 5 wird der Konus ständig in die Scheibe 2 (Mutterkonus) hineingepreßt, und dadurch wird die Welle 3 von der Welle 1 mitgenommen. Auf der mit dem Konus verbundenen Hülse 6 liegt lose in einer Vertiefung der Ring 7 mit dem Zapfen 8. Letzterer wird von dem gabelförmig gestalteten Ende des um 9 drehbaren Hebels 10 umfaßt. Das obere Ende von 10 trägt ein Pedal 11. Wird auf letzteres in Richtung des Pfeiles 12 getreten, so wird durch die entgegengesetzte Bewegung des anderen Hebelendes die Hülse 6 und damit der Konus 4 in der Richtung des Pfeiles 13 verschoben, die Kuppelung also gelöst. Letzteres geschieht nun jedesmal, wenn der Wagen in Bewegung gesetzt oder die Übersetzung geändert werden soll. Nach vollzogener Einstellung wird dann das Pedal langsam wieder losgelassen, worauf durch den Federdruck die Kuppelung wieder hergestellt wird. Das Kuppelungspedal steht zumeist noch durch eine Stange mit der Drosselklappe des Vergasers in Verbindung, um beim Ausschalten der Kuppelung das Durchgehen des Motors zu verhindern. Von anderen Kuppelungsarten seien noch die Expansionskuppelung, die Scheibenkuppelung und die elektromagnetische Kuppelung erwähnt.

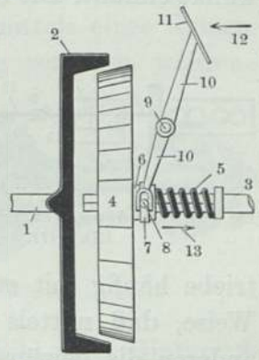


Fig. 932. Konuskuppelung.

Geschwindigkeits- (Wechsel-) Getriebe. Dieses wird mittels der Welle 3 (Fig. 932) in Bewegung gesetzt. Der *Reibrad-* oder *Friktionsantrieb* ist einfach und billig und gestattet eine feine Abstufung der Übersetzung, hat aber den Nachteil eines schlechten Wirkungsgrades und hohen Kraftverbrauches; er wird nur bei kleineren Fahrzeugen angewendet. Allgemein verbreitet ist dagegen das *Zahnradwechselgetriebe*. Fig. 933 zeigt es in der üblichen Anordnung mit *einem* Schieber und direktem Eingriff der großen Übersetzung (vgl. auch Fig. 913). Auf der Motorwelle 1 (Fig. 933), die der Welle 3 in Fig. 932 entspricht, ist das Zahnrad 2 befestigt und steht ständig im Eingriff mit dem auf der Vorgelegewelle 3 sitzenden Zahnrad 4. Welle 3 trägt außerdem die drei Zahnräder 5, 6 und 7. In der Verlängerung der Motorwelle 1 liegt die Antriebswelle 8, welche die Übertragung der Kraft auf die Hinterräder vermittelt. Auf ihr kann die Hülse 9 mit den drei Zahnrädern 10, 11 und 12 mittels der Stangen 13 und 14 und des lose in einer Vertiefung der Hülse liegenden Ringes 15 verschoben werden. Schiebt man die Hülse so, daß die Zahnräder 6 und 11 in Eingriff kommen, so wird die Welle 8 entsprechend dem Größenunterschiede von 6 und 11 langsamer laufen als die Motorwelle 1: der Wagen läuft mit der kleinen *(ersten)* Übersetzung oder Geschwindigkeit. Beim Eingriff von 5 und 10, deren Größenunterschied geringer ist, läuft der Wagen etwas schneller (mittlere oder *zweite* Geschwindigkeit). Wird die Hülse 9 noch weiter nach links geschoben und mit dem Ende der Welle 1 gekuppelt, so erfolgt die Übertragung direkt, und Antriebswelle 8 und Motorwelle 1 haben die gleiche Tourenzahl: der Wagen läuft mit der großen oder *dritten* Übersetzung. Die genannte Kuppelung erfolgt in der Regel dadurch, daß die Wellen entweder durch Klauenkuppelung ineinander eingreifen, oder daß das Zahnrad 2 doppelt so breit ausgebildet wird und mit seiner überstehenden rechten Hälfte in eine innere Verzahnung des Zahnrades 10 eingreift; seltener ist die in der Figur gezeigte Anordnung,

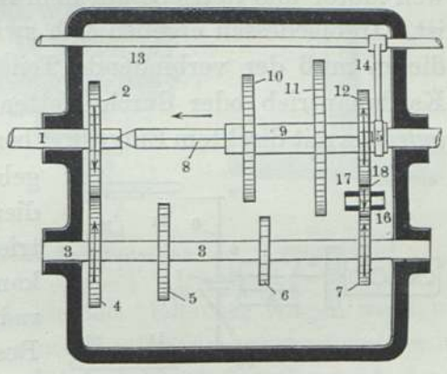


Fig. 933. Geschwindigkeitsgetriebe mit direktem Eingriff.

daß sich die innen vierkantige Hülse 9 mit dem vierkantigen Ende der Welle 1 kuppelt. Auf einer weiteren Welle 16, die unterhalb der beiden anderen bei 17 gelagert ist, sitzt das kleine Zahnrad 18, das mit dem Zahnrad 7 ständig in Eingriff steht. Wird nun die Hülse 9 so weit nach rechts geschoben, daß auch die Zahnräder 12 und 18 in Eingriff kommen, so wird die Drehungsrichtung der Antriebswelle 8 umgekehrt (siehe die in die Figur eingezeichneten Pfeile), der Wagen läuft also rückwärts. Alle Wellen, auch die Motorkurbelwelle, laufen in Kugellagern. Die Verschiebung der Stange 13 erfolgt vom Führer aus mittels des *Schalt- (Geschwindigkeits-) Hebels* (10 in Fig. 912); dieser bewegt sich in einem mit Einschnitten versehenen Sektor (36 in Fig. 912), in den eine Sperrklinke einfällt. Die beschriebene Anordnung des Getriebes mit *einem* Schieber 13 (Fig. 933) bedingt, daß man nur stufenweise von einer Geschwindigkeit auf die andere übergehen kann, daß man also z. B. beim Umschalten von der großen Übersetzung auf die kleine durch die mittlere Übersetzung hindurchgehen muß; bei vier Übersetzungen, wie sie an großen Wagen häufig angewendet werden, müßten sogar zwei Übersetzungen passiert werden. Da außerdem das Getriebegehäuse eine sehr große Baulänge erhalten würde, so werden diese Getriebe häufig mit *mehreren Schiebestangen* ausgeführt. Ihre Handhabung geschieht dann in der Weise, daß mittels der einen Stange die auszuwechselnde Übersetzung abgeschaltet, mit der anderen die gewünschte Übersetzung unabhängig von den zwischenliegenden eingerückt wird. Bei den Wechselgetrieben mit *indirektem Eingriff* erfolgt die Kraftübertragung auf die Hinterräder bei jeder Übersetzung von der Vorgelegewelle aus; infolgedessen findet ein größerer Kraftverlust statt als bei der am meisten benutzten großen Übersetzung des direkten Eingriffs.

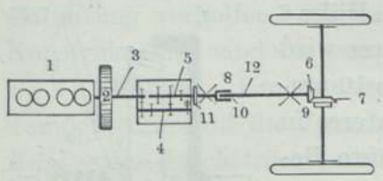


Fig. 934. Kardanwagen mit direktem Eingriff.

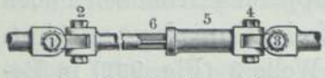


Fig. 935. Kardanwelle.

Kardan- und Kettentrieb. Die weitere Übertragung, also die Verbindung zwischen Getriebe und Hinterradachse, muß elastisch sein, weil Motor und Getriebe auf dem Rahmen ruhen und dieser gegen die Hinterradachse abgefedert ist. Infolgedessen ergeben sich zwischen den beiden zu verbindenden Punkten Verschiebungen; diesen muß der verbindende Teil nachgeben können. Man erreicht dies entweder durch den Kardanantrieb oder durch Kettenübertragung. Die Fig. 934 zeigt das Schema eines *Kardanantriebes* mit direktem Eingriff. 1 bezeichnet einen vierzylinderigen Motor mit paarweise zusammengebauten Zylindern; 2 ist das Schwungrad, zugleich als Kuppelung dienend; 3 ist die zu kuppelnde, 4 die Vorgelege- und 5 die Antriebswelle, die aus dem eben besprochenen Wechselgetriebe bekannt sind. 6 und 7 deuten die Kegelräder des auf der Hinterradachse sitzenden Differentialgetriebes an, das schon bei der Besprechung der Räder erläutert worden ist. Die Verbindung zwischen der Getriebewelle 5 und dem Kegelrade 6 wird nun durch den Kardanantrieb vermittelt. Er besteht aus einer Welle 12, die an ihren beiden Enden mit Universal-(Kardan-) Gelenken versehen ist. Aus Fig. 935 ist ersichtlich, wie die Welle mit ihren gabelförmigen Enden durch Drehung um die kreuzförmig miteinander verbundenen Bolzen 1 und 2 sowie 3 und 4 in den verschiedensten Richtungen nachgeben, dem Federspiel des Rahmens also folgen kann. Zu berücksichtigen ist noch, daß sich bei diesen Bewegungen auch die Entfernung zwischen den Verbindungspunkten ändert; daher ist die Welle teleskopartig in sich verschiebbar, indem das eine Ende 5 zu einer innen vierkantig gestalteten Hülse ausgebildet ist. Das andere Ende 6, ebenfalls vierkantig, kann sich dann in 5 verschieben, ohne die gemeinsame Drehung zu hindern. In Fig. 934 bezeichnen 8 und 9 die kreuzartigen Kardangelenke und 10 die teleskopische Verbindung; 11 ist eine Bremstrommel dicht am Getriebekasten.

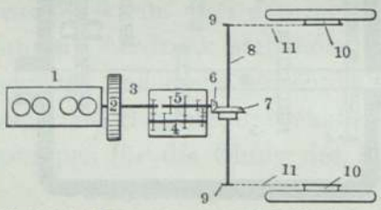


Fig. 936. Kettenwagen mit direktem Eingriff.

Die Form der *Kettenübertragung* ist aus der schematischen Fig. 936 ersichtlich. Die Anordnung der Übertragung vom Motor bis zum Wechselgetriebe ist dieselbe wie beim Kardanantrieb (Fig. 934). Das Differentialgetriebe mit den beiden Kegelrädern 6 und 7 ist jedoch auf eine besondere

Welle 8 verlegt und dicht an den Getriebekasten herangerückt. Häufig werden sogar Wechsel- und Differentialgetriebe in einem Gehäuse vereinigt. Da schon die Welle 8 durch das Differentialgetriebe in zwei Hälften zerlegt ist, von denen aus mittels Kettenräder 9 und 10 durch Ketten 11 die Hinterräder angetrieben werden, so darf in diesem Falle die Hinterradachse fest angeordnet sein, während sich die Räder lose um ihre Schenkel drehen. Damit durch die während der Fahrt auftretenden Rahmenverbiegungen kein Klemmen der Kettenräder in ihren Lagern stattfinden kann, schaltet man in die Welle gewöhnlich Kardangelenke ein; letztere werden aus dem gleichen Grunde häufig auch zwischen Kuppelung und Getriebe angebracht. Die Ketten sind den bei Fahrrädern üblichen ähnlich und so angeordnet, daß sie bei Bedarf nachgestellt werden können. Dies geschieht durch Zurückschieben der Hinterradachse mittels eines Kettenspanners. Gewöhnlich werden sehr schwere Wagen mit Kettenübertragung versehen, während die Kardanwelle hauptsächlich für mittelschwere und kleinere Automobile Verwendung findet. Die Anordnung der Kettenübertragung ist auch in Fig. 913 deutlich zu erkennen, wo 35 das Differentialgetriebe bezeichnet, 12 die geteilte Vorgelegewelle, 13 die Kettenräder auf der Vorgelegewelle und 14 die Kettenräder auf der Hinterradachse.

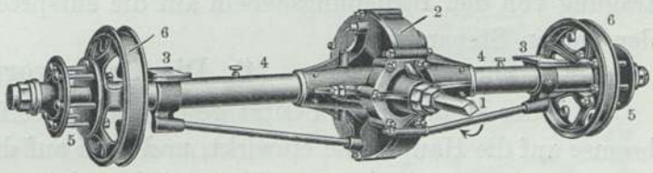


Fig. 937. Hinterradachse für Kardanantrieb.

Fig. 937 dagegen gibt das Bild einer Hinterradachse für Kardanantrieb: 1 ist die vorstehende Achse des kleinen Kegelzahnrades, auf welche die Hülse des Kardangelenkes geschoben wird; 2 ist das Gehäuse des Differentialgetriebes. Bei 3 sind die sogenannten Federbrücken als Träger der Wagenfedern angebracht; die Antriebsachsenhälften liegen im Innern der Rohre 4. Die Naben 5 sind zur Aufnahme für Holzspeichenräder und die Bremsscheiben 6 für Bandbremsen bestimmt.

5. Die Lenkungsvorrichtung.

Die Lenkung (Steuerung) der Motorwagen erfolgt durch Schrägstellen der Vorderräder mittels eines besonderen Steuerungsapparates, der durch das Handrad vom Führersitz aus betätigt wird. Soweit die Steuerung die Konstruktion der Achsschenkel beeinflußt, ist sie bei den Rädern besprochen worden.

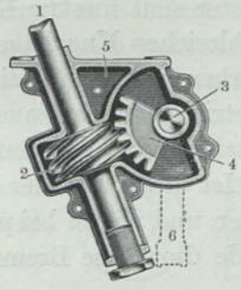


Fig. 938. Schneckensteuerung.

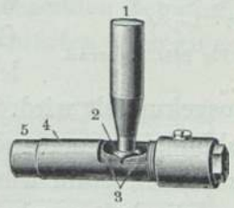


Fig. 939. Stoßfänger.

Das *Handrad*, auch *Lenk-* oder *Steuerrad* genannt (16 in Fig. 912), besteht aus einem Gerüst von Eisen-, Bronze- oder Aluminiumguß und ist am Umfange mit Holz bekleidet. Kleinere Wagen werden, der Billigkeit halber, oft statt mit einem Handrad nur mit einer Lenkstange ausgerüstet, mit der dann der sehr einfach ausgeführte Steuerungsmechanismus durch Zahnstange oder nach dem System der Fahrradlenkung bedient werden kann. Das Handrad ruht auf der schräg gestellten *Steuersäule* (31 in Fig. 912) an der rechten Seite des Wagens. Um zu vermeiden, daß Stöße, welche die Vorderräder durch Unebenheiten der Straße erleiden, auf das Steuerrad zurückwirken, verwendet man ausschließlich *selbstsperrende Steuerungen*. Als solche kommen die Schnecken- und die Schraubensteuerung in Betracht. Man nennt sie selbstsperrend, weil ihre Wirkungsweise nur nach einer Richtung stattfindet, z. B. kann das Schneckenrad durch die Schnecke bewegt werden, nicht aber umgekehrt.

Fig. 938 zeigt eine *Schneckensteuerung*. An der Hohlstange 1, die am oberen Ende das Handrad trägt, befindet sich die Schnecke 2, die mit dem um 3 drehbaren Schneckensektor 4 in Eingriff steht; beide sind von einem Gehäuse 5 umschlossen. An der Achse 3 ist nun der Steuerschenkel 6 befestigt, der mittels des sogenannten Stoßfängers mit dem Gestänge der Vorderräder in Verbindung steht. In Fig. 939 ist der *Stoßfänger* dargestellt, der ebenfalls Stöße von dem Steuerrad fernhalten soll: der in Fig. 938 als 6 angedeutete Steuerschenkel 1 läuft in eine Kugel 2 aus,

die von zwei Hohlstücken 3 umschlossen wird. Diese sind in der zylindrischen Hülse 4 verschiebbar gelagert und werden durch Federn gegen die Kugel 2 gepreßt. Die Hülse 4 ist auf der Zugstange 5 (37 in Fig. 913) befestigt, die durch ihre Verschiebung die Verstellung der Vorderräder bewirkt.

Heute wird an Stelle des Schneckenradsektors mehr die Schraubenhülse verwendet, weil sich dadurch die Stöße auf eine größere Fläche verteilen. Bei dieser *Schraubensteuerung* ist die Steuerspindel mit einem Gewinde versehen, auf das eine Mutter aufgeschraubt ist und bei Drehung der Spindel auf und ab gleitet. An der Mutter befindet sich außen ein Zapfen, der von einer Gabel umfaßt wird. Letztere ist mit dem Steuerschenkel verbunden, der wiederum in dem Stoßfänger endet.

Am Steuerrad selbst oder auch unterhalb desselben, auf einem an der Steuersäule befestigten besonderen Segment, sind die Bedienungshebel für die Zündung, Vergasung und bei manchen Konstruktionen auch für die Schaltung der Geschwindigkeiten angeordnet. Die Übertragung von den Bedienungshebeln auf die entsprechenden Organe am Motor verläuft innerhalb der hohlen Steuersäule.

6. Die Bremsvorrichtungen.

Jeder Motorwagen besitzt gewöhnlich drei Bremsen, und zwar eine, die meist als Fußbremse auf die Hauptwelle einwirkt, und zwei auf die Hinterradachse wirkende, die durch Handhebel (21 in Fig. 912) betätigt werden; zwei sollen jedenfalls voneinander unabhängig sein, und eine davon soll auf die Hinterräder wirken.

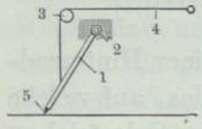


Fig. 940. Bergstütze.

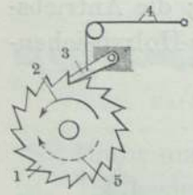


Fig. 941. Sperrad.

Man unterscheidet Bremsung: durch den Motor, durch Fußbremsen, durch Handbremsen und durch Rücklaufsicherungen. Die *Motorbremsung* ist wenig energisch, da man nur durch die Leergangsarbeit des Motors bremsen kann, d. h. durch diejenige Arbeit, die geleistet werden muß, um den leerlaufenden Motor in Bewegung zu erhalten. Bei leerlaufendem oder unbelastetem Motor sind nur die Reibungskräfte zu überwinden, und diese sind wegen der zahlreichen Kugellager, der guten Ölung usw. sehr gering. Die *Handbremsen* wirken meist auf die Radnaben, während die *Fußbremsen* in der Regel als Getriebebremsen ausgebildet sind. Eine gebräuchliche Anordnung ist bei letzteren die, daß durch Niederdrücken des Bremspedals gleichzeitig der Motor losgekuppelt wird. Ist dies nicht der Fall, sondern sind Kuppelungspedal und Bremspedal unabhängig voneinander, und würde bei plötzlicher Bremsung vergessen, die Kuppelung gleichzeitig zu lösen, dann würde durch die Bremsung auch der Motor angehalten und müßte von neuem angekurbelt werden.

Für kleinere Fahrzeuge wird gewöhnlich die *Bandbremse* bevorzugt. Ihre Wirkungsweise ist genau so, wie sie bei den Motorrädern besprochen und in Fig. 908 dargestellt ist; nur ist bei den Motorwagen das Stahlband 2 statt mit Lederfütterung zuweilen mit einer größeren Anzahl kleiner Bremsklötze versehen. Das Zugseil 7 führt gewöhnlich zu einem am Führersitz angebrachten Handhebel. Fig. 937 zeigt die Anbringung von zwei Bremsscheiben 6 für Bandbremsen auf einer Hinterradachse mit Kardanantrieb. Man bezeichnet diese Art Bremsen auch als *Außenbremsen*.

Bei größeren Fahrzeugen wird vorzugsweise die als Innenbremse konstruierte *Backenbremse* angewendet. Sie ist ebenfalls bei den Motorrädern erläutert und in Fig. 909 dargestellt. Sie wird meistens auf eine Welle des Wechselgetriebes wirkend ausgeführt und durch einen Fußhebel betätigt. Durch vollständiges Einschließen in die Bremstrommel kann sie leicht gegen Verschmutzen geschützt werden. Zur Betätigung der Bremsen wird, ebenso wie bei den Motorrädern, häufig das Bowdenkabel verwendet, doch scheint man in neuerer Zeit die zuverlässigere Übertragung durch Gestänge zu bevorzugen.

Mit *Rücklaufsicherungen* bezeichnet man Vorrichtungen, die dazu dienen, beim Befahren von Steigungen ein Rückwärtsrollen des Wagens infolge Versagens des Motors oder der Bremsen zu verhüten. Sie sind in Gestalt der sogenannten *Bergstützen* (Fig. 940) an jedem größeren Wagen vorhanden und bestehen aus kräftigen Eisenrohren oder Eisenstäben 1, die in einem beweglichen Scharnier 2 am Rahmen des Wagens befestigt sind. Im Ruhezustand werden sie durch ein über

die Rolle 3 geleitetes Zugseil 4 vom Führersitz aus hoch gehalten, um beim Rückwärtsfahren nicht hinderlich zu sein. Beim Nachlassen des Zugseiles fallen sie durch ihre eigene Schwere zu Boden und bilden, auf der Erde schleifend, kein Hindernis für das Vorwärtsfahren. Rollt jedoch der Wagen rückwärts, dann bohren sich die Eisenspitzen 5 in die Oberfläche der Fahrbahn und verhindern eine weitere Rückwärtsbewegung.

Zuweilen werden statt Bergstützen *Sperräder* (Fig. 941) angewendet. Um ihrer Wirkung sicher zu sein, muß man sie direkt an den Radnaben und nicht auf einer Getriebewelle anbringen, da sie sonst beim Bruch des Kardangetriebes oder einer Kette nicht in Wirksamkeit treten könnten. Sie bestehen aus dem Sperrad 1, das sich beim Vorwärtsgang des Wagens ungehindert in der Pfeilrichtung 2 dreht, und einer Sperrklinke 3, die sich beim Nachlassen des Seilzuges 4 auf die Zähne des Sperrades legt und den Rückwärtsgang in der Pfeilrichtung 5 verhindert.

7. Zubehörteile.

Der **Benzinbehälter** zur Mitnahme des Betriebsstoffes ist entweder unter dem Führersitz, also höher als der Vergaser, gelagert, dann fließt das Benzin letzterem durch natürliches Gefälle zu; oder er ist (neuerdings häufiger) am hinteren Rahmenende des Wagens hängend befestigt, dann erfolgt die Zuführung des Brennstoffes zum Vergaser durch den Druck der Auspuffgase. Am Motor befindet sich ein Druckreduzierventil, das dafür sorgt, daß dem Benzinbehälter stets ein Teil der Auspuffgase unter entsprechendem Druck zugeführt wird. Außerdem ist ein Sicherheitsventil vorgesehen, durch dessen Einstellung der Druck leicht geregelt werden kann. Diese Behälter unter Druck haben den Vorzug, daß das Benzin bei einer etwaigen Undichtheit entsprechend der Lage des Behälters auf die Straße fließt und nicht mit heißen Teilen des Motors, der Bremsen oder mit einem elektrischen Funkengeber in Berührung kommt. Infolgedessen ist die Feuersgefahr geringer als bei dem hochliegenden Behälter. Die Druckbehälter müssen aber aus stärkerem Material hergestellt sein und bedürfen auch einer Handluftpumpe oder eines kleinen hochliegenden Anlaßbehälters, um Benzin zum Vergaser zu schaffen, wenn noch keine Auspuffgase vorhanden sind. Es ist bereits erwähnt worden, daß der Druck der letzteren gleichzeitig dazu dient, den Ölapparat unter Druck zu setzen. Fig. 942 zeigt schematisch die Anordnung einer *Druckanlage für Benzin und Öl:* Ein Teil der Auspuffgase gelangt durch das Druckventil 1 zum Druckverteiler 2. Von hier führen Rohrleitungen zum Manometer 3 und zur Handluftpumpe 4. Ersteres dient dazu, den im Druckverteiler jeweilig herrschenden Druck abzulesen, während die Pumpe es ermöglicht, bei zu schwachem Druck diesen zu erhöhen. Schmierapparat 5 und Benzinbehälter 6 sind gleichfalls direkt an den Druckverteiler angeschlossen. In die Brennstoffleitung zum Vergaser ist gewöhnlich noch ein Wasserabscheider eingeschaltet, um das Absetzen von Wasser im Vergaser und einen dadurch verursachten unregelmäßigen Gang des Motors zu verhindern.

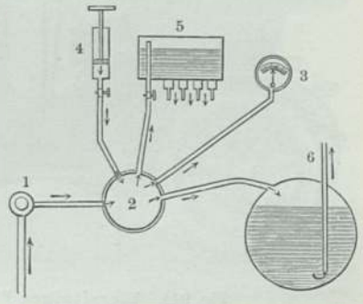


Fig. 942. Schema einer Druckanlage für Benzin- und Ölzufuhr.

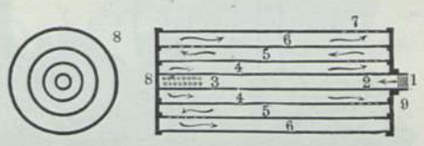


Fig. 943. Schalldämpfer (Schnitt).

Der **Schalldämpfer** oder **Auspufftopf** dient dazu, die beträchtliche Spannung der Auspuffgase herabzumindern und damit das Geräusch beim Austreten dieser Gase möglichst zu dämpfen. Die übliche Ausführung mit durchlochten, konzentrischen Trommeln ist in Fig. 943 dargestellt. Die Abgase treten bei 1 in das Stahlrohr 2, das am anderen Ende bei 3 ringsum mit einer Anzahl Löcher versehen ist. Durch diese treten die Gase nacheinander in die konzentrischen Zylinder 4, 5 und 6, die immer an dem der Eintrittsstelle entgegengesetzten Ende mit Austrittsöffnungen versehen sind. Der Austritt ins Freie erfolgt schließlich bei 7, entweder direkt oder durch ein oder zwei angeschlossene Ableitungsrohre. Die Blechzylinder sind auf der mit Nuten versehenen Grundplatte 8 abgedichtet und werden durch den auf das Stahlrohr 2 aufgeschraubten Deckel 9 zusammengehalten und abgeschlossen. Die Innenwandungen werden zuweilen mit Asbest bekleidet, um die

Resonanz der einzelnen Zylinder aufzuheben. Die Größe des Apparates muß der Menge der Abgase entsprechend bemessen werden, damit der Motor nicht durch Rückstauung einen zu großen Kraftverlust erleidet. Dieser Verlust ist nie ganz zu vermeiden und kann zuweilen, z. B. beim Nehmen von Steigungen, sehr fühlbar sein; er wird in solchen Fällen aufgehoben durch die schon bei den Motorrädern erwähnte *Auspuffklappe*, die zwischen Motor und Schalldämpfer eingeschaltet wird und den Gasen beim Öffnen einen direkten Abzug ins Freie gestattet. Wegen des damit verbundenen starken Geräusches kann von dieser Einrichtung nur auf offener Landstraße Gebrauch gemacht werden. Fig. 912 und 913 zeigen bei 34 den Schalldämpfer und das von ihm aus nach hinten verlaufende Ableitungsrohr.

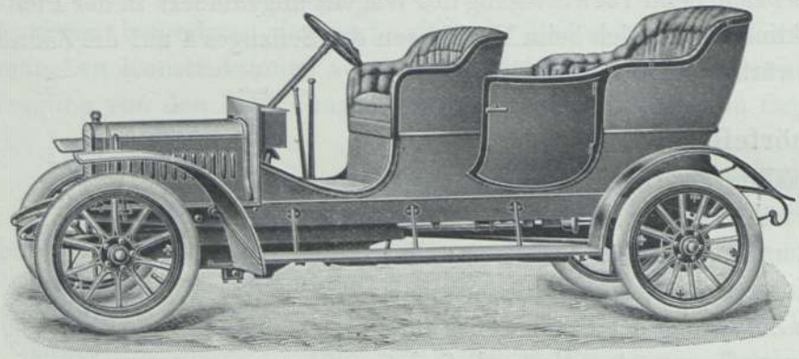


Fig. 944. Viersitziges Phaeton mit Vierzylindermotor.

Selbsttätige Anlaßvorrichtungen hat man konstruiert, um das lästige Ankurbeln der Maschine zu vermeiden. Bei dem System *Mors* wird mit Hilfe eines besonderen Vergasers ein mit Benzin gesättigtes Gemisch in die vier Zylinder des Motors geleitet und die Zündung eingeschaltet. Der gerade auf Zündung stehende Zylinder tritt dadurch in Wirksamkeit, während die übrigen sofort folgen. Andere Systeme treiben mittels Kohlensäure oder komprimierter Luft einen Kolben oder eine Turbine, und deren Bewegung wird auf die Motorwelle übertragen. Wieder bei einem anderen System wirkt komprimierte Luft treibend auf zwei Zylinder des Motors, wodurch die beiden anderen ihre Arbeit aufnehmen können; ist dies geschehen, dann wird die Zuführung der komprimierten Luft wieder abgeschaltet.

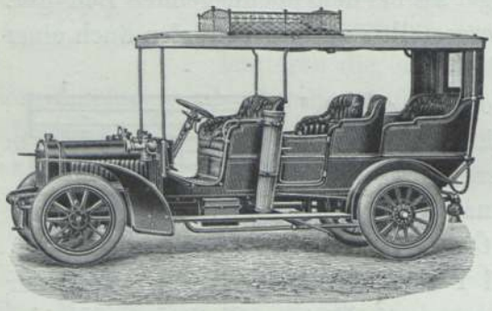


Fig. 945. Adler-Tonneau.

Laternen. Die Frage der *Beleuchtung* des Wagens spielt wegen der bedeutend höheren Geschwindigkeit eine größere Rolle als bei den Fahrrädern. Man verwendet auch hier mit Vorliebe Azetylen-Laternen und -Scheinwerfer, die dann gewöhnlich von einer gemeinsamen Zentralgasanlage gespeist werden. Für größere Wagen hat die elektrische Beleuchtung große Vorzüge. Sie wird am vorteilhaftesten mit einer kleinen Dynamomaschine, einem Automaten zu ihrem selbsttätigen Ein- und Ausschalten und einer Akkumulatorenbatterie als Stromquelle während des Stillstandes des Wagens ausgeführt.

Hupen. Als Warnungszeichen für Fußgänger sind die *Hupen* am gebräuchlichsten, die entweder durch Zusammendrücken eines Gummiballes oder auf elektrischem Wege zum Tönen gebracht werden. Die besonders lauten *Sirenen* werden entweder durch das Schwungrad oder als Pfeifen durch die Auspuffgase angetrieben.

8. Karosserie.

Der Wagenkasten (Karosserie) hat sich zwar aus der Wagenform der gewöhnlichen Pferdewagen entwickelt, aber bald im Aussehen wesentlich verändert, da man gezwungen war, sich der Eigenart des Chassisbaues anzupassen. In Ausführung und Form ist die Karosserie sehr verschieden; sie richtet sich in erster Linie nach der Verwendung, dann aber auch nach dem persönlichen Geschmack des Besitzers. Immerhin sind gewisse, im folgenden angegebene Grundformen für die Karosserie der *Tourenwagen* bei jedem Wagen wiederzuerkennen.

Die *Voiturette* (s. Fig. 914) bietet nur Raum für zwei Personen; zuweilen ist noch ein dritter Diener- oder Notsitz rückwärts angebracht. Wegen der Platzbeschränkung sind diese Fahrzeuge natürlich für größere Touren weniger geeignet.

Die beiden Haupttypen des offenen Wagens sind *Phaeton* und *Tonneau* (s. Fig. 915 und 916). Unter ersterem versteht man einen Wagen mit zwei parallel hintereinander, senkrecht zur Fahrtrichtung angeordneten Sitzbänken und seitlichem Einstieg. Das Tonneau pflegt noch bequemer ausgestattet zu sein, und seine Sesselsitze sind so angeordnet, daß man seitwärts, vorwärts oder in der Diagonale sitzen kann; der Einstieg war früher hinten, ist aber jetzt meist an der Seite. Beide Typen können mit Sommerdach versehen werden. Mit Vorliebe werden auch Verdecke angeordnet, deren seitlich, vorn und rückwärts angebrachte Glasfenster leicht entfernt werden können. Fig. 944 zeigt ein viersitziges Phaeton mit Vierzylindermotor, Fig. 945 ein sechssitziges Adler-Tonneau mit seitlichem Einstieg, aufgestecktem Sommerdach und 24pferdigem Vierzylindermotor.

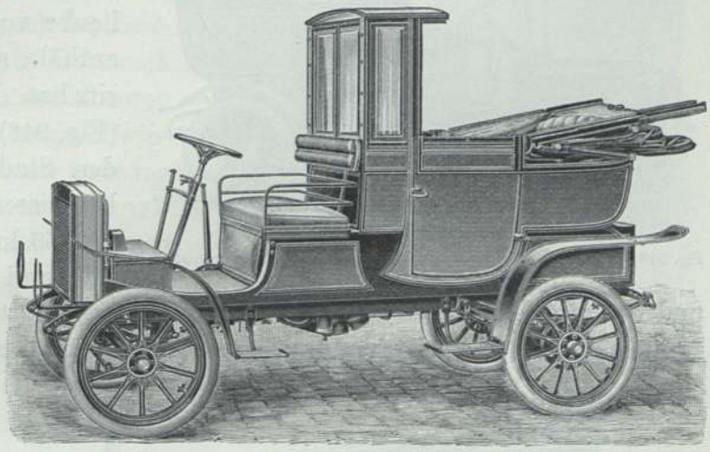


Fig. 946. Landaulet, System Altmann.

Im Gegensatz zu diesen offenen Wagen, die durch Schutzscheiben oder Dächer in geschlossene verwandelt werden können, stehen die geschlossenen Wagen, die sich durch Entfernung der Verdeckteile in offene verwandeln lassen. Hierher gehören: das *Coupé*, bei dem das Dach über dem Hintersitz fest angeordnet ist; das *Landaulet* (Fig. 946) mit einem Lederdach, das aufgeklappt und an die Glaswand hinter dem Vordersitz angeschlossen werden kann, und die *Limousine* (s. Fig. 917), die ebenfalls ein festes Dach über dem Hintersitz hat, also gewissermaßen ein verlängertes Coupé, nur mit mehr Sitzplätzen, darstellt.

9. Leistung.

Die Leistung eines Kraftwagens ist außer von der Zuverlässigkeit und dem Wirkungsgrade der Getriebeteile des Übertragungsmechanismus in erster Linie von den Abmessungen des Motors abhängig. Bei normalen Motoren mit vier oder sechs Zylindern sind Zylinderdurchmesser von 75 bis zu 130 mm gebräuchlich, während der Hub zwischen 100 und 150 mm schwankt, in Einzelfällen sogar bis 200 mm geht. Mit diesen Abmessungen ergeben sich bei dem üblichen Druck von etwa 16 at direkt nach der Explosion und einer Tourenzahl von 1500—2000 in der Minute Leistungen von 14 bis zu 60 PS. Die Geschwindigkeiten auf gerader, ebener Strecke sind dann ungefähr 60—90 km pro Stunde bei einem durchschnittlichen Benzinverbrauch von 10—15 l pro 100 km oder, richtiger ausgedrückt, von etwa 300 g für die Stundenpferdestärke.

Fig. 947. Sportwagen Doppelphaeton.

Die Einrichtung eines modernen Motorwagens mit allen Einzelheiten ist aus dem Klappmodell eines Adlerwagens nebst zugehöriger Beschreibung zu ersehen.

III. Wagen für Sport- und andere Zwecke.

Dem leichten Motorrad entspricht in der Entwickelung der Motorwagen als neuere Erscheinung der sogenannte *kleine Wagen*, der als billiger Sportwagen rasch beliebt geworden ist. Die Verbilligung wird dabei nicht durch Vereinfachung oder Weglassung von Konstruktionsteilen erzielt, sondern durch Aufgeben der luxuriösen Ausstattung. Im technischen Aufbau muß auch

der kleine Wagen *(Kleinauto)* vollkommen dem großen Wagen gleichen. Allgemein gebräuchlich ist der Vierzylindermotor mit etwa 76 mm Zylinderdurchmesser und 86 mm Hub, der eine effektive Bremsleistung von 12—14 PS entwickelt. Ein etwas stärkerer Motor von 15 PS mit 75 mm Bohrung und 100 mm Hub wird ebenfalls häufig verwendet. Als äußere Form ist die des sogenannten *Doppelphaetons* (Fig. 947) am gebräuchlichsten: es ist dies ein offener Wagen mit Windhaube vorn, der mit dem Führersitz vier Sitze enthält, mitunter auch noch Raum für einen Notsitz hat. Beliebt ist auch das geschlossene *Landaulet* (Fig. 948) in seiner Verwendung als Ärztewagen für den Stadtverkehr. Die Geschwindigkeit beträgt bei diesen Wagen, wenn sie geöffnet sind, etwa 50—55 km pro Stunde. Noch schwächere Wagen mit zwei Zylindern von 9 PS bei 80 mm Bohrung und 100 mm Hub werden nur als *Zweisitzer* ausgestattet und haben dementsprechend kleinere Abmessungen. Der vierzylindrige Motor liegt vorn, besitzt Wasserkühlung, automatischen Vergaser und automatische Schmierung. Die Kuppelung ist als Lederkonuskuppelung oder Metallkuppelung ausgeführt; das Getriebe hat drei oder neuerdings sogar vier Vorwärtsgeschwindigkeiten und eine Rückwärtsgeschwindigkeit. Zur Kraftübertragung auf die Hinterradachse kommt fast ausnahmslos die Kardanübertragung zur Anwendung. Der Rahmen ist aus gepreßtem Stahlblech, die Vorderachse meist geschmiedet. Fig. 949 zeigt den Schnitt durch den mit dem Getriebe zusammengebauten Motor eines *Adler-Kleinautos*.

Fig. 948. Viersitziges Landaulet mit Vierzylindermotor.

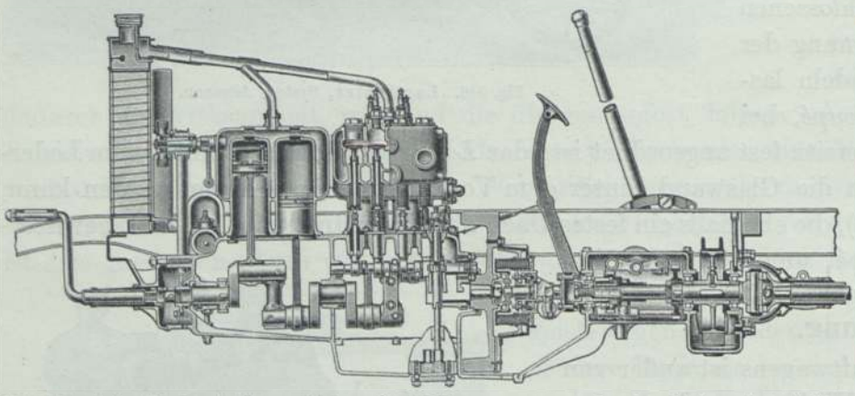


Fig. 949. Schnitt durch den mit dem Getriebe zusammengebauten Motor eines Adler-Kleinautos.

Besonders hohe Ansprüche an Konstruktion und Güte des Materials werden bei den *Rennwagen* wegen ihrer großen Schnelligkeit gestellt. Sie sind leicht und niedrig gebaut, besitzen einen großen *Radstand* (Abstand von Mitte Vorderrad zu Mitte Hinterrad) und weit auseinanderstehende Räder. Alle entbehrlichen Bestandteile sind fortgelassen; notwendige, aber unwichtige, wie beispielsweise die Karosserie, sind so gestaltet, daß Gewicht und Luftwiderstand auf das Mindestmaß beschränkt werden. Der in Fig. 950 gezeigte Mercedes-Rennwagen hat 120 PS; neuerdings ist sogar ein achtzylinderiger Rennwagen von 200 PS gebaut worden.

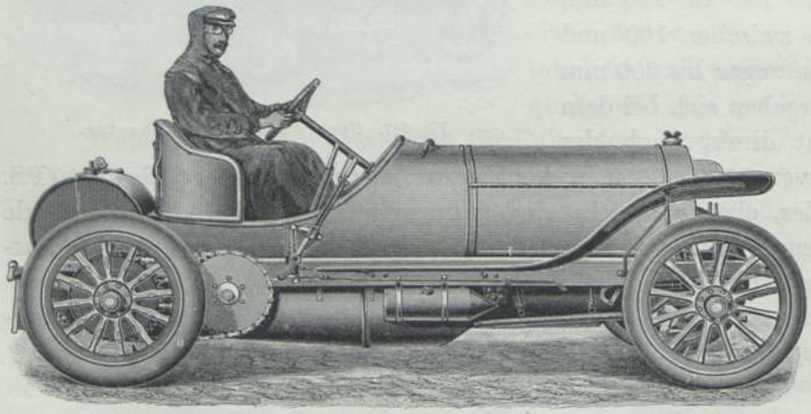


Fig. 950. Mercedes-Gordon-Bennett-Wagen mit 120pferdigem Vierzylindermotor.

Lieferungswagen nennt man Fahrzeuge mit geschlossenem Wagenkasten für den Transport

kleiner Lasten und mit einer Ladefähigkeit bis etwa 1000 kg (Fig. 951). Die Bereifung besteht aus Pneumatik- oder Vollgummireifen, bisweilen auch aus Eisen. Die Motorstärke ist 6—15 PS, das Eigengewicht ca. 1000—1500 kg. Auch für diese Wagengattung ist ein leichter Wagen gebaut worden: der kleine schnelle *Geschäftswagen*, der mit Wagenkasten für 200, 300 und 500 kg Ladefähigkeit ausgerüstet ist und bei etwa gleichstarkem Motor größere Geschwindigkeit entwickeln kann.

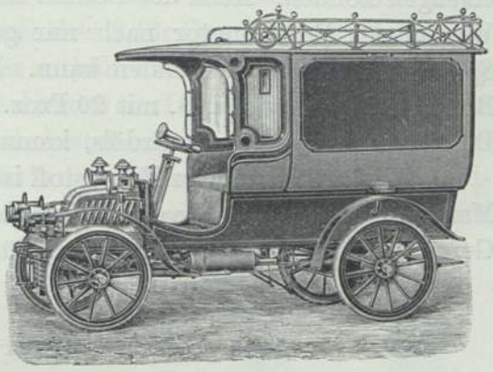


Fig. 951. Lieferungswagen mit 8pferdigem Einzylindermotor.

Für schwerere Lasten bedient man sich der *Lastwagen*, wie sie z. B. bei Brauereien viel in Gebrauch sind (Fig. 952). Solche Fahrzeuge werden mit Motoren von 10—30 PS ausgerüstet bei einer Höchstgeschwindigkeit von 12—14 km pro Stunde. Zu dieser Gattung gehören auch Spezialwagen, wie Straßenreinigungsmaschinen, Gießwagen, Feuerspritzen usw.; ebenso die Vorspannwagen, die einen angehängten *Lastzug* schleppen, z. B. für Spediteure oder für Kriegszwecke (Fig. 953); schließlich noch Motorlastwagen, die mit Maschinengewehren oder einem leichten Schnellfeuergeschütz ausgerüstet sind. Überhaupt steht dem Motorwagen im Heeresdienst unstreitig eine große Zukunft bevor.

Für den öffentlichen Gebrauch dienen die *Motordroschken* (s. Fig. 918) mit einem Motor von etwa 10—15 PS. Sie zeigen gewöhnlich die offene Wagenform, die in einfacher Weise in eine halboffene oder geschlossene Form verwandelt werden kann. Die Taxametereinrichtung kann wie bei jeder anderen Droschke eingebaut werden.

Fig. 952. Lastwagen mit 12pferdigem Vierzylindermotor.

Sehr verbreitet sind auch die *Motoromnibusse* (s. Fig. 919). Sie eignen sich für den Stadt- wie für den Überlandverkehr und werden zur Aufnahme von 6—24, sogar bis zu 30 und 50 Personen gebaut. Ihre Leistung schwankt je nach der Verwendung zwischen 10 und 30 PS, die Höchstgeschwindigkeit beträgt 18—25 km pro Stunde.

IV. Die Verwendung anderer Brennstoffe.

Die nächste Verwandtschaft mit den Benzinmotorwagen haben die Wagen, deren Explosionsmotoren mit einem anderen Brennstoffe arbeiten, beispielsweise mit Benzol, Spiritus, Petroleum und anderen Flüssigkeiten oder Gasen. Die Einrichtungen solcher Wagen sind denen des Benzinwagens völlig gleich, mit Ausnahme einiger Abweichungen an den Gaserzeugungsapparaten. Infolge des außerordentlich starken Benzinverbrauchs sind die Preise für diesen Betriebsstoff ständig im Steigen begriffen, so daß man neuerdings schon dazu übergegangen ist, statt seiner das *Benzol* (Steinkohlenbenzin) zur Vergasung heranzuziehen. Es ist spezifisch schwerer als das

Fig. 953. Militärlastzug mit Anhängern und 24—26pferdigem Vierzylindermotor.

Benzin und deshalb billiger. Die Güte des Benzins für den Motorbetrieb ist aber nicht allein von seinem spezifischen Gewicht abhängig, sondern mehr noch von seiner Vergasungsfähigkeit, und mit dem Benzol hat man in geeigneten Vergasern ein sehr brauchbares Gasluftgemisch erzeugen können. Auch der Betrieb mit *Spiritus* ist so ähnlich dem mit Benzin, daß man einen Wagen mit Benzinmotor nach nur geringfügiger Abänderung am Vergaser ohne weiteres als *Spiritusmotorwagen* verwenden kann. Der Spiritus wird dabei entweder rein oder mit anderem Brennstoff gemischt, z. B. mit 20 Proz. Benzol versetzt, angewendet. Auch das *Petroleum*, dieses Destillationsprodukt des Erdöls, kommt als Betriebsstoff für größere Motoren in Frage.

Ein äußerst billiger Brennstoff ist ein anderes Produkt aus dem Steinkohlenteer: das *Ergin*. Man kann es mit Spiritus vermischen, aber auch rein verwenden; es hat jedoch einen unangenehmen Geruch, wodurch seine Einführung für den Kraftwagenbetrieb erschwert wird.

V. Wagen mit Expansionsmotoren.

Den Automobilen mit Verpuffungsmotoren stehen verwandtschaftlich am nächsten die mit Expansionsmotoren, nämlich die *Dampfwagen*, *Kohlensäurewagen* und *Druckluftwagen*. Bei den Expansionsmotoren entsteht die arbeitende Kraft nicht erst im Zylinder, sondern sie wird schon vorher erzeugt und mit hoher Spannung dem Zylinder zugeführt, wo sie durch Ausdehnung (Expansion) die gewünschte Arbeit leistet. Am verbreitetsten unter ihnen ist der *Dampfwagen*. Obwohl er vor dem Benzinwagen einige Vorzüge hat, sind seine Schattenseiten doch so bedeutend, daß er eine solche Verbreitung wie jener noch nicht finden konnte. Eine seiner wertvollsten Eigenschaften ist die Fähigkeit, unter Belastung von selbst anzugehen und mit jeder beliebigen Tourenzahl bis zu einem gewissen Maximum vorwärts und rückwärts arbeiten zu können. Dadurch werden Anlaßvorrichtung, Schwungrad, Kuppelung und das Wechsel- und Wendegetriebe gespart. Eine weitere Überlegenheit besteht in der Energieaufspeicherung im Kessel. Beim Gasmotor geht die Umsetzung der im Brennstoff enthaltenen chemischen Energie in Wärme und die Umwandlung dieser Wärme in Arbeit fast gleichzeitig im Zylinder vor sich; bei der Dampfmaschine sind diese beiden Vorgänge zeitlich und örtlich getrennt: der erste findet in oder unter dem Kessel statt, der zweite in den Zylindern. Damit ergibt sich jedoch gleichzeitig ein Nachteil des Dampfwagens, nämlich die Notwendigkeit eines Kessels. Ferner fallen ins Gewicht: der bedeutende Wasserverbrauch und, falls Kondensation angewendet wird, die Schwierigkeit der Rückkühlung. Ein weiterer Nachteil der Dampfmaschine ist der, daß sie sich zwar ebenso wie der Kessel vorzüglich für verschiedene Leistungen eignet, daß aber das Anpassungsvermögen der Kesselleistung an die Maschinenleistung nur langsam vor sich geht; die großen, starken Kesselwände müssen erst viel Wärme aufnehmen oder abgeben, bevor eine Vermehrung oder Verminderung der Dampferzeugung stattfindet. Ein bedeutender Nachteil liegt auch darin, daß der Kessel einige Zeit vor der Fahrt angeheizt werden muß und der Dampfwagen daher nicht so schnell wie der Benzinwagen dienstbereit ist. Zur Dampferzeugung dient entweder ein Zwergkessel, der als stehender Röhrenkessel mit Rauchrohrheizung ausgeführt wird und bei dem ein eigentlicher Dampf- und Wasserraum mit einem gewissen Vorrate von Dampf vorgesehen ist, oder man bedient sich des sogenannten Blitzkessels, bei dem nur gerade so viel Dampf erzeugt wird, wie der augenblicklichen Leistung der Maschine entspricht.

Diese letztere Type, System Serpollet, besteht aus starkwandigen Rohren von geringer lichter Weite, die im Feuer liegen und in die durch eine Druckpumpe geringe Mengen Wasser gespritzt werden. Da die Rohre rotglühend sind, verdampft das Wasser augenblicklich *(Blitzkessel)* und verwandelt sich in hochgespannten Dampf, und zwar kann die Spannung bis 50 Atmosphären, ja noch darüber gesteigert werden. Diese Grenze wird natürlich aus praktischen Rücksichten geringer gehalten. Das System ist eingeführt bei den *Serpollet-Wagen* und bei dem amerikanischen White-Wagen. Bei beiden ist auch die Kondensation zur Wiederverwendung des Dampfes als Speisewasser in weitgehender Weise durchgeführt worden.

In bedeutend verbesserter Ausführung ist eine derartige Kondensation an einem deutschen Wagen angewendet worden, dessen Kessel jedoch nach dem erstgenannten Prinzip als *Zwergkessel* ausgeführt ist. Fig. 954 und 955 zeigen die Hauptteile dieses Dampfwagens System Altmann. Beim *Altmann-Wagen* liegt über der Hinterradachse der Frischwasserbehälter 1 für Kühlzwecke, ganz vorn der Kondensator 2, dahinter der Wasserbehälter 3 für Dampfzwecke, ferner der Brennstoffbehälter und ein kleinerer Luftbehälter. Letzterer enthält Preßluft zum Zwecke der Zuführung des Brennstoffes nach dem Brenner. 4 ist der Kessel und 5 die Dampfmaschine. Der Gasherd 6 ist als Brenner nach dem Tellersystem ausgebildet. Er besteht aus einem flachen Teller mit Doppelwandung. Die beiden Wände sind durch eine Anzahl kurzer, oben und unten offener Luftrohre miteinander verbunden. Rings um jedes dieser Luftrohre sind in der oberen Tellerwandung Öffnungen vorgesehen, durch die der vergaste Brennstoff nach oben strömt und hierbei atmosphärische Luft mitreißt. Die Flamme erstreckt sich unter den ganzen Kessel und strömt nach Art der Bunsenflamme eine sehr starke Hitze aus. Über dem Feuerrohrraum des eigentlichen Kessels befindet sich noch ein Dampfüberhitzer, und aus diesem gelangt der Dampf unmittelbar in die daneben befindliche dreizylinderige Dampfmaschine. Von der Kurbelwelle derselben wird die Bewegung durch eine Treibkette auf ein Differentialgetriebe auf der Hinterradachse in der vom Benzinwagen her bekannten Weise übertragen.

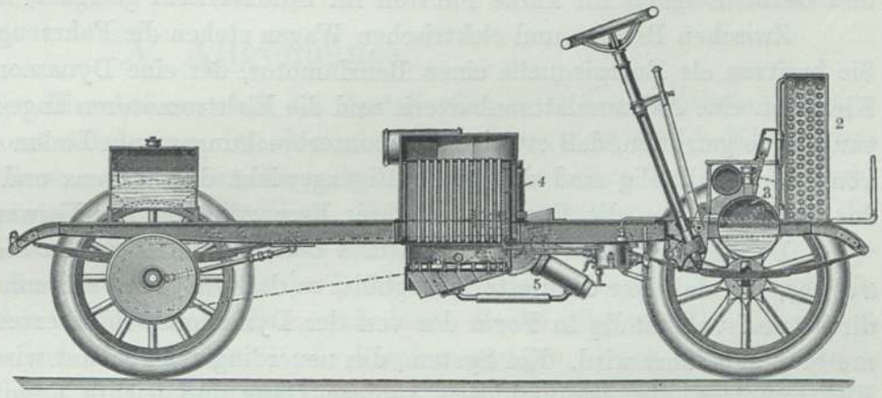


Fig. 954. Dampfwagen, System Altmann (Aufriß).

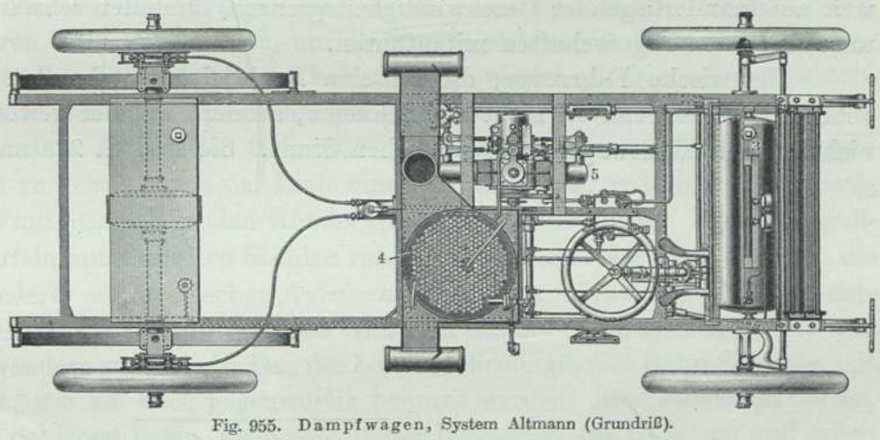


Fig. 955. Dampfwagen, System Altmann (Grundriß).

Ähnlich den Dampfwagen, wenigstens hinsichtlich ihrer Maschine, sind die Kohlensäure- und Druckluftfahrzeuge. Bei diesen wird allerdings die Energie nicht aus der chemischen Zersetzung eines Brennstoffes gewonnen, sondern mechanisch aufgespeichert in Behältern mitgeführt. Der Kohlensäureantrieb wird besonders bei Dampfspritzen benutzt, um zu ermöglichen, daß während der Anheizzeit des Kessels das Fahrzeug schon zur Brandstelle gelangt. Druckluftfahrzeuge sind bisher fast ausschließlich als Schienenbahnen ausgebildet worden, gehören also nicht zu den Automobilen im engeren Sinne.

VI. Das Elektromobil.

Die *elektrischen Wagen* (Elektromobile) entnehmen ihre Energie einer Akkumulatorenbatterie, von der aus die elektrische Energie zunächst nach dem am Führersitz angeordneten *Kontroller* geleitet wird. Es ist dies eine Vorrichtung (vgl. S. 218), mittels der die Geschwindigkeit des Wagens beliebig verändert werden kann und die außerdem als Bremse dient. Vom *Kontroller* gelangt der Strom zum Elektromotor, der gewöhnlich unter dem Wagen angebracht

ist und seine Bewegung mittels Zahnradvorgeleges auf die Hinter- oder auch Vorderradachse überträgt. Der Elektromotor hat, wie die Dampfmaschine, die angenehme Eigenschaft, von selbst unter Belastung anzugehen und leicht rückwärts und auch als Bremse zu arbeiten. Da der Elektromotor bei kleiner wie bei großer Umdrehungszahl gleich vorteilhaft arbeitet, so ist, ebenso wie beim Dampfwagen, kein Zahnradgetriebe zur Veränderung der Geschwindigkeit nötig. Diesen Vorzügen des elektrischen Wagens steht der Nachteil gegenüber, daß das Gewicht der Akkumulatorenbatterie eine sehr hohe tote Last bedeutet (gewöhnlich 300—500 kg), die wiederum eine schwere Wagenkonstruktion bedingt; daß weiterhin die im Akkumulator aufgespeicherte Energie nur für eine verhältnismäßig kurze Fahrt ausreicht, und daß die Lebensdauer der Batterie kurz ist. Das Elektromobil ist wegen seiner leichten Beweglichkeit, Geräuschlosigkeit und Geruchlosigkeit für kurze Fahrten im Stadtverkehr geeignet, nicht aber als Tourenwagen.

Zwischen Benzin- und elektrischen Wagen stehen die Fahrzeuge mit gemischtem Betriebe. Sie besitzen als Energiequelle einen Benzinmotor, der eine Dynamomaschine antreibt, an deren Klemmen eine Akkumulatorenbatterie und die Elektromotoren angeschlossen sind. Die Einrichtung ist so getroffen, daß etwaige Fahrtunterbrechungen zum Laden der Batterie benutzt werden können. Nachteilig sind das große Eigengewicht des Wagens und der teuere Betrieb infolge des Umweges, den die Energie von ihrer Erzeugung bis zur Verwendung macht.

Den gleichen Antriebsmechanismus besitzen die *Elektromobile mit elektrischer Kraftübertragung*, nur daß hier die Batterie wegfällt, so daß die vom Verbrennungsmotor erzeugte Energie direkt und vollständig in Form des von der Dynamomaschine erzeugten Stromes den Elektromotoren zugeführt wird. Ein System, das neuerdings viel gebaut wird, verwertet die Vorzüge des Elektromotors, also geräuschlosen, ruhigen Gang und leichte Regulierbarkeit innerhalb zweier weit auseinanderliegender Geschwindigkeitsgrenzen, ohne den schweren Akkumulator mit seinen unangenehmen Eigenschaften mitzuführen.

Elektrische Fahrzeuge, die an eine Drahtleitung gebunden sind (Oberleitungsbetrieb), gehören, selbst wenn sie nicht auf Schienen, sondern auf der gewöhnlichen Landstraße laufen, nicht zu den Kraftwagen im eigentlichen Sinne. Sie sind S. 228 und 229 behandelt.

Das Eisenbahnwesen.

Von Regierungsbaumeister **C. Klug**, Charlottenburg.

A. Allgemeines.

Vorläufer der heutigen Eisenbahnen sind die ebenen oder vertieften *Spurbahnen*, deren Technik schon im Altertum entwickelt war. Der deutsche Bergbau benutzte im 16. Jahrhundert ausgehöhlte Bahnen und Gleise zur leichtern Fortschaffung der Förderwagen. Von Deutschland aus gelangten diese Spurbahnen nach England. Hölzerne Schienenwege als Ersatz für die gewöhnlichen Straßen wurden in England zwischen 1602 und 1649 zuerst angewendet. 1765 bestanden in Newcastle Spurbahnen zum Transport der Kohlen zur Verschiffungsstelle. Sie wurden fallend gebaut und bestanden aus Querschwellen, auf denen starke Eichenbohlen eingezapft waren; auf diesen bewegten sich die Fuhrwerke, von Pferden gezogen, durch Räder mit nach einwärts vorstehenden Rändern. 1767 belegte das Eisenwerk Colebrook Dale einen der Spurwege des Werkes mit gußeisernen Platten, und 1776 gab man diesen Schienen, die eine konkave Oberfläche hatten, an ihrer inneren Seite Erhöhungen, um die Karren sicherer im Gleise festzuhalten. Diese Schienen waren unmittelbar auf Langhölzern befestigt, die wieder auf Querhölzern ruhten. 1793 befestigte Josua Burns die Schienen mittels eiserner Nägel und Holzdübel auf Steinblöcken. Später krümmte man die untere Fläche der frei aufliegenden Schiene, um jeder Stelle gegen Bruch die gleiche Sicherheit zu geben, nach der Linie eines Fischbauches, und diese *Fischbauchschiene*, auf der die Räder mit vorspringenden Rändern liefen, und die an den Enden in gußeisernen, meist von Steinwürfeln unterstützten Stühlen ruhte, gelangte auf fast allen Bahnen, die vom Ende des 18. Jahrhunderts an in rascher Aufeinanderfolge im nördlichen England entstanden, zur Anwendung. Seit 1808 begann man das Gußeisen durch Schmiedeeisen zu ersetzen, und Robert Stephenson verwendete zuerst beim Bau der London-Birminghamer Bahn Schienen mit symmetrischem Querschnitt, wie sie noch gegenwärtig benutzt werden. Die *Fuhrwerke* waren, solange sie auf gußeisernen Schienen liefen, klein; die Räder bestanden aus Gußeisen und saßen fest auf den Achsen. Nach der Herstellung der Schienen aus Schmiedeeisen, durch das die Räder verhältnismäßig schnell abgenutzt wurden, erfand man die Kunst, die Radreifen hart zu gießen.

Nachdem 1825 auf der 41 km langen Linie Stockton–Darlington der erste mit Personen besetzte Zug von einer Lokomotive befördert und 1830 die Strecke Liverpool–Manchester dem Personen- und Güterverkehr übergeben war, folgten mit dem Bau von Eisenbahnen 1827 die Vereinigten Staaten von Nordamerika, 1828 Österreich-Ungarn und Frankreich, 1835 Deutschland und Belgien, 1837 Kuba, 1838 Rußland, 1839 Italien und die Niederlande und 1840 Kanada, so daß bereits am Schluß des Jahres 1840 die Länge der Eisenbahnen in Europa 2925, in Amerika 4754 km betrug. Die Zunahme der Bahnlänge belief sich hierauf in Prozenten:

	1840—1850	1850—1860	1860—1870	1870—1880	1880—1890	1890—1900
in Europa	710	121	102	61	32	27
- Amerika	215	257	73	88	89	21
- Asien	—	—	486	99	107	79
- Afrika	—	—	350	156	104	114
- Australien	—	—	350	333	142	27

Erscheint hiernach die Eisenbahnlänge im ganzen von Jahrzehnt zu Jahrzehnt im Wachsen begriffen, so erweist sich doch diese Vergrößerung nicht in allen Ländern als eine stetige, da in den vornehmsten Kulturstaaten mit dem fortschreitenden Ausbau des überhaupt für notwendig erachteten Eisenbahnnetzes der Zuwachs sich naturgemäß verringern mußte.

Die am Ende des Jahres 1908 auf der ganzen Erde befindlichen Bahnen hatten eine Gesamtlänge von etwa 984000 km, das ist eine Entfernung, die etwa dem 24fachen Erdumfang entspricht, oder die rund 2½ mal so lang ist, wie die Entfernung des Mondes von der Erde. Es ist dabei zu bemerken, daß die angegebene Zahl nur die als Haupt- oder Nebenbahnen bezeichneten Eisenbahnen umfaßt, während Kleinbahnen, Straßenbahnen usw. nicht berücksichtigt sind, und daß die Längenziffer Bahnlängen und nicht Gleislängen angibt. Rechnet man mit diesen, so würde eine noch erheblich größere Zahl herauskommen, da eine große Anzahl Bahnen, wohl alle wichtigen Hauptbahnen, zwei- und mehrgleisig ausgebaut sind.

Amerika hat, wie aus der untenstehenden Tabelle ersichtlich ist, in bezug auf die Gesamtlänge die meisten Eisenbahnen, mehr als die Hälfte der gesamten Bahnen der ganzen Erde; Australien weist die geringsten Bahnlängen auf.

Das Bild ändert sich jedoch erheblich, wenn statt der tatsächlichen Bahnlängen die Zahlen für die auf die Flächenausdehnung der einzelnen Länder bezogenen Bahnlängen betrachtet werden. Es kommt dann Europa in erster Linie, da es der am dichtesten bevölkerte Erdteil ist; dazu kommt noch, daß in diesem Erdteil, besonders im Westen, wohl die meisten Hauptlinien mehrgleisig sind, so daß europäische Bahnen bedeutend leistungsfähiger sind als die anderer Erdteile.

Die nachstehende Übersicht, die dem „Archiv für Eisenbahnwesen" entnommen ist, veranschaulicht die Entwickelung des Eisenbahnnetzes der Erde in jüngster Zeit, vom Jahre 1904 bis Ende des Jahres 1908. Bemerkenswert sind hier besonders die Werte für die auf 100 qkm und die auf je 10000 Einwohner entfallenden Bahnlängen.

Entwickelung des Eisenbahnnetzes von 1904—1908.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Länder	Länge der im Betrieb befindlichen Eisenbahnen am Ende des Jahres					Zuwachs von 1904—1908 im ganzen Spalte 6—2	in Proz. Spalte 7—2	Der einzelnen Länder		Es trifft 1908 Bahnlänge auf	
	1904	1905	1906	1907	1908			Fläche qkm	Bevölkerungszahl	100 qkm	10000 Einw.
I. Europa.	km	km	km	km	km	km	Proz.	abgerundete Zahlen		km	km
Deutschland:											
Preußen	33 510	34 228	34 872	35 393	36 111	2 601	7,8	348 600	34 473 000	10,4	10,5
Bayern	7 409	7 512	7 587	7 638	7 791	382	5,2	75 900	6 176 000	10,3	12,6
Sachsen	2 973	2 984	3 045	3 071	3 096	123	4,1	15 000	4 202 000	20,6	7,4
Württemberg . .	1 984	1 984	2 040	2 052	2 070	86	4,3	19 500	2 169 000	10,6	9,5
Baden	2 104	2 160	2 193	2 213	2 221	117	5,6	15 100	1 868 000	14,7	11,9
Elsaß-Lothringen .	1 969	1 974	1 978	1 978	2 023	54	2,7	14 500	1 719 000	13,9	11,8
Übrige deutsche Staaten	5 615	5 635	5 661	5 695	5 722	107	1,9	52 100	5 760 000	11,0	9,9
Deutschland:	55 564	56 477	57 376	58 040	59 034	3 470	6,2	540 700	56 367 000	10,9	10,5
Österreich-Ungarn einschl. Bosnien u. Herzegowina	39 168	39 918	41 227	41 605	42 636	3 468	8,8	676 500	47 118 000	6,3	9,0
Großbritannien u. Irland	36 297	36 760	37 107	37 181	37 263	966	2,7	314 000	41 450 000	11,9	9,0
Frankreich . . .	45 773	46 466	47 129	47 823	48 123	2 350	5,1	536 400	38 962 000	9,0	12,4
Rußland, europ., einschl. Finnland (3393 km) . . .	54 708	55 006	56 670	58 385	58 843	4 135	7,6	5 390 000	105 542 000	1,1	5,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Länder	Länge der im Betrieb befindlichen Eisenbahnen am Ende des Jahres					Zuwachs von 1904—1908 im ganzen Spalte 6—2	Zuwachs von 1904—1908 in Proz. Spalte 7—2	Der einzelnen Länder Fläche qkm	Der einzelnen Länder Bevölkerungszahl	Es trifft 1908 Bahnlänge auf 100 qkm	Es trifft 1908 Bahnlänge auf 10000 Einw.
	1904	1905	1906	1907	1908						
	km	km	km	km	km	km	Proz.	abgerundete Zahlen		km	km
Italien	16 117	16 284	16 420	16 596	16 718	601	3,7	286 600	32 475 000	5,8	5,0
Belgien	7 041	7 258	7 495	7 844	8 125	1 084	15,4	29 500	6 694 000	27,5	12,1
Niederlande einschl. Luxemburg	3 433	3 542	3 566	3 589	3 612	179	5,2	35 600	5 341 000	9,4	6,1
Schweiz	4 249	4 289	4 342	4 447	4 539	290	6,8	41 400	3 325 000	10,9	13,6
Spanien	14 134	14 430	14 649	14 850	14 897	763	5,4	496 900	17 961 000	3,0	8,3
Portugal	2 494	2 571	2 637	2 783	2 894	400	16,0	92 600	5 429 000	3,1	5,3
Dänemark	3 288	3 288	3 434	3 446	3 484	196	6,0	38 500	2 449 000	9,0	15,5
Norwegen	2 490	2 550	2 586	2 586	2 873	383	15,4	322 300	2 221 000	0,9	12,9
Schweden	12 577	12 684	13 165	13 392	13 632	1 055	8,4	447 900	5 136 000	3,0	26,5
Serbien	578	610	610	610	678	100	17,3	48 300	2 494 000	1,4	2,7
Rumänien	3 177	3 179	3 210	3 210	3 243	66	2,1	131 300	5 913 000	2,5	5,5
Griechenland	1 118	1 241	1 241	1 241	1 241	123	11,0	64 700	2 434 000	1,9	5,1
Europ. Türkei, Bulgarien, Rumelien	3 142	3 142	3 142	3 197	3 248	106	3,4	267 000	9 824 000	1,2	3,3
Malta, Jersey, Man	110	110	110	110	110	—	—	1 100	372 000	10,0	3,0
Europa:	305 458	309 805	316 116	320 935	325 193	19 735	6,5	9 761 300	391 507 000	3,3	8,2
II. Amerika.											
Britisch-Nordamerika (Kanada)	31 554	33 147	33 147	36 125	37 507	5 953	18,9	8 768 000	5 339 000	0,4	70,3
Ver. Staaten von Amerika einschl. Alaska (579 km)	344 172	351 503	361 579	369 991	376 567	32 395	9,4	9 305 300	85 618 000	4,0	44,0
Neufundland	1 058	1 072	1 072	1 072	1 072	14	1,3	110 800	214 000	1,0	50,1
Mexiko	19 437	19 678	21 007	21 906	23 905	4 468	23,0	2 016 000	14 545 000	1,2	16,4
Mittelamerika (Guatemala 957, Honduras 143, Salvador 167, Nikaragua 322, Kostarika 748, Panama 76 km)	1 615	1 916	2 240	2 240	2 413	798	49,4	—	—	—	—
Große Antillen (Kuba 3747, Dominikanische Republik 241, Haiti 225, Jamaika 298, Puerto Rico 322 km)	3 581	3 602	3 602	3 911	4 833	1 252	35,0	—	—	—	—
Kleine Antillen (Martinique 224, Barbados 175, Trinidad 142 km)	459	459	541	541	541	82	17,9	—	—	—	—
Vereinigte Staaten von Kolumbien	661	661	723	723	724	63	9,5	1 330 800	4 500 000	0,05	1,6
Venezuela	1 020	1 020	1 020	1 020	1 020	—	—	1 043 900	2 445 000	0,1	4,2
Britisch-Guayana	122	122	167	167	167	45	36,9	229 600	295 000	0,07	5,7
Niederländ.- -	60	60	60	60	60	—	—	—	—	—	—
Ekuador	300	300	300	300	508	208	69,3	299 600	1 400 000	0,2	3,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Länder	Länge der im Betrieb befindlichen Eisenbahnen am Ende des Jahres					Zuwachs von 1904—1908		Der einzelnen Länder		Es trifft 1908 Bahnlänge auf	
	1904	1905	1906	1907	1908	im ganzen Spalte 6—2	in Proz. Spalte 7—2	Fläche qkm	Bevölkerungszahl	100 qkm	10000 Einw.
	km	km	km	km	km	km	Proz.	abgerundete Zahlen		km	km
Peru	1 844	1 907	1 959	2 144	2 367	523	28,4	1 137 000	4 607 000	0,2	5,1
Bolivia	1 129	1 129	1 129	1 129	1 129	—	—	1 334 200	2 269 000	0,1	5,0
Ver. Staaten von Brasilien	16 747	16 805	17 059	17 242	19 211	2 464	14,7	8 361 400	14 934 000	0,2	12,9
Paraguay	253	253	253	253	253	—	—	253 100	636 000	0,1	4,0
Uruguay	1 948	1 948	1 948	1 948	2 328	380	19,5	178 700	931 000	1,3	25,0
Chile	4 643	4 643	4 730	4 730	4 730	87	1,9	776 000	3 314 000	0,6	14,3
Argentin. Republik	19 428	19 971	20 560	22 004	24 901	5 473	28,2	2 885 600	4 894 000	0,9	50,9
Amerika:	450 031	460 196	473 096	487 506	504 236	54 205	12,0	—	—	—	—
III. Asien.											
Russisches mittelasiat. Gebiet	2 669	2 669	4 519	4 519	4 519	1 850	69,3	554 900	7 740 000	0,8	5,8
Sibirien und Mandschurei	9 116	9 116	9 116	9 116	10 337	1 221	13,4	12 518 500	5 773 000	0,08	17,9
China	1 976	3 616	5 953	6 698	8 042	6 066	307,0	11 081 000	357 250 000	0,07	0,2
Korea	862	1 067	1 108	1 108	1 108	246	28,5	218 600	9 670 000	0,5	1,1
Japan	7 481	7 855	8 067	8 067	8 101	620	8,3	417 400	46 542 000	1,9	1,7
Britisch-Ostindien	44 352	46 045	46 642	48 106	49 197	4 845	10,9	5 068 300	294 905 000	1,0	1,7
Ceylon	630	751	904	904	904	274	43,5	63 900	3 687 000	1,4	2,5
Persien	54	54	54	54	54	—	—	1 645 000	9 000 000	0,003	0,006
Kleinasien, Syrien, Arabien mit Cypern (58 km)	3 464	3 575	4 716	4 716	5 037	1 573	45,4	1 778 200	19 568 000	0,3	2,6
Portugies.-Indien	82	82	82	82	82	—	—	3 700	572 000	2,2	1,4
Malaiische Staaten (Borneo, Celebes)	719	719	871	1 024	1 024	305	42,4	86 200	719 000	1,2	14,2
Niederländ.-Indien (Java, Sumatra)	2 302	2 373	2 373	2 429	2 472	170	7,4	599 000	29 577 000	0,4	0,8
Siam	718	718	718	919	919	201	28,0	633 000	9 000 000	0,1	1,0
Kotschinchina, Kambodscha, Anam, Tongking (2389), Pondicherri (95), Malakka (92), Philippinen (250 km)	2 781	2 781	2 835	2 835	2 835	54	1,9	—	—	—	—
Asien:	77 206	81 421	87 958	90 577	94 631	17 425	22,6	—	—	—	—
IV. Afrika.											
Ägypten	5 204	5 204	5 252	5 544	5 638	434	8,3	994 300	9 833 000	0,6	5,7
Algerien und Tunis	4 894	4 906	4 906	4 906	4 906	12	0,2	897 400	6 695 000	0,5	7,3
Unabhängiger Kongostaat	478	478	642	642	688	210	43,9	—	—	—	—
Abessinien	180	184	306	309	309	129	71,7	—	—	—	—
Kapkolonie	5 650	5 650	5 812	6 123	6 228	578	10,2	786 800	1 766 000	0,8	35,3
Britisch-Südafrika:											
Natal	1 185	1 458	1 458	1 571	1 571	386	32,6	70 900	778 000	2,2	20,2
Transvaal	1 539	1 763	2 191	2 191	2 810	1 271	82,6	308 600	867 900	0,9	32,4
Oranjefluß-Kol.	886	1 124	1 283	1 425	1 425	539	60,8	131 100	208 000	1,1	68,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Länder	Länge der im Betrieb befindlichen Eisenbahnen am Ende des Jahres					Zuwachs von 1904—1908 im ganzen Spalte 6—2	Zuwachs von 1904—1908 in Proz. Spalte 7—2	Der einzelnen Länder Fläche qkm	Der einzelnen Länder Bevölkerungszahl	Es trifft 1908 Bahnlänge auf 100 qkm	Es trifft 1908 Bahnlänge auf 10000 Einw.
	1904	1905	1906	1907	1908						
	km	km	km	km	km	km	Proz.	abgerundete Zahlen		km	km
Kolonien:											
Deutschland (Deutsch-Ostafrika 410, Deutsch-Südwestafrika 1341, Togo 167, Kamerun 160 km) . .	888	1 351	1 847	1 847	2 078	1 190	134,0	—	—	—	—
England (Britisch-Ostafrika 939, Sierra Leone 363, Goldküste 270, Lagos 204, Mauritius 212 km) .	1 961	1 982	1 988	1 988	1 988	27	1,4	—	—	—	—
Frankreich (Franz.-Sudan 1421, Franz.-Somaliküste 309, Madagaskar 167, Réunion 127 km)	1 227	1 227	1 262	2 006	2 024	797	64,9	—	—	—	—
Italien (Eritrea 115 km)	76	76	115	115	115	39	51,3	—	—	—	—
Portugal (Angola 543, Mosambik 588 km)	992	992	1 131	1 131	1 131	139	14,0	—	—	—	—
Afrika:	25 160	26 395	28 193	29 798	30 911	5 751	22,9	—	—	—	—
V. Australien.											
Neuseeland . . .	3 928	4 002	4 055	4 137	4 162	234	6,0	271 000	830 000	1,5	50,1
Victoria	5 444	5 517	5 517	5 517	5 517	73	1,3	229 000	1 201 000	2,4	49,9
Neusüdwales . . .	5 279	5 553	5 586	5 586	5 587	308	5,8	799 100	1 370 000	0,7	40,8
Südaustralien . .	3 059	3 083	3 097	3 097	3 237	178	5,8	2 341 600	363 000	0,1	89,2
Queensland . . .	4 711	5 138	5 479	5 479	5 618	907	19,2	1 731 400	485 000	0,3	115,8
Tasmania	998	998	998	998	998	—	—	67 900	172 000	1,5	58,0
Westaustralien . .	3 491	3 636	3 636	3 636	3 636	145	4,1	2 527 300	412 000	0,1	88,2
Hawai (40) mit den Inseln Maui (11) u. Oahu (91 km)	142	142	142	142	142	—	—	17 700	109 000	0,8	13,0
Australien:	27 052	28 069	28 510	28 592	28 897	1 845	6,8	7 985 000	4 942 000	0,4	58,5
Wiederholung.											
Europa	305 458	309 805	316 116	320 935	325 193	19 735	6,5	9 761 300	391 507 000	3,3	8,2
Amerika	450 031	460 196	473 096	487 506	504 236	54 205	12,0	—	—	—	—
Asien	77 206	81 421	87 958	90 577	94 631	17 425	22,6	—	—	—	—
Afrika	25 160	26 395	28 193	29 798	30 911	5 751	22,9	—	—	—	—
Australien	27 052	28 069	28 510	28 592	28 897	1 845	6,8	7 985 000	4 942 000	0,4	58,5
Auf der Erde:	884 907	905 886	933 873	957 408	983 868	98 961	11,2	—	—	—	—
Steigerung geg. das Vorjahr in Proz.	3,1	2,3	3,1	2,5	2,8	—	—	—	—	—	—

Bei Betrachtung der angegebenen Zahlenwerte fallen die ganz erheblichen Unterschiede auf, welche die Bahnlängen der einzelnen Länder aufweisen. Man kann leicht auf den Handel und Gewerbe, das Geschäftsleben, den Verkehr und Reichtum des Landes schließen, wenn man die angegebenen Zahlen überschaut. Auf die Flächeneinheit bezogen, steht das industriereiche Belgien mit 27,5 km Eisenbahnen auf 100 qkm an erster Stelle, es überholt weit sämtliche übrigen Länder. Das noch in der Entwickelung seines Verkehrs begriffene Rußland dagegen hat die wenigsten Bahnen; der prozentuale Zuwachs von 7,6 Proz. in den letzten 4 Jahren, der größer ist als z. B. der im Deutschen Reich, zeigt jedoch bereits deutlich den Aufschwung des Verkehrs infolge des Anwachsens von Handel und Industrie in diesem Lande. Die übrigen Erdteile haben, mit Europa verglichen, verhältnismäßig wenig Eisenbahnen, wenn man die Größe des Landes betrachtet. Die Zahlen werden jedoch ganz anders, wenn die Einwohnerzahl zugrunde gelegt wird. Die Ursache ist einfach in der dünnen Besiedelung der einzelnen Länder zu suchen. Der prozentuale Zuwachs ist jedoch in den außereuropäischen Erdteilen sehr beträchtlich, da immer mehr Eisenbahnen in den dem Verkehr bis jetzt noch nicht erschlossenen Ländern gebaut werden.

Was die *Anlagekosten* der Eisenbahnen anlangt, so betragen sie für die europäischen Bahnen im Durchschnitt 317 000 Mark für ein Kilometer. Im ganzen ergeben sich als Anlagekapitalien für die europäischen Bahnen 103 086 181 000 Mark, für die außereuropäischen Bahnen 111 974 750 000 Mark, zusammen also ein Kapital von rund 215 Milliarden Mark. Im Jahre 1907 waren obige Zahlen etwa 97 Milliarden und 100 Milliarden, zusammen also 197 Milliarden Mark. Es sind demnach im letzten der angeführten Rechnungsjahre etwa 18 Milliarden Mark für den Ausbau vorhandener oder den Bau neuer Strecken gezahlt worden.

B. Bau der Eisenbahnstrecke.

Einteilung der Eisenbahnen. Je nach dem Gelände, das eine Eisenbahn durchschneiden soll, unterscheidet man *Flachland-*, *Hügelland-* und *Gebirgsbahnen*. Die ersteren haben geringe Steigungen, große Krümmungshalbmesser, einfach herzustellenden Unter- und Oberbau, da bei ihnen das Gelände keine Schwierigkeiten bereitet. Anders bei den Hügelland- und Gebirgsbahnen, die sich dem Gelände so viel als möglich anpassen müssen, um kostspielige Kunstbauten zu vermeiden. Es müssen große Steigungen überwunden werden; kleine, schwer zu befahrende Krümmungshalbmesser müssen zugelassen und teuere Tunnels, Brücken usw. ausgeführt werden, so daß der Bau erheblich mehr Kosten verursacht als bei Flachlandbahnen.

Nach dem zu bewältigenden Verkehr lassen sich die Bahnen in *Hauptbahnen*, *Nebenbahnen*, *Kleinbahnen*, *Anschlußbahnen*, *Feld-*, *Wald-* und *Industriebahnen* einteilen, deren Bedeutung und Zweck ohne weiteres aus den Namen hervorgeht.

Nach der *Spurweite*, worunter man das Maß zwischen den Innenkanten der Schienenköpfe versteht, teilt man die Bahnen ein in *Breitspur-*, *Normal-* und *Schmalspurbahnen*. — Unter *Normalspur* versteht man das Maß von 4 Fuß 8½ Zoll englisch = 1435 mm, das bereits Stephenson bei seinen ersten Lokomotiven verwendete, und das sich seitdem in fast alle Länder der Welt Eingang verschafft hat. Nur Länder, die keinen Durchgangsverkehr haben, wie z. B. Spanien, Irland, oder solche, welche die Normalspur aus militärischen Gründen ablehnten, wie z. B. Rußland, sind von diesem Maß abgegangen. Nachstehende Übersicht gibt die Spurweiten verschiedener Länder an:

Chile, Ostindien, Argentinien, Spanien	1676 mm
Irland	1600 -
Rußland	1524 -
Deutschland (vorwiegend), Österreich-Ungarn, Schweiz, Italien, Frankreich, England, Schweden, Balkanländer, Nordamerika	1435 -
Norwegen, Japan, Java, Kapland	1067 -
Griechenland, Korsika, Algerien, Brasilien	1000 -

Da die Kosten einer Bahnlinie naturgemäß von der Breite der Spur abhängen, werden Bahnen mit geringem Verkehr mit kleineren Spurweiten gebaut. Als solche findet sich 1000,

750 und 600 mm bei manchen deutschen Bahnen. Im Auslande hat sich vielfach die sogenannte *Kapspur* von 1067 mm eingeführt; die bosnischen Bahnen haben 760 mm. Je kleiner die Spurweite, desto kleiner können auch die Gleiskrümmungen ausgeführt werden, die Bahn kann sich dem Gelände mehr anschmiegen, die Grunderwerbskosten und damit auch die Herstellungskosten der Bahn werden geringer.

Eine Bahn, die zwei bestimmte Punkte verbinden soll, kann im allgemeinen auf verschiedenen Linien ausgeführt werden, die natürlich auch verschiedene Herstellungs- und Betriebskosten verursachen werden. Hauptaufgaben sind nun, alle Umstände zu berücksichtigen, die den sichersten und dabei billigsten Betrieb der Bahn ermöglichen.

Eisenbahnbau. Dieser umfaßt: 1. *Vorarbeiten*, d. h. vollständige (technische) Aufstellung des Entwurfes zum Bau mit Einschluß der Kostenberechnung und der wirtschaftlichen (kommerziellen) Erwägungen (Ertragsberechnung); 2. die Herstellung des *Unterbaues* oder Bahnkörpers mit allen zugehörigen Bauwerken, als Straßen-Unter- und -Überführungen, Durchlässe, Brücken, Viadukte, Tunnel, Weg- und Flußverlegungen, Überleitungen von Wasserläufen (Aquädukte), Schneeschutzwerke und Lawinengalerien; 3. die Herstellung des *Oberbaues*, d. h. des Schienengestänges nebst allen Bahnhofsgleisen und Gleisverbindungen mit Einschluß der Schienenunterlagen oder Schwellen und deren Unterbettung aus Kies, Steinschlag oder dergleichen Stoffen; 4. die Herstellung der *Eisenbahnhochbauten*, nämlich der Wärterhäuser, Güterschuppen, Lokomotivschuppen, Wasserstationen, Eisenbahnwerkstätten, desgleichen der Empfangs-und Nebengebäude, Dienstwohnungen und Verwaltungsgebäude; 5. Nebenanlagen und Ausrüstungsarbeiten, wie z. B. Entwässerung und Wasserversorgung der Bahnhöfe, Einfriedigungen, Wegschranken, Signale und Stellwerke.

1. Vorarbeiten.

Diese, bei denen technische und wirtschaftliche Untersuchungen Hand in Hand gehen müssen, sind bedingend für die sparsame und zweckmäßige Bauausführung sowie für die Anpassung der Bahn an die wirtschaftlichen Bedürfnisse des betreffenden Landstriches.

Bei der *Linienführung (Trassierung)* einer Bahn kommt namentlich die Begrenzung der zulässigen *Neigungen* und *Krümmungen* in Betracht, als maßgebend für die möglichen Geschwindigkeiten und Zuglasten, also für die Leistungsfähigkeit der Bahn. Das Maß für die Neigung bildet das *Neigungsverhältnis* zwischen Höhe und Länge; es wird in Tausendsteln (Millimeter Hebung auf das Meter Länge) oder auch mittels eines Stammbruches ausgedrückt, z. B. 5 pro Mille (5 mm Hebung auf 1 m Länge) oder 1 : 200; 2,5 pro Mille oder 1 : 400 u. s. f. Die Krümmungen werden aus Kreisbogen gebildet und durch deren Halbmesser ausgedrückt, so daß also der kleinere Halbmesser die schärfere Krümmung bezeichnet. Als schärfste zulässige Neigung gilt in Deutschland für Hauptbahnen 25 pro Mille (1 : 40), für Nebenbahnen 40 pro Mille (1 : 25); ebenso als kleinster Halbmesser 180 bzw. 100 m für vollspurige, 60, 40 und 25 m für schmalspurige Nebenbahnen von 1 m, 75 cm bzw. 60 cm Spurweite. Bei Hauptbahnen bedarf die Anwendung von Neigungen über 12,5 pro Mille (1 : 80) und Halbmessern unter 300 m besonderer Genehmigung des Reichseisenbahnamtes, da sie die allgemeine Benutzung der betreffenden Bahnlinien für gewisse Arten von Wagen und Lokomotiven ausschließt oder doch beschränkt und nur kurze Züge gestattet. Die richtige Feststellung der Linie kann in schwierigem Gelände nur auf Grund von Schichtenplänen mit Höhenkurven (Horizontalkurven) erfolgen. Die zweckmäßigste Linie *(Trasse)*, d. h. diejenige der geringsten Verkehrskosten, wird in solchen Plänen durch Vergleich verschiedener Möglichkeiten aufgesucht, durch einen (verzerrt gezeichneten) Längenschnitt, das sogenannte *Längenprofil*, bezüglich ihrer Neigungen, Krümmungen und Erdarbeiten übersichtlich dargestellt, aufs Gelände übertragen und dann mit Hilfe zahlreicher Querschnitte weiter durchgearbeitet.

Bei Gebirgsbahnen, bisweilen auch schon im Hügellande, wird häufig eine künstliche Verlängerung der Linie (sogenannte *Entwickelung*) erforderlich, um zur Ersteigung großer Höhen mit bestimmten Neigungsverhältnissen die nötige Länge zu gewinnen. Dazu dient das Ausbiegen in Seitentäler, ferner die Schleifenbildung im Haupttal selbst oder, wenn keine andere Möglichkeit vorliegt, die

Bildung von Windungen im Erdinnern, also z. B. die Herstellung von spiralförmigen Hebungstunneln. In schwierigem Gelände wird durch Anwendung sanfter Neigungen und Krümmungen der Bau wesentlich verteuert, der Betrieb dagegen verbilligt. Es ist also im Einzelfall abzuwägen, ob die Rücksicht auf billigeren Bau oder billigeren Betrieb überwiegt, da die gesamten *Verkehrskosten* sich zusammensetzen aus der Verzinsung der Anlage- und den laufenden Betriebskosten.

2. Unterbau.

Der *Unterbau* oder Bahnkörper soll mit seiner oberen Fläche, dem *Bahnplanum*, eine standfeste, sichere Unterlage für den Oberbau bilden. Er besteht aus dem mit Rasenböschungen und Entwässerungsgräben versehenen Erdkörper, der in den die Bahnhöhe übersteigenden Anhöhen durch Ausschachtung als *Einschnitt* oder *Abtragung* aus dem natürlichen (gewachsenen) Erdboden gebildet, bzw. über den unter die Bahnhöhe hinabgehenden Vertiefungen des Geländes durch Aufschüttung als *Damm* oder *Auftrag* hergestellt wird. Aus Fig. 956 und 957 ist ersichtlich, was zum Unterbau und was zum Oberbau gerechnet wird. Beide werden durch eine Linie, die das *Planum* genannt wird, voneinander getrennt. Unter *Kronenbreite* versteht man die gedachte Breite in Höhe der Schienenunterkante bis zum Durchschnitt mit den verlängerten Böschungen des Erdkörpers. Sie ergibt sich daraus, daß der Abstand der Kronenkante von der nächsten Gleismitte bei Hauptbahnen mindestens 2 m und die Entfernung zweier benachbarter Gleismitten auf freier Strecke mindestens 3,5 m betragen soll. Planum und Böschungen werden zum Schutz gegen Angriff des Wassers usw. mit Rasen bekleidet, auch wohl gepflastert. Bei hohen Dämmen oder tiefen Einschnitten wendet man oft Futter- und Stützmauern zur Aufnahme des Erddruckes an. Neben den Böschungen werden zur Abführung des Wassers Gräben mit Gefälle angelegt.

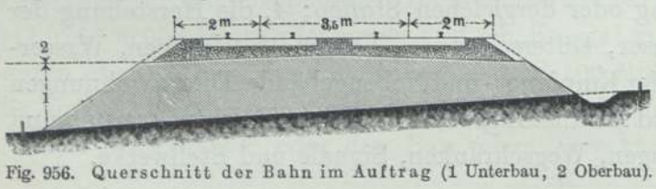


Fig. 956. Querschnitt der Bahn im Auftrag (1 Unterbau, 2 Oberbau).

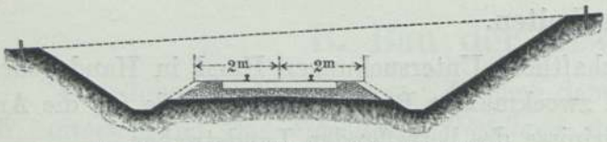


Fig. 957. Querschnitt der Bahn im Abtrag.

Bei jeder Überschreitung eines Wasserlaufes oder einer Talmulde muß ein *Wasserdurchlaß*, bei größeren Wasserläufen eine *Brücke* und bei breiten Tälern von mehr als 16—20 m Tiefe unter Umständen zur Ersparnis an Erdarbeiten ein *Viadukt* erbaut werden. Bei großer Einschnittstiefe (von 15—20 m und darüber) ist zu ergründen, ob und inwieweit durch Einfügung eines Tunnels eine Ersparnis zu erzielen ist, und in ähnlichen Fällen (namentlich auch bei Führung der Linie an steilen Abhängen, also bei starker Querneigung des Geländes) ist die gleiche Untersuchung hinsichtlich der Anwendung von Futter- und Stützmauern, Steinbekleidungen usw. zu führen, wie solche bei Gebirgsbahnen eine große Rolle spielen.

Bei Überschreitungen von Flußtälern und Stromgebieten werden Untersuchungen erforderlich über die Weite der Strom- und Flutbrücken, Änderungen des Flußbettes, der Deiche usw., die in das Gebiet des Wasserbaues eingreifen. Auch erfordert die Rücksicht auf die Schiffahrt nicht selten die Anordnung von beweglichen, insbesondere von Drehbrücken, wenn die Höhe zur freien Durchfahrt fehlt. Endlich kommen bei großen Stromübergängen und beim Berühren von Festungswerken auch militärische Rücksichten in Frage. Zur Wahrung der Einheitlichkeit in den wesentlichen Abmessungen und Einrichtungen der Bauten bestehen besondere Bestimmungen, insbesondere über die *Umgrenzung des freien Raumes*, die für den gefahrlosen Durchgang der Lokomotiven und Wagen auf allen deutschen Vollspurbahnen in gleicher Weise offen gehalten werden muß; diese Bestimmungen beeinflussen die Anordnung der Straßenüberführungen, der eisernen Brücken mit hohen Trägern, der Tunnels, der Bahnsteige usw.

Bei denjenigen Straßen, welche die Bahn in Schienenhöhe kreuzen sollen, wird meistens eine Änderung der Höhenlage, d. h. die Anlage von Auftrags- oder Einschnittsrampen, mit der für die betreffenden Wege zulässigen größten Neigung erforderlich. Dazu kommt die besondere

Befestigung des eigentlichen Planüberganges, dessen Abschluß mit Wegeschranken und deren fortlaufende Bedienung. Der Straßenkörper wird dabei beiderseitig und zwischen den Gleisen bis zur Höhe der Schienenoberkante aufgefüllt, zweckmäßig auch gepflastert. An der Innenkante der Schienen ist aber für den *Spurkranz* der Räder eine *Spurrinne* erforderlich, die oft auch durch Einlegung einer besonderen zweiten Schiene, *Zwangschiene*, hergestellt wird. Die Wegeübergänge in Schienenhöhe werden mit *Schranken* (Schiebe- und Rollschranken oder Schlagschranken) versehen. Bei Schlagschranken sind die beiderseitigen Schranken zur gleichzeitigen Bewegung mechanisch verbunden. Um nicht an jedem Übergang einen Wärter aufstellen zu müssen, werden die Schranken oft mit Fernschlußeinrichtungen und Läutewerk versehen. Bei lebhaftem Straßen- und Bahnverkehr sind Planübergänge möglichst zu vermeiden.

3. Oberbau.

Der *Oberbau* besteht aus den *Schienen* mit ihren Verbindungsteilen (Laschen und Schrauben), den *Unterlagen* der Schienen nebst Befestigungsteilen und deren *Unterbettung*. Die Unterbettung wird aus Kies oder besser Steinschlag gebildet und bezweckt, den von den Eisenbahnzügen ausgehenden Druck und die Erschütterungen auf die breitere Fläche des *Unterbaues* zu übertragen, dabei zugleich die Schwellen und Schienen durch rasche Wasserableitung möglichst trocken zu halten, endlich die Sicherung und Regelung der Gleislage nach Höhe und Richtung durch die *Stopfarbeiten* zu ermöglichen. Der Oberbau wird gewaltig beansprucht; ein Lokomotivrad darf ein Gewicht bis zu 8 Tonnen in Deutschland, bis zu 9 Tonnen in England und 10—13 Tonnen auf einzelnen amerikanischen Bahnen haben. Die durch die Bewegung so großer Massen hinzukommenden Stoßwirkungen in senkrechtem und wagerechtem Sinne wachsen aber mit dem Quadrat der Geschwindigkeit, die zurzeit in Deutschland bis auf 90, auf günstigen Strecken bis über 100 km in der Stunde (25 und 28 m in der Sekunde) steigen darf, in England sogar bis auf 120 km (33 m in der Sekunde) geht.

Die Dauer der Schienen und Schwellen ist sehr abhängig von der Art der Betriebsmittel (Lokomotiven und Wagen), von der Größe und Schnelligkeit des Verkehrs, von der Güte der Bettung und des Unterbaues, von richtiger Ausführung der Erhaltungsarbeiten, von der Güte des Materials und der Bauart des Oberbaues, insbesondere auch von der Anzahl und (bei Eisen) auch von der Gestalt der Schwellen. Die Schienen werden stets aus Flußstahl, die Schwellen aus Holz oder aus Flußeisen hergestellt. Selbstverständlich muß die Tragfähigkeit und damit der Kostenaufwand für den Oberbau den jeweiligen Anforderungen der betreffenden Gleise angepaßt werden. Nebenbahnen, Kleinbahnen und manche Nebengleise auf den Bahnhöfen der Hauptbahnen unterliegen weit geringeren Ansprüchen in Hinsicht auf Belastung, Geschwindigkeit, Verkehrsdichtigkeit usw. als die Hauptgleise der Schnellzugslinien; sie erhalten demgemäß einen leichteren und billigeren Oberbau. So beträgt das Schienengewicht für 1 m Länge auf gewöhnlichen Hauptbahnen in Deutschland und Österreich in der Regel 30—35 kg, auf stark befahrenen Schnellzugslinien neuerdings bis 43 kg, in Sachsen und bei der Gotthardbahn 46 kg; in Frankreich 43—47 kg; englische und französische Stahlschienen wiegen 42—50 kg auf 1 m. Anderseits geht das Gewicht bei vollspurigen Nebenbahnen auf 25 kg, bei Schmalspurbahnen noch weiter herab.

Die **Schienen** wurden im 18. Jahrhundert und noch bis 1820 für die damals mit Pferden betriebenen Kohlenbahnen in England aus Gußeisen hergestellt und anfangs durch hölzerne Langschwellen, dann in *Fischbauchform* von etwa 1 m (1 Yard) Länge durch Steinwürfel, auch wohl durch Querschwellen unterstützt. Ihr Querschnitt war anfangs der einer Platte mit kleinen seitlichen Rändern, auch wohl einer flachen Rinne oder eines Winkels zum Schutz gegen Ablauf der gewöhnlichen Wagenräder. Erst mit Einführung der *Spurkranzräder* um 1789 kam die *Pilzform* auf. Derartige kurze, gußeiserne Schienen konnten nur ein sehr mangelhaftes, für größere Raddrücke ungeeignetes Gleis bilden. Im Jahre 1820 gelang es, Schienen durch Walzen zu erzeugen, sie damit also aus viel haltbarerem Material und in größeren Längen herzustellen. Die Querschnittform blieb zunächst noch die gleiche Pilzform und die Unterstützung ebenfalls dieselbe mit

gußeisernen Stühlen auf Steinwürfeln. Bei der zweiten großen Bahn, London–Birmingham, brachte R. Stephenson 1838 seine geradlinige *Doppelkopfschiene*, in gußeisernen Stühlen mit Holzkeilen befestigt und auf hölzernen Querschwellen gelagert, zur Verwendung, und zwar schon mit 37,2 kg Gewicht für das Meter (Fig. 958). Diese symmetrische Form wurde später durch die etwas unsymmetrische *Bullenkopfschiene* ersetzt, da das nach Abnutzung der Oberkante beabsichtigte Umdrehen der Schiene zufolge der inzwischen eingetretenen Ausschleifungen der Auflagerstellen untunlich war. Diese Form des Oberbaues, nur mit verstärkten Abmessungen, insbesondere mit verstärktem Fahrkopf der Schiene, ist in England beibehalten worden (Fig. 959 u. 960). In Nordamerika waren anfangs Flachschienen auf Holzlangschwellen vorherrschend. Um 1832 trat die *Breitfußschiene* von R. Stevens hinzu, damals etwa mit 21 kg Gewicht für das Meter, aber mit rundlichen Seitenflächen. Diese Form ist von *Vignoles* 1836 in England eingeführt und nach ihm benannt worden. Die *Vignoles-Schiene* ist später aus England fast ganz wieder verschwunden, hat sich aber über die ganze übrige Welt verbreitet und ist gegenwärtig fast die alleinige (Fig. 961 u. 962). Nur in Frankreich ist neben dieser auch die englische *Stuhlschiene* oft verwendet worden. In Deutschland sind Stuhlschienen aus früherer Zeit nur bei einzelnen Bahnen verblieben, dagegen neuerdings versuchsweise in sehr verstärkter Form wieder verlegt worden. Als Material für Schienen wird heute nur Flußstahl (Bessemer-, Thomas- und Siemens-Martinstahl) verwendet, und die regelmäßige Schienenlänge ist ziemlich allgemein auf 12—15 m gesteigert. Viel weiter damit zu gehen, verbietet die Schwierigkeit des Transportes und der Umstand, daß die *Wärmelücken* zwischen den einzelnen Schienen bei starker Abkühlung sonst zu groß würden. Die Zwischenräume sind unentbehrlich, um bei Ausdehnung Stauchung und damit Verbiegung zu vermeiden. Nur bei ganz eingebetteten Straßenbahngleisen können sie auf größere Strecken fortbleiben, weil der Wärmeunterschied dort nicht so erheblich ist. Ebenso sind in Tunneln 18 m lange Schienen zulässig.

Fig. 958. Doppelkopfschiene.

Fig. 959. Querschnitt.

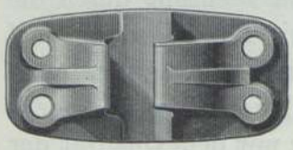


Fig. 960. Ansicht von oben.

Fig. 959 und 960. Englischer Schienenstuhl.

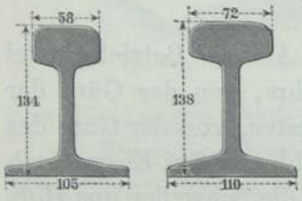


Fig. 961. Fig. 962.

Fig. 961 und 962. Preußische Schiene (Fig. 961 von 1885, Fig. 962 für großen Verkehr von 1893).

Als *Unterlagen* der Schienen wurden anfangs (neben hölzernen Langschwellen) namentlich *Steinwürfel* und als Ersatz dafür *gußeiserne Einzelstützen* in Form von kreisrunden oder ovalen, glockenartigen Körpern (umgekehrten Töpfen) verwendet, mit angegossenem Stuhl zur Befestigung der Schiene. Die Spurweite wurde dabei durch eiserne Verbindungsstangen geregelt (Fig. 963 u. 964). Solche *Topfschwellen* sind noch heute in frostfreien Ländern vielfach in Gebrauch. Die verbreitetste Form der Schienenunterlagen sind die *Querschwellen*, die den besten Querverband sowie die sicherste Unterstützung gewähren, auch durch weitere oder engere Lage und verschiedene Länge das Anpassen des Oberbaues an die Belastungsgröße gestatten. Bei der in den meisten Ländern vorherrschenden *Vollspur* von 1,435 m (zwischen den Köpfen, oder rund 1,5 m zwischen den Mitten der Schienen) ist die Länge der Querschwellen 2,4—2,8 m. Die durchschnittliche Entfernung der Schwellenmitten geht von höchstens 1 m herab bis auf 600 mm, am Stoß (s. unten) bis auf 500 mm, zumal in Nordamerika. Das *Material* der Querschwellen war früher fast ausschließlich und ist noch jetzt weit überwiegend *Holz*, am besten Eiche, dann Kiefer, Lärche, Fichte, in einigen Gegenden auch Buche, in Südamerika Quebracho und anderes. Alle diese Holzarten gewinnen

Fig. 963. Ansicht.

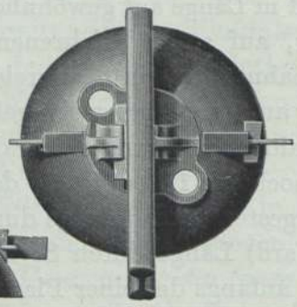


Fig. 964. Grundriß.

Fig. 963 und 964. Gußeiserne Einzelstützen mit Stuhlschienen (Topfschwellen).

durch eine geeignete Behandlung (Lufttrocknung, Auslaugen mit Wasserdampf und Einpressen einer fäulniswidrigen Flüssigkeit in geschlossenen Kesseln: das sogenannte *Tränkungsverfahren* oder Imprägnieren) erheblich an Dauer, was namentlich dann von Wert ist, wenn die rein mechanische Abnutzung des Holzes gleichzeitig durch eine geeignete Schienenbefestigung möglichst verzögert wird. Aus diesem Grunde fügt man zwischen Schwelle und Schiene überall kräftige walzeiserne *Unterlagsplatten* ein und wendet der Befestigung dieser Platten sowie der Schienen selbst auf den Schwellen besondere Sorgfalt zu (Fig. 965 u. 966), um die Vorteile des englischen Schienenstuhles tunlichst zu ersetzen. Die *Neigung* von 1:20 (bis 1:16), welche die Schienen aus technischen Gründen gegen die Lotlinie erhalten, um winkelrecht zum Radkonus zu stehen, erzielt man durch die Gestalt der Unterlagsplatte, die mit Schwellenschrauben oder Schienennägeln befestigt wird.

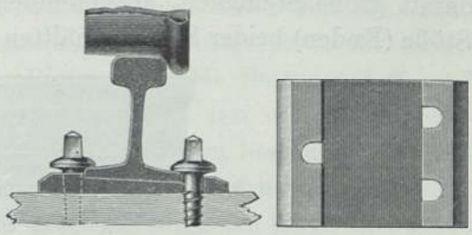


Fig. 965. Fig. 966.

Fig. 965 und 966. Schienenbefestigung auf Eichenholzschwellen (Fig. 965 Querschnitt, Fig. 966 Grundriß der Platte).

Eiserne Querschwellen, aus Flußeisen gewalzt, wurden früher nur wenig angewendet. In Deutschland hat man dann aber trotz anfangs ungünstigen Erfolges erkannt, daß Eisenquerschwellen von gleicher Länge wie die hölzernen bei zweckmäßiger Querschnittsform und Ersatz der früher für die Schienenneigung ausgeführten Biegung oder Pressung durch geneigte Unterlagsplatten, endlich bei richtiger Befestigungsart wohlgeeignet sind, einen guten und dauerhaften Oberbau zu erzielen. Um der Querverschiebung der Schwellen mehr Widerstand entgegenzusetzen, als die bloße Reibung des Eisens auf der Bettung gewährt, ist es erforderlich, die Kopfenden der Schwellen durch Umbiegen der Enden zu schließen. Fig. 967—970 zeigen Querschnitte und Grundriß der Eisenquerschwelle, wie sie zurzeit üblich sind, und Fig. 971—973 eine bewährte Schienenbefestigung mit *(Haarmanns) Hakenplatte*. In Österreich und Bayern werden *Klemmplatten* (nach *Heindl*) viel angewendet. Die Befestigung der Schiene mittels Keile weicht der besseren Schraubenbefestigung. Die Eisenquerschwellen werden neuerdings namentlich in Deutschland, Österreich, der Schweiz, Belgien und Holland verwendet.

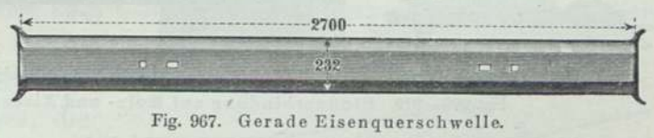


Fig. 967. Gerade Eisenquerschwelle.

Fig. 968. Fig. 969. Fig. 970.

Fig. 968—970. Querschnitte von Eisenquerschwellen.

Fig. 971. Ansicht. Fig. 972. Querschnitt. Fig. 973. Grundriß der Unterlagsplatte.

Fig. 971—973. Haarmanns Schienenbefestigung auf Eisenquerschwellen.

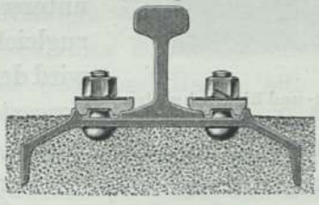


Fig. 974. Hoheneggers Langschwelle.

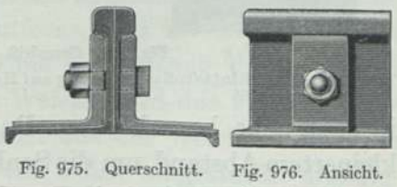


Fig. 975. Querschnitt. Fig. 976. Ansicht.

Fig. 975 und 976. Haarmanns Schwellenschiene.

Langschwellen aus Holz sind namentlich in Nordamerika früher angewendet worden, mußten jedoch bald den Querschwellen das Feld räumen. Auch von den *Eisenlangschwellen*, die man in den 1870er Jahren mit Vorliebe verlegte, ist man für Hauptbahnen jetzt ganz zurückgekommen, da auch hier trotz der lästigen Spurstangen die Unterhaltung mit der Zeit wachsende Schwierigkeiten zeigte, und da eine gute Stoßverbindung (s. unten) nicht herstellbar ist. Für Neben- und Straßenbahnen kommen dagegen Langschwellensysteme oder Schienen, die so stark sind, daß sie bei geringen Lasten besonderer Schwellen entbehren können, oft zur Anwendung *(Schwellenschienen)*. Nach der Form der eisernen Langschwellen unterschied man dreiteilige Formen mit zwei symmetrisch angeordneten,

winkeleisenförmigen Unterschienen und einer dazwischen festgeklemmten pilzförmigen Kopfschiene, sowie anderseits zweiteilige Formen mit breiter Schwelle und selbständiger, daraufgeschraubter Breitfußschiene; diese Form hat größere Verbreitung erlangt (Fig. 974). Später hat *Haarmann* in Osnabrück eine aus zwei symmetrischen Winkelstücken fest zusammengefügte einteilige Form mit senkrechter Mittelfuge als Schwellenschiene (Fig. 975 u. 976) hergestellt und damit große Steifigkeit, auskömmliche Breite und namentlich eine regelmäßige Versetzung der Stöße (Enden) beider Schienenhälften ermöglicht, so daß (allerdings nur anfangs) der Übergang der Räder sanft und ohne Schlag erzielt wurde.

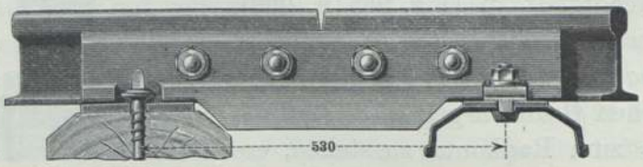


Fig. 977. Ansicht.

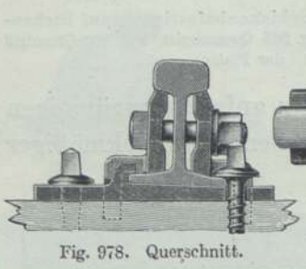


Fig. 978. Querschnitt.

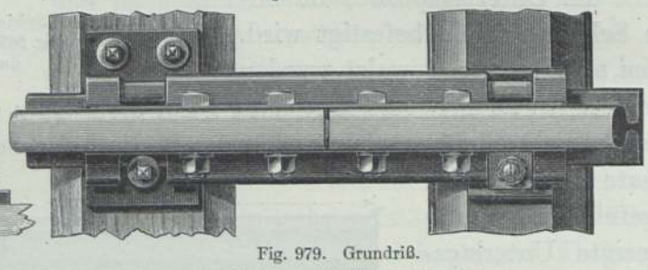


Fig. 979. Grundriß.

Fig. 977—979. Stoßverbindung auf Holz- und Eisenschwellen.

Die *Stoßverbindung* der Schienen bildet den schwierigsten Punkt des Eisenbahngleises. Um nämlich die für Oberbau und Betriebsmaterial nachteiligen und für die Fahrgäste lästigen Erschütterungen beim Überschreiten des Schienenstoßes durch die Räder zu vermeiden, müßte im Augenblick des Radüberganges von einer auf die andere Schiene nicht nur die Höhe beider Schienenköpfe genau gleich, sondern auch jeder Richtungsunterschied in diesem Augenblicke verhindert sein. Da nun aber jedes Schienenende sich unter der Last niederdrückt, so wird es kaum je gelingen, solche augenblicklichen kleinen Verschiebungen der Schienenkopffläche unter der Last auf die Dauer zu verhindern. Die zurzeit allgemein übliche Bauart der Stoßverbindung zeigt beiderseitige Stahllaschen, die sich mit ihren ebenen Anschlußflächen zufolge der Schraubenwirkung zwischen die gleichfalls ebenen Flächen an Kopf und Fuß der Schiene einspannen, ohne den Schienensteg zu berühren, und so die Last übertragen. Um diese Übertragung elastisch zu machen, die Richtungsunterschiede tunlichst zu vermindern und zugleich reichliche Unterstützung darzubieten, wird der Schienenstoß fast überall „schwebend" hergestellt, d. h. nicht in einem Punkte, sondern in *zwei* nahe benachbarten Punkten unterstützt. Auch die nächsten Schwellen folgen in verkleinertem Abstand, um die Senkungen der Schienenenden zu vermindern. So entsteht die in Längsansicht, Querschnitt und Grundriß in Fig. 977—979 dargestellte Stoßverbindung. Die Lasche ist durch einen senkrechten Ansatz verstärkt, jedoch so ausgeschnitten, daß sie beiderseits gewisse Befestigungsteile umklammert und dadurch das Gestänge gegen Längsverschiebung verspannt. Dies ist erforderlich, weil eine Durchbohrung oder Einklinkung des Schienenfußes (wie sie früher bei weichen Eisenschienen üblich war) bei Stahlschienen unzulässig ist. Die Schraubenlöcher im Schienensteg müssen der Wärmebewegung der Schienen genügenden Spielraum bieten. Auf Holzquerschwellen sind die beiden Unterlagsplatten am Stoß größer und stärker als die übrigen (s. oben) und zugleich mit einem Haken an der Außenseite der Schiene versehen, der wie die Haarmannsche Hakenplatte auf Eisenschwellen den Schienenfuß umfaßt und so für die Gestalt der Laschen volle

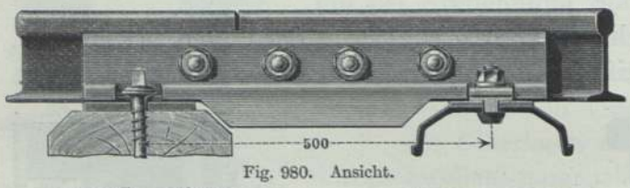


Fig. 980. Ansicht.

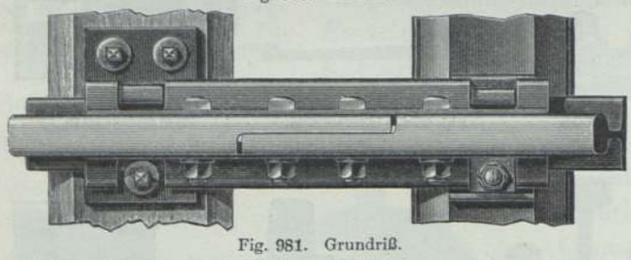


Fig. 981. Grundriß.

Fig. 980 und 981. Blattstoßverbindung auf Holz- und Eisenschwellen.

Gleichheit auf Holz- und Eisenquerschwellen ermöglicht. In Fig. 977 und 979 ist demgemäß eine Eisen- und eine Holzschwelle gezeichnet. — Neben dieser regelmäßigen Stoßform sind auch verschiedene Arten des *Blattstoßes* zur Ausführung gelangt, die, ebenso wie die oben erwähnte Schwellenschiene, ein Überblatten des Endes der einen Schienenkopfhälfte durch die andere und dadurch einen stoßfreien Radübergang bezwecken (Fig. 980 u. 981).

Die *Bettung* zwischen den Schienen bezweckt die Druckverteilung unter den Schwellen auf den Erdkörper, die Trockenhaltung, die Unschädlichmachung des Frostes sowie die Sicherung der Lage des Gleises in senkrechter und wagerechter Richtung. Der Bettungsstoff muß genügende Festigkeit gegen Zerdrücken besitzen und durchlässig, daher frei von erdigen Bestandteilen sein. Die einzelnen Stücke müssen gegen Frost und Verwittern beständig sein und möglichst viel Reibung aneinander entwickeln, am besten also scharfe Kanten haben, damit sie, durch die Schläge der Stopfhacke fest unter die Schwellen gepreßt, tunlichst lange in solcher Lage verbleiben. Das beste Material ist Steinschlag von festen natürlichen Steinen, aber auch fester, reiner Kies ist verwendbar.

4. Betriebseinrichtungen.

Die *Betriebseinrichtungen* bilden einen sehr wichtigen Bestandteil der Bahnanlagen. Hier kommen zunächst die Verbindungen der Gleise zum Übergang von Fahrzeugen aus einem Gleis in das andere in Betracht, und zwar Weichen, Drehscheiben und Schiebebühnen. Die beiden letzteren dienen nur zum Übergang je eines Fahrzeuges, die Weichen zum Übergang ganzer Züge oder Zugteile.

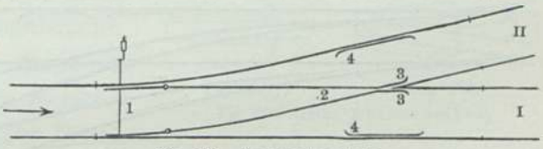


Fig. 982. Normalweiche.

Weichen. Jede *Weiche* besteht aus drei Teilen: einem beweglichen, der *Ausweichvorrichtung* (1 in Fig. 982), und zwei festen Teilen, dem *Herzstück* (2) und dem *Weichenbogen*, der zwischen Ausweichvorrichtung und Herzstück liegt. Die Ausweichvorrichtung, auch *Wechsel* genannt, muß beweglich sein, damit ein in der Pfeilrichtung fahrender Eisenbahnzug je nach Bedarf in das *Stammgleis* I fahren kann oder in das *Zweiggleis* II abgelenkt wird. Ihre einfachste Konstruktion ist die *Schleppweiche;* sie besteht aus zwei gewöhnlichen Schienenstücken, die durch eine Stange verbunden und an einem Ende drehbar sind und entweder für das Hauptgleis oder das abzweigende Gleis dienen. Die Schleppweiche besitzt aber den Nachteil, daß sie stets ein Gleis offen läßt und daher einen Zug bei Ausfahrt aus der Weiche (entgegengesetzt der Pfeilrichtung in Fig. 982) bei falscher Weichenstellung zur Entgleisung bringen kann. Dies verhindert die *Zungenweiche*, bei der die Ausweichvorrichtung außer von den beiden äußeren durchlaufenden Schienen, den *Backenschienen*, durch zwei Weichenzungen gebildet wird. Wenn eine dieser Zungen, die durch eine Spurstange verbunden sind, an die zugehörige Backenschiene anliegt, ist die andere Zunge so weit von ihrer Backenschiene entfernt, daß für die Spurkränze der Räder eines durchfahrenden Zuges genügend Raum ist. Eine Entgleisung durch falsche Weichenstellung ist daher ausgeschlossen; bei der Einfahrt in die Weiche wird das Fahrzeug nur in ein anderes Gleis abgelenkt, als beabsichtigt war; bei Ausfahrt aus der Weiche wird diese durch die Spurkränze der Räder „aufgeschnitten" und dadurch von selbst umgestellt. Die Bewegung der Weichenzungen geschieht für die Bedienung mit Hand durch eine Umstellvorrichtung mit Gegengewicht (Weichenbock), die mit Signalen *(Weichensignalen)* versehen ist und dadurch die Stellung der Weiche schon von weitem sichtbar macht. Bei wichtigen Weichen oder großen Weichengruppen erfolgt die Umstellung nicht mit Hand, sondern von *Stellwerken* aus, in die Drahtzüge von den Weichen aus eingeführt werden. Hinter dem Weichenbogen müssen an der Durchschneidungsstelle der beiden Gleise die Schienen unterbrochen werden, um den Spurkränzen der Räder Raum zu lassen. Dies geschieht durch Einlegung des Herzstückes (2 in Fig. 982). Man unterscheidet *Block-* und *Schienenherzstücke.* Erstere sind aus einem Stück gegossen, die Schienenherzstücke sind aus gewöhnlichen Schienen hergestellt, die vorn in einer Spitze

zusammenlaufen. Der Winkel, unter dem die Schienen am Herzstück zusammenlaufen, heißt die „Neigung des Herzstückes“ und bezeichnet gleichzeitig den Weichenwinkel. Durch die Unterbrechungen der Schienen am Herzstück fehlt den Rädern der Fahrzeuge auf eine kurze Strecke die Unterstützung und Führung. Erstere wird ersetzt durch die *Flügelschienen* 3 (Fig. 982), letztere durch die *Zwangschienen* oder *Radlenker* 4. Die Flügelschienen sind Verlängerungen der inneren Schienen der Weiche; die Zwangschienen liegen dem Herzstück gegenüber an den Innenseiten der äußeren Schienen. Eine besondere Weichenart stellt die *Kletterweiche* dar, bei der jede Unterbrechung der Hauptgleise fehlt, und die daher zu Abzweigungen von Anschlußgleisen auf der freien Strecke dient.

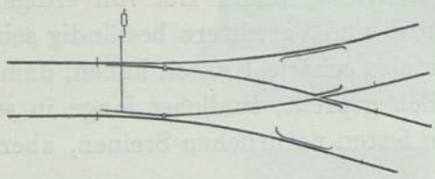


Fig. 983. Unsymmetrische Zweibogenweiche.

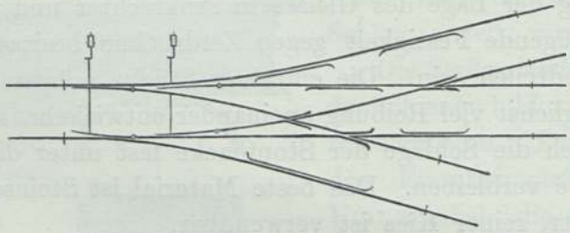


Fig. 984. Unsymmetrische Doppelweiche.

Man unterscheidet an Weichenformen: *Normal-* oder *einfache Weiche* (Fig. 982), die eine Abzweigung aus dem gerade fortlaufenden Gleis ist; sie heißt

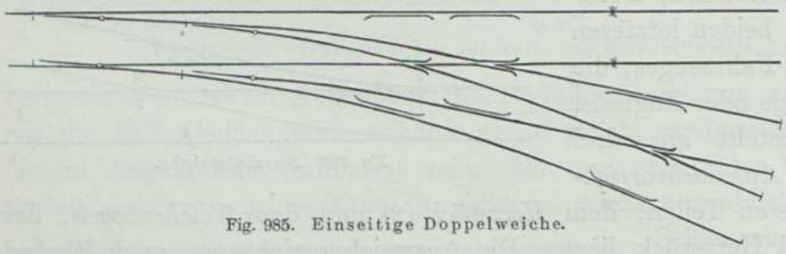


Fig. 985. Einseitige Doppelweiche.

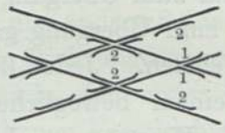


Fig. 986. Gleiskreuzung.

Rechts- oder *Linksweiche*, je nachdem bei der Einfahrt in die Weiche der gekrümmte Strang nach rechts oder links abzweigt. Sind beide Stränge einer Weiche gekrümmt, so nennt man diese *Zweibogenweiche* (Fig. 983). Sie wird zweckmäßig immer unsymmetrisch ausgebildet. Werden aus einem Gleis gleichzeitig zwei andere abgezweigt, so entsteht die *Doppelweiche* (Fig. 984 u. 985), die auch immer unsymmetrisch gebaut wird. Es lenken dann entweder die beiden abzweigenden Stränge nach verschiedenen Seiten ab (Fig. 984) oder beide nach einer Seite (Fig. 985); letztere Art heißt *einseitige Doppelweiche*. Durch Fortnahme des gerade durchlaufenden Gleises entstehen die oben bereits genannten Zweibogenweichen.

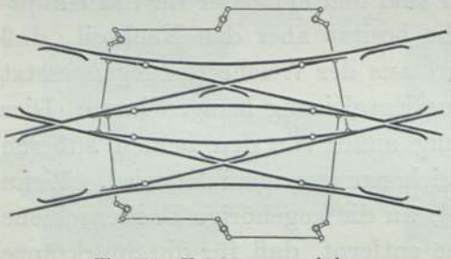


Fig. 987. Kreuzungsweiche.

Eine *Gleiskreuzung* (Fig. 986) ist die Durchschneidung zweier Gleise in einer Ebene. Sie besteht aus zwei Herzstücken am spitzen Winkel und zwei Kreuz- oder Doppelherzstücken am stumpfen Winkel nebst Flügelschienen 1 und Zwangschienen 2. Die *Kreuzungsweiche* (Fig. 987), auch *englische Weiche* genannt, ist die Vereinigung einer Gleiskreuzung mit Weichen, derart, daß ein Übergang aus dem einen geradlinigen Gleis in das andere ermöglicht ist, und zwar entweder nur auf der einen oder auf beiden Seiten, danach *einseitige* oder *einfache* und *beiderseitige* oder *doppelte Kreuzungsweiche* genannt.

Drehscheiben verbinden Gleise, die sich unter einem beliebigen Winkel schneiden. Außerdem dienen sie dazu, Fahrzeuge um 180° zu drehen (z. B. Lokomotive mit Tender, wenn sie nicht mit dem Tender voranfahren soll), sowie als Zugangsmittel zu Gebäuden, besonders Lokomotivschuppen, Reparaturwerkstätten usw. Die Drehscheiben sind in Gruben derart gelagert, daß die Schienenoberkanten auf der Drehscheibe gleich hoch mit denen der anschließenden Gleise liegen. Damit die Scheibe gegen Bewegungen beim Auf- und Abfahren der Fahrzeuge

gesichert ist, besitzt sie eine Feststellvorrichtung. Nach der Gesamtanordnung (Fig. 988—991) unterscheidet man *Vollscheiben* und *Teilscheiben*. Die ersteren, bei denen die Grube völlig bedeckt ist, besitzen zwei rechtwinklig oder drei unter 60° sich schneidende Gleise; nach der Form unterscheidet man: *Kreuzscheibe* (Fig. 988) und *Sternscheibe* (Fig. 989). Die Teilscheiben (Fig. 990) überdecken nur einen Teil der Grube und tragen nur ein Gleis. Bei ihnen liegt der Drehpunkt in der Mitte der kreisrunden Grube. Teilscheiben bilden die Regel für Lokomotiven. Bei den *Pendelscheiben* (Fig. 991), die keinen vollen Kreis, sondern nur einen kleinen Kreisabschnitt beschreiben können, ist der Drehzapfen an einem Ende der Scheibe gelagert. Die Unterstützung der Drehscheiben geschieht durch zwei Eisenblechträger. Diese sind durch Querträger versteift, von denen die in der Nähe des Drehpunktes liegenden mittels eines Gußstückes und zweier starker Tragschrauben die Last auf ein Querstück aus Gußstahl übertragen, in das der Zapfen eingesetzt ist. Der äußere Umfang der Scheiben trägt Räder, die sich auf eine in der Grube gelagerte Schiene stützen und zum Tragen der Drehscheibe oder nur zur Führung dienen.

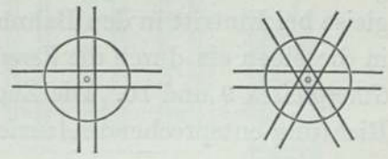


Fig. 988. Fig. 989.

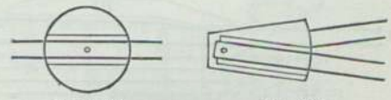


Fig. 990. Fig. 991.

Fig. 988—991. Drehscheiben.

Schiebebühnen sind Vorrichtungen zur Verschiebung einzelner Fahrzeuge rechtwinklig zu parallel laufenden Gleisen. Sie ermöglichen daher, ein Fahrzeug von einem dieser Gleise in ein beliebiges anderes zu bringen. Die Unterstützung des Gleises der Schiebebühnen besteht aus zwei Längsträgern, die durch Querträger verbunden sind. An diesen sind Räder angebracht, die auf rechtwinklig zu den Fahrgleisen liegenden Schienen laufen. Man unterscheidet *versenkte* und *unversenkte Schiebebühnen*, oder solche *mit* bzw. *ohne Laufgrube*. Bei ersteren liegen die Laufgleise in einer Grube, die etwa 40—50 cm tiefer ist als die dadurch vollständig unterbrochenen Fahrgleise. Bei den letzteren befinden sich Lauf- und Fahrschienen in gleicher Höhe, und die Fahrschienen sind daher nicht oder nur auf ganz kurze Strecken unterbrochen.

C. Bahnhöfe, Betriebs- und Sicherungsanlagen.

I. Bahnhöfe.

Bahnhöfe sind Örtlichkeiten für den öffentlichen Verkehr zwischen Publikum und Eisenbahn und zugleich für die Erledigung der Geschäfte des inneren Betriebsdienstes, also eine Verbindung von Verkehrs- und Betriebsanlagen für den *Personen-* und für den *Güterverkehr* nebst Betriebsanlagen für den *Rangier-* (Verschiebe-) *Dienst* und für den *Werkstättendienst*.

Die *Personenbahnhöfe* bestehen aus Gleisanlagen mit seitlichen oder zwischenliegenden, offenen oder bedeckten Bahnsteigen nebst Empfangs- und Nebengebäuden sowie Räumen und Laderampen für Post- und Eilgut, Rampen für Kutschen, Pferde usw. Hierzu kommen an Orten, wo Personenzüge regelmäßig zusammengestellt werden, noch die als *Abstellbahnhof* bezeichneten Betriebsanlagen, nämlich: Gleise zum Aufstellen, Reinigen und Neuordnen der Personenzüge, dazu Wagen- und Lokomotivschuppen nebst Zubehör an Gleisen, Drehscheiben, Kohlenbühnen und Wasserstationen; auch Anstalten zur Versorgung der Personenwagen mit Leuchtgas usw.

Die *Güterbahnhöfe* gliedern sich weiter in Stückgut-, Rohgut-, Vieh- und Hafenbahnhöfe. Die *Stückgutbahnhöfe* (Güterbahnhöfe im engeren Sinne) für stückweise zu verwiegende Sendungen bestehen aus Güterschuppen nebst zugehörigen Gleisanlagen; die *Rohgutbahnhöfe* für Wagenladungsverkehr mit Feldfrüchten, Kohlen, Steinen, Erz, Holz usw. werden aus wiederholten, stumpf endigenden Gruppen von je zwei Gleisen mit zwischengelegten Ladestraßen gebildet, nebst Zubehör an Brückenwagen, Rampen, Kranen usw. Die *Viehbahnhöfe* enthalten an und zwischen den Gleisen größere Rampenanlagen zur Verladung des Viehes, Stallungen, Anlagen zum Füttern und Tränken der Tiere sowie zum Reinigen und Desinfizieren der Wagen mit kaltem und heißem

Wasser. Die *Hafenbahnhöfe* bilden, namentlich bei Seehäfen, weit ausgedehnte Gleisanlagen mit Schuppen, Speichern, Hebevorrichtungen, die sich an den Schiffskais entlang ziehen.

Die *Rangier-* oder *Verschiebebahnhöfe* bestehen aus zahlreichen Gleisgruppen nebst Stellwerken zum Zerlegen und Neuordnen von Güterzügen; dazu kommen Umladerampen oder -schuppen, Brückenwagen, Lokomotivschuppen mit Zubehör, Dienstgebäude usw. Die *Werkstättenanlagen* dienen zum Instandhalten und Wiederherstellen der Lokomotiven und Wagen, enthalten deshalb eine große Zahl von Gleisen und Gebäuden von zum Teil sehr großer Ausdehnung.

Alle diese einzelnen Teile können sich bei großen Verkehrsplätzen zu selbständigen Sonderbahnhöfen entwickeln. Bei kleineren Orten pflegen dagegen die Bestandteile in enger Verbindung bis zu einer einzigen gemeinsamen Anlage vereinigt zu sein. Ein Beispiel des Gleissystems einer solcher einfachen, aber vollständig ausgebildeten *Durchgangsstation* gibt Fig. 992. In den Hauptgleisen 1 und 2 halten nur die Personenzüge an den in der Fahrtrichtung gegeneinander vorgeschobenen Bahnsteigen vor dem Empfangsgebäude III. Die Güterzüge verlassen die Hauptgleise bei Eintritt in den Bahnhof mittels der *Spaltungsweichen* 3, 3 und treten bei Abgang wieder in dieselben ein durch die *Vereinigungsweichen* 4, 4; inzwischen halten sie in den *Überholungs-* oder *Gütergleisen* 9 und 10. Die Zugmaschine geht sodann mit den abzusetzenden Wagen in das ihrer Richtung entsprechende *Ausziehgleis* 7—8 vor und stößt die Wagen rückwärts in eins der *Aufstellgleise* 5, 6 ab. Sie nimmt sodann aus dem anderen Aufstellgleis die zur Abfahrt in ihrer Richtung bereitgestellten Wagen heraus und setzt sich mit ihnen vor den Güterzug, so daß dieser nun zur Abfahrt fertig ist. Für die Richtung I—II kann das Ausziehgleis 8 allenfalls entbehrt werden, da das Rangieren im Ausfahrgleis (ohne Berührung des Einfahrgleises) minder gefährlich ist. Die in dem Aufstellgleis für Ankunft (6) abgesetzten Wagen werden dann mit Hand (oder Bahnhofslokomotive) zu den Ladestellen (Güterschuppen IV) und nach Abfertigung zurück in das Aufstellgleis für Abfahrt (5) gebracht. Das *Durchlaufgleis* 11 ist namentlich zur Anknüpfung weiterer Gleisanlagen (z. B. des punktierten Lokomotivschuppens mit Drehscheibe u. a.) bestimmt. Die Doppelpfeile in den Aufstellgleisen bezeichnen die Fahrtrichtung der zugehörigen Güterzüge oder Zugteile.

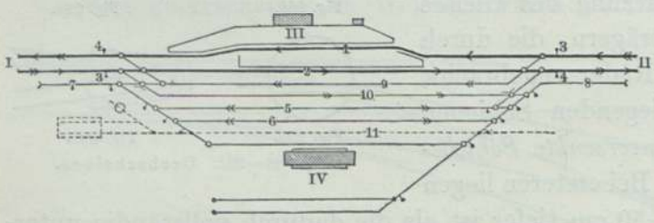


Fig. 992. Gleissystem einer Durchgangsstation.

Zum Verständnis der größeren Bahnhofsanlagen empfiehlt sich folgende Einteilung: Nach der Lage zum Bahnnetz sind zunächst zu unterscheiden: *End-*, *Zwischen-*, *Trennungs-* (oder *Anschluß-*) und *Kreuzungsstationen*, dazu Kombinationen, wie z. B. Verbindungen von End- mit Zwischen- oder Kreuzungsstationen, mehrfache Trennungsstationen (Knotenpunktstationen). Bezüglich der Grundrißbildung der *Personenbahnhöfe* sind sodann weiter die Kopf-, Durchgangs-, Keil- und die Inselform zu bemerken, je nachdem die Hauptgleise stumpf endigen, durchgehen, von zwei Richtungen keilförmig zusammenlaufen oder die Bahnsteige nebst Gebäuden allseitig umschließen. *Kopfstationen* sind anfangs in Deutschland oft angelegt worden, indem man eine Weiterführung über den als Endstation gedachten Bahnhof hinaus oder eine Verbindung mit anderen Bahnlinien nicht voraussah. Sie wurden jedoch bei zunehmender Verdichtung des Eisenbahnnetzes und damit steigender Betriebserschwerung meist durch Um- oder Neubauten ersetzt. Nur an ausgesprochenen Endpunkten großer Bahnsysteme, in einzelnen Großstädten auch als Knotenpunkte zusammenlaufender Bahnen, hat man bei neuen Ersatzbauten die Kopfform beibehalten, wenn die örtlichen Verhältnisse andernfalls eine zu große Entfernung des Bahnhofes vom Innern der Stadt bedingt haben würden. Ein Beispiel einer großen Kopfstation ist der erst zur Hälfte in Betrieb genommene *Hauptbahnhof Leipzig* (Fig. 993) mit 26 in das Empfangsgebäude einmündenden Hauptgleisen; die Gesamtfront des Hauptgebäudes wird 298 m lang.

Die *Durchgangsform* mit Vorgebäude, d. h. einseitig neben den Gleisen (seltener beiderseits) gelegenem Empfangsgebäude, einem Haupt- und einem Zwischenbahnsteig (Fig 992), seltener mit

beiderseitigen Außensteigen, ist die für Zwischenstationen allgemein übliche (in den schematischen Figuren bedeuten die einfachen Pfeile die Fahrtrichtung der Personenzüge, die Doppelpfeile die der Güterzüge). Dieselbe Form, durch mehrfache Wiederholung des Zwischensteigs, auch wohl durch Hinzunahme eines Außensteigs erweitert, findet Verwendung für den Zusammenlauf mehrerer Linien, namentlich wenn sie alle oder größtenteils weitergeführt sind. Während man die Überschreitung der Schienen durch das Publikum von einem zum anderen Bahnsteig früher allgemein zuließ, legt man neuerdings bei lebhaftem Verkehr großen Wert auf die Anlage schienenfreier Zugänge zu den Bahnsteigen und dem Gebäude. Zugleich wird mittels Hochlegung der Bahn (oder der Straßen) eine schienenfreie Kreuzung mit den Straßenzügen erzielt.

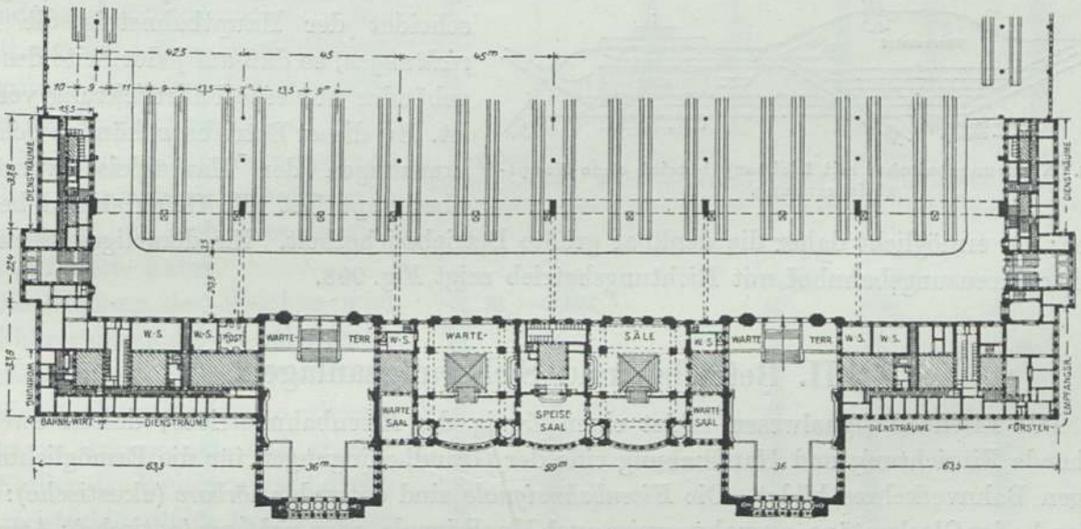


Fig. 993. Hauptbahnhof Leipzig (Grundriß in Bahnsteighöhe).

Die *Keilform* (Fig. 994 u. 995) ist die Grundform für den Zusammenlauf zweier Bahnen, oder, was dasselbe ist, für die einfache Trennungsstation (von I nach II und III), indem sie an der offenen Basis des Keiles einen sehr geeigneten Platz für das Empfangsgebäude und dessen Zugang darbietet. Die reine Keilform des Grundrisses (Fig. 994) ist seltener als die zum langen Rechteck

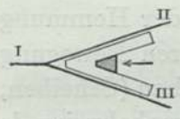


Fig. 994.

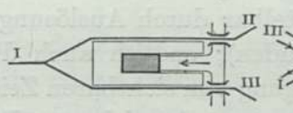


Fig. 995.

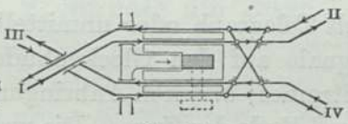


Fig. 996.

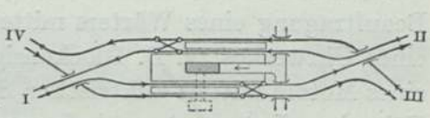


Fig. 997.

Fig. 994 und 995. Trennungsbahnhöfe in Keilform, für Teilung einer Linie von I in zwei solche nach II und III. Fig. 996. Kreuzungsbahnhof, Inselform mit Keil- oder Linienbetrieb. Fig. 997. Kreuzungsbahnhof, Inselform mit Richtungsbetrieb.

ausgedehnte Keilform (Fig. 995) mit Zufahrt an einer Giebelseite des Empfangsgebäudes und meistens mittels Unter-, seltener Überschreitung beider Bahnarme an der Wurzel des Keiles. Diese Form ist namentlich bei Zusammenführung mehrerer Linien und bei Kreuzungsstationen zur Anwendung gelangt, wobei dann die Kreuzung der Hauptgleise besser außerhalb der Station durch Überbrückung erfolgt. Solche Stationen werden oft als *Inselbahnhöfe* bezeichnet, weil das Hauptgebäude nicht ohne Kreuzung von Gleisen zu erreichen ist. In der Tat wird durch eine solche Anlage die Möglichkeit geboten, auch am Wurzelende des Keiles Gleisverbindungen (Nebengleise) zu Übergangsbewegungen usw. zwischen beiden Bahnarmen herzustellen, also die Bahnsteiganlage allseitig mit Gleisen zu umschließen. An der Betriebsart des ursprünglichen Keilbahnhofes wird dadurch jedoch nichts geändert; solche Anlagen werden deshalb folgerichtig als *Inselbahnhöfe mit Keilbetrieb* oder *Linienbetrieb* (Fig. 996) bezeichnet. Bei ihnen scheidet das Empfangsgebäude mit dem Hauptbahnsteig die *Bahnlinien* voneinander, so daß jeder der beiden Bahnen eine Seite mit Bahnsteigen zugeteilt ist.

Behufs Erzielung kürzesten Zuganges zum *Inselgebäude* und den Bahnsteigen wird neuerdings oft ein Straßentunnel vom Vorplatz aus hinzugefügt, auch dessen Eingang mit einem *Vorgebäude* überbaut, das die Räume für die Fahrkartenausgabe, Gepäckabfertigung usw. aufnimmt, während dem Inselgebäude in Bahnsteighöhe nur die Warteräume nebst Restauration und Zubehör sowie die Diensträume für Bahnhofsaufsicht und Bahntelegraph verbleiben. Die Gepäckbeförderung zu den Bahn- bzw. Gepäcksteigen erfolgt dann vom Vorgebäude aus mittels Gepäcktunnel und Aufzügen. Die Zufahrtstraßen zur Giebelseite des Gebäudes können hierbei wegfallen. Eine andere, sehr häufige Verbindung von Durchgangs- und Kopfgleisen ergibt sich bei Einführung dieser Endgleise *außerhalb* der Durchgangsgleise (meist vor denselben an der Stadtseite).

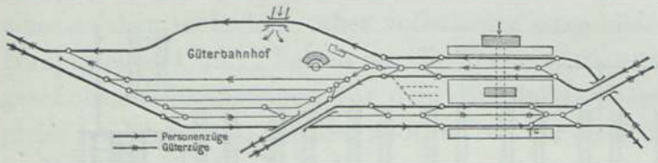


Fig. 998. Kreuzungsbahnhof mit Richtungsbetrieb ohne Hauptgleiskreuzung.

Bei dem *Richtungsbetrieb* (Fig. 997) scheidet der Hauptbahnsteig die *Fahrtrichtungen*, so daß auf jeder Seite des Inselgebäudes nur *eine* Fahrtrichtung vertreten ist. Bei dieser Betriebsart können Schienenkreuzungen der Hauptgleise vermieden, überhaupt fast alle Gefahrstellen beseitigt werden; sie ermöglicht daher die denkbar größte Betriebssicherheit. Ein derartiges Gleissystem für einen Kreuzungsbahnhof mit Richtungsbetrieb zeigt Fig. 998.

II. Betriebs- und Sicherungsanlagen.

Das **Eisenbahnsignalwesen** bildet einen Zweig des Eisenbahnbetriebs, dessen zweckentsprechende Einrichtung und Handhabung eine der Grundbedingungen für die Ermöglichung des heutigen Bahnverkehres bildet. Die *Eisenbahnsignale* sind entweder *hörbare* (akustische): Horn- (Pfeifen-) oder Glockentöne, ausnahmsweise auch Knallsignale, oder *sichtbare* (optische): Arme oder Scheiben, bei Abend farbige und weiße Lichter an Signalmasten, am Zuge, an Weichenböcken, Wasserkranen u. s. f. Die *Signalgebung*, d. h. die Veranlassung der Signalerscheinung an entfernter Stelle, erfolgt: 1. bei Signalen für kurze Entfernungen *unmittelbar* durch Zuruf, Hornblasen, Pfeifen, Läuten, Bewegen einer Handfahne, Scheibe oder Laterne; 2. bei sichtbaren und hörbaren Signalen auf weitere Entfernung a) auf *mechanischem* Wege durch Drahtzug bis 600, auch 800 m, seltener durch Wasser- oder Luftdruck; b) auf *elektrischem* Wege beliebig weit, und zwar mittelbar durch Beauftragung eines Wärters mittels Telegraph oder unmittelbar durch Auslösung der Hemmung eines Uhrwerkes (z. B. Glockensignale auf den Glockenbuden); endlich auch durch Bewegung eines Motors mittels elektrischen Stromes; 3. durch Anbringung von sichtbaren Zeichen (Scheiben, Fähnchen, Laternen) am Anfang und Ende des Zuges. Die unter 1. bezeichneten Eisenbahnsignale dienen namentlich zur Verständigung des Bahnhofs- und Zugpersonals untereinander beim Rangieren; die unter 2. bezeichneten teils zur Benachrichtigung des Zugpersonals über „Freie Fahrt“ oder „Halt“, teils, ebenso wie die zu 3., zur Benachrichtigung des Streckenpersonals (Bahnwärter, Streckenarbeiter) über Abgang der regelmäßigen und etwaiger außergewöhnlicher Züge oder Lokomotiven usw. Bei Hauptbahnen zeigen namentlich die elektrisch ausgelösten Glockensignale durch Anzahl der Einzeltöne und der Tongruppen Abgang und Richtung des Zuges sowie etwaige Gefahr oder Betriebsruhe an.

Von besonderer Wichtigkeit sind die Bahnhofsabschluß- und Vorsignale sowie die Weichen-, Abzweigungs- und Fahrstraßensignale, die dem Lokomotivführer auf genügende Entfernung Sicherheit über die Freiheit oder Sperrung seines Weges geben sollen. Auch die Stationsbeamten müssen an den Weichensignalen mit Sicherheit erkennen können, ob die Fahrstraße für einen ein- oder abzulassenden Zug richtig eingestellt ist. Werden die Entfernungen dafür zu weit, so muß durch besondere Vorrichtungen (z. B. selbsttätige Nachahmung der Weichenbewegung an kleinen Wandmodellen im Stationsbureau auf elektrischem Weg) Ersatz geschafft werden für die unmittelbare Sichtbarkeit. Zu solchen und vielen anderen Zwecken dienen die *Stellwerke*.

1. Mast- und Vorsignale.

Für die Ein- und Ausfahrt der Züge kommen *Mastsignale* in Frage: ein Signalarm nach rechts wagerecht bzw. rotes Licht bedeutet Halt; der Signalarm nach 45° aufwärts bzw. grünes Licht bedeutet Freie Fahrt. Für abzweigende Gleise kommen zwei oder drei Arme vor, damit dem Führer schon von fern angekündet wird, in welches Gleis er einfährt (Fig. 999—1005).

Um die Stellung der Mastsignale (II in Fig. 999—1002) schon von weitem sichtbar zu machen, dienen *Vorsignale* (I in Fig. 999—1002); diese sind mit den Mastsignalen so in Verbindung, daß beide zu gleicher Zeit gestellt werden. Eine grüne Scheibe oder grünes Licht am Vorsignal zeigt an, daß das Mastsignal auf Halt steht; ist die Scheibe parallel oder wagerecht zum Gleis oder zeigt sich weißes Licht am Vorsignal, so steht das Hauptsignal auf Freie Fahrt.

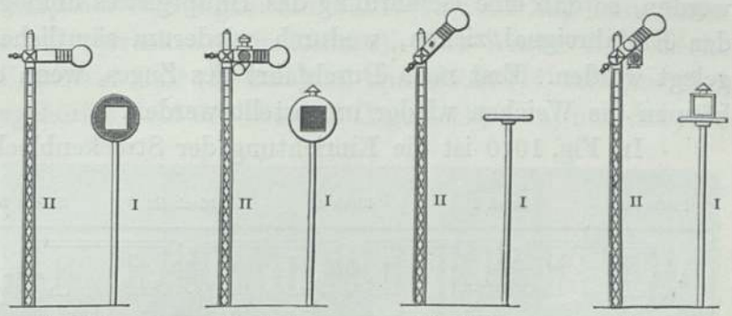


Fig. 999. Fig. 1000. Fig. 1001. Fig. 1002.

Fig. 999 und 1000. Haltesignal (Fig. 999 bei Tage, Fig. 1000 bei Nacht). Fig. 1001 und 1002. Signal „Freie Fahrt" (Fig. 1001 bei Tage, Fig. 1002 bei Nacht).

Die Stellung der Weichen wird dem Führer durch die *Weichensignale* kenntlich gemacht. Der Signalkasten der Weichenlaterne ist zu diesem Zwecke so angeordnet, daß er sich beim Stellen der Weiche um 90° dreht. Eine rechteckige weiße Scheibe zeigt an, daß die Weiche auf das gerade Gleis gestellt ist (Fig. 1006). Pfeile nach rechts (Fig. 1007) oder links (Fig. 1008) zeigen die Ablenkung an; eine runde weiße Scheibe (Fig. 1009) kennzeichnet die Ausfahrt aus dem gekrümmten Gleis.

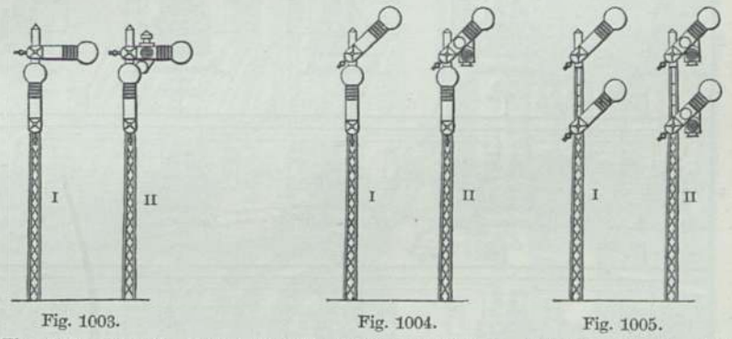


Fig. 1003. Fig. 1004. Fig. 1005.

Fig. 1003. Signal „Halt" für alle Gleise (I bei Tage, II bei Nacht). Fig. 1004 und 1005. Signal „Freie Fahrt" (Fig. 1004 für das durchgehende Gleis, I bei Tage, II bei Nacht; Fig. 1005 für das abzweigende Gleis, I bei Tage, II bei Nacht).

Weiß, Grün, Rot. Farben der Signallaternen.

2. Signale am Zuge.

Die *Spitze des Zuges* wird am Tage nicht, nachts durch zwei weiße Laternen bezeichnet. Eine rote Scheibe oder nachts zwei rote Laternen zeigen an, daß der Zug auf dem für die Fahrtrichtung falschen Gleis fährt; eine grüne Scheibe vorn, daß ein Sonderzug in entgegengesetzter Richtung zu erwarten ist. Der *Schluß des Zuges* wird durch zwei rot und weiße Oberwagenscheiben und eine rote Scheibe am rechten Puffer, nachts durch entsprechende rote Laternen bestimmt, damit der Wärter darüber klar ist, daß der ganze Zug durchgelaufen ist und nicht etwa unterwegs sich Wagen abgetrennt haben, die einen nachfolgenden Zug gefährden können. Folgt ein Sonderzug nach, so besteht das Schlußsignal bei Tage aus einer rotweißen Scheibe rechts, einer grünen Scheibe links und einer roten unten; bei Nacht aus einer grünen Laterne links und je einer roten rechts und unten.

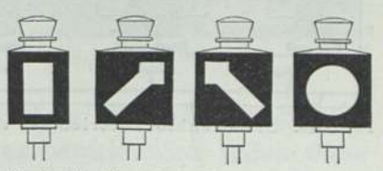


Fig. 1006. Fig. 1007. Fig. 1008. Fig. 1009.

Fig. 1006—1009. Weichensignale.

3. Streckenblockung.

Durch diese erfolgt die Sicherung der Züge auf der freien Strecke; hierbei wird die Bahn ihrer ganzen Länge nach in Abschnitte, *Blockstrecken*, zerlegt. Auf den Blockstationen befinden sich die *Blockwerke*, d. h. Apparate, die dem bedienenden Beamten anzeigen, ob die vor ihm liegende Strecke durch einen Zug besetzt oder ob sie frei ist. Grundsatz hierbei ist,

daß sich innerhalb einer Blockstrecke immer nur ein Zug befinden darf, und daß der Wärter erst wieder einen Zug einfahren lassen kann, wenn die vor ihm liegende Station ihm die Erlaubnis dazu erteilt. Die Stellung der Signale und Weichen ist dabei so in Abhängigkeit voneinander gebracht, daß der Wärter zunächst die Weichen richtig stellen muß, wobei gleichzeitig sogenannte *feindliche Weichen*, d. h. solche, die in die Fahrstraße münden, verriegelt werden, so daß eine Gefährdung des Hauptgleises unmöglich gemacht wird; erst dann läßt sich das Einfahrsignal ziehen, wodurch wiederum sämtliche in Frage kommenden Weichen festgelegt werden. Erst nach Durchfahrt des Zuges, wenn das Signal wieder auf Halt gestellt ist, können die Weichen wieder umgestellt werden.

In Fig. 1010 ist die Einrichtung der Streckenblockung („vierfeldrige Form") dargestellt.

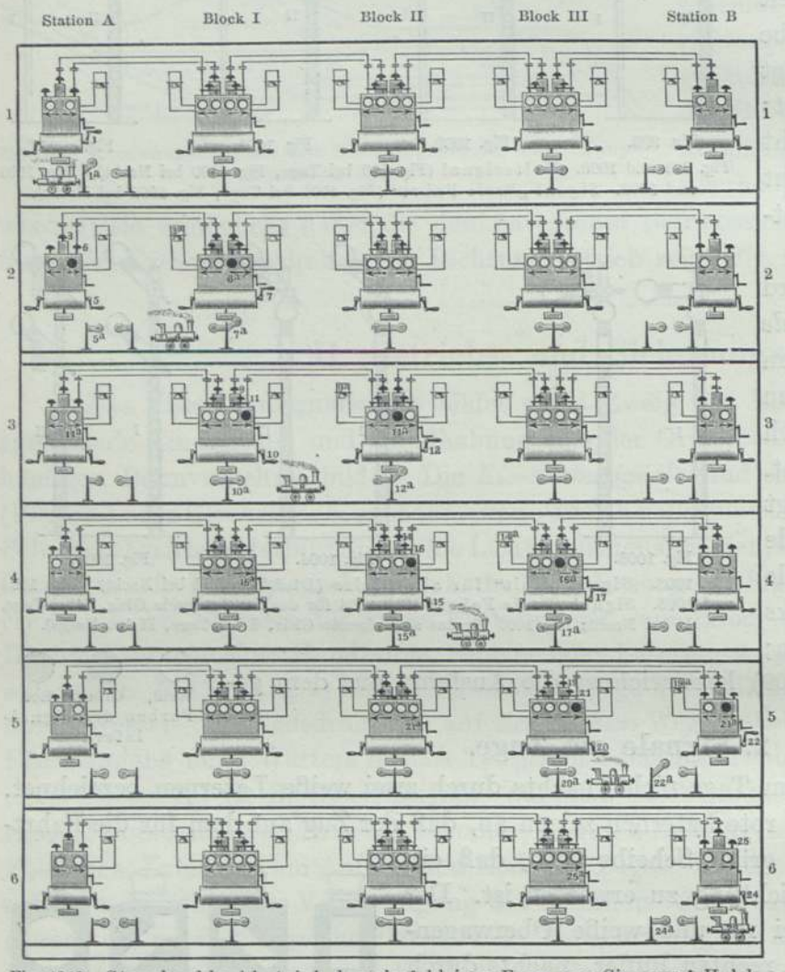


Fig. 1010. Streckenblockbetrieb der vierfeldrigen Form von Siemens & Halske.

Zwischen den beiden Stationen A und B einer zweigleisigen Bahn sind drei Streckenblockstationen I, II und III eingeschaltet. Die eingeschriebenen Nummern bezeichnen die Reihenfolge der Vorgänge, und zwar jede Zahl ohne Zusatz die Betätigung eines Beamten, jede Zahl mit dem Zusatz a die entsprechende Wirkung dieser Handlung. Jede Station und Blockstation hat ein Blockwerk, das von einem gußeisernen Kasten mit zwei bzw. vier Fensterchen umschlossen wird, hinter denen entweder rote oder weiße Scheiben erscheinen. In jedem Kasten befindet sich ein Induktor zur Erzeugung elektrischer Ströme; er wird durch die *obere*, an der rechten Seite der Blockwerke abgebildete Kurbel in Tätigkeit gesetzt. An jeder oberen Ecke des Kastens befinden sich Druckknöpfe (die sogenannten *Blocktasten*), durch deren Herunterdrücken man beim Drehen der Induktorkurbel die weiße Scheibe im eigenen und gleichzeitig im Nachbarblockwerk an die Stelle der roten bringen kann. Oberhalb dieser beiden Blocktasten sind noch besondere *Weckertasten* angebracht, um durch Niederdrücken bei gleichzeitigem Drehen der Induktorkurbel ein Klingelzeichen nach der nächsten Station zu senden. Im *unteren* Teile des Kastens befinden sich *Windevorrichtungen* mit (dickgezeichneten) Kurbeln, durch deren Umdrehung die Arme eines außerhalb stehenden Signalmastes gehoben oder gesenkt werden. Zwischen den Scheiben hinter den Blockfensterchen und der Windevorrichtung besteht eine mechanische Abhängigkeit derart, daß ein Signalarm nur gehoben werden kann, wenn das zugehörige Fensterchen weiße Scheibe zeigt.

Beschreibung einer Fahrt von A nach B (vgl. in Fig. 1010 die unter den Apparaten angedeutete Bahnstrecke nebst Signalmasten und der durch eine kleine Lokomotive veranschaulichten jeweiligen Lage des Eisenbahnzuges). Da das Blockfeld in A frei ist, so gibt 1. der Stationsbeamte mit der Kurbel das Ausfahrsignal (1a); 2. der Zug fährt ab; 3. der Stationsbeamte

„weckt vor“ mit der Weckertaste (s. zweite Reihe: 3a), der Wecker bei Wärter I ertönt. Der Beamte legt nach Vorbeifahrt (4) des Zuges das Abschlußsignal mit Kurbel auf Halt (5, 5a) und blockt sodann (6) durch Niederdrücken der rechtsseitigen Blocktaste sein Ausfahrfeld sowie das zugehörige Feld beim Wärter I (6a); dieser erkennt hieran, daß die rückliegende Strecke A—I besetzt ist. Der Wärter in I dreht nun (7), wenn das Blockfeld rechts von 6a weiß, d. h. die folgende Blockstrecke frei ist, die Windekurbel und stellt sein Signal auf Fahrt (7a); der Zug kann daher ungehindert in die neue Blockstrecke I—II vorrücken (8 in Reihe 3). Der Wärter in I weckt nun nach II vor (9 und 9a), stellt sein Signal auf Halt (10 und 10a) und blockt (11) sein Ausfahrfeld. Hierdurch wird gleichzeitig das zugehörige Feld des Wärters II geblockt (11a) und das rote Feld (6a) seines Blockes I sowie das zugehörige Feld des Stationsblocks (11a) entblockt (weiß gemacht), d. h. die vorliegende Strecke I—II wird gesperrt, die rückliegende A—I freigegeben. Die Vorgänge wiederholen sich dann in entsprechender Weise bei den folgenden Blockstationen, bis der Zug die Station B erreicht hat und die ganze Strecke A—B wieder frei ist, sofern nicht inzwischen von A aus schon ein zweiter Zug gefolgt ist.

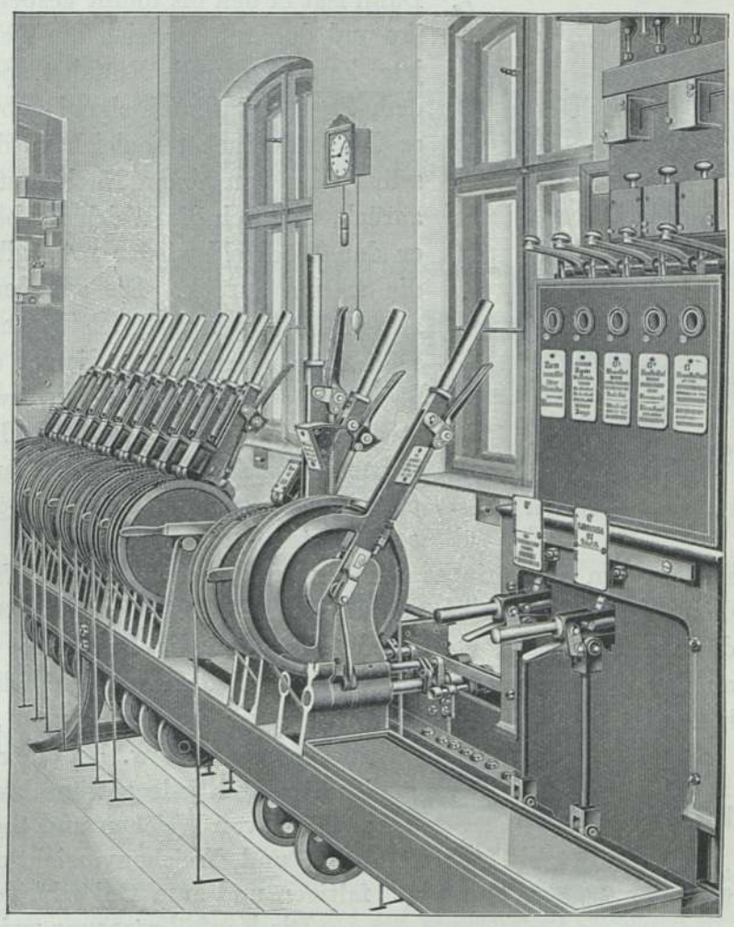


Fig. 1011. Stellwerk.

Bei dieser Blockeinrichtung tritt neuerdings noch eine *selbsttätige Mitwirkung des Zuges* ein, so daß die Entblockung der rückwärts liegenden Strecke so lange gesperrt bleibt, bis der Zug einen an der Einlaufstation liegenden Kontakt überfahren und dadurch die Sperrung auf elektrischem Wege beseitigt hat. Durch solche selbsttätige Mitwirkung des Zuges bei der Streckenblockung wird die Möglichkeit einer Gefährdung des Betriebes durch etwaige Irrtümer der Blockwärter wesentlich vermindert. Um sie ganz zu beseitigen und an Beamten zu sparen, hat man, namentlich in Nordamerika, auch ganz *selbsttätige Blockeinrichtungen* ausgeführt, bei denen die Umstellung der Signale lediglich durch die Züge mittels elektrischer Übertragung bewirkt wird, indem diese durch Überfahren eines Kontakts od. dergl. bei jeder Blockstation in Tätigkeit tritt und dadurch die Sperrung der eben betretenen sowie die Freigabe der durchfahrenen Blockstrecke bewirkt. In Europa finden sich solche selbsttätige Blockeinrichtungen bis jetzt nur vereinzelt. Die ihnen nachgerühmte unbedingte Sicherheit trifft bei den dem allgemeinen Verkehr dienenden Eisenbahnen nur in der Theorie zu; in Wirklichkeit werden die dazu nötigen Vorrichtungen sehr verwickelt, so daß sie erfahrungsgemäß oft versagen. In solchen Fällen aber muß, um den Betrieb nicht zu unterbrechen, zeitweise ganz ohne Signalgebung gefahren werden, was um so gefährlicher ist, da die Blockstationen nicht von Wärtern besetzt sind, also jede Verständigung ausgeschlossen ist, wie sie bei nicht selbsttätigen Blockwerken doch immer telegraphisch oder telephonisch zwischen den Wärtern möglich bleibt, wenn einmal ein Blockwerk versagen sollte. Auch können bei der wärterlosen Blockeinrichtung Zugtrennungen unbemerkt bleiben und Zusammenstöße veranlassen.

In Fig. 1011 ist ein *Stellwerk* abgebildet, das sich am Ende eines Bahnhofs befindet. Die drei aufrecht stehenden Hebel im Vordergrunde sind *Signalhebel*, die zehn folgenden *Weichenhebel;* die beiden kleinen wagerechten Hebel ganz im Vordergrunde sind *Fahrstraßenhebel*. Über ihnen ist ein Blockwerk angeordnet, dessen Fenster in Ruhestellung rote Farbe zeigen; durch dieses Blockwerk wird die Abhängigkeit des Stellwerkes vom Stationsvorstande hergestellt, der auf oder neben den Bahnsteigen seinen Dienstraum hat. Soll ein Zug einfahren, so gibt der Stationsbeamte dem Stellwerk auf elektrischem Wege das zugehörige Blockfeld frei. Der Wärter erhält dadurch den Auftrag und die Möglichkeit, ein bestimmtes, bis dahin gesperrtes Einfahrsignal zu geben. Er muß jedoch zuvor die in Frage kommenden Weichenhebel für den einfahrenden Zug richtig stellen.

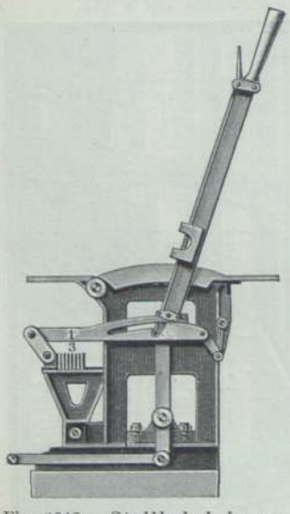


Fig. 1012. Stellhebel in gezogener Lage.

Dann legt er den bis dahin gesperrten Fahrstraßenhebel um, verschließt ihn und dadurch zugleich die Weichenhebel in richtiger Stellung. Erst jetzt kann er den die Einfahrt sperrenden Signalhebel umlegen und so dem Zuge das Einfahrsignal geben. Nach vollendeter Einfahrt stellt er den Signalhebel sogleich wieder auf Halt und legt den vom Zuge selbst oder von einem Nachbarstellwerk ausgelösten Fahrstraßenhebel zurück, wodurch die Weichenhebel wieder frei werden. Endlich macht er das Blockfeld wieder rot, gibt also die Erlaubnis zur Einfahrt an die Station zurück. Die angedeutete Abhängigkeit zwischen den einzelnen Hebeln wird durch besondere, sich gegenseitig sperrende Verschlußstücke hergestellt, die vor den Hebeln liegen und sich mit diesen gleichzeitig bewegen. Beispielsweise zeigt Fig. 1012 einen Weichenstellhebel (älterer Bauart nach Rüppell) mit wagerecht liegendem gehobenen *Verschlußriegel* (vgl. 1 in Fig. 1012 und 1013, auch *Sperrbalken* oder Kulisse genannt), der in Gestalt eines kleinen Flacheisens in der senkrechten Drehungsebene des Hebels liegt und durch dessen Umstellung um ein Geringes gehoben oder gesenkt wird. Nahe unter diesen Riegeln, rechtwinklig dazu, liegt eine Reihe von längeren *Verschlußlinealen* (3 in Fig. 1012 und 1013), aus je zwei dünnen Flacheisen bestehend, die durch die Bewegung der Signalhebel um ein Geringes quer zu den Riegeln verschoben werden. Indem nun an beliebigen Stellen der Lineale Verschlußhaken (2 und 4 in Fig. 1013) befestigt werden können, die entweder über oder unter die Riegel fassen, bzw. bei einer Verschiebung gegen diese stoßen, so ist hierdurch jede gewünschte Zusammenstellung gegenseitiger Verschlüsse von Weichen und Signalstellungen ermöglicht. Diese Stellhebel und Weichenvorrichtungen werden jetzt in sehr mannigfaltigen und zum Teil sehr verfeinerten Ausführungen gebaut.

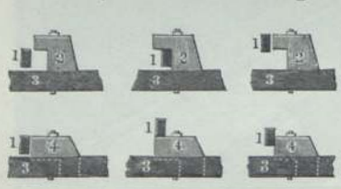


Fig. 1013. Verschlußsystem von Rüppell.

Die *Kraftübertragung* zwischen den Stellhebeln und den Weichen geschah anfangs durch Gestänge-, später durch Stahldrahtleitung; neuerdings wird sie auch wohl durch Luftdruck oder Elektrizität hergestellt. Zur Übertragung der Bewegung von der Kraftleitung auf die Weichenzungen dienen Winkelhebel oder Seilrollen, die bei wichtigen Einfahrweichen mit *Spitzenverschlüssen* versehen werden. Diese sind so eingerichtet, daß die anliegende Zunge zwar fest mit der Backenschiene verklammert wird, jedoch ein „Aufschneiden" der Weiche möglich bleibt. In Fig. 1014 ist ein solcher Spitzenverschluß dargestellt. In den beiden an den Weichenzungen befestigten Kloben sind die Verschlußhaken 1 und 2 um die Bolzen 3 und 4 drehbar angebracht. Sie schließen die Zungen mit den Backenschienen dadurch zusammen, daß sie um die fest mit den Schienen verbundenen Verschlußstücke 5 herumgreifen und so Zunge und Backenschiene verklammern. Die Verschlußhaken sind durch die Stange 6 verbunden, deren Fortsetzung die Weichenzugstange 7 bildet. Das Verschlußstück 5 und der Haken 1 sind in den Berührungsflächen nach einem Kreise geformt, dessen Mittelpunkt bei geschlossener Stellung in 3 liegt (s. rechts). In Fig. 1014 ist die rechte Zunge verschlossen. Beim Umstellen dreht sich zunächst der Verschlußhaken 2 um 4; die rechte Zunge wird entriegelt,

während sich die linke Zunge (zunächst noch ohne Drehung von 1) der Backenschiene nähert. Dann folgt die gleichzeitige Bewegung beider Zungen bis zur vollen Öffnung der rechtsseitigen und dem festen Anliegen der linksseitigen und schließlich die Verriegelung der linken Zunge, indem der Haken 1, sobald er an dem Verschlußstück 5 vorbeigeglitten ist, sich dann um 3 dreht und um 5 herumgreift. Beim *Aufschneiden*, d. h. Ausfahrt aus der Weiche ohne vorherige richtige Einstellung, wird zuerst die nicht anliegende Zunge von den Rädern näher an die Schiene herangedrückt; dadurch erfolgt die Entriegelung der anderen verschlossenen Zunge und somit die Ermöglichung des Durchganges der zwischen Zunge und Schiene tretenden Spurkränze der Räder.

In neuester Zeit wird zur Übertragung der Bewegung vom Stellwerk zu den Weichen und Signalen auch elektrische Kraft verwendet, und zwar entweder direkt, indem die Bewegung der Weichenzungen durch kleine, neben den Spitzen liegende elektrische Motoren erfolgt; oder indirekt, indem die Elektrizität nur zur Steuerung dient, um eine andere die Weichenbewegung bewirkende Kraft, z. B. Druckluft, auszulösen, die in kleinen Windkesseln neben den Spitzen aufgespeichert sein kann und sich durch eine Luftleitung ersetzt. In diesem Falle kann der aufzuwendende Stromverbrauch sehr gering und die elektrische Einrichtung verhältnismäßig einfach sein. Bei direkter elektrischer Umstellung fällt zwar die Luftdruckleitung fort, aber der Stromverbrauch wird größer, dagegen die Wirkung schneller. In beiden Fällen läßt sich die vom Stellwärter aufzuwendende Kraft und die Abmessung der Stellhebel ganz klein gestalten, demnach eine große Zahl von Hebeln auf kleinen Raum zusammendrängen und die Anzahl der zu ihrer Bedienung nötigen Beamten vermindern.

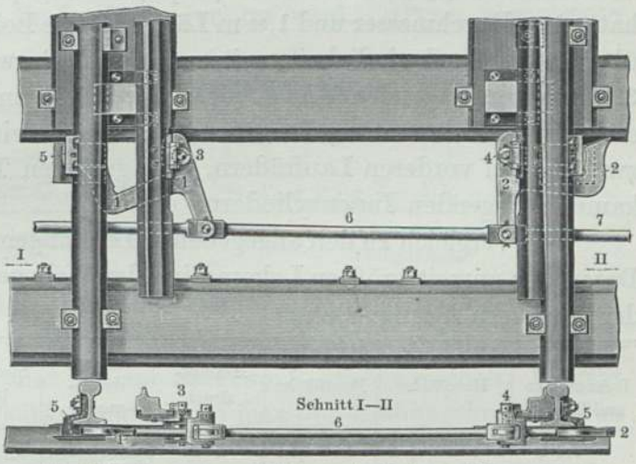


Fig. 1014. Zungenvorrichtung mit Hakenweichenschloß.

D. Eisenbahnfahrzeuge.

I. Lokomotiven.

1. Einleitung.

Als erster Erbauer einer auf Schienen laufenden Lokomotive muß der Engländer Trevithik gelten; er konstruierte 1804 einen zweiachsigen Dampfwagen, der auf gußeisernen Schienen lief. Der Antrieb erfolgte von einer Schwungradwelle durch Zahnräder, welche die Lokomotivräder in Umdrehung versetzten. Die Räder waren auf der Lauffläche glatt; neben die eisernen Schienen war jedoch noch eine Holzbahn verlegt, in die sich die Köpfe von Nägeln eindrückten, die am Umfang der Räder befestigt waren. Man hielt nämlich die Reibung der Räder auf den Schienen nicht für ausreichend, um eine Fortbewegung des Fahrzeuges zu bewirken oder gar noch angehängte Wagen hinter sich her zu ziehen. Erst den Engländern Blackett und Hedley gelang es nachzuweisen, daß bei genügender Belastung die Reibung zwischen eisernen Rädern und Schienen völlig ausreicht, um eine Fortbewegung des Fahrzeuges zu ermöglichen. Hedley baute 1813 eine zweiachsige Lokomotive, deren Räder von zwei stehenden Dampfzylindern angetrieben wurden, allerdings noch mit Hilfe von Zahnrädern. Die Erkenntnis, daß die Beförderung von größeren Lasten auf eisernen Schienen viel besser und leichter möglich ist als auf dem gewöhnlichen Landstraßenpflaster, förderte den Bau von Eisenbahnen in England sehr. Man wählte zunächst Pferdebetrieb, doch wurden schon einige Bahnen frühzeitig mit Dampflokomotiven betrieben. In diese Zeit fällt das Wirken von George Stephenson, dem es gelang, eine wirklich brauchbare Lokomotive

zu bauen, indem er geschickt verstand, die Vorteile der bereits vorhandenen Maschinen zu vereinen. Im Jahre 1814 setzte er auf der Killingworthbahn seine erste Lokomotive in Betrieb, deren Achsen noch durch Zahnräder gekuppelt waren. Bald erkannte er jedoch die Unzweckmäßigkeit dieses Antriebes und verwendete bei den nächsten Bauarten Kettenantrieb und später die noch jetzt übliche Verbindung der Triebachsen und Kuppelachsen durch Stangen. Stephensons berühmte Lokomotive Rocket (1829) hatte zwei, oben zu beiden Seiten der Feuerung schräg liegende Zylinder, die mit (um 90° versetzten) Kurbeln die beiden 1,43 m großen Räder der einzigen Treibachse bewegten. Die Lokomotive hatte neben dem Blasrohr einen zweiten, für die Dampfentwickelung noch wichtigeren Teil: 25 den Kessel durchziehende Siederohre. Der Rocket wog 4,5 Tonnen, der Tender etwas über 3 Tonnen; die Heizfläche betrug in der Feuerbüchse 1,86, in den Siederohren 10,9, die Rostfläche 0,56 qm, der Dampfdruck kaum über 3 Atmosphären. Der Kessel hatte 1 m Durchmesser und 1,83 m Länge. Diese Lokomotive erreichte mit 12,5 Tonnen Zuggewicht über 21 km Geschwindigkeit, mit nur zwei Güterwagen (9 Tonnen) aber 38 km, und mit einem 30 Menschen tragenden Wagen sogar über 40, ja im Leerlauf etwa 47 km in 1 Stunde. Stephensons neunte Lokomotive, der „Planet", zeigte bereits ganz die Grundform der heutigen Bauart mit zwei kleinen vorderen Laufrädern, zwei größeren Treibrädern, zwei wagerecht unter der Rauchkammer liegenden Innenzylindern.

Im Vergleich zu den angegebenen Leistungen und Abmessungen des Rocket seien hier einige Daten der zurzeit größten Lokomotive der Welt gegeben, einer amerikanischen Malletlokomotive der Southern Pacific-Bahn.

Gewicht Lokomotive und Tender	Heizfläche	Rostfläche	Dampfdruck	Kesseldurchmesser	Siederohrlänge	Anzahl der Siederohre	Zylinderdurchmesser	Hub	Anzahl der Achsen der Lokomotive
7,8 t	12,76 qm	0,56 qm	3 at	1,016 m	1,83 m	25	203 mm	419 mm	2
272 t	655 -	6,35 -	14 -	2,134 -	6,401 -	404	2×660/1016 -	762 -	10

Der Antrieb der modernen Lokomotiven erfolgt in den weitaus meisten Fällen durch Dampf. Über elektrische Lokomotiven siehe Abteilung Elektrotechnik II, S. 224. Neuerdings werden Versuche angestellt, direkt auf die Achsen der Lokomotive wirkende Verbrennungsmaschinen zum Antrieb zu verwenden; solche Versuche versprechen besonders in Ländern Erfolg, wo billige Rohöle zu haben sind, wie z. B. in Rußland.

Man unterscheidet bei einer Dampflokomotive drei Hauptteile, den *Dampfkessel* mit Feuerung und Armaturen, die *Dampfzylinder* mit Steuerung und Triebwerk, und den *Rahmen* mit Achsen, Rädern, Achslagern und Federn.

Die zur Dampferzeugung nötigen Vorräte an Kohle und Wasser können auf der Lokomotive selbst mitgeführt werden, oder man verbindet mit ihr einen besonderen Wagen, den *Tender*, der die Vorräte aufnimmt. Man unterscheidet demnach *Tenderlokomotiven* und Lokomotiven mit *Schlepptender*. Da die mitzuführenden Vorräte bei Lokomotiven, die längere Strecken zu durchlaufen haben, ganz beträchtlich sind (bis 8000 kg Kohle und 31 cbm Wasser), so werden im allgemeinen nur kleinere Lokomotiven, solche für den Verschiebedienst auf Bahnhöfen oder für Stadt- und Vorortverkehr, ferner Lokomotiven für Nebenbahnen als Tenderlokomotiven gebaut.

Hinsichtlich des Verwendungszweckes unterscheidet man *Personenzug-* und *Schnellzuglokomotiven* und *Güterzuglokomotiven*. Daneben gibt es noch Lokomotiven für den Verschiebedienst auf Bahnhöfen *(Rangierlokomotiven)*, Zahnradlokomotiven, Straßenbahnlokomotiven usw.

Bezüglich der Bauart werden die Lokomotiven eingeteilt nach der Zahl der Achsen, der Anordnung, Zahl, Wirkungsweise und Lage der Zylinder. Man spricht daher z. B. von einer vierachsigen Zwillingslokomotive mit Außenzylindern oder einer fünfachsigen Vierzylinderverbundlokomotive usw.

Zur Beförderung eines Zuges muß die Lokomotive eine bestimmte Zugkraft ausüben, die genau gleich ist dem Widerstande der angehängten Wagen und dem Eigenwiderstand der

Lokomotive. Der Gesamtwiderstand ist abhängig von der Geschwindigkeit des Zuges, den Steigungs- und Krümmungsverhältnissen auf der Strecke, der Bauart der Fahrzeuge sowie der herrschenden Witterung. Diesen stark schwankenden Verhältnissen muß die Leistung der Lokomotive angepaßt werden können. Die *Zugkraft* einer Lokomotive entsteht dadurch, daß von der Dampfmaschine die Triebräder in Umdrehung versetzt werden. Ist die Reibung zwischen diesen und der Schiene größer als die Zugkraft, d. h. als der Widerstand des Zuges, so fangen die Räder an, auf den Schienen zu rollen, und der Zug setzt sich in Bewegung; ist sie dagegen kleiner als die Zugkraft, so drehen sich die Räder auf der Stelle, die Lokomotive fängt an zu „schleudern". Man spricht bei einer Lokomotive von dem *Reibungsgewicht*, das ist der Druck der durch Kuppelstangen mit der Triebachse verbundenen Kuppelachsen auf die Schienen. Je größer das Reibungsgewicht einer Lokomotive ist, desto größer wird auch die von ihr geleistete Zugkraft sein, da immer ein bestimmter Teil des Reibungsgewichtes für die Zugkraft ausgenutzt wird. Dieser sogenannte

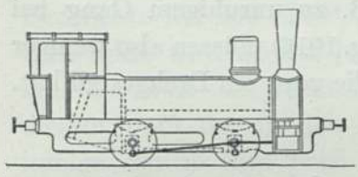


Fig. 1015. Tenderlokomotive.

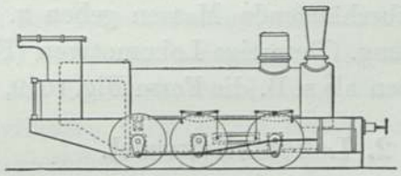


Fig. 1016. Güterzuglokomotive.

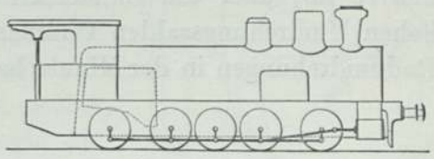


Fig. 1017. Güterzuglokomotive für große Steigungen.

Reibungskoeffizient beträgt je nach dem Zustand der Schienen etwa $^1/_5$—$^1/_7$, er kann bei feuchten, schmutzigen Schienen bis auf $^1/_{10}$ heruntergehen; durch Besanden der Schienen (beim Anfahren und Bremsen) kann die Reibung zwischen Rad und Schiene bis etwa $^1/_4$ erhöht werden. Beträgt das Reibungsgewicht einer Lokomotive z. B. 32000 kg, und nimmt man den Reibungskoeffizienten zu $^1/_5$ an, so kann eine Zugkraft von $\frac{32000}{5} = 6400$ kg ausgeübt werden.

Da Güterzüge für gewöhnlich schwerer sind als Personenzüge, so erfordern sie auch größere Zugkräfte. Man baut daher die Güterzuglokomotiven so, daß das ganze Lokomotivgewicht als Reibungsgewicht ausgenutzt wird, d. h. man kuppelt möglichst alle Achsen miteinander. Bei Personen- und Schnellzuglokomotiven kommt man mit weniger Kuppelachsen aus, da die erforderlichen Zugkräfte nicht so erheblich sind; zum Tragen des Kessels werden dann noch sogenannte Laufachsen herangezogen, die sich also nicht zwangläufig mit den Kuppelachsen drehen und auch meist kleinere Räder haben.

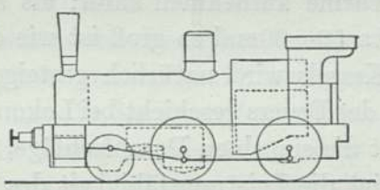


Fig. 1018. Personenzuglokomotive.

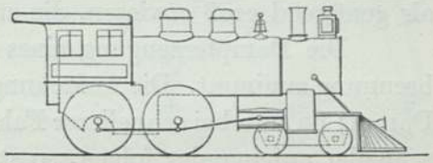


Fig. 1019. Amerikanische Personen- und Schnellzuglokomotive.

Der Druck der einzelnen Achsen auf die Schienen ist durch Vorschriften begrenzt. In Deutschland sind 16000 kg, in England bis 19000 kg, in Amerika sogar bis 25000 kg zulässig. Die Anordnung von Lauf- und Kuppelachsen bei einer Lokomotive läßt demnach auf den Verwendungszweck schließen. Zur Kennzeichnung drückt man erstere durch Ziffern, letztere durch Buchstaben aus. Man fängt dabei vom Schornstein, also von vorn, an zu zählen. Es ist z. B. Fig. 1015 eine B-Lokomotive für Nebenbahnen, Fig. 1016 eine C-Lokomotive für Güterzüge, Fig. 1017 eine E-Lokomotive für große Steigungen, Fig. 1018 eine 1—B-Personenzuglokomotive und Fig. 1019 eine 2—B-Schnellzuglokomotive. Andere Kuppelungsarten sind in der folgenden Tabelle enthalten.

→ vorn			→ vorn		
○○○○	2—A—1	Personenzug- und Schnellzuglokomotiven	○○○	C	Güterzuglokomotiven
○○	B		○○○○	1—C	
○○○	1—B		○○○○○	1—D	
○○○○	2—B		○○○○○○	E—1	
○○○○○	2—B—1				
○○○○○○	2—B—2				

Zur Erzielung der obengenannten Zugkräfte ist nötig, daß der Kessel der Lokomotive den nötigen Dampf hergibt, und daß die Dampfzylinder derartig groß sind, daß sie den erforderlichen Dampf wirtschaftlich verarbeiten können; auch muß der Triebraddurchmesser und der Kolbenhub im richtigen Verhältnis zum Zylinderdurchmesser stehen. Bezeichnet man die Zugkraft einer Lokomotive mit Z, die Geschwindigkeit in Kilometern in der Stunde mit V, so ist die Leistung N der Lokomotive in Pferdestärken ausgedrückt $N = \frac{Z \cdot V}{270}$. Man sieht daraus, daß eine Lokomotive dieselbe Leistung geben kann bei einem kleinen Werte von Z und großem V oder bei einem großen Werte von Z und kleinem V. Das erstere wird zutreffen bei Personen- und Schnellzügen, das letztere bei Güterzügen. Um die zulässigen höchsten Umdrehungszahlen der Triebräder der Lokomotiven möglichst gleichzumachen, erhalten die Güterzuglokomotiven kleine Triebräder (1200—1300 mm), während die Schnellzuglokomotiven größere Räder bekommen (bis 2200 mm). Die höchsten zulässigen Umdrehungszahlen der Triebräder hängen von der Bauart der Lokomotive ab; über die Endachsen überhängende Massen geben z. B. zu unruhigem Gang bei hohen Umdrehungszahlen Veranlassung. Derartige Lokomotiven (Fig. 1016) müssen also weniger Radumdrehungen in der Minute haben als z. B. die Form Fig. 1019, die vorn ein Drehgestell hat.

2. Lokomotivkessel.

Die Arbeit, die eine Lokomotive dauernd zu leisten imstande ist, hängt in erster Linie von der Größe der Rostfläche und Heizfläche des Kessels ab. Die *Rostfläche* muß, um die nötige Wärme und damit eine bestimmte Arbeit zu erzeugen, dem Brennmaterial angepaßt werden; es muß also z. B. ein Rost, auf dem Holz oder Braunkohle verbrannt werden soll, größer sein als einer, der zur Verbrennung von Steinkohlen oder Koks dienen soll. Im allgemeinen kann man annehmen, daß bei einer Verbrennung von 450—550 kg guter Steinkohle stündlich auf 1 qm Rostfläche bei Zwillingslokomotiven 300 PS, bei Zweizylinder-Verbundlokomotiven 330 PS, bei Vierzylinder-Verbundlokomotiven 360 PS und bei Heißdampflokomotiven 480 PS (bei bester Dampfausnutzung) erzielt werden können. Vorausgesetzt ist hierbei, daß eine richtig bemessene *Heizfläche* die auf dem Rost erzeugte Wärme aufnehmen kann; als solche hat sich eine Heizfläche als genügend groß erwiesen, die etwa 50—60mal so groß ist wie die Rostfläche.

Die Dampferzeugung eines Kessels wird natürlich gesteigert in dem Maße, wie die Verbrennung zunimmt. Die Anfachung des Feuers geschieht bei Lokomotiven durch den auspuffenden Dampf; da nun bei schnellerer Fahrt die einzelnen Dampfschläge, d. h. die Auspuffe der Zylinder, schneller aufeinander folgen, so steigt die Leistungsfähigkeit des Lokomotivkessels bis zu einem gewissen Grade mit der Geschwindigkeit.

Alle Teile der Lokomotive müssen bei größter Leistung mit kleinstem Gewicht konstruiert werden; Lokomotiven, die 1800 PS und mehr leisten, dürfen infolge des für den Bau gültigen Normalprofils (Umgrenzung des lichten Raumes, durch den sämtliche Eisenbahnfahrzeuge hindurchgehen müssen) nur einen derartig kleinen Raum einnehmen, wie er bei feststehenden Dampfmaschinenanlagen nicht einmal für die Dampfmaschine allein ausreichend wäre. Ganz besonders erschwerend ist die Raumbeschränkung für den Bau des Lokomotivkessels. Die immer größer werdenden Leistungen neuzeitiger Lokomotiven erfordern Kessel, die bei feststehenden Dampfanlagen große Kesselhäuser füllen würden.

Die am meisten gebräuchliche Form eines Lokomotivkessels ist die, wie sie der erste Erbauer einer wirklich brauchbaren Lokomotive, Stephenson, angegeben hat. Der eigentliche Feuerraum *(Feuerbüchse* oder *Feuerkiste)* hat die Gestalt eines prismatischen Kastens, dessen untere Fläche von dem Rost gebildet wird. Die fünf anderen Wände werden allseitig vom Wasser umspült und bilden die *direkte Heizfläche*. Unter dem Rost befindet sich der mit abschließbaren Klappen versehene *Aschkasten*, der ein Herabfallen glühender Kohlen- und Aschenteilchen verhindert. Mit Hilfe dieser Aschklappen kann der Führer die Verbrennung und damit die Dampferzeugung insofern regeln, als durch ihr Öffnen bzw. Schließen eine Veränderung des Luftzutritts zum Rost bewirkt, also mehr oder weniger Kohle verbrannt wird. Die innere

Feuerbüchse ist in einem Abstand von etwa 70 mm von der äußeren Feuerbüchse *(Feuerbüchsmantel)* umgeben. Beide Teile sind unten durch einen schmiedeeisernen Ring, den *Bodenring*, mittels Niete verbunden. Zur Beschickung des Rostes mit Brennstoff geht durch beide Feuerkistenwände hindurch hinten eine Öffnung *(Feuerloch)*, das von der Feuertür verschlossen wird.

An den Feuerkistenmantel schließt sich nach vorn, von der Feuerbüchs- oder hinteren Rohrwand ausgehend, der *Langkessel* oder *Rundkessel* an, dessen Begrenzung die vordere Rohrwand bildet. Vor dieser ist die *Rauchkammer* angeordnet, auf der oben der *Schornstein* sitzt, und die vorn von der Rauchkammertür abgeschlossen ist. In dem Langkessel liegen, die beiden Rohrwände verbindend, eine große Anzahl *Siederohre*, die einen Durchmesser von etwa 40—50 mm haben. Sie gestatten den in der Feuerkiste gebildeten heißen Gasen den Durchtritt in die Rauchkammer, wobei sie ihre Wärme im Langkessel an das sie umgebende Wasser abgeben; die Temperatur der Heizgase ermäßigt sich von etwa 1400—1500° in der Feuerkiste auf 250—300° in der Rauchkammer. Die Heizfläche der Siederohre wird als *indirekte Heizfläche* bezeichnet. In der Rauchkammer sitzt senkrecht unter dem Schornstein das *Blasrohr;* aus diesem pufft der in den Zylindern verarbeitete Dampf aus, wobei infolge der in ihm noch vorhandenen Geschwindigkeitsenergie die Rauchgase aus der Rauchkammer angesaugt und durch den Schornstein ins Freie befördert werden. Durch die Saugwirkung entsteht in der Rauchkammer, den Siederohren und der Feuerkiste ein Unterdruck gegenüber dem äußeren Atmosphärendruck; infolgedessen muß Luft durch den Aschkasten unter den Rost nachtreten und gelangt so an das glühende Brennmaterial heran, wobei sie den zur Verbrennung erforderlichen Sauerstoff liefert. Ohne Blasrohr wäre es kaum möglich, einen leistungsfähigen Lokomotivkessel zu bauen, da auf die Wirkung des Schornsteins nicht wie bei stationären Anlagen gerechnet werden kann.

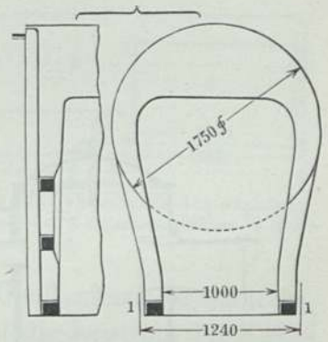


Fig. 1020. Schmaler Rost (Schnitt; 1—1 Rahmen der Lokomotive).

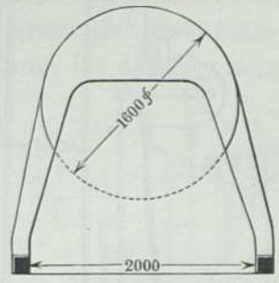


Fig. 1021. Breiter Rost (Schnitt).

Für ein sparsames Arbeiten des Dampfes in den Zylindern ist es erforderlich, daß er möglichst wenig mechanisch mitgerissenes Wasser enthält. Man bringt deshalb die Dampfentnahme an einem Punkte des Kessels an, wo die Dampfentwickelung nicht zu heftig vor sich geht, also meist am vorderen Ende des Kessels. Das Dampfentnahmerohr, das den Dampf zu den Zylindern leitet, kommt aus dem erhöhten zylindrischen Dampfdom. Vor der Mündung des Entnahmerohres ist der Regulator angebracht, mit Hilfe dessen der Führer durch den Regulatorhebel den Dampf nach Bedarf absperren kann.

Die Feuerkiste besteht zum großen Teil aus ebenen Platten, die bei innerem Druck auseinander gedrückt werden würden, wenn nicht durch die Wände der Feuerkiste und des Mantels kupferne Stehbolzen in Abständen von etwa 100 mm durchgezogen wären. Das Material der Kessel ist bis auf die Feuerkiste, die meist aus Kupfer besteht, Schweißeisen oder Flußeisen. Neben den schmalen, zwischen den Rahmen angeordneten Feuerkisten werden bei großen Lokomotiven auch sogenannte breite Feuerkisten gebaut, die seitlich über den Rahmen hinausragen. Die schmale Feuerkiste, die bei normaler Spurweite von 1435 mm eine Rostbreite von etwa 1 m ermöglicht, kann mit Rücksicht auf gutes Beschicken des Rostes nur etwa 3 m lang gemacht werden; es kann demnach bei einer schmalen Feuerkiste eine Rostgröße von höchstens 3 qm erzielt werden. Neuere Lokomotiven, besonders amerikanische, haben bereits Roste von 9 qm und mehr. Schmale Roste (Fig. 1020) haben vor breiten (Fig. 1021) bei gleicher Rostfläche den Vorteil einer besseren Flammenentwickelung und damit einer besseren Verbrennung; auch wird die hintere Rohrwand beim Öffnen der Feuertür infolge der größeren Entfernung vom Feuerloch nicht so leicht von der kalten Luft getroffen, wodurch Abkühlungen und damit das gefürchtete Siederohrlaufen verhindert werden.

Außer den oben beschriebenen Formen der Feuerkisten haben sich andere bis jetzt nicht bewährt. Man hat versucht, die Feuerkiste aus flußeisernen Wellrohren herzustellen, die infolge ihrer kreisrunden Form eine Verankerung entbehren können. Ferner sind Ausführungen bekanntgeworden, die statt der Feuerkiste ein System von dicht nebeneinander gestellten Rohren verwenden. Fig. 1022 und 1023 zeigen einen derartigen Kessel, Bauart Brotan. Der Langkessel 1 mit der Rauchkammer 2 trägt an seinem hinteren Ende oben einen kleinen Kesselstumpf 3, in den eine Anzahl Rohre 4 eingewalzt sind Diese bilden die Feuerkiste und sind unten in einem viereckigen hohlen Grundrohr 5 befestigt, das mit dem Langkessel 1 durch ein Knierohr 6 in Verbindung steht. Die heißen Rauchgase ziehen durch die Siederöhren 7 in die Rauchkammer 2 ab. Infolge der starken Erwärmung wird das Wasser in den Rohren 4 durch die mit ihm vermischten Dampfblasen leichter; es steigt in den Kesselstumpf 3 hinein, während das kühlere Wasser aus dem Langkessel in den Grundring 5 hineingesaugt wird. Der hierdurch entstehende gute Wasserumlauf hindert ein Festsetzen von Kesselstein in den engen Rohren 4 und schützt sie dadurch vor Verbrennen. Wegen der kreisrunden Form der Rohre sind Stehbolzen unnötig; der Kessel hat allerdings eine große Anzahl von Dichtungsstellen, die bei den Erschütterungen während der Fahrt leicht undicht werden können. — Außer dem *Brotankessel* sind noch viele andere Kesseltypen gebaut worden, einen größeren Erfolg hat indes noch keine Ausführung gehabt, obwohl ein vollwertiger Ersatz für die teure, schlecht zu reinigende und schwer zu unterhaltende kupferne Feuerkiste sehr zu wünschen wäre.

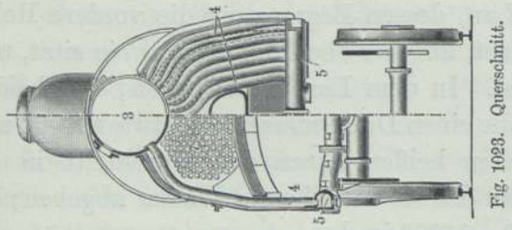


Fig. 1023. Querschnitt.

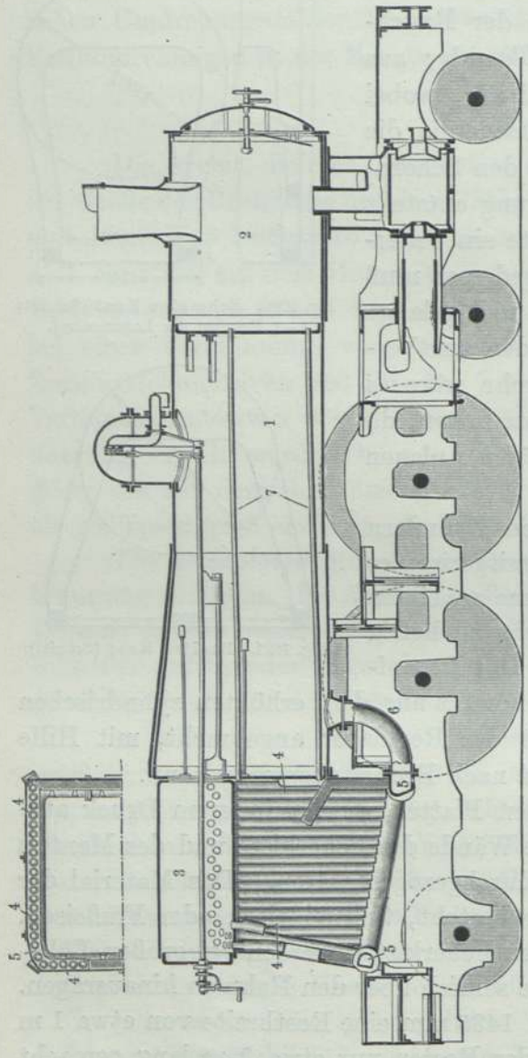


Fig. 1022. Längsschnitt.

Fig. 1022 und 1023. Kessel, Bauart Brotan, für eine Schnellzuglokomotive.

Armatur (vgl. S. 47 ff.). Zur Speisung des Kessels, zum Ersatz des verdampften Wassers dienen die Speisepumpen, und zwar meist *Injektoren*, in denen ein aus einer Düse mit großer Geschwindigkeit austretender Dampfstrahl kaltes Wasser ansaugt und in den Kessel drückt. Von den Speisevorrichtungen sind *zwei* gesetzlich vorgeschrieben. Den Wasserstand erkennt man in einem *Wasserstandsglas;* statt der ebenfalls vorgeschriebenen zweiten Wasserstands-Anzeigevorrichtung können auch *Probierhähne* dienen. Der Dampfdruck läßt sich an einem *Manometer* ablesen. Um eine unzulässige Überschreitung des Dampfdruckes zu verhindern, ist jeder Kessel mit *Sicherheitsventilen* ausgerüstet. Außer diesen für die Sicherheit des Kesselbetriebes nötigen Vorrichtungen sind die Kessel noch mit einer *Dampfpfeife* und vielfach, besonders auf Nebenbahnen, wo unbewachte Bahnübergänge vorhanden sind, mit einem *Dampfläutewerk* ausgerüstet. Zur Reinigung des Kessels dienen *Auswaschluken,* die an den Stellen, wo sich der meiste Schmutz erfahrungsgemäß ablagert oder ansetzt, angebracht sind.

Als Brennmaterial für den Kessel dienen Steinkohle, Steinkohlenbriketts, Braunkohle, Holz, Torf und in ölreichen Gegenden, wie in Rußland, Petroleum oder Petroleumrückstände. Die Ölfeuerung hat vor Feuerungen mit festen Brennstoffen den großen Vorzug der absoluten Rauch- und Funkenlosigkeit, was besonders da von Wichtigkeit ist, wo viele Tunnels vorhanden sind oder erfahrungsgemäß leicht Waldbrände entstehen. Auch wird die schwere Arbeit des Heizers bei Anwendung der Ölfeuerung vollständig erspart. Das Brennöl muß in fein zerstäubtem Zustand mit der nötigen Verbrennungsluft gemischt in die Feuerkiste eingeführt werden. Dies geschieht entweder durch Dampfstrahlgebläse (vgl. S. 40) oder durch Zentrifugalzerstäuber. Bei den ersteren geht ein Teil des Heizwertes verloren, da der in den Verbrennungsraum mit eingespritzte Wasserdampf während der Verbrennung auf höhere Wärmegrade erhitzt werden muß. Bei den *Zentrifugalzerstäubern*, die von der Firma Körting in Hannover ausgeführt werden, wird dieser Nachteil vermieden. Eine Pumpe drückt das auf 100—125° angewärmte Öl, mit Luft gemischt, durch die Zentrifugalzerstäuber, die unmittelbar vor der Feuerkiste liegen. Diese ist, um sie vor den Einwirkungen der heißen Stichflammen zu schützen, im unteren Teil mit feuerfesten Steinen ausgemauert. Bei Ölfeuerung ist die Leistung der Kessel in viel höherem Maße veränderlich, da die eingeführte Ölmenge leicht geregelt werden kann.

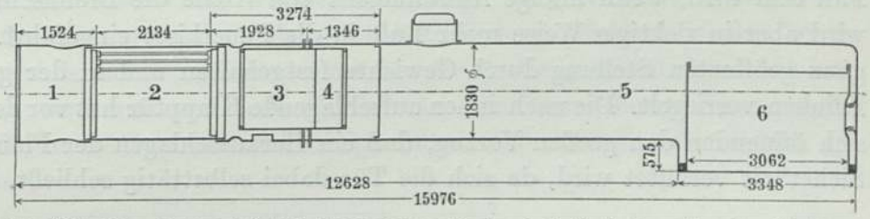


Fig. 1024. Kessel einer 2B+C1-Personenzug-Verbund-Malletlokomotive der Atchison-Topeka-Santa Fé-Bahn (1 Rauchkammer; 2 Speisewasservorwärmer; 3 Zwischenüberhitzer; 4 Hochdrucküberhitzer; 5 Langkessel; 6 Feuerbüchse).

Die immer größer werdenden Lokomotiven in Amerika haben Kesselformen gezeitigt, die von den in Europa gebauten ganz erheblich abweichen. Besonders boten die riesenhaften *Mallet-Lokomotiven* infolge ihrer großen Achsenzahl (bis zwölf Achsen) Raum für derartig lange Kessel, daß ein solcher für die nötige Dampferzeugung viel zu groß geworden wäre. Man hat daher den eigentlichen Kessel verkürzt und vor der vorderen Rohrwand einen Dampfüberhitzer und einen Speisewasservorwärmer eingebaut. Fig. 1024 zeigt den Kessel einer großen Mallet-Lokomotive, die der Atchison-Topeka and Santa Fé-Bahn gehört. Die eingeschriebenen Maße (in mm) zeigen die im Vergleich mit europäischen Lokomotivkesseln ganz gewaltigen Abmessungen.

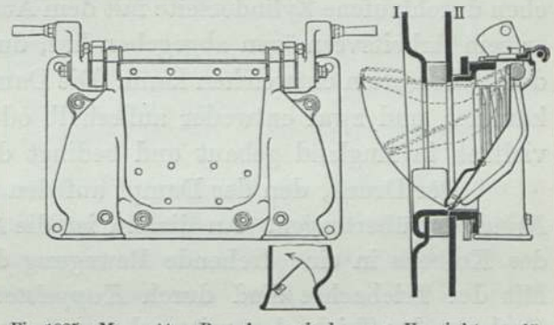


Fig. 1025. Marcottys Rauchverminderungs-Vorrichtung für Lokomotivfeuerungen (I innen, II außen).

Viele Versuche sind, besonders bei amerikanischen Lokomotiven, angestellt worden, um die Arbeit des Heizers zu erleichtern. Zu verfeuernde Kohlenmengen von 3000 kg in der Stunde sind dort keine Seltenheit mehr, würden aber zwei Heizer auf einer Lokomotive erfordern. Man hat daher *selbsttätige Rostbeschickungsanlagen* gebaut, bei denen meistens das Brennmaterial durch Wurfvorrichtungen über dem Rost verteilt wird, was jedoch infolge der ungünstigen Form des Lokomotivrostes sehr schwierig ist.

Weitere Versuche sind gemacht worden, um die Verbrennung in der Feuerkiste der Lokomotive zu verbessern. Beim Aufschütten neuer Kohle ist der für die Verbrennung erforderliche Luftbedarf naturgemäß am größten, infolge der höheren Brennschicht wird aber gerade dann weniger Luft durch die Rostspalten angesaugt werden können. Dadurch können die Rauchgase nicht ordentlich verbrennen, und die Lokomotive qualmt, was neben dem Verlust an Brennstoff zu Belästigungen der Anwohner führen kann. Die zur Verbesserung der Verbrennung gebauten Vorrichtungen suchen nun die Luftzufuhr zu dem Brennmaterial besser zu regeln. Eine neuerdings vielfach verwendete Einrichtung ist die von Marcotty, deren neueste Ausführung Fig. 1025 zeigt. Sie besteht aus zwei Teilen: einem Paar über der Feuertür angeordneter, hohler Stehbolzen

und aus einer nach innen aufschlagenden Feuertür mit besonderer Luftzuführung. Die beiden hohlen Stehbolzen sind an eine mit dem Schieberkasten verbundene Dampfleitung angeschlossen, so daß bei fahrender Lokomotive, wenn also im Schieberkasten Dampf ist, aus ihnen ins Innere der Feuerkiste zwei schräg nach vorn unten gerichtete Dampfschleier austreten. Diese Dampfschleier sollen die durch die Feuertür beim Öffnen eintretende Luft von der hinteren Rohrwand abhalten und sie zu einer Mischung mit den Feuergasen veranlassen. Die Feuertür schlägt nach innen auf und hat an beiden Seiten Luftkanäle, die oben mit Luftleitungsrippen versehen sind und unten mit leicht beweglichen, nach innen aufschlagenden Klappen aus dünnem Blech verschlossen werden können. Beim Arbeiten der Lokomotive wird durch diese Klappen ständig Luft angesaugt, und zwar um so mehr, je größer die Luftleere in der Feuerkiste ist, was dann der Fall sein wird, wenn infolge Aufschüttens von Kohle die Brennschicht hoch ist. Gerade dann wird aber in richtiger Weise mehr Luft in die Feuerkiste eingeführt. Die Kipptür wird in ihrer ganz geöffneten Stellung durch Gewichte festgehalten und in der geschlossenen Stellung durch Klinken verriegelt. Die nach innen aufschlagende Klapptür hat vor der gewöhnlichen, nach außen sich öffnenden den großen Vorzug, daß ein Herausschlagen der Flamme aus dem Feuerloch mit Sicherheit verhütet wird, da sich die Tür dabei selbsttätig schließt.

3. Dampfmaschine und Triebwerk.

Der im Kessel der Lokomotive erzeugte Dampf gelangt durch den Regulator in das Dampfrohr, das durch die vordere Rohrwand hindurchgeführt ist und sich bei den sogenannten Zwillingslokomotiven in der Rauchkammer teilt. Die beiden Zweigrohre leiten den Dampf in die Schieberkasten der beiden Zylinder, in denen die Schieber die richtige Dampfverteilung besorgen. Der Dampf gelangt durch den Schieber abwechselnd in die Kanäle, die am vorderen und hinteren Ende in den Zylinder münden und in denen dadurch der Kolben bald nach hinten, bald nach vorn gedrückt wird. Kurz bevor der Kolben seinen Hub vollendet hat, setzt der Schieber die vom Kolben eben durchlaufene Zylinderseite mit dem Auspuffkanal in Verbindung, so daß der Dampf, nachdem er sein Arbeitsvermögen abgegeben hat, durch das in der Rauchkammer befindliche Blasrohr in den Schornstein entweichen kann. Die Dampfzylinder liegen meist vorn in der Nähe der Rauchkammer, und zwar entweder außerhalb oder innerhalb des Rahmens. Letztere Anordnung wird vielfach in England gebaut und bedingt die Anwendung von Kropfachsen.

Der Druck, den der Dampf auf den Kolben ausübt, wird durch die *Kolbenstange* auf den *Kreuzkopf* übertragen. An diesem ist die *Schubstange* angelenkt, die die geradlinige Bewegung des Kolbens in eine drehende Bewegung der an der *Triebachse* angebrachten Kurbel umsetzt. Mit der Triebachse sind durch *Kuppelstangen* die *Kuppelachsen* verbunden, die dadurch die Drehung der Triebachse mitmachen müssen.

Jede Lokomotive hat mindestens zwei Zylinder, welche die Räder auf beiden Seiten der Lokomotive antreiben. Die an den Treibrädern befestigten Kurbeln, an welche die Schubstangen angreifen, sind auf beiden Seiten um einen rechten Winkel versetzt, so daß, wenn der linke Kolben am Hubende, die Kurbel also im Totpunkt steht, die rechte Kurbel oben und der rechte Kolben auf Hubmitte steht.

Außer der richtigen Dampfverteilung hat der Schieber bei der Lokomotive noch eine andere wichtige Aufgabe zu erfüllen; er muß auch ein Vorwärts- und Rückwärtsfahren ermöglichen (vgl. S. 64ff.). Neben der Änderung der Fahrtrichtung wird die Änderung der Füllung durch entsprechende Schieberbewegungen bewirkt; zu diesem Zweck besitzt jede Lokomotive eine Steuerung, die vom Führer verstellt werden kann. In der Mittellage der Steuerung erhalten die Zylinder durch die Schieber keinen Dampf; wird die Steuerung nach vorn ausgelegt, so erhalten die Zylinder zunächst kleine, dann, bei weiterem Auslegen, größere Füllungen, und zwar sind die Schieberbewegungen derart, daß die Lokomotive vorwärts fährt; wird die Steuerung nach rückwärts verlegt, so fährt die Lokomotive ebenfalls rückwärts. Als gebräuchlichste Lokomotivsteuerungen werden die von Stephenson, Gooch, Allan und neuerdings wohl am meisten die von

Heusinger-Walschaert verwendet. Bei den ersten drei sogenannten *Kulissensteuerungen* sitzen (vgl. S. 65, Fig. 129) auf der Triebachse dicht nebeneinander zwei Exzenter, das sogenannte *Vorwärts-* und *Rückwärtsexzenter*, die mittels langer Stangen eine *Kulisse* in schwingende Bewegung setzen. In dieser kann ein Gleitstück, der sogenannte *Stein*, verschoben werden, an dem die mit dem Schieber verbundene Schieberstange angelenkt ist. Durch Heben oder Senken der Kulisse oder des Steines macht dieser nun eine Bewegung, die mehr vom Vorwärts- oder vom Rückwärtsexzenter beeinflußt wird, wodurch die Schieber die Dampfverteilung derartig bewirken, daß die Lokomotive mit der gewünschten Füllung entweder vorwärts oder rückwärts fährt. In der Mittelstellung ist die Schieberbewegung Null, da Vorwärts- und Rückwärtsexzenter gleichviel auf den Stein einwirken; die Zylinder erhalten dann keinen Dampf. Statt der Dampfverteilung durch Schieber (Flach- oder Kolbenschieber) werden neuerdings auch Ventilsteuerungen für Lokomotiven gebaut. Von der Hannoverschen Maschinenbau-Aktiengesellschaft ist die Lentzventilsteuerung (vgl. S. 61) erfolgreich eingeführt worden. Statt der gewöhnlichen, hin und her bewegten Schieberstange wird hier eine mit Hubkurven versehene Stange bewegt, die die Einlaß- und Auslaßventile in bestimmter Reihenfolge öffnet und schließt; das Öffnen geschieht dadurch, daß die Hubkurvenstange eine an der Ventilspindel befestigte Rolle anhebt, während das Schließen durch eine senkrecht angeordnete Feder bewirkt wird. Der ganze Ventilmechanismus ist in einen gegen Staub gut geschützten, leicht zu entfernenden Kasten eingebaut, wodurch ein Nachsehen der Ventile und der Steuerungsteile gut möglich wird.

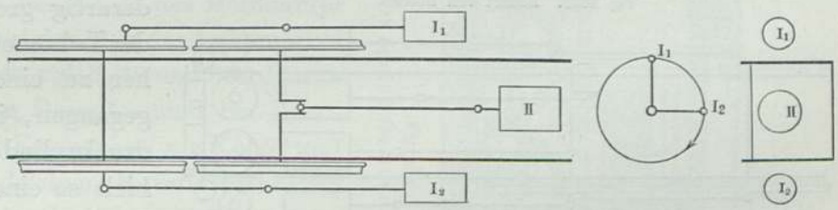


Fig. 1026. Bauart Webb.

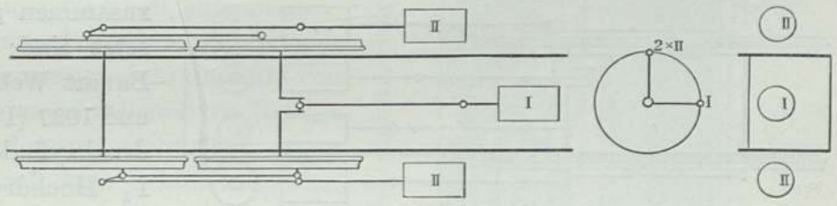


Fig. 1027. Bauart Wittfeld.

Fig. 1026 und 1027. Dreizylinderanordnungen für Verbundlokomotiven.

Der Lentzventilsteuerung ähnlich ist die Ventilsteuerung von Stumpf. Bei dieser sind die Hubkurven an der Ventilspindel, die Rollen dagegen an der hin und her gehenden Stange angebracht, wodurch eine vorteilhaftere Schmierung der sich aufeinander bewegenden Teile erzielt wird. Diese Steuerung ist von Stumpf auch für Gleichstromdampfmaschinen verwendet worden. Bei der Lentzsteuerung sind vier Ventile für jeden Zylinder nötig, zwei Einlaß- und zwei Auslaßventile. Die nach dem Gleichstromprinzip arbeitenden Zylinder haben nur zwei Einlaßventile, der Auslaß wird dadurch geschaffen, daß der Kolben in den Totlagen einen Kanalkranz im Zylinder öffnet, durch den der Dampf auspuffen kann (vgl. S. 64). Der Kolben wird dabei ungefähr 90 Proz. des ganzen Hubes lang; der Zylinder wird also erheblich länger als ein gewöhnlicher.

Das Streben nach geringerem Kohlen- und Wasserverbrauch hat dazu geführt, die einfache Bauart der Naßdampfzwillingslokomotive zu verlassen und die Verbundmaschinen und Heißdampfmaschinen auch in den Lokomotivbau einzuführen.

Verbundlokomotiven. Bei einer Zweizylinder-Verbundmaschine gelangt der Frischdampf nicht, wie bei den gewöhnlichen Zwillingsmaschinen, gleichzeitig in zwei gleichgroße Zylinder, sondern zunächst in den kleineren Hochdruckzylinder, dehnt sich hier unter Arbeitsleistung bis auf eine gewisse Spannung aus und gelangt mit dieser Spannung in den größeren Niederdruckzylinder, wo sich der Druck bis auf die Auspuffspannung erniedrigt (vgl. S. 54 und 72—75).

Da bei einer Verbundlokomotive der Dampf beim Anfahren nur in den Hochdruckzylinder einströmt, kann sie bei ungünstigem Stande der Hochdruckkurbel, z. B. im Totpunkt, nicht anziehen. Zur Vermeidung dieses Übelstandes muß jede Verbundlokomotive eine

Anfahrvorrichtung besitzen, deren Aufgabe es ist, in dem beschriebenen Falle dem Niederdruckzylinder gedrosselten Frischdampf zuzuführen, damit die Lokomotive anfahren kann. Diese Anfahrvorrichtung ist der Einführung der Verbundlokomotive sehr hinderlich gewesen. Die Verbundlokomotiven eignen sich besonders für lange Fahrstrecken ohne Aufenthalt und besonders da, wo die Leistung der Maschine nicht allzusehr verändert werden muß, d. h. also hauptsächlich auf Flachlandstrecken. Sie ersparen dann gegenüber den Lokomotiven mit einfacher Expansion 10—12 Proz. Kohle und 8—10 Proz. Wasser.

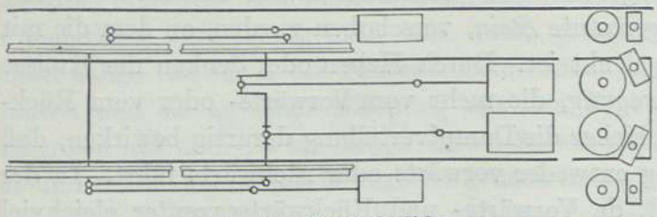


Fig. 1028. Bauart de Glehn.

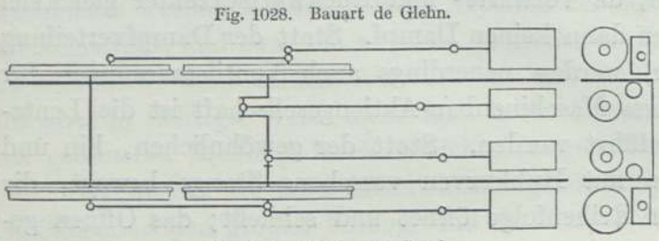


Fig. 1029. Bauart von Borries.

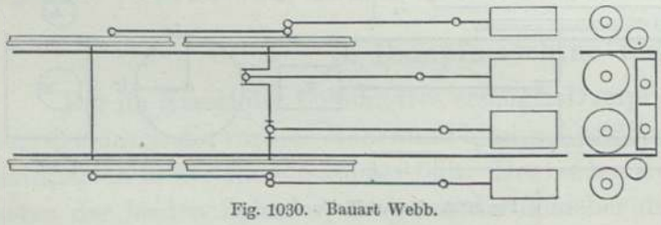


Fig. 1030. Bauart Webb.

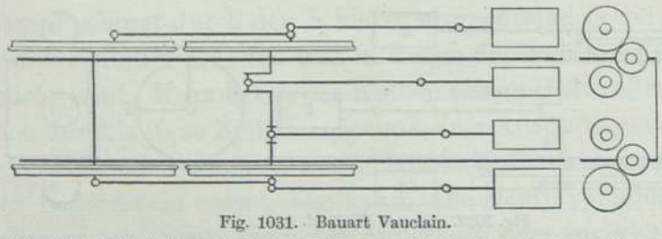


Fig. 1031. Bauart Vauclain.

Fig. 1028—1031. Vierzylinderanordnungen für Verbundlokomotiven.

Bei großen Leistungen werden die Zylinder, besonders der Niederdruckzylinder, derartig groß, daß ihre Unterbringung an der Lokomotive schwierig ist. Man ist daher zu einer Teilung der Zylinder übergegangen, indem man den einen Niederdruckzylinder in zwei unterteilt. Man erhielt so eine *Dreizylinderlokomotive*, deren Kurbeln entweder unter 120° oder zwei zusammen und die dritte unter 90° versetzt sind; hiernach unterscheiden sich: Bauart Webb und Wittfeld, s. Fig. 1026 und 1027 (I Hochdruckzylinder; II Niederdruckzylinder; I_1 Hochdruckzylinder links; I_2 Hochdruckzylinder rechts). Bei der Webbschen Bauart sind die beiden Triebachsen nicht gekuppelt, was der Lokomotive eine bessere Beweglichkeit beim Durchfahren von Krümmungen gibt.

Verbreiteter als die Dreizylinderlokomotiven sind die *Vierzylinderlokomotiven*, die dann zwei Hochdruck- und zwei Niederdruckzylinder haben. Die Kurbeln der zusammengehörigen Hoch- und Niederdruckzylinder sind unter 180° versetzt, während die Kurbeln beider Seiten unter 90° stehen. Es wird durch diese Anordnung ein guter Ausgleich der hin und her gehenden Massen bewirkt, so daß diese Lokomotiven einen besonders ruhigen Gang bei hohen Fahrgeschwindigkeiten haben. In Europa sind hauptsächlich die Bauarten de Glehn, von Borries und Webb vertreten, die sich durch die Lage der Zylinder und den Angriff der Achsen, wie aus Fig. 1028—1030 ersichtlich ist, unterscheiden. In Amerika wird vielfach die Anordnung Vauclain (Fig. 1031) gebaut, die ähnlich der von Borriesschen ist, nur

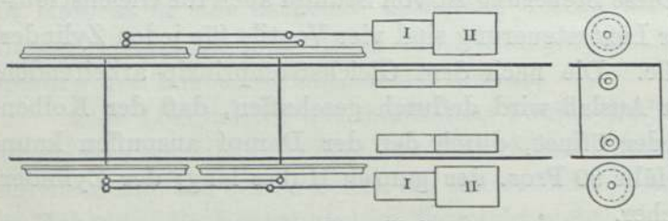


Fig. 1032. Bauart Woolf.

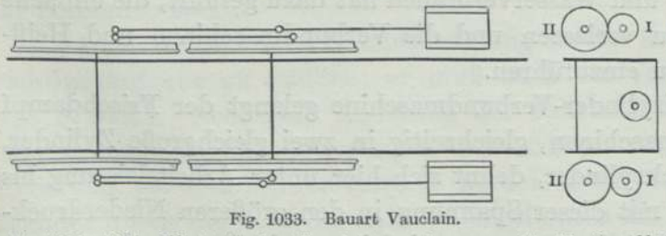


Fig. 1033. Bauart Vauclain.

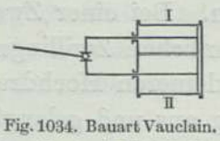


Fig. 1034. Bauart Vauclain.

Fig. 1032—1034. Vierzylinder-Tandemanordnungen für Verbundlokomotiven (I Hochdruckzylinder, II Niederdruckzylinder).

werden je ein Hoch- und Niederdruckzylinder von einem gemeinsamen Schieber gesteuert. Eine andere, in Amerika ebenfalls mehrfach ausgeführte Bauart ist die Woolfsche Tandemanordnung (Fig. 1032), bei der Hochdruck- und Niederdruckzylinder hintereinander liegen, sowie eine Bauart Vauclain (Fig. 1033 und 1034) mit übereinanderliegenden Zylindern. Die letzten beiden Anordnungen verzichten vollständig auf den guten Massenausgleich der ersteren Bauarten.

Verbundlokomotiven haben hauptsächlich in Frankreich, Deutschland und Österreich Eingang gefunden, doch hat in allerletzter Zeit die Verwendung des hochüberhitzten Dampfes dem Bau von Verbundlokomotiven großen Abbruch getan, da hier mit einfacheren Mitteln noch größere Ersparnisse in bezug auf Kohle und Wasser erzielt werden konnten.

Heißdampflokomotiven. Neben der Anwendung der Verbundwirkung in der Dampfmaschine der Lokomotive hat in den letzten Jahren ganz besonders der Heißdampf einen hervorragenden Einfluß auf den Bau der Lokomotive gewonnen. (Über Heißdampf usw. vgl. S. 38 und 50.) Durch die Anwendung des überhitzten Dampfes sind bei Lokomotiven ganz außerordentliche Ersparnisse an Kohle und Wasser gemacht worden; bei gleichem Materialverbrauch wie Naßdampflokomotiven werden Heißdampflokomotiven also entsprechend höhere Leistungsfähigkeit aufweisen.

Die Vorteile der Überhitzung wurden zum erstenmal in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts von Hirn erkannt, der allerdings keine nennenswerten Erfolge erzielen konnte, da er die Überhitzung nicht hoch genug trieb. Auch gab es damals noch kein Schmiermaterial, das den Temperaturen des Dampfes von 300—350° standhielt. Inzwischen erfolgte die Einführung der Verbundmaschine, so daß die Vorteile der Anwendung des Heißdampfes in Vergessenheit gerieten, bis es Ende der achtziger Jahre dem Zivilingenieur Schmidt in Kassel gelang, Dampfmaschinen zu bauen, die anstandslos mit Temperaturen von 300—380° arbeiteten. Seit dem Jahre 1898 werden Heißdampflokomotiven in immer steigender Zahl verwendet.

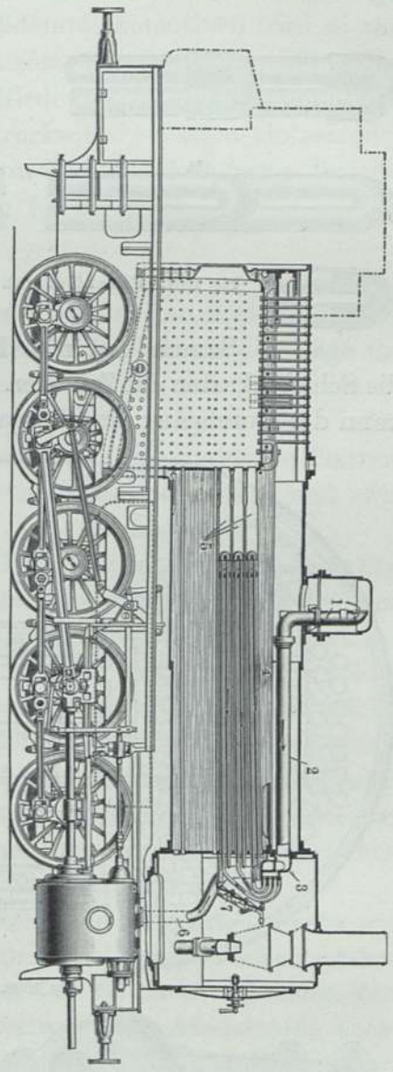


Fig. 1035 und 1036. Fünffach gekuppelte Güterzug-Tenderlokomotive mit Schmidtschem Rauchröhrenüberhitzer.

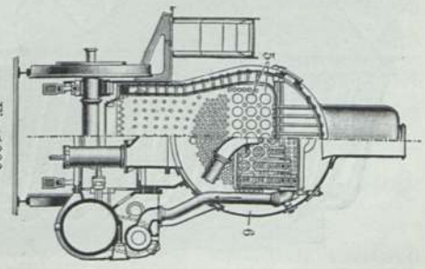


Fig. 1035.

Fig. 1036.

Die *Überhitzer* von Schmidt wurden zuerst in zwei Typen gebaut, als *Rauchkammerüberhitzer* und als *Rauchröhrenüberhitzer*. Bei dem ersteren ist in der Rauchkammer ein Röhrensystem angeordnet, das von dem zu überhitzenden Dampf durchströmt wird. Ein durch den unteren Teil des Langkessels hindurchgehendes großes Flammrohr leitet die zur Überhitzung nötige Wärme zu dem Überhitzer hin. Diese Bauart ist inzwischen zugunsten des zweiten Überhitzers verlassen worden. Den Einbau eines Rauchröhrenüberhitzers in den Kessel einer fünfachsigen Güterzuglokomotive zeigen Fig. 1035 und 1036; die Einzelheiten dieses *Dampfüberhitzers* sind in Fig. 1037—1039 dargestellt. Der im Kessel erzeugte Dampf (s. Fig. 1035) gelangt durch den Regulatorkopf 1 und das Regulatorrohr 2 in eine durch Scheidewände geteilte Kammer 3 und durchläuft von hier (wie Fig. 1038 zeigt) ein System parallel geschalteter Überhitzerrohre 4 (Fig. 1035). Diese sind zu je vier in einer Anzahl größerer, von den Heizgasen durchzogener

Rauchrohre 5 angeordnet. Der Dampf tritt in das Überhitzerrohr ein, läuft, wie in Fig. 1038 angegeben, nach hinten (links), von da in dem oberen Rohr nach vorn, wo das Rohr in der Rauchkammer eine Rohrschleife bildet, wird dann wieder nach hinten geleitet und kommt schließlich wieder nach vorn in eine andere Abteilung der vorderen Kammer 3 (Fig. 1035), wo er nun etwa 120—170° über seine Sättigungstemperatur überhitzt ist. Statt der hinten angeordneten Kappen (Fig. 1037, oben), in die die Überhitzerrohre eingeschraubt sind, schweißt man neuerdings die Rohrenden mittels des autogenen Schweißverfahrens zusammen (Fig. 1037, unten). Aus dem in der Rauchkammer sitzenden Sammelkasten 3 (Fig. 1035) gelangt der Heißdampf durch die Einströmrohre 6 in die Schieberkasten der Zylinder. Um die Überhitzungstemperatur des Dampfes ändern zu können, kann der Durchgang der Heizgase durch die Rauchrohre mittels der Klappen 7 geregelt werden, indem bei ganz offenen Klappen mehr Heizgase durch den Überhitzer hindurchgehen, was eine Temperaturerhöhung zur Folge hat. Die Klappenstellung wird auch von der Dampfentnahme abhängig gemacht, indem eine Vorrichtung vorgesehen ist, die derartig wirkt, daß, wenn im Schieberkasten kein Druck vorhanden ist (die Maschine also ohne Dampf läuft oder stillsteht), die Klappen selbständig geschlossen werden. Der Durchgang der Heizgase durch die Überhitzerrohre wird dadurch abgesperrt und ein Ausglühen der nicht vom Dampf durchflossenen Rohre verhindert.

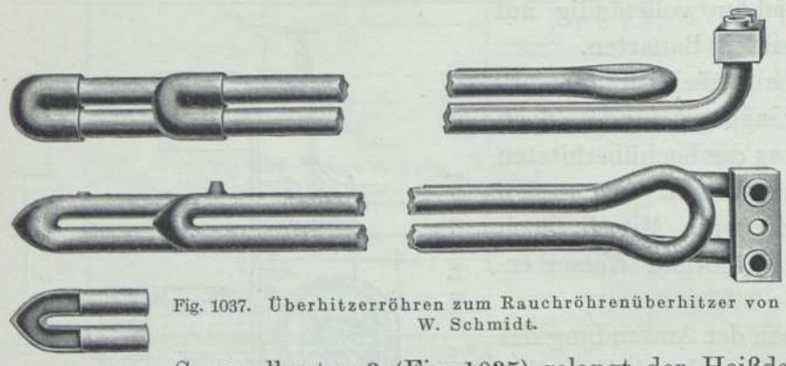


Fig. 1037. Überhitzerröhren zum Rauchröhrenüberhitzer von W. Schmidt.

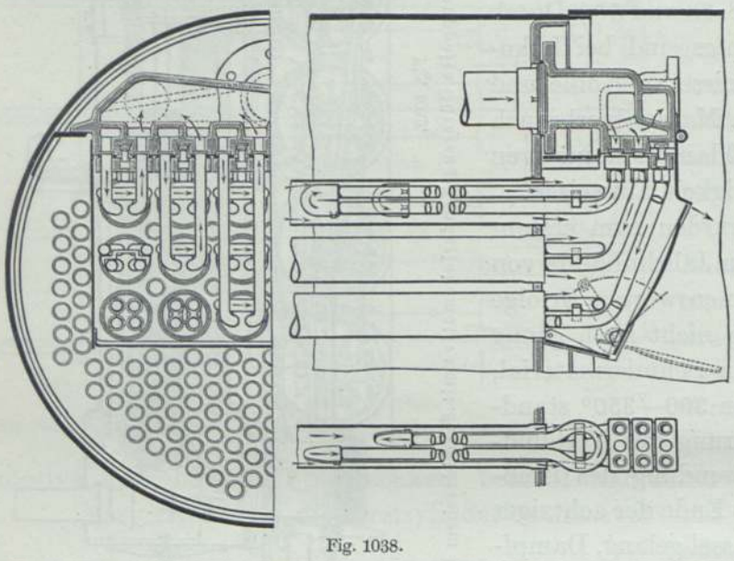


Fig. 1038.

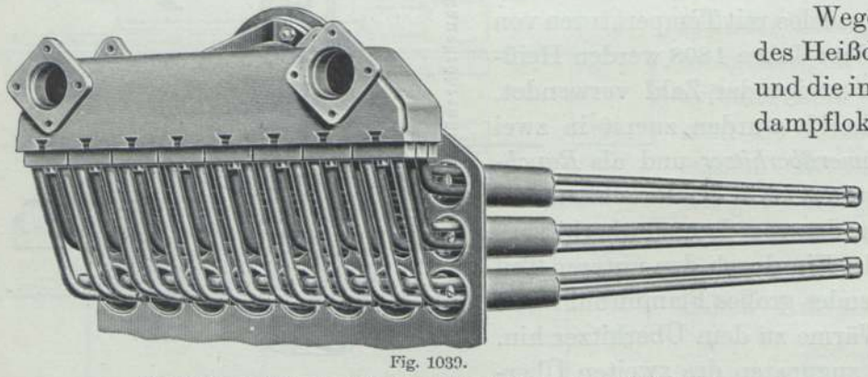


Fig. 1039.

Fig. 1038 und 1039. Rauchröhrenüberhitzer von W. Schmidt.

Wegen der hohen Temperaturen des Heißdampfes müssen die Zylinder und die inneren Steuerorgane der Heißdampflokomotiven besonders sorgfältig ausgebildet werden; infolge der Ausdehnung des Zylinders durch die hohe Wärme können bei falscher Konstruktion leicht so starke Spannungen in dem Gußstück entstehen, daß betriebsgefährliche Risse auftreten. Der Schieber wird als Kolbenschieber gebaut, da Flachschieber sich krumm ziehen würden. Neuerdings werden Schieber mit federnden Ringen verwendet, die in eingesetzten Büchsen laufen. Die Zylinder werden als einfache Rohrkörper konstruiert, die nur an den Enden durch die Einströmkanäle mit dem Schieberkasten in Verbindung stehen.

Die Ersparnisse der Heißdampflokomotiven gegenüber den Naßdampflokomotiven betragen

an Kohlen 20—25 Proz. gegenüber Zwillingsnaßdampflokomotiven, an Wasser bis 40 Proz. und mehr.

Während die preußischen und belgischen Staatsbahnen von dem Gedanken ausgehen, daß man mit Rücksicht auf die für den Lokomotivbetrieb erforderliche Einfachheit mit einfacher Dampfexpansion auskommen kann, gehen andere Verwaltungen zur *Verbund-Heißdampflokomotive* über. Die Überhitzung des Dampfes bei Verbund-Heißdampflokomotiven wird so ausgeführt, daß entweder nur der in den Hochdruckzylinder einströmende Dampf hochüberhitzt wird und aus dem Hochdruckschieberkasten unmittelbar in den Niederdruckzylinder strömt, oder man überhitzt den Hochdruckdampf und den in den Niederdruckschieberkasten eintretenden Zwischendampf noch einmal, d. h. man arbeitet dann mit sogenannter *Zwischenüberhitzung*. Welches von beiden Systemen den Vorzug verdient, ist noch nicht genau festgestellt.

4. Rahmen und Laufwerk.

Der Rahmen der Lokomotive dient als Lager für die Achsen, Zylinder und Kessel; er bildet gleichsam das Fundament, auf dem die ganze Lokomotive aufgebaut ist. Nach der Lage des Rahmens, ob innerhalb oder außerhalb der Räder, unterscheidet man *Innen-* und *Außenrahmen*, nach dem Material und Herstellung der Rahmen *Platten-* und *Barrenrahmen*. Europäische Lokomotiven haben hauptsächlich Innenrahmen, und zwar meistens aus Blechen hergestellte Plattenrahmen. Neuerdings werden auch vereinigte Platten- und Barrenrahmen hergestellt, und zwar besonders bei Vierzylinderlokomotiven.

Die Rahmenbleche sind je nach Art und Größe der Lokomotive aus etwa 18—40 mm starken Blechplatten hergestellt. Barrenrahmen werden aus Barreneisen von etwa 100×100 mm geschweißt oder aus Stahlguß gegossen. Sie haben den Vorteil, daß das innere Triebwerk zugänglicher wird, es lassen sich jedoch die Querverbindungen schlechter anbringen; die beiden Rahmenseiten werden in der Hauptsache nur durch das vordere Zylindergußstück (bei Mehrzylinderlokomotiven) oder durch ein Verbindungsstück der beiden Zylinder, den *Zylindersattel*, gegeneinander abgesteift. Es treten daher häufige Rahmenbrüche auf, die kostspielige Wiederherstellungsarbeiten erforderlich machen. Stahlgußrahmen haben ähnliche Mängel, da derartig lange und schwere Gußstücke kaum gänzlich blasenfrei und ohne innere Gußspannungen herstellbar sind. Die Barrenrahmen sind auch beträchtlich teurer als Plattenrahmen.

Der Kessel wird vorn an der Rauchkammer mit dem Rahmen durch kräftige Bleche und Winkeleisen fest verbunden. Infolge der Wärmeausdehnung, die ein Kessel beim Anheizen erfährt, darf er am hinteren Ende, der Feuerkiste, nicht ebenfalls fest mit dem Rahmen verbunden sein, die Auflagerung muß vielmehr so hergestellt sein, daß die unvermeidliche Ausdehnung leicht ermöglicht wird, ohne den Rahmen zu beanspruchen. Die Feuerkiste ruht daher auf Gleitstücken, die am Rahmen so geführt sind, daß zwar eine Ausdehnung des Kessels möglich ist, ein Abheben desselben jedoch durch übergreifende Winkel verhindert wird. Statt auf diesen Gleitstücken befestigt man den Kessel neuerdings vielfach auf sogenannten *Pendelblechen*, das sind dünne Bleche, die quer zur Achse des Kessels an der Feuerkiste und am Rahmen vernietet sind und sich bei Längenausdehnungen durchbiegen. — Vorn und hinten werden die beiden Rahmenbleche durch kräftige Querstücke, die *Pufferbohlen*, vereinigt, die gleichzeitig die Zug- und Stoßapparate aufnehmen.

Bei kleineren Lokomotiven, besonders Tenderlokomotiven, bildet der Rahmen vielfach einen geschlossenen Kasten. Dieser *Kastenrahmen* gewährt eine vorzügliche Versteifung und hat den weiteren Vorteil, daß man ihn gleichzeitig als Wasserbehälter benutzen kann.

Die *Räder* der Eisenbahnfahrzeuge sind im Gegensatz zu denen gewöhnlicher Fuhrwerke fest auf der Achse befestigt, drehen sich also mit der Achse zusammen. Sie sind meist aus Stahlguß und werden an der Lauffläche mit warm aufgezogenen Radreifen versehen, die nach eingetretener Abnutzung wieder auf die richtige Form abgedreht und schließlich durch neue ersetzt werden. Als Material dient für diese hoch beanspruchten Teile Tiegelgußstahl, der neben großer Härte

auch bedeutende Zähigkeit besitzt. Die Verbindung des Reifens mit dem Unterring, die in der Hauptsache als Sicherung gegen Abfliegen bei Brüchen dienen soll, geschieht durch sogenannte *Sprengringe*, die in schwalbenschwanzförmige Nuten im Ring und Unterreifen hineingehämmert werden, oder durch *Klammerringe*, die eine noch bessere Verbindung ermöglichen. Die Befestigung des Rades auf der Achse geschieht durch Aufpressen mittels hydraulischer Pressen, bei Drucken bis über 250 000 kg. Die Treib- und Kuppelzapfen werden ebenfalls in die Räder hineingepreßt.

Zur Aufnahme der Achslager dienen Ausschnitte im Rahmen, die zur Aufhebung der Schwächung des Rahmenquerschnittes an dieser Stelle durch kräftige Achsbacken eingefaßt werden. In diesen gleiten möglichst ohne Seitenspiel die Achslager, die das Gewicht der Lokomotive auf die Achsen übertragen. In den Achslagern sind die Lagerschalen angebracht, die die Achsschenkel von oben umfassen und meist zur Verminderung der Reibung mit Weißmetall ausgegossen sind. Den unteren Teil des Achslagers bildet ein mit Schmieröl angefüllter Kasten; ein in diesem gelegenes Schmierpolster drückt gegen den Schenkel und schmiert ihn dadurch.

Oben oder unten an dem Achslager sind *Federn* befestigt, die verhindern sollen, daß die beim Fahren entstehenden Stöße unmittelbar auf den Rahmen übertragen werden. Hätte nun jedes Achslager der Lokomotive eine am Rahmen befestigte Feder, so wäre die Lokomotive so oft unterstützt, wie sie Räder hätte. Würde dann z. B. bei einer zweiachsigen Lokomotive ein Vorderrad über eine Erhöhung fahren, so würde es eine starke Mehrbelastung erleiden, während das Hinterrad auf derselben Seite gleichzeitig entsprechend entlastet wird, da es sich von der Schiene abzuheben sucht. Um diese ungleichmäßigen Achsbelastungen zu vermeiden, verbindet man die Federn durch Ausgleichhebel; hierdurch wirkt eine Mehrbelastung einer Achse sofort auch auf alle durch Ausgleichhebel verbundenen Achsen ein, und zwar derart, daß sich die Ausgleichhebel schief stellen und dadurch einen Teil des Druckes auf die benachbarten Achsen übertragen. Kleinere Lokomotiven erhalten eine derartige Verbindung der Federn durch Ausgleichhebel, daß sie nur auf drei Punkten unterstützt sind (jede durch Ausgleichhebel verbundene Gruppe von Federn gilt als ein Unterstützungspunkt), da dies die sicherste Auflagerung für einen Körper ist. Größere Lokomotiven werden allerdings in mehr Punkten unterstützt, da sie sonst, besonders bei schnellerem Fahren, zu beweglich werden und leicht in unangenehme Schwankungen geraten.

Zur Erleichterung des Durchfahrens von Krümmungen wird das Spurmaß der Schienen erweitert. Außerdem spielt der Achsstand des Fahrzeugs eine große Rolle, da Lokomotiven mit großem, festem Radstand, d. h. großer Entfernung der beiden äußersten, im Rahmen festgelagerten Achsen, schwerer durch Krümmungen hindurchlaufen als solche mit kurzem Radstand. Zur weiteren Erleichterung des Durchfahrens von Krümmungen dienen hauptsächlich: 1. Drehgestelle, 2. drehbare Achsen, 3. verschiebbare Achsen.

Drehgestelle haben stets zwei in einem besonderen Rahmen gelagerte Achsen; der Rahmen ist um einen in der Mitte gelagerten Zapfen drehbar mit dem Hauptrahmen der Lokomotive verbunden. Das Lokomotivgewicht wird nun entweder durch diesen Zapfen, der dann als Kugelzapfen ausgebildet ist, unmittelbar auf das Drehgestell übertragen, oder es drückt auf zwei in der Mitte zwischen den Achsen liegende Gleitplatten, die das Drehgestell zwischen den Rädern belasten. Vielfach kann sich der Mittelzapfen im Drehgestell seitlich verschieben, wodurch die Durchfahrt durch Krümmungen noch mehr erleichtert wird. Die Rückstellung des Drehzapfens in seine Mittellage geschieht dann durch Federn, die bei einer Seitenverschiebung des Zapfens zusammengedrückt werden.

Drehbare Achsen sind solche, die sich bei der Fahrt der Lokomotive in Krümmungen frei in die Richtung des Halbmessers, d. h. nach dem Krümmungsmittelpunkt zu, einstellen können. Bekannte Ausführungen sind die von Adams und Webb. Die beiden Achslager sind durch ein sattelförmiges Verbindungsstück vereinigt, die Anlageflächen der Achsbüchsen an die Achsbüchsführungen nach einem Kreisbogen gekrümmt, so daß sich die erwähnte radiale Einstellung ermöglichen läßt. Die Rückstellung in die Mittellage wird durch Federn erreicht, oder es werden auf den Lagern Keilflächen angebracht, die bei einem Seitenausschlag der Achse ein Anheben

der Lokomotive bewirken; läuft dann die Lokomotive wieder in die Gerade ein, so bewirkt das Eigengewicht der Maschine eine Rückstellung der Achse in die Mittellage.

Ein Drehgestell, das sich besonders bewährt hat, ist das von der Lokomotivfabrik Krauß in München entworfene *Krauß-Helmholtz-Drehgestell.* Fig. 1040 zeigt die Einstellung einer mit diesem Drehgestell versehenen 1 C gekuppelten Lokomotive bei der Fahrt in einer Krümmung. Das Drehgestell besteht aus einer in einem dreieckigen Rahmen oder einer dreieckigen Deichsel gelagerten Achse 1; der Rahmen dreht sich um den festen Punkt 4 der Lokomotive. Bei der Einfahrt in die Krümmung legt sich nun der äußere Flansch der Achse 1 im Punkt 3 an den Schienenkopf an, wodurch eine Drehung der Achse und des Rahmens um den Punkt 4 bewirkt wird. Das hintere Ende des Rahmens greift dabei in eine Gabel ein, die an einem Verbindungsstück der Achslager der Achse 2 sitzt, und verursacht durch seine Drehung eine *Seitenverschiebung* der letzteren nach der äußeren Schiene. Die Achse 2 ist dabei eine Kuppelachse; es kann also bei Lokomotiven mit Kraußschem Drehgestell ein größerer Teil des Gesamtgewichts zur Triebachslast herangezogen werden als bei Lokomotiven mit drehbaren Laufachsen und Drehgestellen. Bei der neuesten Ausführung des Drehgestelles ist die Achse 1 in dem vorderen Ende der Deichsel noch besonders drehbar, wodurch einige Nachteile der älteren Bauart vermieden werden sollen. Die perspektivische Fig. 1041 dieses Drehgestelles läßt die einzelnen Teile gut erkennen.

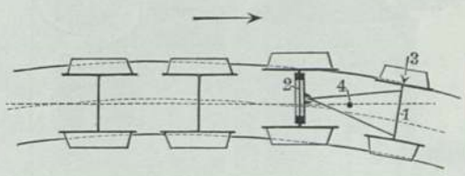


Fig. 1040. Lokomotive mit Kraußschem Drehgestell (schematisch).

Störende Bewegungen der Lokomotiven. Zur Erzielung eines leichten Laufes der Lokomotive läßt man den Spurkränzen der Achsen zwischen den Schienenköpfen Spiel und macht die Lauffläche der Räder konisch, damit die Lokomotive immer möglichst in der Mitte des Gleises läuft. Die konische Form der Radreifen ist auch deshalb gewählt, damit bei der Fahrt durch Krümmungen, wobei der äußere Schienenstrang länger ist als der innere, die Achse ohne Gleiten rollen kann. Das Rad auf der äußeren Schiene muß nämlich einen längeren Weg durchlaufen als das auf der inneren Schiene; wären die Laufflächen zylindrisch, so müßte eines der Räder gleiten, da beide Räder fest auf der Achse sind. Der Flansch des äußeren Rades läuft an den Schienenkopf an, der größere Durchmesser des Rades rollt also auf dem größeren Weg der äußeren Schiene, während das innere Rad mit seinem kleineren Durchmesser auf der inneren, kürzeren Schiene rollt.

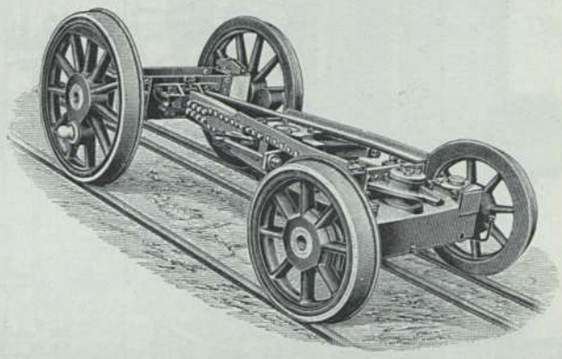


Fig. 1041. Kraußsches Drehgestell.

Auf der geraden Strecke liegen die einzelnen Schienenstöße, d. h. die Verbindungsstellen der Schienen, sich gegenüber, die Räder einer Achse treffen also immer gleichzeitig die Vertiefung zwischen den Schienen; es entsteht dadurch eine Abwärtsbewegung der Lokomotive, die sich in regelmäßigen Zwischenräumen wiederholt (*Nicken* oder *Stampfen* der Lokomotive). Da die Umdrehung der Räder der Lokomotive durch einen Kurbelmechanismus erfolgt, wird die Triebachse nicht gleichmäßig angetrieben, weil der Hauptdruck auf den Kurbelzapfen in der ersten Hälfte des Hubes am größten ist. Diese Ungleichförmigkeiten rufen das *Zucken* der Lokomotive hervor, das sich dadurch äußert, daß diese sich nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit, sondern ruckweise bewegt. Infolge der Kurbelversetzung um 90° bei einer Zweizylinderlokomotive geschieht der Antrieb auf beiden Seiten nicht gleichzeitig mit derselben Größe; die Folge davon ist eine schlangenförmige Bewegung der Lokomotive im Gleise *(Schlingern).* Die wechselnden Kreuzkopfdrucke bei einer Umdrehung der Triebachse bewirken ferner ein Schwanken der Lokomotive um die wagerechte Längsachse *(Wanken).*

Man sucht die Ursachen der störenden Bewegungen durch entsprechende Bauart der

Lokomotive zu beseitigen. Durch Anbringen von Gegengewichten in den Rädern, welche die Wirkungen der hin und her gehenden Massen der Kolben, Kolbenstangen, Kreuzköpfe, Kurbeln und Kuppelstangen teilweise aufheben, werden die Zuckbewegungen gemildert. Bei Vierzylinderlokomotiven ergibt die Triebwerksanordnung einer Seite schon einen guten Massenausgleich, da je zwei Kurbeln einer Seite unter 180° versetzt sind, die Wirkungen der hin und her gehenden Massen sich also aufheben. Ein langer Radstand und richtig gewählte Federanordnungen verringern die anderen Störungen auf ein erträgliches Maß. Vorteilhaft für den ruhigen Lauf der Lokomotive ist natürlich auch ein kräftiger, gut unterhaltener Oberbau.

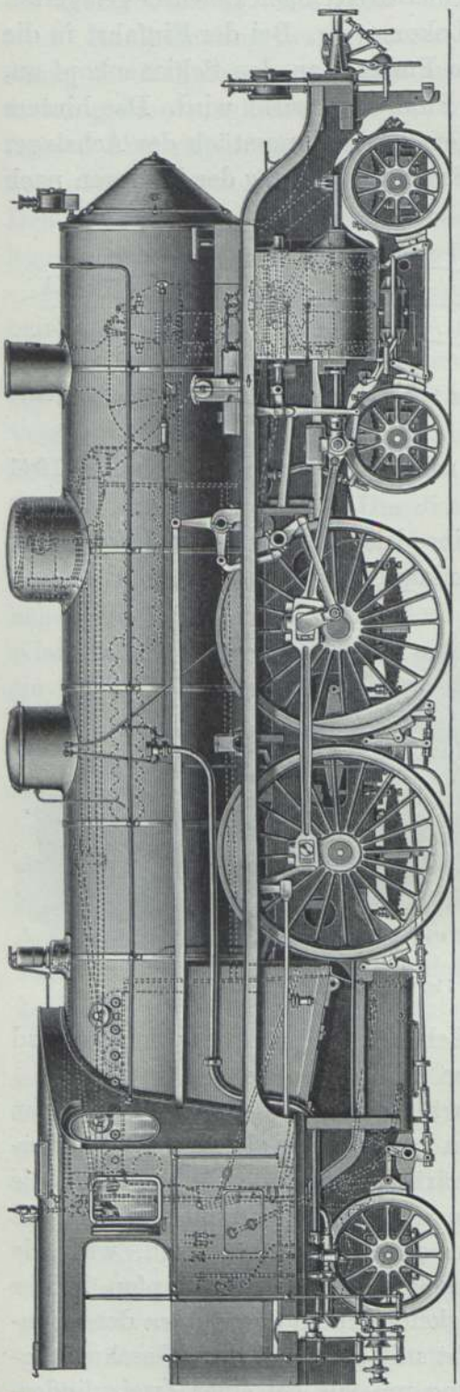


Fig. 1042. Ansicht.

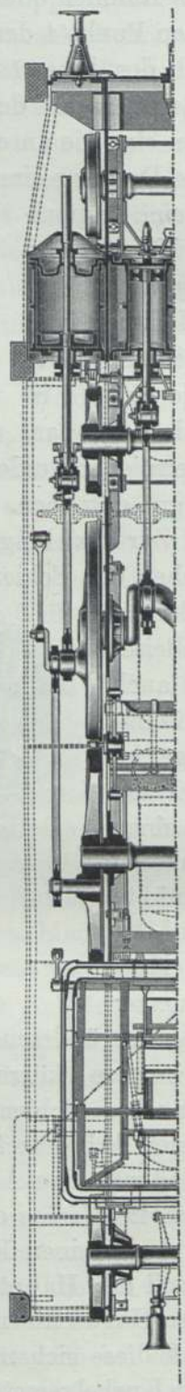


Fig. 1043. Grundriß.

Fig. 1042 und 1043. 2-B-1 Vierzylinder-Verbund-Schnellzuglokomotive der Badischen Staatsbahn.

5. Beschreibung einiger ausgeführter Lokomotiven für normalspurige Hauptbahnen.

Lokomotiven zur Beförderung von Personen- und Schnellzügen, die vorwiegend auf Flachlandstrecken verkehren, werden meist als 2–B Lokomotiven gebaut. Sie besitzen ein unter der Rauchkammer liegendes zweiachsiges Drehgestell, die Treibachse liegt dann vor, die Kuppelachse hinter der Feuerkiste. Diese Bauart eignet sich besonders für schnellen Gang und ist für die erwähnten Zwecke die meistgebrauchte Type. Sie kann bei Anwendung von Heißdampf etwa bis 1000 Pferdestärken leisten.

Eine Zweizylinder-Heißdampflokomotive der Preußischen Staatsbahnen dieser Gattung ist im Klappmodell dargestellt. Ihre Hauptabmessungen sind:

Zylinderdurchmesser	550 mm
Kolbenhub	630 -
Triebraddurchmesser	2100 -
Rostfläche	2,29 qm
Verdampfungsheizfläche . . .	138,9 -
Überhitzungsheizfläche . . .	37,4 -
Reibungsgewicht betriebsfähig	32,0 t
Lokomotivgewicht -	57,6 -

Die Lokomotive ist neuerdings auch für dieselbe Bahn versuchsweise mit Gleichstromzylindern ausgerüstet worden. Bei höheren Leistungen kommt man mit dem bei der 2–B Bauart zulässigen Höchstgewicht von 50—55 Tonnen nicht mehr aus, man muß dann noch eine Achse mehr nehmen. Es entstand so die 2–B–1 Bauart, in Amerika als *Atlantic-Type* bekannt. Eine derartige Lokomotive zeigen Fig. 1042 und 1043, nämlich eine vierzylinderige Verbundlokomotive der badischen Staatsbahnen, von der Firma Maffei in München gebaut. Die vier

Zylinder liegen in einer Ebene unter der Rauchkammer; die außenliegenden Niederdruckzylinder von 570 mm Durchmesser und die innenliegenden Hochdruckzylinder greifen die erste Achse an, die also als Kropfachse ausgebildet sein muß. Die Lokomotive hat vorn ein zweiachsiges Drehgestell und hinten eine radial einstellbare Achse, der Rahmen ist als Plattenrahmen ausgeführt. Die Feuerkiste mit einer 3,28 qm großen Rostfläche ragt weit über den Rahmen seitlich hinaus. Zur Verminderung des Luftwiderstandes sind Rauchkammertür, Zylinderdeckel und Führerhaus mit Windschneiden versehen.

Für noch größere Leistungen, besonders zur Beförderung schwerer Schnellzüge über Gebirgsstrecken, dient die 2–C–1 Bauart, die also drei Kuppelachsen hat. Fig. 1044 zeigt eine der leistungs-

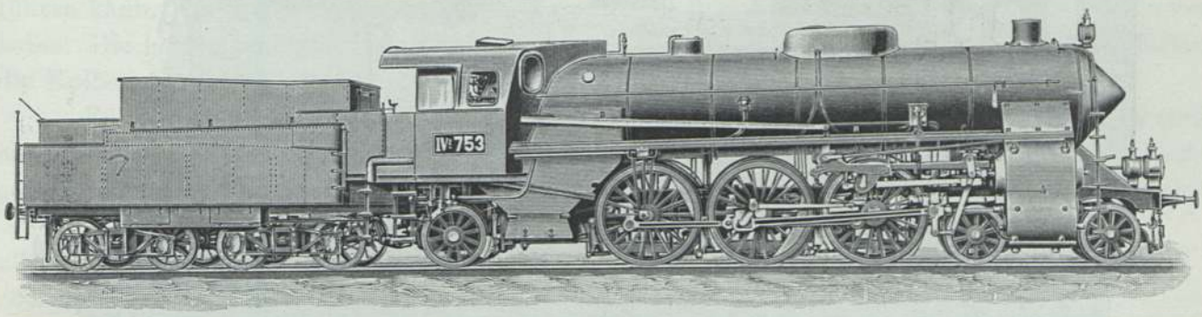


Fig. 1044. 2–C–1 Heißdampf-Vierzylinder-Verbund-Schnellzuglokomotive mit Schmidtschem Rauchröhrenüberhitzer.

fähigsten europäischen Lokomotiven, die ebenfalls von der Firma Maffei in München für die badischen Staatsbahnen gebaut ist. Sie ist eine Heißdampf-Vierzylinder-Verbundlokomotive; die innenliegenden Hochdruckzylinder von 425 mm Durchmesser sowie die außenliegenden Niederdruckzylinder von 650 mm Durchmesser greifen die zweite, d. h. die mittlere Kuppelachse an. Der

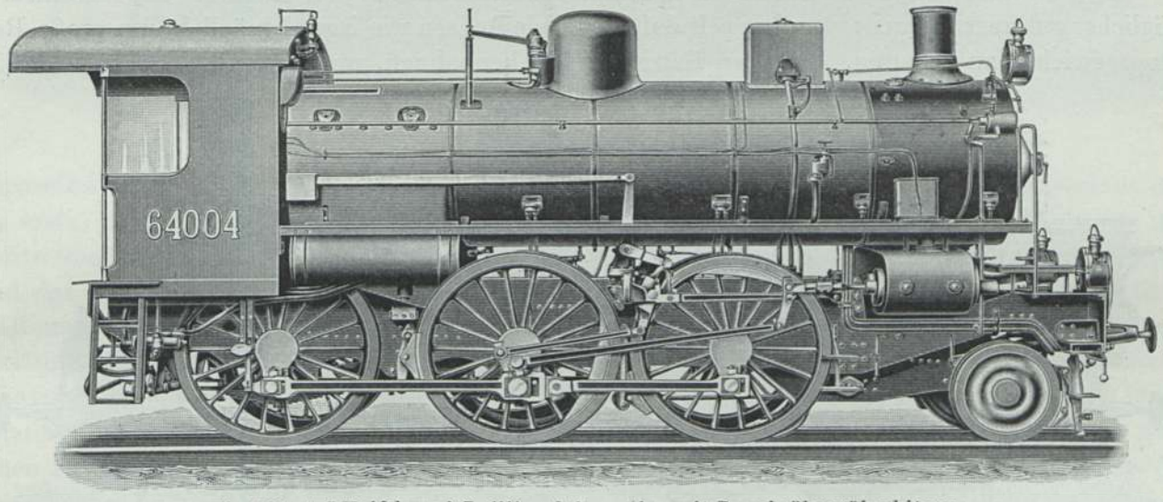


Fig. 1045. 1–C Heißdampf-Zwillingslokomotive mit Rauchröhrenüberhitzer.

Triebraddurchmesser beträgt 1800 mm, die wasserverdampfende Kesselheizfläche 218,72 qm; der Rauchröhrenüberhitzer der Bauart Schmidt hat eine Heizfläche von 50 qm, die Rostfläche ist 4,5 qm und ebenfalls breit ausgeführt. Der Rahmen, ein geschmiedeter Barrenrahmen, läßt das innere Triebwerk gut erkennen. Das Dienstgewicht der Lokomotive in betriebsfähigem Zustande beträgt etwa 88 Tonnen. Rauchkammertür und Führerhaus sind mit Windschneiden versehen. Der Tender ist vierachsig und faßt 20 cbm Wasser und 7 Tonnen Kohle.

Für kleinere Kesselleistungen als die obige Lokomotive wird vielfach eine 2–C Bauart verwendet, die sich in Zwei- oder Vierzylinderbauart als Heißdampfmaschine viele Anhänger erworben hat. Für leichtere Personenzüge auf Hügellandstrecken wird vielfach die 1–C Bauart verwendet. Fig. 1045 zeigt eine derartige 1–C Heißdampf-Zwillingslokomotive der italienischen Staatsbahnen,

die von der Berliner Maschinenbau-Aktiengesellschaft vorm. L. Schwartzkopff in Berlin gebaut ist. Sie hat einen Schmidtschen Rauchröhrenüberhitzer und innenliegende Zylinder von 540 mm Durchmesser; die außenliegenden Kolbenschieber geben der Lokomotive ein eigenartiges Aussehen. Sie besitzt vorn ein sogenanntes *Zaradrehgestell*, das dem Kraußschen Drehgestell ähnlich ist; die schmale, zwischen den Rädern liegende Feuerkiste steht auf dem Rahmen.

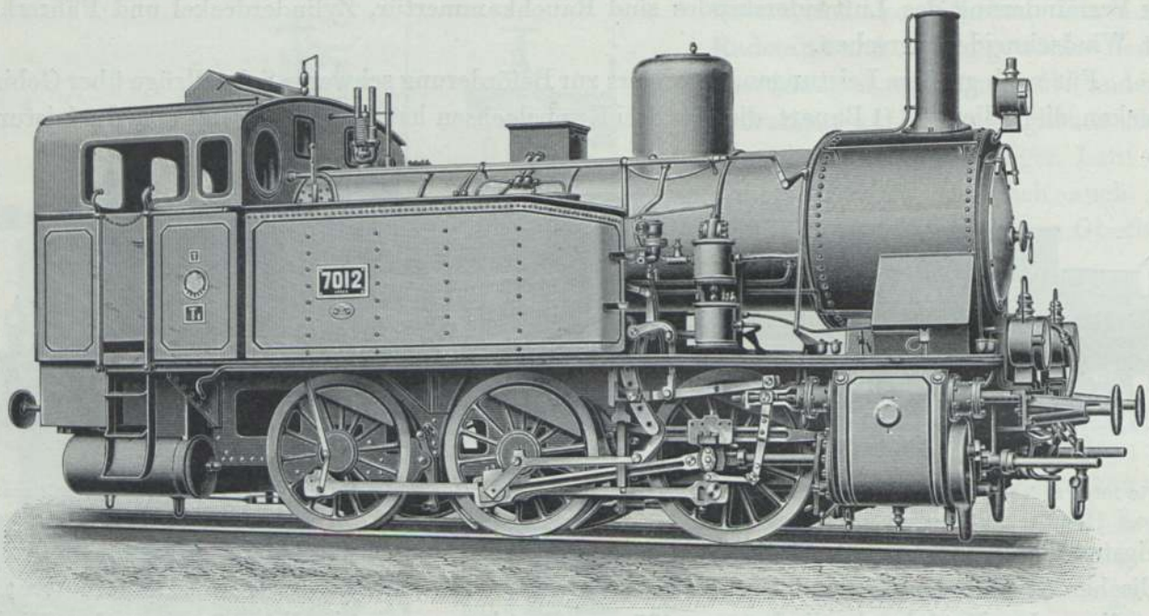


Fig. 1046. C Heißdampf-Tenderlokomotive.

Bei Güterzuglokomotiven kommt es hauptsächlich darauf an, die Zugkraft der Lokomotive möglichst gut auszunutzen; man kuppelt daher so viele Achsen wie irgend möglich, um große Reibungsgewichte zu erhalten. Für den Betrieb auf Nebenbahnen, wo keine allzu hohen Anforde-

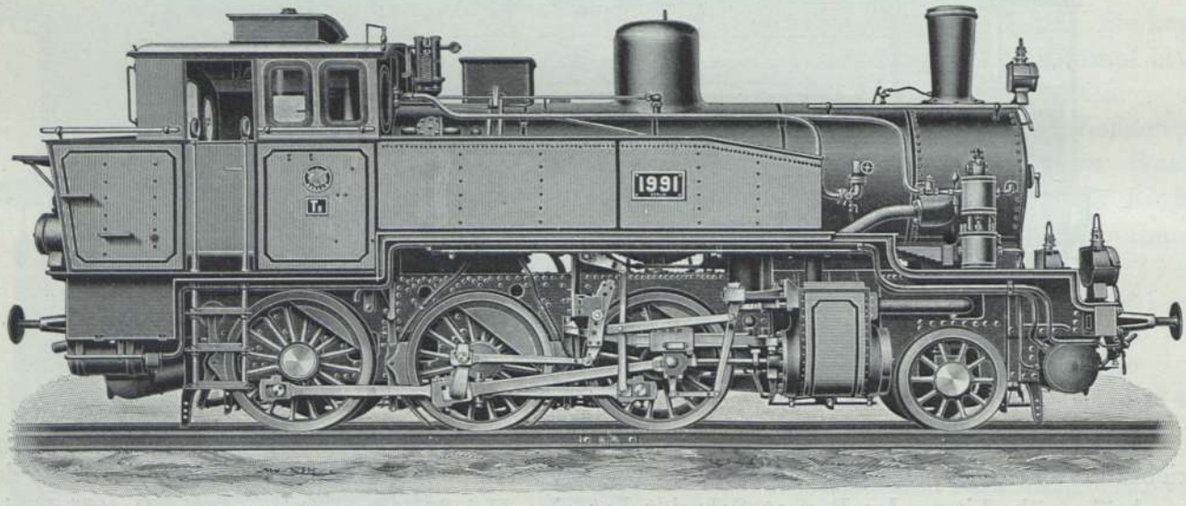


Fig. 1047. 1-C Naßdampf-Zwillingslokomotive von Orenstein & Koppel, Berlin.

rungen an die Leistungsfähigkeit der Lokomotive gestellt werden, genügt die C Bauart. Fig. 1046 stellt eine C Heißdampf-Tenderlokomotive der Preußischen Staatsbahnen dar, die von der Breslauer Maschinenbau-Anstalt entworfen und erstmalig gebaut ist. Sie hat einen Triebraddurchmesser von 1350 mm, außenliegende Zylinder von 500 mm Durchmesser, die Rostfläche beträgt 1,48 qm, die wasserverdampfende Heizfläche 68,43 qm und die Überhitzerheizfläche 16,40 qm. Sie wiegt betriebsfähig etwa 43 Tonnen und nimmt 5 cbm Wasser sowie 1,4 Tonnen Kohle mit. Die Lokomotive hat sich trotz ihrer kleinen Heizfläche als außerordentlich

leistungsfähig erwiesen; sie beförderte Züge von 870 Tonnen Gewicht auf Steigungen von 1:150 mit noch 10 km Geschwindigkeit.

Für die Beförderung von Güterzügen auf kurzen Strecken werden meistens 1–C gekuppelte Tenderlokomotiven verwendet, die gleichzeitig für schweren Verschiebedienst sowie zur Beförderung von Personenzügen dienen können. Fig. 1047 zeigt eine 1–C gekuppelte Naßdampf-Zwillingslokomotive für die Preußische Staatsbahn nach einer Ausführung der Lokomotivfabrik von Orenstein & Koppel, Berlin. Sie leistet ungefähr 500 PS, hat vorn ein Kraußsches Drehgestell und einen Kastenrahmen, der als Wasserbehälter dient. Außerdem sind zu beiden Seiten des Kessels vor dem Führerhaus noch besondere Wasserbehälter angeordnet, so daß sie ungefähr 7 cbm mitführen kann. 2 Tonnen Kohle werden in einem hinter dem Führerhaus angebrachten Kasten verladen. Die beiden außenliegenden Zylinder von 450 mm Durchmesser liegen hinter der Laufachse, die Kolben treiben die zweite Triebachse an.

Für ganz schwere Güterzüge wird neuerdings vielfach die E Bauart gewählt. Fig. 1048 stellt eine derartige Tenderlokomotive der französischen Südbahn dar, die von Schwartzkopff in Berlin gebaut ist. Sie ist mit einem Rauchröhrenüberhitzer ausgerüstet und arbeitet mit einfacher Dampf-

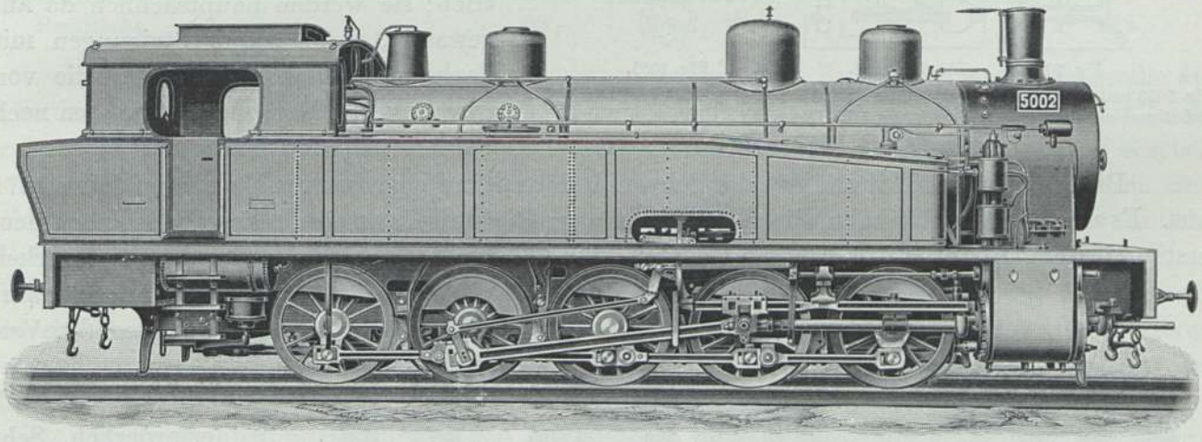


Fig. 1048. E Tenderlokomotive von L. Schwartzkopff, Berlin.

expansion. Zum besseren Durchfahren enger Krümmungen sind die Achsen derart angeordnet, daß die erste, dritte und fünfte Achse seitlich um 26 mm verschiebbar sind, während die zweite und vierte (die Triebachse) fest im Rahmen gelagert sind. Trotz des festen Radstandes von 3100 mm und des Gesamtradstandes von 6200 mm kann die Lokomotive durch Krümmungen von 100 m Halbmesser fahren. Um die Triebstange nicht zu lang zu bekommen, wurde die Kolbenstange verlängert und mit einer besonderen Führung versehen. Die Lokomotive besitzt zwei seitliche Wasserkasten; ein dritter ist innerhalb des Rahmens angeordnet und dient gleichzeitig als Querversteifung für diesen. Der Rost ist teilweise als Kipprost ausgebildet, die Feuertür schlägt nach innen auf, so daß sie sich bei etwa heraustretenden Dampfstrahlen infolge Undichtigkeiten der Feuerbuchse von selbst schließt. Die Zylinder haben 630 mm, die Triebräder 1350 mm Durchmesser. Die Rostfläche beträgt 2,73 qm, die wasserverdampfende Heizfläche 141,8 qm, die Überhitzerheizfläche 44,2 qm. Sie wiegt leer 66,5 Tonnen, betriebsfähig etwa 85,6 Tonnen.

6. Besondere Lokomotiven.

Außer den normalen Lokomotivtypen werden besondere Ausführungsformen erforderlich bei dem Betrieb auf Bahnen mit großen Steigungen und kleinen Krümmungen, wie sie hauptsächlich bei Gebirgsbahnen auftreten. Unter starken Steigungen werden dabei solche bis zu 1:25 verstanden, also Strecken, die auf 25 m Länge 1 m Steigung haben. Bei Gebirgsbahnen ist es häufig nur unter Anwendung bedeutender Längenentwickelung der Bahn möglich, mit diesen Steigungen, die noch mit gewöhnlichen Reibungslokomotiven befahren werden können, auszukommen, wobei kostspielige Tunnels, Viadukte, Brücken usw. nicht zu umgehen sind.

Trotz dieser mit hohen Anlagekosten verknüpften Bauweise reicht vielfach das Reibungsgewicht der Lokomotive nicht aus, eine bestimmte Zuglast zu schleppen. Um nun Strecken, bei denen die Kosten den Bau neigungsvermindernder Werke geradezu verbieten würden, dennoch mit Lokomotiven befahren zu können, hat man *Zahnradbahnen* gebaut, bei denen erheblich größere Steigungen zugelassen werden können. Hier wird zwischen das Gleis eine Zahnstange gelegt, in die ein von der Lokomotivmaschine angetriebenes Zahnrad eingreift.

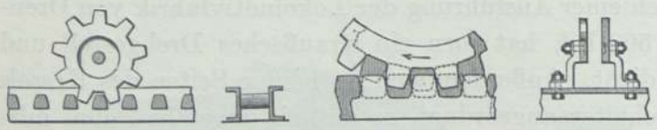


Fig. 1049. Fig. 1050. Fig. 1051. Fig. 1052.

Fig. 1049 und 1050. Riggenbachsche Zahnstange (Fig. 1049 Ansicht, Fig. 1050 Querschnitt). Fig. 1051 und 1052. Abts zweiteilige Zahnstange (Fig. 1051 Ansicht mit Eingriff des Zahnrades, Fig. 1052 Querschnitt mit Befestigung auf eiserner Querschwelle).

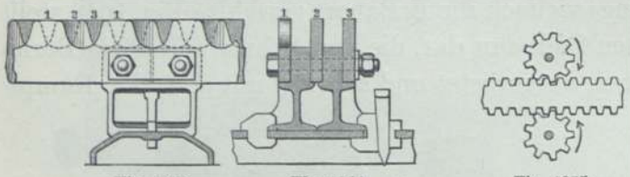


Fig. 1053. Fig. 1054. Fig. 1055.

Fig. 1053 und 1054. Abts dreiteilige Zahnstange (Fig. 1053 Ansicht mit Befestigung auf eiserner Querschwelle, Fig. 1054 Querschnitt). Fig. 1055. Wagerechte Verzahnung.

Zahnradbahnen. Man unterscheidet:

1) Reine Zahnradbahnen, bei denen die Fortbewegung der Lokomotive allein durch das Zahnrad erfolgt; die Räder der Lokomotive übertragen keine Zugkräfte, sondern tragen nur das Gewicht der Lokomotive.
2) Zahnradlokomotiven für gemischten Betrieb; sie werden hauptsächlich da angewandt, wo stärkere Steigungen mit flacheren Stellen abwechseln, die von gewöhnlichen Reibungslokomotiven noch befahren werden können.

Die erste Zahnradbahn führte der Schweizer Ingenieur Riggenbach in Europa im Jahre 1871 aus. Es war dies die Rigibahn, die von Vitznau zum Rigistaffel ansteigt. Diese Bahn, nach dem ersten System gebaut, weist Steigungen von 200—250 mm auf 1 m auf. Bei derartig starken Steigungen werden besondere Vorsichtsmaßregeln für den Betrieb erforderlich. Sehr wichtig sind die Bremsen der Zahnradlokomotiven; außer den gewöhnlichen Handbremsen verwendet man bei ihnen Gegendruckbremsen, die durch Zusammendrücken der Luft in den Dampfzylindern eine kräftige und gut regelbare Bremswirkung haben; ferner ist die Lokomotive mit einer selbsttätigen Bremse ausgerüstet, die bei einer Geschwindigkeit von 12—15 km von selbst zu wirken anfängt.

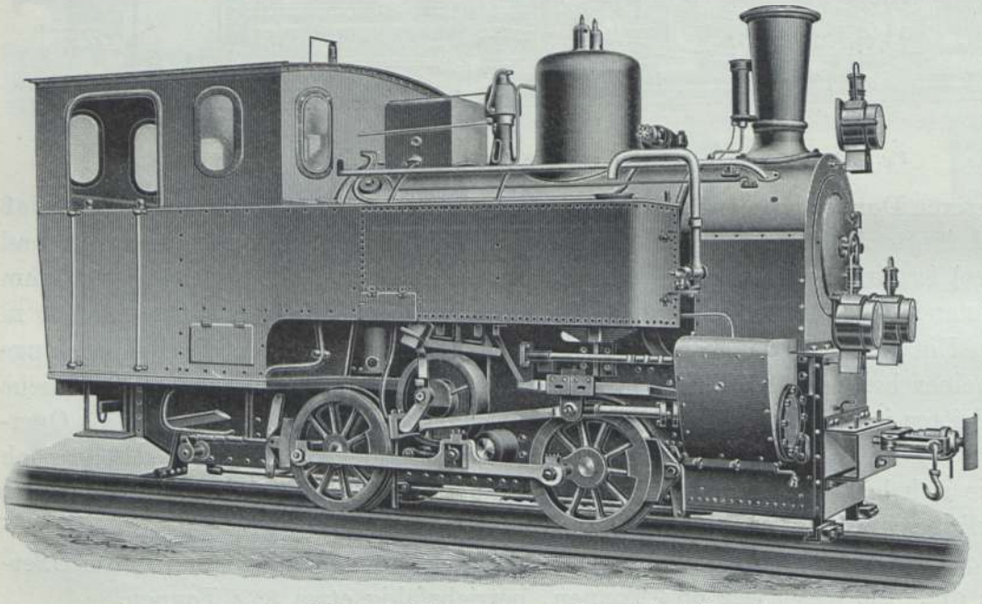


Fig. 1056. B Zahnradlokomotive von Orenstein & Koppel.

Die Zahnstangen haben verschiedene Form: Die *Riggenbachsche Zahnstange* (Fig. 1049 u. 1050) hat senkrechte Zähne; sie ist eine Leiterschiene, gebildet durch trapezförmige, zwischen zwei ⌴-Eisen eingenietete Zähne. *Abts zwei- und dreiteilige Zahnstange* besteht aus zwei (Fig. 1051 u. 1052) oder drei (Fig. 1053 u. 1054) Flacheisen, die mittels eiserner Stühle zwischen den Schienen auf eisernen Querschwellen befestigt sind, und deren jedes eine Zahnstange bildet. Die Zähne der Flacheisen sind in der Längsrichtung um die Hälfte bzw. ein Drittel

der Zahnteilung gegeneinander verschoben. Die Zahnräder der Lokomotive bestehen dabei der Breite nach aus zwei bzw. drei nebeneinander gelegten Zahnscheiben, jede etwa doppelt so dick wie die entsprechenden Flacheisen, in die sie eingreifen. Somit sind auch die Zähne der Räder um ebensoviel gegeneinander versetzt wie diejenigen der Zahnstange. Die einzelnen Zähne greifen mithin in ganz kurzen Zwischenräumen nacheinander ein, und stets nehmen mehrere Zähne gleichzeitig an der Druckübertragung teil, so daß die Bewegung sicherer, sanfter und stoßfreier wird, zumal da die einzelnen Zahnscheiben eines Triebrades eine ganz kleine federnde Bewegung gegeneinander gestatten, um etwaige Ungenauigkeiten der Zahnteilung auszugleichen. Endlich kommt noch die *wagerechte Verzahnung* (Fig. 1055) vor.

Fig. 1056 zeigt eine 125pferdige B gekuppelte Zahnradlokomotive von Orenstein & Koppel in Berlin von 850 mm Spur, die nach dem zweiten der genannten Zahnradsysteme gebaut ist.

Zylinderdurchmesser	300 mm	Zugkraft	6300 kg
Hub	400 -	Dampfdruck	12 Atm.
Raddurchmesser	800 -	Raum für Wasser	1800 l
Radstand	1800 -	Raum für Kohle	600 l
Heizfläche	42 qm	Leergewicht	15 t
Rostfläche	0,7 -	Dienstgewicht	19 t

Bei dieser Lokomotive treiben die beiden außenliegenden Zylinder eine Zwischenwelle an, von der durch Zahnräder das Triebzahnrad für die Zahnstange gedreht wird. Die Achse des Triebzahnrades hat außen Kurbeln, durch die, wie in der Abbildung ersichtlich ist, mittels Kurbelstangen die Lokomotivreibungsachsen angetrieben werden; Zahnrad und Lokomotivachsen sind also zwangläufig gekuppelt. Auf flacheren Strecken fährt die Lokomotive wie eine gewöhnliche Reibungslokomotive, die Zahnstange ist hier entbehrlich; auf stärkeren Steigungen arbeiten dann Zahnrad und Reibungsräder zusammen. Erfordernis bei dieser Lokomotivart ist, daß die Zahnraddurchmesser und Lokomotivraddurchmesser gleichgroß sind, da sonst ein Gleiten der letzteren stattfindet, wodurch sich natürlich ein größerer Kraftverbrauch bzw. ein schwererer Lauf der Lokomotive ergeben würde.

Zahnradbahnen mit flachliegenden Zahnstangen werden bis zu Steigungen von 1 : 3 bis 1 : 4 gebaut, bei noch stärkeren Steigungen wird der Eingriff des Zahnrades zu unsicher. Zahnradlokomotiven der *Bauart Locher* arbeiten mit zwei senkrecht angetriebenen Zahnrädern, die in eine mit seitlich stehenden Zähnen versehene Zahnstange (ähnlich wie in Fig. 1055) eingreifen. Derartige Bahnen sind bereits mit einer gerade noch ausführbaren Steigung von 1 : 2 gebaut. Zweckmäßig wählt man jedoch bei Steigungen über 1 : 3 statt des Zahnradantriebes Seilantrieb.

Seilbahnen. Bei solchen zieht man den Wagen durch ein Seil auf den Berg hinauf. Dieses wird entweder von einer obenstehenden Dampfmaschine angetrieben, oder man benutzt zwei Wagen, die an jedem Ende des Seiles befestigt sind. Fährt der eine herunter, so zieht er den anderen hinauf. Der zu Tal gehende Wagen muß dabei natürlich schwerer sein als der aufwärtsfahrende; man erreicht dies dadurch, daß man in den ersteren Wasser einfüllt, das unten wieder herausgelassen wird. Besondere Sorgfalt muß auf die Konstruktion der Bremsen gelegt werden, da ein Seilbruch schreckliche Folgen haben könnte. Durch besondere Bremszahnräder wird bei Überschreitung einer gewissen Geschwindigkeit selbsttätig der Wagen gebremst; auch verwendet man Bremsen, die sich zangenartig unter den Kopf einer besonderen Fahrschiene legen. —

Sind die Neigungswechsel einer Bahnstrecke nicht so stark, daß man zum Zahnradbetrieb übergehen muß, genügt also der Reibungsbetrieb noch, so erfordern Güterzuglokomotiven viele Kuppelachsen, um das nötige Reibungsgewicht und damit die erforderliche Zugkraft herauszubekommen. Die gewöhnliche Bauart der Lokomotiven gestattet aber nur eine geringe Anzahl fester Achsen, höchstens drei, unterzubringen, da der größte feste Radstand nicht mehr als 4,5 m betragen soll. Bei mehr als drei Kuppelachsen ist man gezwungen, zu besonderen Hilfsmitteln zu greifen, um ein leichtes Durchfahren von Krümmungen zu ermöglichen, ohne daß ein schneller Verschleiß der Radflanschen oder gar Neigung zum Entgleisen auftritt.

Die Verwendung von in Krümmungen einstellbaren Laufachsen verbietet sich im allgemeinen für schwere Güterzuglokomotiven, da der auf sie entfallende Teil des Lokomotivgewichtes für das Reibungsgewicht und daher auch für die Zugkraft verloren geht. Man verwendet heutzutage für diese Fälle hauptsächlich drei Lokomotivbauarten: 1. die Doppellokomotivenbauart Mallet, 2. Lokomotiven mit Lenkachsen und 3. Lokomotiven mit verschiebbaren Achsen. Als vierte Art kann man noch die Doppellokomotiven rechnen, bei denen zwei Lokomotiven mit den Führerständen zusammengekuppelt sind.

Doppellokomotiven. Fig. 1057 stellt eine C+C gekuppelte Doppellokomotive dar, die von der Hannoverschen Maschinenbau-A.-G. vorm. Georg Egestorff in Hannover gebaut ist und für Militärzwecke auf ganz leichtem Feldbahnoberbau verwendet wird. Die Lokomotiven der Bauart Mallet sind durchweg als Verbundlokomotiven gebaut.

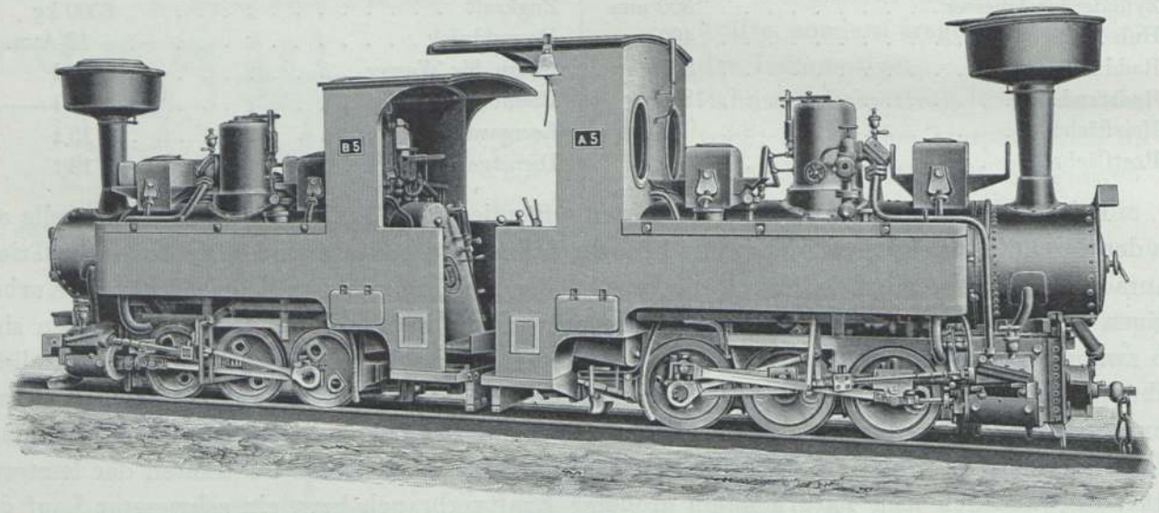


Fig. 1057. C+C Doppellokomotive der Hannoverschen Maschinenbau-Aktiengesellschaft.

Fig. 1058 zeigt eine etwa 500 PS leistende B+B gekuppelte Lokomotive der Firma Orenstein & Koppel in Berlin, die für eine Spurweite von 1000 mm gebaut ist.

Ihre Hauptabmessungen sind:

Zylinderdurchmesser	$2 \times {}^{360}/_{560}$ mm	Zugkraft	7500 kg
Kolbenhub	500 -	Dampfdruck	12 Atm.
Raddurchmesser	1000 -	Raum für Wasser	6000 l
Radstand	5600 -	Raum für Kohle	2000 l
Heizfläche	109 qm	Leergewicht	39 t
Rostfläche	1,9 -	Dienstgewicht	50 t

Die Hochdruckzylinder treiben die beiden hinteren Achsen an, die fest im Hauptrahmen der Lokomotive gelagert sind. Der aus den Hochdruckzylindern auspuffende Dampf gelangt durch eine bewegliche Rohrleitung in die Niederdruckzylinder, die an einem besonderen Drehgestell sitzen. Dieses ist durch senkrechte Gelenke mit dem Hinterteil verbunden, kann sich also unter der Lokomotive verdrehen. Die Niederdruckzylinder treiben die beiden Achsen des vorderen Gestelles an. Der Abdampf gelangt ebenfalls durch eine bewegliche Rohrleitung aus den Niederdruckzylindern in das Auspuffrohr in der Rauchkammer. Diese Lokomotivtype ist in Amerika bis zu riesenhaften Ausführungen gebaut worden.

Lokomotiven mit Lenkachsen. Unter den Lokomotiven mit gekuppelten Lenkachsen hat sich die Bauart Klien-Lindner bewährt. Die sogenannte *Klien-Lindnersche Hohlachse* (Fig. 1059) besteht aus einer in gewöhnlicher Weise angetriebenen Kernachse, die außen die Antriebkurbeln trägt, und einer Hohlachse, die mit den Rädern fest verbunden ist. Die Kernachse trägt in der Mitte einen kugelförmigen Wulst, an den sich zwei in der Hohlachse angeordnete Lagerschalen legen, so daß sich die Hohlachse nach allen Richtungen frei um die Kernachse drehen kann.

Damit sie nun an der Drehung der letzteren teilnimmt, ist durch die Mitte beider Achsen ein Bolzen gesteckt, der etwas Spiel in dem Gehäuse der Hohlachse hat, damit die erforderliche Verstellung beider Achsen zueinander ermöglicht wird; die Hohlachse kann sich also in Krümmungen beliebig gegenüber der fest im Rahmen gelagerten Kernachse einstellen. Bei der in Fig. 1060 dargestellten D Lokomotive von 180 PS und 750 mm Spurweite der Firma Orenstein & Koppel sind die beiden

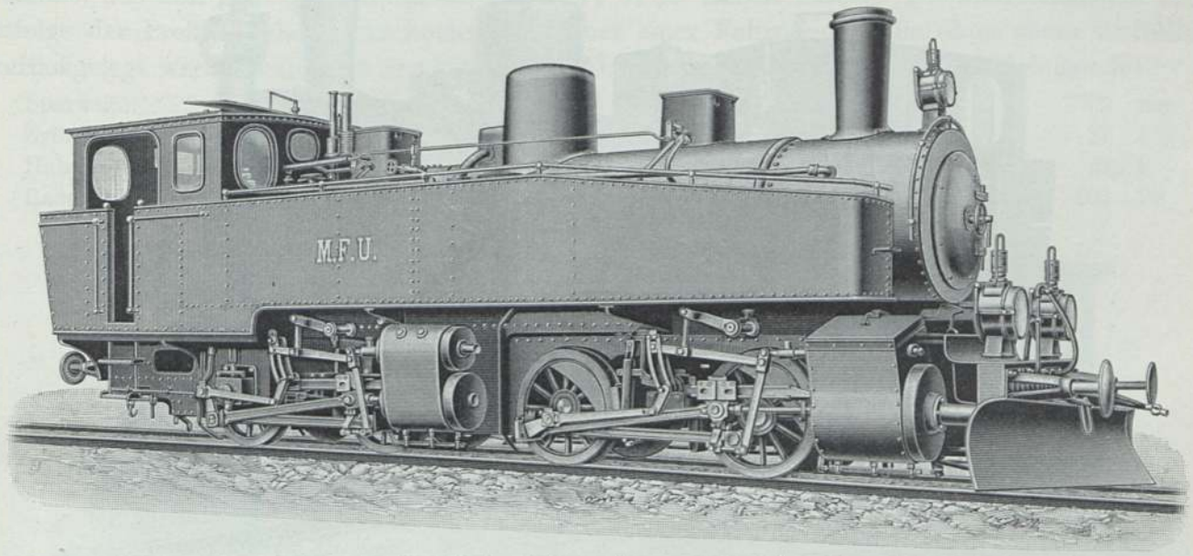


Fig. 1058. B + B Verbundlokomotive von Orenstein & Koppel.

Endachsen als Klien-Lindnersche Hohlachsen ausgebildet, so daß die Lokomotive nur zwei festgelagerte Achsen hat. Um eine richtige Einstellung der beiden Endachsen zu bewirken, sind bei der Maschine Gegenlenker angeordnet, welche die Hohlachse an zwei Hilfslagerstellen (1—1 in Fig. 1059) fassen; sie sind derartig miteinander verbunden, daß ein Ausschlag der vorderen Achse eine Drehung des vorderen Gegenlenkers, damit auch eine entsprechende Drehung des hinteren Gegenlenkers und ein richtiges Ausschlagen der hinteren Hohlachse bewirkt. Die Endachsen der Lokomotive werden also in Krümmungen zwangläufig richtig eingestellt. Lokomotiven der Bauart Klien-Lindner haben sich besonders auf sächsischen Schmalspurbahnen, die größere Steigungen bei kleinen Krümmungshalbmessern aufweisen, sehr gut bewährt. Die abgebildete Lokomotive hat folgende Abmessungen:

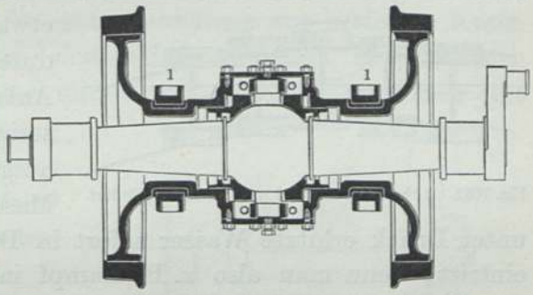


Fig. 1059. Klien-Lindnersche Hohlachse.

Zylinderdurchmesser	320 mm	Zugkraft	3700 kg
Kolbenhub	400 -	Dampfdruck	13 Atm.
Raddurchmesser	800 -	Raum für Wasser	2500 l
Radstand	3700 -	Raum für Kohle	950 l
Heizfläche	50 qm	Leergewicht	19 t
Rostfläche	0,9 -	Dienstgewicht	24 t

Lokomotiven mit verschiebbaren Achsen. Die dritte Ausführungsart für Lokomotiven, die zum Durchfahren enger Kurven bei verhältnismäßig vielen Kuppelachsen geeignet sind, ist die von Gölsdorf in Wien angegebene. Es wird dabei auf die radiale Einstellung der Endachsen verzichtet, diese bekommen nur ein entsprechendes Spiel in ihren Achs- und Stangenlagern, so daß sie sich um einen gewissen Betrag seitlich verschieben können. Die Achsen stellen sich also so ein, wie Fig. 1061 andeutet. Diese Lokomotiven unterscheiden sich äußerlich nicht von gewöhnlichen Lokomotiven mit festen Achsen, haben insbesondere keine schwer zugänglichen und komplizierten Teile (Vorzug vor den beiden vorgenannten Typen). Allerdings dürfen die

Krümmungen nicht allzu stark sein, da sonst die erforderliche Verschiebung der Endachsen zu groß und konstruktiv nicht mehr möglich wird.

Feuerlose Lokomotiven. Zum Betriebe auf Strecken, wo durch gewöhnliche Lokomotiven leicht Feuersgefahr entstehen kann oder sonstige Unannehmlichkeiten hervortreten können, wie

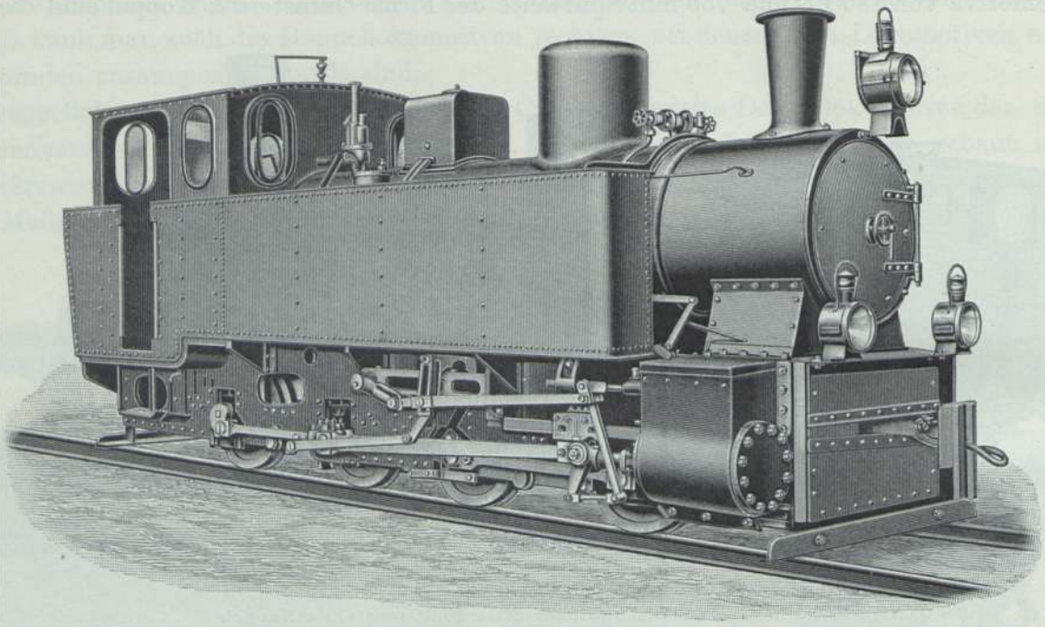


Fig. 1060. D Tenderlokomotive mit kurvenbeweglichen Hohlachsen (Klien-Lindner), von Orenstein & Koppel.

z. B. in Pulverfabriken, Tunneln, Bergwerken, eignen sich die feuerlosen Lokomotiven. Sie besitzen statt des gewöhnlichen Lokomotivkessels nur einen großen Behälter, der zu Beginn des Betriebes etwa zu zwei Drittel mit Wasser gefüllt ist. Dieses wird durch hochgespannten Dampf, den man einer stationären Anlage entnehmen kann, auf etwa 190° erwärmt; dabei steigt der Druck im Behälter bis auf 13 at. Die im Kessel aufgespeicherte Wärme kann dann nach Belieben in der Maschine wieder in Arbeit umgewandelt werden, da das unter Druck erhitzte Wasser sofort in Dampf übergeht, wenn Druckverminderung im Kessel eintritt, wenn man also z. B. Dampf in die Zylinder eintreten läßt. Die Lokomotive kann so lange fahren, bis die Temperatur des Wassers bis auf etwa 120° gesunken ist, da dann die Spannung des Dampfes bis auf rund 2 at heruntergegangen ist.

Fig. 1061. Achsenverschiebung, Bauart Gölsdorf.

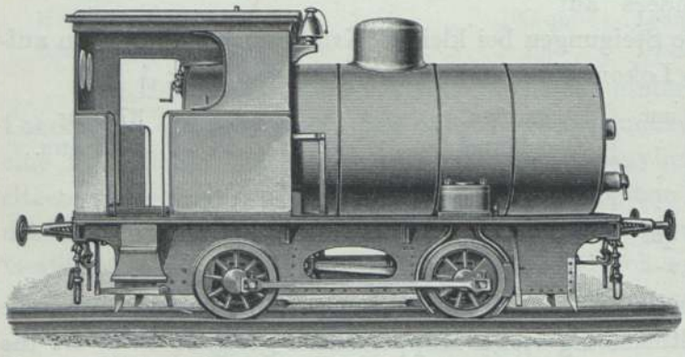


Fig. 1062. B gekuppelte feuerlose Verschiebelokomotive, Bauart Lamm-Francq.

Der Betrieb mit diesen Lokomotiven ist durchaus gefahrlos, da sich der Druck niemals steigert; eine Explosion des Kessels im Betrieb kann also nie stattfinden. Fig. 1062 zeigt eine derartige Lokomotive, die zum Rangieren auf Werkstattanlagen verwendet wird. Die Bedienung ist so einfach, daß sie von jedem Arbeiter vorgenommen werden kann; die Lokomotive kann ohne jede Aufsicht längere Zeit stehen. Der Kessel ist zur Vermeidung von Abkühlungsverlusten sorgfältig gegen Wärmeausstrahlungen isoliert, wodurch der Druckabfall sehr gering wird; im Ruhezustande fällt die Spannung z. B. während der Nacht nur um einige Atmosphären.

Will man, wie z. B. in Bergwerken unter Tage, den Auspuff von Dampf vermeiden, so verwendet man neuerdings wieder mehr die *Druckluftlokomotiven.* In den auf Fig. 1063 ersichtlichen Kesseln wird Druckluft von hoher Spannung (100 at und mehr) aufgespeichert, die der Lokomotive an Füllstationen von einer Druckluftanlage geliefert wird. Diese hochgespannte Preßluft gelangt durch ein Reduzierventil in einen Kessel, der ungefähr 10 at Druck enthält; aus ihm geht die Luft in die Zylinder, wo sie Arbeit leistet. Die Betriebskosten sind infolge der Preßluftanlage sehr hoch; die Dauer einer Fahrperiode, die ohne neues Auffüllen zurückgelegt werden kann, ist nur klein. Die Abmessungen der Lokomotive sind folgende:

Spurweite	750 mm	Radstand	3700 mm
Zylinderdurchmesser	300 -	Leergewicht	27 t
Hub	400 -	Dienstgewicht	27,5 t
Raddurchmesser	800 -	Leistung	etwa 200 PS

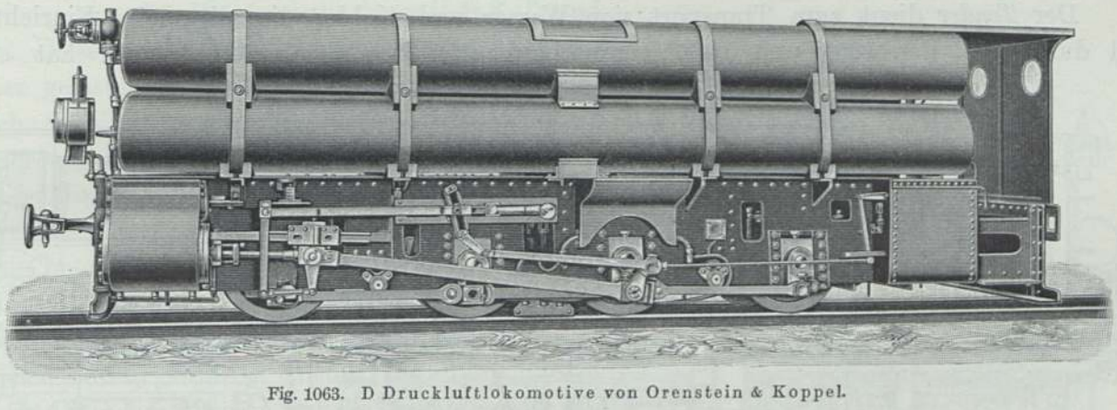


Fig. 1063. D Druckluftlokomotive von Orenstein & Koppel.

Benzin-, Spiritus-, Petroleumlokomotiven (vgl. S. 130) werden als Gruben-, Feld-, Wald-, Straßenbahn- und Verschiebelokomotiven verwendet. Sie sind unabhängig von ortfesten Kraftanlagen und stellen sich daher in Anlage, Unterhaltung und Bedienung billig. In verhältnismäßig geringen Mengen wird ein hochwertiger Brennstoff mitgeführt, dessen Wärmegehalt eine weitgehende Ausnutzung erfährt, der bei der Verbrennung keine Rückstände hinterläßt, und dessen Verbrennungsgase die Umgebung nur wenig belästigen. Für den Grubenbetrieb werden sie in der Regel mit 6—8pferdigen, für den Feldbahnbetrieb mit 8—14pferdigen Maschinen versehen. —

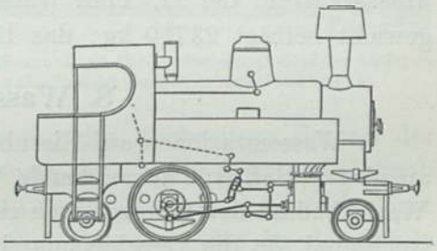


Fig. 1064. Lokomotive von Krauß & Co.

Für den Betrieb auf Bahnen, die durch Städte führen, eignen sich Lokomotiven gewöhnlicher Bauart insofern nicht, als das Triebwerk zu sehr unter Verschmutzung zu leiden hat; außerdem werden leicht Tiere durch die bewegten Stangen und das Geräusch des auspuffenden Dampfes scheu. Man verkleidet daher zweckmäßig die ganze Lokomotive; der Führerstand wird so angeordnet, daß die Lokomotive nach beiden Richtungen fahren kann, ohne den Führer an der Aussicht auf die Strecke zu hindern.

In letzter Zeit haben die Eisenbahnverwaltungen vielfach Versuche angestellt, leichte Züge auf Strecken geringeren Verkehrs durch sogenannte *Triebwagen* zu befördern. Diese werden von Dampfmotoren angetrieben, oder man verwendet die einfacheren Benzin- oder Petroleummotoren. Als Nachteil dieser Wagen muß angeführt werden, daß bei Schäden an der Antriebsmaschine oder an dem Wagen der ganze Zug dem Verkehr entzogen wird. Man geht daher in neuerer Zeit wieder vielfach zu leichten Lokomotiven über, die dadurch verhältnismäßig einfach gebaut werden können, daß die geforderte Leistung sehr gering ist. Die Bedienung ist nicht sehr schwierig, so daß vielfach nur ein Mann nötig ist; der Heizer kann noch als Schaffner den Zug bedienen. Fig. 1064 zeigt eine Lokomotive von Krauß & Co. in München, die nur eine Triebachse hat. Zur Vereinfachung des Heizens hat man bei diesen Lokomotiven vielfach selbsttätige Schüttfeuerungen eingebaut.

Einschienenbahn *(Gyrobahn).* Ein Eisenbahnsystem, das in neuester Zeit viel von sich reden gemacht hat, ist die Einschienenbahn, d. i. eine Bahn, die ohne jede weitere seitliche Stützung auf nur einer Schiene läuft. Es liegen zurzeit Versuchsergebnisse mit einigen Modellwagen von Brennan und Scherl vor, aus denen aber noch keine Schlüsse auf praktische Brauchbarkeit zu ziehen sind. Es erhält jeder Wagen, der durch beliebige Triebkraft in Bewegung gesetzt werden kann, ein System von zwei sich sehr schnell drehenden Kreiseln, die mit Hilfe von *Servomotoren* (Hilfsmotoren) das aufrechte Stehen des Wagens auf nur einer Schiene ermöglichen. Diese sogenannten *Stabilisierungseinrichtungen* sind aber derartig verwickelter Bauart, daß es fraglich ist, ob sie einen durchaus sicheren Betrieb gewährleisten können; ein gelegentliches Versagen derselben würde ein Umkippen des Fahrzeuges zur Folge haben.

7. Tender.

Der *Tender* dient zum Transport von Wasser und Kohle; die allgemeine Einrichtung wird durch die Fig. 1065 und 1066 veranschaulicht. Der abgebildete Tender hat einen

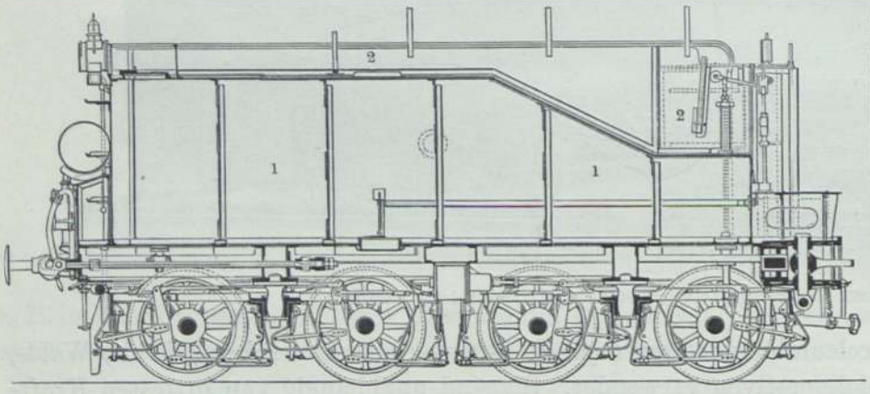


Fig. 1065. Längsschnitt.

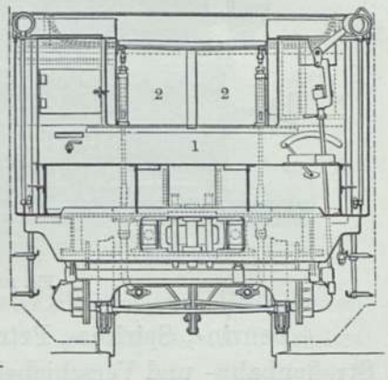


Fig. 1066. Querschnitt.

Fig. 1065 und 1066. Tender (1—1 Raum für Wasser, 2—2 Raum für Kohle).

Wasserkasten, der 21,5 cbm Wasser faßt, und er vermag 5500 kg Kohle zu laden. Das Leergewicht beträgt 23750 kg, das Dienstgewicht 50750 kg.

8. Wasserversorgung der Eisenbahnen.

Wasserstationen auf Eisenbahnlinien sind in solchen Entfernungen und an solchen Orten anzulegen, daß eine ausreichende Versorgung der Lokomotiven mit Wasser ermöglicht wird. Der Wasserbedarf der Lokomotiven richtet sich nach Bauart, Zugstärke und Gelände. Er ist stark wechselnd, da die verschiedenartigsten Umstände eine Erhöhung verursachen können, und man damit rechnen muß, daß eine Wasserstation aus irgendwelchen Gründen kein Wasser liefern kann, in welchem Falle sich die Lokomotiven auf den Nachbarstationen versorgen müssen.

Tenderlokomotiven führen etwa 5—9 cbm Wasser mit sich, Lokomotiven mit besonderem Schlepptender 12—31 cbm. Eine Ergänzung des Tenderinhaltes wird auf Flachlandstrecken erforderlich nach einer Fahrt von:

90 bis 120—150 km bei Schnellzuglokomotiven	30 bis 60 km bei Güterzuglokomotiven
60 - 120 - - Personenzuglokomotiven	20 - 40 - - Tenderlokomotiven

Bei Strecken mit größeren Steigungen rechnet man etwa die Hälfte der obigen Zahlen, bei ausgesprochenen Gebirgsbahnen noch weniger. — Außer für Lokomotivspeisezwecke braucht man Wasser als Trink- und Waschwasser, zum Reinigen von Fahrzeugen, Bahnsteigen usw., für Feuerlöschzwecke, für Werkstätten, Kraftmaschinenanlagen usw.

Nach Ermittelung des voraussichtlichen Wasserbedarfes muß man sich für die Wasserentnahme entscheiden; diese kann erfolgen aus Quellen, Teichen, Flüssen, Brunnen oder vorhandenen Anlagen. Es kommt nun sehr auf die Beschaffenheit des Wassers an, besonders auf seinen Gehalt

an Beimengungen. Flußwasser ist in dieser Hinsicht am besten, da es die wenigsten festen Bestandteile enthält. Wasser ist als gut zu bezeichnen, wenn auf 1 l höchstens 150 mg feste Bestandteile, als mittelgut, wenn 150—250 mg, und als gerade noch brauchbar, wenn über 250 mg feste Bestandteile darin enthalten sind. Befinden sich in 1 l Wasser noch mehr feste Bestandteile, so muß vor der Verwendung eine chemische bzw. mechanische Reinigung stattfinden, durch die die Beimengungen, die bei der Verdampfung im Kessel zurückbleiben und Kesselstein bilden würden, möglichst weitgehend entfernt werden.

Mechanisch beigemengte Unreinigkeiten, wie Schlamm, Sand, Holzstückchen usw., lassen sich leicht durch Kiesfilter entfernen. Mehr Schwierigkeiten bereitet die Ausscheidung der im Wasser aufgelösten Beimengungen. Als solche sind hauptsächlich zu nennen: Eisenoxydul, Luft, Kohlensäure, Kalziumkarbonat (Kalk), Magnesiumkarbonat und Kalziumsulfat (Gips). Die *Wasserreinigung* geht nach verschiedenen chemischen Prozessen vor sich; die billigste und auch wohl am meisten gebrauchte Reinigung ist die mittels Kalk und Soda. Diese beiden Körper gehen mit den im Rohwasser gelösten Stoffen chemische, im Wasser unlösliche Verbindungen ein, die sich nachträglich durch Filtrieren entfernen lassen. Ein zu diesem Zweck bei Eisenbahnen vielfach angewendeter Apparat ist der von der Firma Reisert in Köln, in dessen Unterteil ein besonderes Kiesfilter eingebaut ist. Die Entfernung des Eisens, das leicht ein unangenehmes Verschlammen der Leitungen und Wasserkrane verursachen kann, geschieht mittels Durchlüftung des Wassers. Das im Wasser lösliche Eisenoxydul verwandelt sich nämlich bei Luftzutritt in unlösliches Eisenoxyd, das als brauner Schlamm leicht durch Filtration aus dem Wasser abzuscheiden ist.

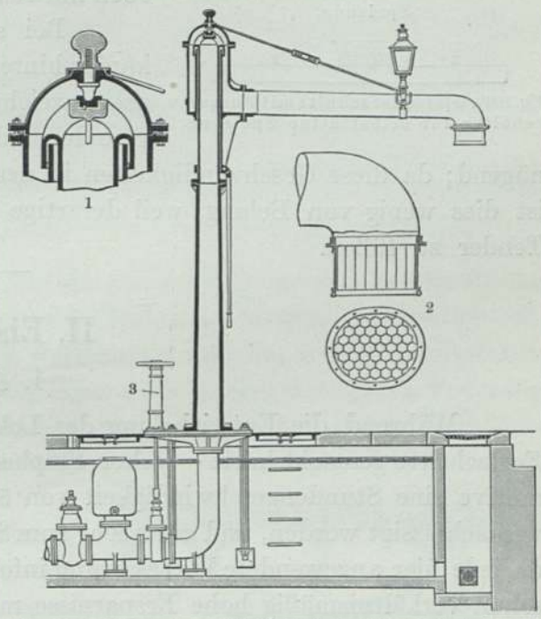


Fig. 1067. Wasserkran für 10 cbm/min. (1 Kopf des Auslegers, 2 wabenförmiger Ausguß, 3 Wasserschieber).

Die *Wasserkrane*, mit deren Hilfe man das Wasser in die Wasserbehälter der Lokomotive einfüllt, bestehen aus einer hohlen Säule, die einen drehbaren Ausleger trägt. Dieser wird, wie Fig. 1067 zeigt, so über die Säule gestülpt, daß kein Wasser an der Verbindungsstelle hindurchtreten kann. Zur Vermeidung des Ausbreitens des an der Mündung austretenden Wasserstrahles werden neuerdings die Querschnitte der Ausgüsse vielfach wabenförmig gestaltet. Um Eisbildung zu verhindern, ist der in der Figur links neben der Säule befindliche Wasserschieber so ausgebildet, daß in geschlossenem Zustande das in der Säule stehende Wasser unten ablaufen kann.

Statt der eben beschriebenen Anlagen hat man, besonders auf Nebenbahnen und Kleinbahnen, wesentlich einfachere Arten zur Wasserspeisung. Man führt z. B. auf der Lokomotive einen Schlauch mit, durch den aus einem Brunnen oder Teich Wasser mit Hilfe von *Ejektoren* (den Injektoren — S. 49 — ähnlich) unmittelbar in den Tender gepumpt werden kann.

Wasserentnahme während der Fahrt. Die immer mehr gesteigerte Leistungsfähigkeit der Lokomotiven hat dazu geführt, daß die Tender im Laufe der Zeit an Gewicht beträchtlich zugenommen haben. Mit dem Anwachsen der Zuggewichte und der ohne Aufenthalt zu durchfahrenden Strecken ist man bereits zu Tendern gelangt, die über 31 cbm Wasser mitschleppen müssen. Es trat daher der Gedanke auf, die mitzubefördernde tote Last, die der Tender darstellt, dadurch zu verringern, daß man das Speisewasser während der Fahrt ergänzt.

Bei amerikanischen und englischen Bahnen sind Einrichtungen getroffen, durch die von der Lokomotive mittels einer Schöpfkelle aus einem zwischen den Schienen angeordneten langen Kanal Wasser während der Fahrt in den Tender nachgefüllt werden kann (Fig. 1068 u. 1069).

Der Führer senkt, wenn er an den Kanal herankommt, die Schöpfvorrichtung bis auf Schienenoberkante; um nun ein Abreißen dieses Wasserentnahmerohres zu verhindern, ist das Gleis auf die Länge, über die sich der Kanal erstreckt, um ein gewisses Maß gesenkt, so daß der Entnahmestutzen von selbst eintaucht. Man kann aber auch zur Vermeidung der Kosten, die mit dem Tieferlegen des Gleises verbunden sind, nur zu Anfang und Ende des Kanals eine kurze Erhöhung des Gleises anordnen, so daß die untere Kante der Schöpfkelle über die vordere und hintere Kante des Wasserkastens hinübergehoben wird. Die Wassertröge sind 600—700 m lang und haben etwa 15—20 cm Tiefe bei einer Breite von etwa ½ m. Das Wasser wird bei schneller Fahrt durch den Gegendruck des fahrenden Zuges mit außerordentlicher Geschwindigkeit in den Tender geleitet. Um diese Geschwindigkeit bei Eintritt in den Wasserbehälter etwas zu ermäßigen, erweitert man das Tenderrohr nach oben hin etwa auf den doppelten Durchmesser, wie Fig. 1068 zeigt.

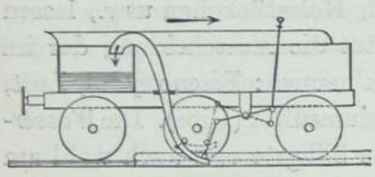


Fig. 1068. Tender mit selbsttätiger Speisung.

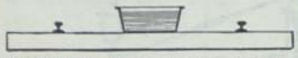


Fig. 1069. Gleisquerschnitt mit Wasserbehälter für selbsttätige Speisung.

Bei sehr schnellem Fahren ordnet man mehrere Füllkanäle hintereinander an, die dem Führer durch besondere Signale gekennzeichnet werden. Bei Geschwindigkeiten unter 30 km in der Stunde wird die Wirkung der Schöpfvorrichtung nicht mehr genügend; da diese Geschwindigkeiten in der Hauptsache aber nur bei Güterzügen vorkommen, ist dies wenig von Belang, weil derartige Züge auf den Stationen hinreichend Zeit haben, ihre Tender zu füllen.

II. Eisenbahnwagen.

1. Allgemeines.

Während die Entwickelung der Lokomotive bereits in den ersten Anfängen bedeutende Fortschritte gemacht hatte — schon Stephenson erreichte 1830 mit einer von ihm gebauten Lokomotive eine Stundengeschwindigkeit von 58 km —, ist der Bau der Eisenbahnwagen lange Zeit vernachlässigt worden, und zwar sehr zum Schaden der Wirtschaftlichkeit des Eisenbahnbetriebes, da jede hier angewendete Verbesserung infolge der erheblich größeren Anzahl vorhandener Wagen schon verhältnismäßig hohe Ersparnisse mit sich bringt.

Die ersten Eisenbahnwagen ahmten noch vollständig die bis dahin gebrauchten Postkutschen nach. Die Personenwagen waren teilweise sogar offen, so daß die Insassen allen Witterungseinflüssen ausgesetzt waren. Heizung, Beleuchtung, gepolsterte Sitzbänke waren noch unbekannte Bequemlichkeiten, so daß reiche Leute vielfach in ihren eigenen Kutschen fuhren, die auf einem offenen Güterwagen festgebunden wurden. Gepäck wurde auf den Dächern untergebracht.

In dem Maße, wie sich der Verkehr steigerte, wurden die Betriebsmittel verbessert. Schon zu Anfang der 1840er Jahre baute man in Amerika vierachsige Wagen mit zwei Drehgestellen, die auch auf europäischen Bahnen Verwendung fanden, jedoch wurden sie dann wieder abgeschafft. Nach und nach wurden immer mehr Verbesserungen bezüglich der Bauart, Ausstattung und Bequemlichkeit für die Reisenden eingeführt, so daß die heutigen Eisenbahnwagen auch verwöhnten Ansprüchen Rechnung tragen.

Ein Eisenbahnwagen muß um so kräftiger gebaut sein, je stärker er belastet wird und je schneller er fahren soll; in demselben Grade müssen auch die Federung und das Laufwerk immer sorgfältiger durchgebildet werden, da die Gefahren des Eisenbahnbetriebes naturgemäß mit der Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit schnell steigen.

Die Natur der Sache bringt es mit sich, daß die Wagen zum *Gütertransport* so leicht als möglich gebaut werden, damit das Verhältnis der Nutzlast zum Eigengewicht möglichst groß bzw. die zu befördernde sogenannte „tote Last“ des Wagens möglichst klein wird. Anders bei *Personenwagen*, wo dem Reisenden, je nach dem von ihm entrichteten Fahrpreis, ein mehr oder minder großer Raum zur Verfügung gestellt werden muß. Mit der Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit

wird aus den eben erklärten Gründen das erwähnte Verhältnis der Nutzlast zum Eigengewicht bei Personenwagen bereits recht ungünstig; so muß z. B. bei einem mit 10 Reisenden erster Klasse besetzten Schlafwagen für jeden Fahrgast ein Wagengewicht von 3750 kg mitgeschleppt werden. Bei einem mit 20 t Kohle beladenen Güterwagen beträgt das Eigengewicht 8,4 t; es wird hier (auf gleiches Gesamtgewicht berechnet) 35mal mehr Nutzlast befördert als im ersten Fall.

Personenwagen wurden zuerst ebenfalls zweiachsig und kurz gebaut. Mit der Steigerung der Fahrgeschwindigkeit zeigten diese kleinen, schlecht gefederten Wagen aber bedeutende Übelstände, ihr Gang wurde zu unruhig. Man suchte sich zunächst durch Vergrößerung des *Radstandes*, d. h. der Entfernung der beiden Endachsen des Fahrzeugs, zu helfen. Hiermit wurde aber wiederum der Lauf der Wagen in Krümmungen verschlechtert. Die Einführung von *Lenkachsen*, die eine gewisse Drehung der Achse gegenüber dem Wagenkasten in Krümmungen ermöglichen, verminderte diesen Krümmungswiderstand, so daß heute fast alle dreiachsigen Wagen, die einen längeren Radstand als etwa 4,5 m haben, mit Lenkachsen versehen sind. Ist aber das Wagengewicht so groß, daß mehr als drei Achsen zum Tragen erforderlich werden, so werden allgemein Drehgestelle mit zwei oder drei Achsen verwendet, auf denen der eigentliche Wagenkasten an den Enden aufruht. Diese *Drehgestelle* bestehen aus einem besonderen Rahmen, in dem die Drehgestellachsen gut gefedert gelagert sind. Wegen ihres kurzen Radstandes und der trotzdem möglichen langen Führung des Wagens im Gleis ergeben Drehgestellwagen auch infolge ihrer guten Federung auf genügend starkem Oberbau einen ganz besonders leichten und ruhigen Lauf und große Sicherheit gegen Entgleisen, so daß sie in Schnellzügen fast allgemein benutzt werden.

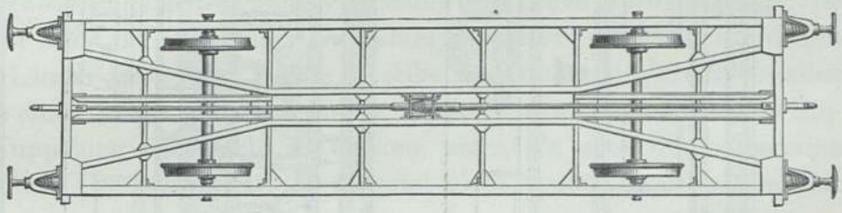


Fig. 1070. Untergestell mit zwei Achsen und festem Radstand (Grundriß).

Die Wagen bestehen aus dem *Untergestell*, einem kräftigen Rahmen aus Walzeisen, der zur Lagerung der Räder dient und gleichzeitig die Zug- und Stoßvorrichtungen trägt, und dem *Oberteil* oder *Wagenkasten*, der auf dem Untergestell befestigt ist. Bei Drehgestellwagen trägt das Untergestell an den Enden Zapfen, um die sich die beiden Drehgestelle drehen können. Fig. 1070 zeigt das Untergestell eines zweiachsigen Wagens; es besteht aus zwei kräftigen ⌊⌋-Eisen, den Längsträgern, die an den Enden durch die sogenannten *Pufferbohlen* verbunden sind. An diesen sitzen die beiden *Puffer*, die gegen den Rahmen zur Aufnahme von Stößen abgefedert sind. Der in der Fahrtrichtung linke Puffer hat einen flachen Teller, während der rechte gewölbt ist; bei zwei aneinanderstoßenden Fahrzeugen berührt also immer ein flacher Puffer einen gewölbten. Dies bezweckt, daß in Krümmungen sich die Puffer nicht an den Kanten sondern mehr nach der Mitte zu berühren, wodurch ungünstige Biegungsbeanspruchungen der Puffer vermieden werden. Damit der Rahmen bei auftretenden Stößen seine rechteckige Form beibehält, sind ferner schräge (Diagonal-) Versteifungen angebracht; zur besseren Auflagerung und Befestigung des Wagenkastens dienen außerdem eine Anzahl Querversteifungen, die gleichzeitig zur Anbringung der Gasbehälter, Bremsgestänge usw. mit benutzt werden. An der Außenseite der Längsträger sitzen die *Achshalter*, die den Lagerkasten als Führung dienen und die richtige Lage der Achsen unter dem Rahmen sichern. Über den Lagerkasten liegen die Federn, die ein unmittelbares Einwirken der Stöße während der Fahrt auf den Wagenkasten verhindern. Die Lager können sich zu diesem Zweck in den Achshaltern nach oben so viel verschieben, wie das Federspiel ausmacht.

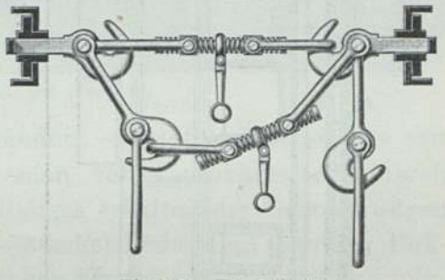


Fig. 1071. Kuppelung.

In der Längsrichtung läuft in der Mitte des Untergestelles die *Zugstange* hindurch, die an ihren Enden die in Fig. 1071 dargestellte Kuppelungsvorrichtung trägt. Der Wagen selbst ist, wie Fig. 1070 zeigt, in der Mitte federnd an der Stange befestigt, so daß beim Anziehen keine unmittelbaren Stöße auf den Wagenkasten gelangen können. Die *Kuppelung* ist bei europäischen Haupt-

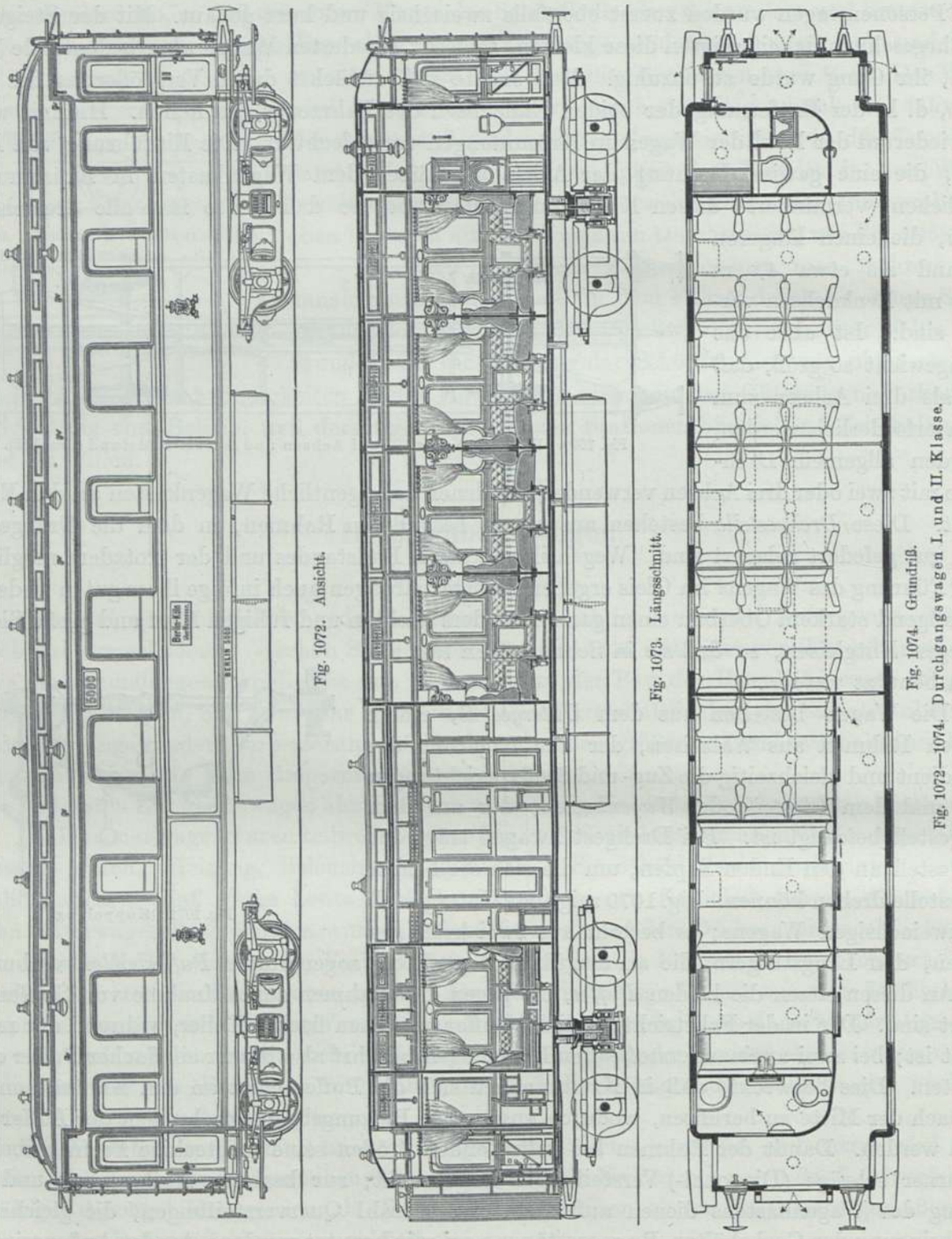


Fig. 1072. Ansicht. Fig. 1073. Längsschnitt. Fig. 1074. Grundriß.

Fig. 1072—1074. Durchgangswagen I. und II. Klasse.

bahnen durchweg als *Schraubenkuppelung* ausgebildet. Sie besteht aus einer *Haupt-* und einer *Hilfs-* oder *Notkuppelung;* die letztere soll nur beim Bruch der ersten in Tätigkeit treten. Das mittlere Glied wird aus einer Schraubenspindel mit Links- und Rechtsgewinde gebildet, die durch einen Hebel gedreht werden kann, wodurch die Kuppelung angespannt wird. Beim Verbinden zweier Wagen wird zunächst die Hauptkuppelung des einen Wagens in den Haken des zweiten

eingehakt und durch Drehen der Spindel angespannt, dann die Notkuppelung des zweiten Wagens lose in den Haken des ersten Wagens hineingelegt. Das Anspannen der Kuppelung bewirkt eine Milderung der Stöße beim Anziehen sowie beim Bremsen, da die Wagen nicht auflaufen können; es vermehrt jedoch den Widerstand des Zuges beim Durchfahren von Krümmungen. Güterzüge fahren daher im allgemeinen mit nicht angespannten Kuppelungen, während Personen- und Schnellzüge straff gekuppelt sind. Da beim Kuppeln zweier Wagen ein Arbeiter unter die Puffer kriechen muß, um an die Kuppelungshaken und -schrauben heranzukommen, ist der Vorgang mit Gefahren für das Leben und die Gesundheit des Arbeiters verknüpft. Man hat daher *automatische Kuppelungen* ersonnen, bei denen die Verbindung durch einfaches Aneinanderdrücken der Wagen geschieht, während das Lösen der Kuppelung von der Seite des Wagens erfolgen kann. Diese in den Vereinigten Staaten von Amerika gesetzlich vorgeschriebene Kuppelung hat sich in Europa noch keinen Eingang verschafft, da die Kosten für ihre Einführung ungeheuer groß sind und ferner zunächst eine Übergangskuppelung geschaffen werden müßte, die ein Kuppeln von Wagen mit der alten und der neuen Kuppelung gestattet. Da ferner die Wagen eines Landes auch in fremde Länder übergehen, müßte dieselbe Kuppelung gleichzeitig in allen Staaten eingeführt werden, die einen Wagenaustausch haben. Deshalb ist an eine allgemeine Einführung der automatischen Kuppelung noch nicht zu denken, zumal da auch die in Amerika übliche Kuppelung noch erhebliche Übelstände hat, die bis jetzt nicht beseitigt werden konnten.

Nach ihrem Verwendungszweck teilt man die Wagen ein in *Personen-*, *Gepäck-*, *Post-* und *Güterwagen*. Daneben gibt es noch Wagen für besondere Zwecke: Bahnmeisterwagen für Streckenbesichtigung; Tunnelbeleuchtungswagen; Wagen mit Vorrichtungen zum Messen der Zugkraft der Lokomotive usw., sogenannte Dynamometerwagen, usw.

Fig. 1075. Speisewagen (Grundriß).

2. Personenwagen.

Personenwagen sind *Abteilwagen* mit zahlreichen Einsteigetüren in den Seitenwänden, oder *Durchgangswagen* mit einem einzigen oder mehreren großen Räumen, zu denen man von Endbühnen aus durch zwei Stirnwandtüren gelangt. Zur Erzielung eines ruhigen Ganges erhalten die Personenwagen einen möglichst großen Radstand und Drehgestelle, gute (2—3fache) Federung, doppelte Fußböden und Seitenwände, Filz- oder Gummizwischenlagen zwischen Kasten und Untergestell usw. Das hölzerne Kastengerippe wird außen mit Blech verkleidet. Das meist mit einem Licht- und Lüftungsaufbau versehene Dach der Personenwagen ist zur Ableitung des Regenwassers leicht gewölbt, mit Segeltuch überzogen und mit Deckenmasse bestrichen. Während die *Abteilwagen* eine vollständige Trennung der „Raucher", „Nichtraucher" und „Frauen" zulassen, gewähren die *Durchgangswagen* einen freien Verkehr der Reisenden und des Dienstpersonals durch den ganzen Zug und ermöglichen eine zweckmäßige Anordnung der Aborte. Die Fig. 1072—1074 zeigen einen vierachsigen Durchgangswagen I. und II. Klasse mit Seitengang. Der Wagen hat 38 Sitzplätze; er ist im ganzen 19,44 m lang, der Wagenkasten 18,15 m, das Untergestell 18,14 m, äußerer Radstand 15,70 m lang. Den Grundriß eines *Speisewagens* zeigt Fig. 1075: 1 und 2 sind Speiseräume, davon einer für Reisende erster Klasse; 3 Aborte, 4 Küche, 5 Schränke, 6 Durchgang, 7 überbaute Plattformen. Nach der *inneren Ausstattung* kann man unterscheiden Personenwagen I., II., III., IV. Klasse oder solche mit mehreren Klassen, sowie *Speise-*, *Schlaf-*, *Hof-*, *Salon-*, *Aussichts-*, *Kranken-*, *Ärzte-*, *Besichtigungswagen* usw.

Die Wagen 4. Klasse, ebenso wie die bedeckten Güterwagen sind zum Teil mit besonderen Vorrichtungen für den Verwundetentransport im Krieg ausgerüstet (umlegbare Plattformgeländer, zweiteilige, breite Stirnwandtüren, Gestelle für Hängebetten usw.).

Die *Postwagen* sind mit zahlreichen Fächern zur Unterbringung der Briefe und Pakete, ferner mit Schreibplätzen für die Beamten, auch mit Vorrichtungen zur Beleuchtung und Heizung ausgestattet. Für das seitens der Bahn beförderte Reisegepäck dienen *Gepäck-* oder *Packwagen*. Sie werden zugleich zum Aufenthalt des Zugführers, des Packmeisters, des Wagenwärters usw. benutzt. Im Packwagen (zugleich Schutzwagen zwischen Lokomotive und Zug) ist meist auch ein Raum zur Unterbringung von Hunden und ein Abort vorhanden.

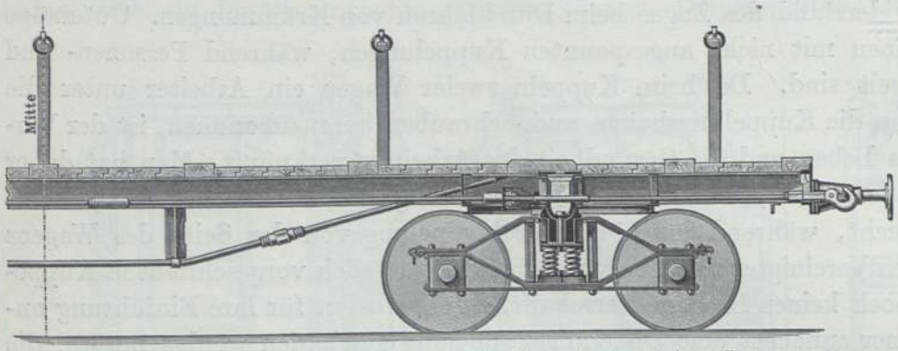


Fig. 1076. Plattformwagen (für lange Gegenstände) mit zwei vierrädrigen Drehgestellen.

Bisweilen sind bei geringerem Verkehr der Post- und der Gepäckraum in einem Wagen nebeneinander untergebracht.

3. Güterwagen.

Die Bezeichnung der Güterwagen erfolgt nach der *Bauart* (offene und bedeckte Güterwagen) oder nach dem *Verwendungszweck* (Spezialwagen). *Offene Güterwagen* kommen vor als *Plattformwagen*, *Hoch-* und *Niederbordwagen*, *Kohlen-*, *Koks-* und *offene Viehwagen*, ferner *Schemelwagen* mit Drehgestellen für Langholz u. dgl. (Fig. 1076) sowie gewöhnliche Erd- und Kieswagen *(Lowries* oder *Loren)*, ferner als Wagen für die Beförderung von Gefäßen mit chemischen Flüssigkeiten (sogenannte *Säurewagen*), von leeren oder gefüllten Kesseln *(Kesselwagen)*, von Kanonen usw. Diese Wagen müssen wegen der großen Ladegewichte viele Tragachsen haben. Die Firma Krupp besitzt zur Beförderung schwerer Küstengeschütze Wagen mit 16 Achsen, die Lasten bis zu 140 000 kg tragen können.

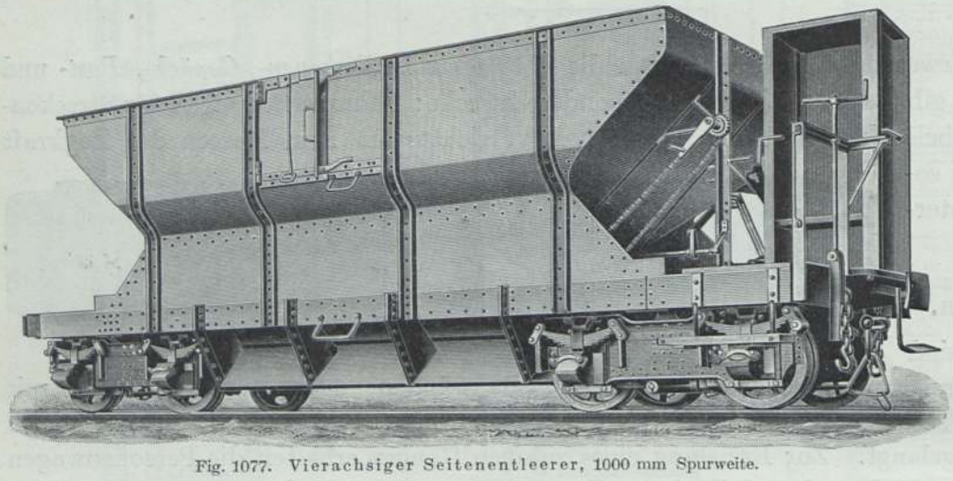


Fig. 1077. Vierachsiger Seitenentleerer, 1000 mm Spurweite.

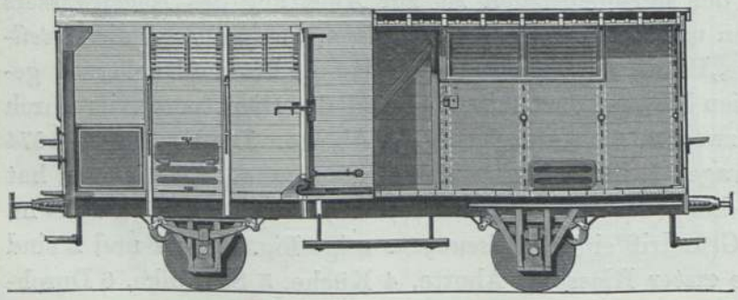


Fig. 1078. Bedeckter Viehwagen für Großvieh.

Zur Ersparnis von Kosten und Zeit für das Ausladen bestimmter Massengüter, wie Kohlen, Erze usw., werden neuerdings mit gutem Erfolg sogenannte *Selbstentlader* gebaut. Bei diesen Wagen (Fig. 1077) liegt der Wagenkasten so hoch, daß das Verladegut durch seitlich angeordnete Klappen von selbst aus dem Wagen herausrutscht. Zu diesem Zwecke hat der Kasten dreieckigen Querschnitt, die Klappen öffnen sich nach Auslösen einer Sperrklinke durch den Druck der Ladung von selbst. Die Entladung dieser Wagen geht ungemein schnell vor sich.

Bedeckte Güterwagen finden Verwendung zur Beförderung von Großvieh (Fig. 1078) und Kleinvieh *(Etagenwagen)*, ferner als *Heizwagen* und *Kühlwagen* für Bier, Milch, Butter, Fleisch, Fische, Geflügel usw. Weiter gibt es auch Wagen mit festen Behältern oder Kesseln *(Tankwagen)* für Petroleum, Spiritus, Teer usw. Die bedeckten Güterwagen sind großenteils darauf eingerichtet, für Kriegszwecke zur Beförderung von Mannschaften und Pferden verwendet zu werden (umlegbare Türvorleger, schließbare Fensteröffnungen, Holzleisten für Tornister, Gewehrrechen, Pferdebäume, Ringe usw.).

Die folgende Zusammenstellung gibt einige der wichtigsten Zahlen von europäischen und amerikanischen Personen- und Güterwagen.

Wagenart Pers.-W. = Personenwagen	Bahnverwaltung	Eisenbahn-Personen- und Güterwagen												
		Achszahl	Platzzahl bzw. Ladegewicht			Leergew. (kg)		Achsstand (mm)		Kastenlänge (mm)		Breite (mm)		Höhe (mm)
			I. Kl.	II. Kl.	III. Kl.	im ganzen	f. d. Platz bzw. f. 1 t Ladung	Drehgestell	ganz	licht	außen	innen	außen	
Pers.-W. (Abteile)	Paris-Orléans . .	2	—	—	70	11 600	166	—	6 800	—	10 900	—	—	—
dgl. (Abteile) . .	Kgl. Sächs. St.-B.	3	6	27	—	19 050	577	—	8 500	—	11 500	—	—	—
dgl. (Durchgg.) .	K. Ferd. Nord-B.	3	12	24	—	21 000	583	—	9 000	—	11 600	—	—	—
dgl. (Abteile) . .	Badische Staatsb.	2×2	—	—	74	30 000	406	2500	11 400	—	15 900	2470	2600	4140
dgl., Durchgg. (D)	K. Preuß. E.-Vw.	2×2	4	36	—	31 000	775	2500	12 000	—	17 000	2850	3000	—
dgl., Schlafw. (D)	Pullman	2×3	26	—	—	51 000	1960	3200	16 470	—	21 135	2725	—	4320
Bedeckte Güterw.	K. Preuß. E.-Vw.	2	15 000 kg			9 600	640	—	4 500	7 920	9 600	2740	3000	3437
Bedeckte Güterw.	Amerika	2×2	27 200 -			—	—	1525	8 845	10 160	10 370	2480	2630	3820
Petrol.-Kesselwag.	Amerika	2×2	30,4 cbm			8 700	—	1525	8 850	9 350	10 850	1980 Dm.		4100

Der Preis für Personenwagen schwankt zwischen etwa 7600 Mark (zweiachsiger Personenwagen 4. Klasse) und 46000 Mark (vierachsiger Personenwagen 1. und 2. Klasse); für gewöhnliche Güterwagen zwischen 2400 Mark (offener Güterwagen ohne Bremse von 6,8 m Kastenlänge) und 4500 Mark (vierachsiger, 12 m langer Plattformwagen mit zwei Drehgestellen ohne Bremse). Bedeckte Wagen für besondere Zwecke können selbstverständlich viel teurer sein.

4. Heizung und Lüftung der Eisenbahnwagen.

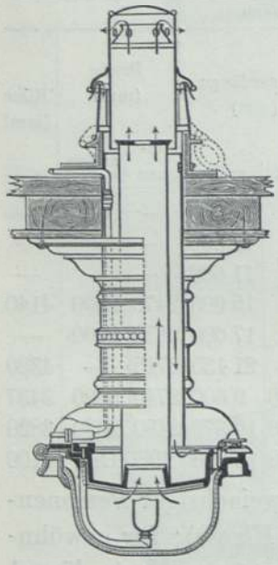
Heizung. Erst verhältnismäßig spät wurde die Heizung der Eisenbahnwagen im Winter eingeführt. Man begnügte sich anfänglich mit der einfachen Ofenheizung, durch die sich jedoch eine gleichmäßige Erwärmung des Wagens nicht erzielen ließ. Vielfach wurden auch in die Abteile des Wagens Wärmflaschen gestellt, die mit heißem Wasser oder Sand gefüllt waren und auf die die Reisenden ihre Füße stellen konnten. Ein bedeutender Fortschritt war die Einführung der Preßkohlenheizung bei der Rheinischen Eisenbahn im Jahre 1870: unter jeder Sitzbank war ein Blechkasten angeordnet, der von außen mit glühenden Preßkohlen gefüllt werden konnte. Diese Heizungsart ermöglichte eine ausreichende und gleichmäßige Erwärmung der Wagen, hatte jedoch den Nachteil der Feuergefährlichkeit und umständlichen Bedienung; außerdem konnte die Wärme vom Wageninnern aus nicht geregelt werden. Im Laufe der Zeit ist man daher auch von diesem Heizsystem abgegangen und hat fast allgemein auf Hauptlinien die *Dampfheizung* eingeführt, die den weitestgehenden Ansprüchen genügt.

Bei der *Hochdruckdampfheizung* gelangt aus dem Kessel der Lokomotive oder eines besonderen Heizwagens Dampf von 3—4 Atmosphären in eine unter den Wagen entlang laufende Leitung, an welche die in den Abteilen befindlichen Heizkörper einzeln angeschlossen sind. Diese Heizkörper bestehen aus einfachen zylindrischen Rohren, in die der hochgespannte Dampf eintreten kann, er gibt hierbei infolge der Ausstrahlung seine Wärme ab; das sich bildende Niederschlagswasser fließt durch die Anschlüsse der Rohre in die Leitung zurück und kann aus kleinen Öffnungen, die in den Kuppelungsköpfen der Schlauchverbindungen zwischen den Wagen angebracht sind, ins Freie entweichen. Erforderlich hierbei ist, daß das Hauptdampfrohr mit Gefälle nach den

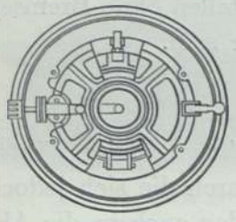
Enden zu verlegt ist. Durch einfache Stellvorrichtungen kann die Dampfzufuhr zu den Heizkörpern geregelt werden.

Bei der *Niederdruckheizung* sind sämtliche Heizkörper eines Wagens, die hier aus langen Röhren bestehen, hintereinander geschaltet; der Dampf wird vor Eintritt in die Heizkörper so stark gedrosselt, daß nur wenig Dampf aus dem Ende der Heizröhren entweichen kann.

Die vereinigte Hoch- und Niederdruckheizung, die neuerdings viel zur Einführung gelangt, verwendet beide Heizsysteme zusammen und hat dadurch den Vorteil weitestgehender Regulierfähigkeit. Die Hochdruckheizung kann hierbei vom Reisenden selbst nach Bedarf an- und abgestellt werden, während die Niederdruckheizung je nach der Witterung von dem Zugpersonal bedient wird. Die Niederdruckheizkörper sind derartig unterteilt, daß entweder nur eine Hälfte oder die ganze Heizung zur Wirkung gelangt.



Längsschnitt.



Grundriß.

Fig. 1079. Pintsch' Gaslampe für Eisenbahnwagen.

Neben der guten Wärmeabstufung hat die Dampfheizung noch den Vorteil des gänzlichen Ausschlusses der Feuersgefahr und des Fortfalles jeglicher Bedienung.

Lüftung. Die Lüftung der Wagen, die hauptsächlich während der wärmeren Jahreszeit erforderlich wird, kann durch im Dach angebrachte *Luftschieber* oder durch besonders aufgesetzte *Luftsauger* bewirkt werden, mittels derer die in den Wagen nach oben steigende warme Luft ins Freie befördert wird. Die Wirkung der Lüftungsvorrichtungen ist jedoch nicht immer befriedigend, da mit der in die Wagen eintretenden Frischluft Staub, Ruß usw. hineingelangt, was unter Umständen zu einer argen Belästigung für die Reisenden werden kann.

5. Beleuchtung der Wagen.

In den ersten Anfängen des Eisenbahnwesens beförderten die Eisenbahngesellschaften Personenzüge nur am Tage, wodurch eine Beleuchtung der Fahrzeuge unnötig war, und auch noch später, als schon Nachtzüge gefahren wurden, blieben die Wagen unbeleuchtet. Erst ganz allmählich wurde eine Wagenbeleuchtung eingeführt.

In dem Maße, wie sich dann die künstlichen Lichtquellen verbessert haben, sind sie auch für Eisenbahnzwecke benutzt worden. Von der einfachen Kerzenbeleuchtung anfangend, hat man Rüböl, Petroleum, Fettgas, Azetylen, Gasglühlicht und elektrisches Licht verwendet, von denen jetzt vorwiegend die beiden letztgenannten Beleuchtungsarten in Anwendung kommen. Gewöhnliches, aus Steinkohlen hergestelltes Leuchtgas eignet sich zur direkten Beleuchtung schlecht, da es zu diesem Zweck in Behältern unter hohem Druck mitgeführt werden muß; hierbei scheiden sich aber gewisse Bestandteile des Gases aus, wodurch es stark an Leuchtkraft einbüßt. Es wird daher meist das sogenannte *Fettgas* gebrannt. Der Firma Pintsch in Berlin gelang es gegen Ende der 1860er Jahre, aus Braunkohlenteerölen ein Gas herzustellen, das den zur Aufspeicherung in den Wagen nötigen Druck von 6 Atmosphären verträgt, ohne die erwähnten Übelstände zu zeigen. Es wird in besonderen Gasanstalten hergestellt und, auf 10 Atmosphären verdichtet, in große Behälter gedrückt. Von diesen gehen Leitungen zu sogenannten *Füllständern*, die ein Füllen der unter den Wagen angebrachten Gasbehälter mittels einer Schlauchleitung gestatten. Da der zum Brennen nötige Druck nur etwa 50 mm Wassersäule zu betragen braucht, muß zwischen dem Behälter, in dem ein Druck von 6 Atmosphären herrscht, und den Lampen ein Reduzierventil eingeschaltet werden, das den Behälterdruck auf den Lampendruck herunterdrosselt.

Zur Erzielung größerer Helligkeit versuchte man, dem Fettgas *Azetylen* beizumischen, was mit gutem Erfolge durchgeführt worden ist. Reines Azetylen kann für Eisenbahnbeleuchtungszwecke nicht verwendet werden, da es eine Verdichtung nicht ohne weiteres

verträgt; es ist dann nämlich ein sehr gefährlicher Körper, der leicht explodiert und bereits viele Unfälle veranlaßt hat.

Eine von Pintsch für Eisenbahnwagen konstruierte Lampe zeigt Fig. 1079. Die zur Verbrennung erforderliche Luft wird in der Lampe vorgewärmt, indem die Luft den von den heißen Verbrennungsgasen durchzogenen Schornstein in der Richtung der eingezeichneten Pfeile umspülen muß. Diese Lampen verbrauchen etwa 20 l Gas in der Stunde; die Gasbehälter eines Wagens sind so bemessen, daß sie für etwa 30—40 Stunden ausreichen.

Die Erfindung des *Gasglühlichtes* und insbesondere des *hängenden* Gasglühlichtes veranlaßte bald dessen Einführung zur Beleuchtung der Eisenbahnfahrzeuge, da es bedeutend mehr Licht gibt und außerdem weniger Gas verbraucht. Die Beleuchtungsdauer der Wagen kann dadurch verlängert werden; die Lampen können ferner reines Fettgas brennen, da es ja nicht mehr auf die *Leuchtkraft* des Gases ankommt, sondern nur auf die *Wärmeentwickelung*. Pintsch ordnet unter den Glühkörpern einen Fangekorb an, in den der Glühkörper, falls er zerbrechen sollte, hineinfallen kann; dies hat den Vorteil, daß der Strumpf auch zerbröckelt noch weiterleuchtet, bis er gelegentlich ausgewechselt werden kann.

Zur Vermeidung der bei Zusammenstößen zu Feuersgefahren Veranlassung gebenden Gasbehälter hat man *elektrische Beleuchtung* eingeführt. Es werden dabei die in den Abteilen angebrachten Lampen meist von Akkumulatorenbatterien gespeist, die während der Fahrt durch Dynamomaschinen geladen werden. Diese werden entweder durch eine besondere Dampf- oder Gasmaschine angetrieben, oder es erhält jeder Wagen eine besondere kleine Stromerzeugungsmaschine, deren Anker von der Achse des Wagens selbst in Umdrehung versetzt wird. Die Dynamomaschine gibt natürlich bei Stillstand des Wagens keinen Strom ab; da ferner die Spannung sich mit der Umdrehungszahl des Ankers, also auch mit der Geschwindigkeit des Wagens, ändert, sind verwickelte Schaltungen und besondere Einrichtungen erforderlich, so daß die Betriebssicherheit noch etwas zu wünschen übrigläßt. Es wird daher vielfach reine Akkumulatorenbeleuchtung gewählt, bei der an gewissen Stationen fertig geladene Akkumulatoren in die Wagen geschoben werden, die für bestimmte Zeit den Lampenstrom liefern. Infolge der Erschütterungen, welche die Batterien beim Transport und auch während der Fahrt erleiden, ist ihre Lebensdauer verhältnismäßig gering, so daß die Unterhaltungskosten hoch sind.

6. Eisenbahnbremsen.

Der Zweck der *Bremsen* bei Eisenbahnfahrzeugen ist der, entweder die Fahrgeschwindigkeit zu *regeln* oder sie gänzlich zu *vernichten*. Während bei Zügen, die mit geringerer Geschwindigkeit verkehren, z. B. bei Güterzügen und Militärzügen, noch vielfach Handbremsen an den einzelnen Wagen verwendet werden, ist man bei schnellerfahrenden Zügen fast allgemein zu *durchgehenden* Bremsen übergegangen. Man versteht darunter solche, bei denen die Bremswirkung des ganzen Zuges von einer einzigen Stelle eingeleitet werden kann, wodurch natürlich eine bedeutend größere Betriebssicherheit gegenüber den Handbremsen erzielt wird. Außer dieser Eigenschaft verlangt man von den Bremsen, daß bei Zugtrennungen *selbsttätig* Bremswirkung beider Teile eintritt, und daß ferner der Reisende selbst von seinem Abteil aus den Zug zum Halten bringen kann.

Man wendet hauptsächlich zwei Arten von Bremsen an, die beide als Kraftmittel Luft verwenden, die *Luftsauge-* und die *Luftdruckbremsen*, deren Hauptvertreter die *Hardy-* und die *Westinghousebremse* sind. Hardybremsen werden besonders in Österreich, England und Schweden benutzt, Westinghousebremsen in Deutschland, Rußland und Amerika.

Gemeinsam ist beiden Bremssystemen eine unter dem ganzen Zuge entlang laufende Luftleitung, an die die einzelnen Bremsvorrichtungen angeschlossen sind. Die einzelnen Wagen werden durch biegsame Kuppelungsschläuche verbunden; das vordere Ende der Leitung geht zum Führerstand der Lokomotive, von wo die Bremsen des ganzen Zuges für gewöhnlich von dem Lokomotivführer in Tätigkeit gesetzt werden können.

Bei der Luftsaugebremse wird in der Leitung und in den Bremszylindern eine Luftleere

mittels einer auf der Lokomotive angebrachten Dampfstrahlsaugpumpe erzeugt; das Bremsen erfolgt durch Einlassen von Luft in die Leitung, wodurch die Luftleere zerstört wird. Bei der Druckluftbremse ist dagegen die Leitung mit Preßluft von etwa 5 Atmosphären gefüllt, eine Bremsung wird hier durch Herauslassen von Luft aus der Leitung bewirkt.

Auf Neben- und Kleinbahnen wird noch vielfach die *Heberleinbremse* angewendet, da ihre Bauart und Unterhaltung einfacher als die der genannten Bremsen ist. Bei ihr wird die lebendige Kraft des Zuges selbst zur Bremsbetätigung herangezogen. Fig. 1080 zeigt ein schematisches Bild der Heberleinbremse, aus der die Wirkungsweise der Bremseinrichtung klar ersichtlich ist. Von der Lokomotive wird ein Seil über sämtliche Bremswagen des Zuges geleitet. Ist das Seil straffgezogen, so wird an jedem Wagen eine an einem besonderen Gestell gelagerte Friktionsrolle in der Schwebe gehalten. Beim Nachlassen des Seiles nähert sich die Rolle einer auf der Wagenachse befestigten Bremsscheibe, die sich dadurch mitdreht. Ein auf der Achse der Friktionsrolle befestigtes kleines Zahnrad macht die Bewegung mit und dreht gleichzeitig ein größeres herum. Hierdurch wickelt sich auf die Achse des großen Zahnrades eine Gallsche Gelenkkette auf, die am anderen Ende mit dem Bremsgestänge verbunden ist und so die Bremsklötze anzieht. Beim Straffziehen des Seiles hebt sich dann die Friktionswelle von der Bremsscheibe wieder ab, während eine starke Feder die Klötze abzieht und gleichzeitig die Gelenkkette von der Achse abwickelt. Für gewöhnlich wird die Bremsung von dem Lokomotivführer oder, auf ein Signal von ihm, vom Zugbegleitpersonal im Packwagen des Zuges eingeleitet, indem durch ein Windwerk das Seil nachgelassen wird. Außerdem können die Reisenden bei Gefahr die Bremse selbst betätigen.

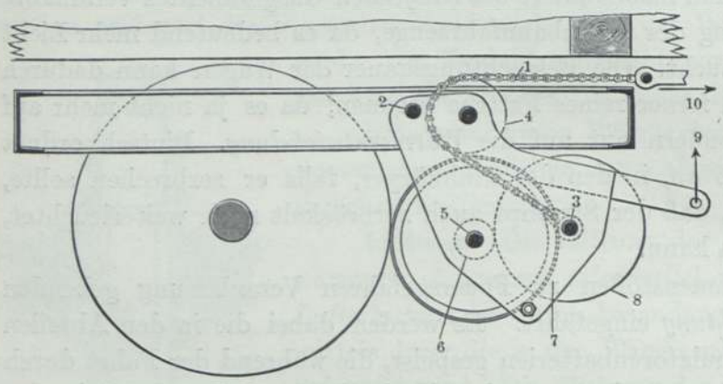


Fig. 1080. Heberleinbremse (1 Gallsche Kette, 2 Drehpunkt des Friktionskastens, 3 Kettenwelle, 4 Leitrolle, 5 Friktionsrollenwelle, 6 Zahnrad, 7 Friktionskasten, 8 Zahnrad, 9 Angriffspunkt des Zugseils, 10 Bremsgestänge).

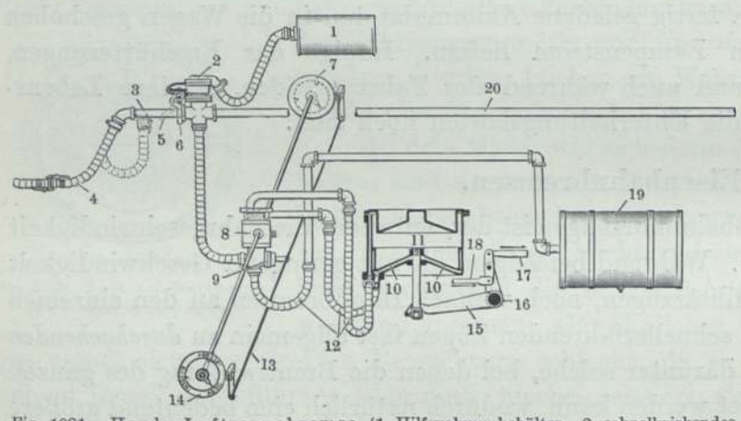


Fig. 1081. Hardy-Luftsaugebremse (1 Hilfsvakuumbehälter, 2 schnellwirkendes Bremsventil, 3 Blindkuppelung, 4 Kuppelungsschlauch, 5 Hahnstellung für einfache, 6 Hahnstellung für automatische Bremsung, 7 Umstelltafel mit Zeiger, 8 Umschalthahn, 9 Kugelventil [Auslösventil], 10 Unterkammer, 11 Oberkammer, 12 Gummischläuche [mit Spiraldrahteinlage], 13 Drahtzug zum Auslösen, 14 Umstelltafel mit Zeiger, 15 Bremswinkelhebel, 16 Bremswelle, 17, 18 Bremsgestänge, 19 Vakuumbehälter, 20 Hauptvakuumleitung).

Eine Zusammenstellung der Einzelteile der selbsttätigen *Hardybremse* zeigt Fig. 1081. Jeder Wagen besitzt einen mit dem Bremszylinder verbundenen Vakuumbehälter; ein auf der Lokomotive befindlicher Luftsauger stellt in diesem Behälter eine Luftleere von etwa 50—55 cm Quecksilbersäule her. Der Bremszylinder enthält einen durch mitrollende Gummiringe abgedichteten Bremskolben, der den Zylinder in eine Oberkammer und eine Unterkammer trennt. Das an jedem Wagen ebenfalls angebrachte Schnellbremsventil wird für gewöhnlich nicht betätigt, es funktioniert nur bei Notbremsungen. Während der Fahrt besteht in allen Teilen der Bremse ein gleichhohes Vakuum. Der Kolben sinkt durch sein Eigengewicht in den Bremszylinder herab, die Bremsen sind dabei gelöst. Es steht jetzt die Unterkammer durch einen Umschalthahn mit der Hauptleitung, und gleichzeitig Oberkammer, Unterkammer und Vakuumbehälter durch ein Kugelventil in Verbindung. Bei Betriebsbremsungen kann der Führer durch ein auf dem Führerstand angebrachtes

Ventil Luft in die Hauptleitung einlassen; da die Unterkammer mit der Hauptleitung verbunden ist, wird der Druck hier etwas erhöht gegenüber dem in der Oberkammer. Der Bremskolben geht demzufolge nach oben und zieht die Bremsen an. Gleichzeitig wird das erwähnte Kugelventil auf seinen Sitz gepreßt, wodurch beide Kammern voneinander abgetrennt werden. Je nach der Menge der einströmenden Luft kann der Führer eine stärkere oder schwächere Bremswirkung erzielen.

Läßt man dagegen plötzlich eine große Menge Luft in die Leitung eintreten, wie es bei *Notbremsungen* entweder vom Führer oder auch von einem Reisenden geschehen kann, so tritt das erwähnte schnellwirkende Bremsventil in Tätigkeit, das die Bremswirkung insofern noch verstärkt, als es in die Unterkammer jedes Bremszylinders Außenluft unmittelbar eintreten läßt. Zur Erzielung einer Notbremsung sind in den Wagenabteilen Handgriffe angebracht. Durch Ziehen an diesen zerstört man die Luftleere in den Unterkammern, wodurch die schnellwirkenden Bremsventile in der bereits geschilderten Weise in Tätigkeit gesetzt werden und eine kräftige Bremswirkung erzielt wird.

Ein Lösen der Bremsen findet dadurch statt, daß der Führer mittels seines Luftsaugers die Luft aus der Hauptleitung und den Unterkammern heraussaugt und dadurch den anfänglichen Zustand wieder herstellt. Um bei einem von der Lokomotive abgekuppelten Fahrzeug die gegebenenfalls angezogenen Bremsen lösen zu können, ist an dem Kugelventil ein Hahnzug angebracht. Durch Ziehen an diesem wird das Ventil von seinem Sitz abgehoben, wodurch sich der Druck oberhalb und unterhalb des Kolbens ausgleicht und die Bremsen ohne Mitwirkung des Führers gelöst werden.

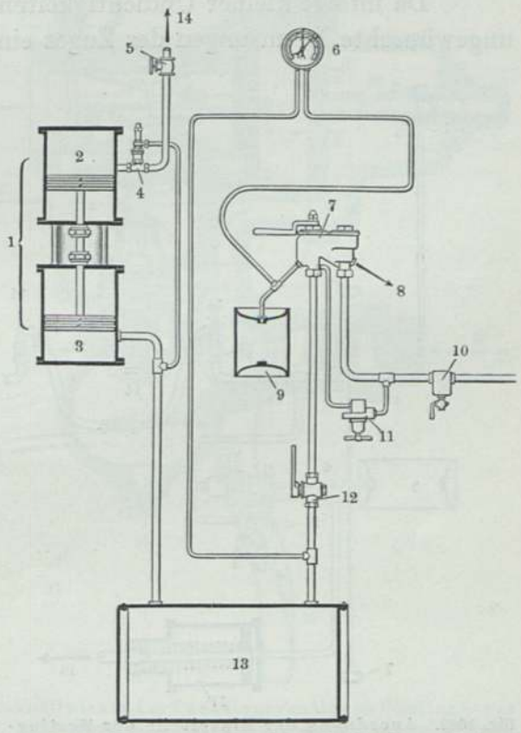


Fig. 1082. Anordnung der Einzelteile der Westinghousebremse an der Lokomotive (1 Dampfluftpumpe, 2 Dampfzylinder, 3 Luftzylinder, 4 Luftpumpenregler, 5 Dampfabsperrventil, 6 Doppelluftdruckmesser, 7 Führer-Bremsventil, 8 Ausblasöffnung, 9 Bremsventil-Luftbehälter, 10 Tropfbecher [in der Regel am Tender angebracht], 11 Leitungsdruckregler, 12 Absperrhahn, 13 Hauptluftbehälter, 14 Dampfleitung zum Kessel).

Der in Fig. 1081 mit dargestellte Umschalthahn (8) ermöglicht drei Stellungen: bei der ersten ist die Bremseinrichtung von der Hauptleitung abgesperrt, so daß die Bremse ausgeschaltet ist; bei der zweiten ist außer der Betriebsbremsung noch die oben beschriebene Notbremsung möglich; in der dritten Stellung ist die Notbremseinrichtung abgestellt. Bei Zugtrennungen löst sich die Verbindung der Schlauchkuppelungen der Wagen, wodurch eine große Menge Luft in die Leitungen einströmt und eine kräftige Schnellbremsung beider Zugteile eintritt.

Die *Luftdruckbremse* von *Westinghouse* ist in ihrer Bauart vielteiliger als die Luftsaugebremse. Zur Erzeugung der für die Bremswirkung nötigen Druckluft ist auf der Lokomotive eine durch Dampf betriebene Luftpumpe angebracht, die, wie Fig. 1082 zeigt, den an geeigneter Stelle angeordneten Hauptluftbehälter von etwa 300—400 l Inhalt mit Druckluft von 6,5 Atmosphären anfüllt. Fig. 1082 stellt die Anordnung der Einzelteile der Westinghousebremse auf der Lokomotive dar. Dem Führer bequem zur Hand liegt das Führerbremsventil, das fünf verschiedene Hauptstellungen zuläßt.

1. *Füllstellung:* Hauptluftbehälter und Leitung stehen unmittelbar in Verbindung, so daß letztere mit Druckluft gefüllt wird.

2. *Fahrstellung:* Hauptluftbehälter und Hauptleitung stehen nur durch den sogenannten Leitungsdruckregler (11) in Verbindung, der den Druck in der Leitung auf der gewünschten Höhe hält, falls er sich durch Undichtigkeiten vermindert.

3. *Abschlußstellung:* alle Verbindungen sind abgesperrt.

4. *Betriebsbremsstellung:* unter Abschluß des Hauptluftbehälters kann Druckluft aus der Leitung ins Freie entweichen.

5. *Notbremsstellung:* Wirkung wie unter 4, nur entweicht mehr Luft aus der Leitung.

Am Führerbremsventil ist außerdem noch ein Ausgleichventil angebracht, das bei Betriebsbremsungen eine gleichmäßigere Druckverminderung in der Hauptleitung zwecks Erzielung einer sanfteren Bremswirkung ermöglicht. Zu diesem Ausgleichventil gehört ferner noch ein kleiner Bremsventilluftbehälter. Ein Doppelluftdruckmesser gestattet die Ablesung des Drucks in der Leitung und in dem Hauptluftbehälter; ersterer soll etwa 5 Atmosphären, letzterer 6,5 Atmosphären betragen.

Da infolge kleiner Undichtigkeiten der Druck in der Leitung sinken könnte, wodurch dann ungewünschte Bremsungen des Zuges eintreten würden, ist der erwähnte *Leitungsdruckregler* eingebaut, der den Druck in der Hauptleitung bei Stellung 2 des Führerbremsventils auf obengenannter Höhe hält. Um dem Führer die Arbeit zu ersparen, nach jeder Bremsung den Hauptluftbehälter durch Anstellen der Luftpumpe wieder mit dem vorgeschriebenen Druck zu füllen, hat man selbsttätige Luftpumpenregler erdacht, die die Luftpumpe von selbst in Gang setzen, sobald der Druck im Hauptluftbehälter unter 6,5 Atmosphären sinkt.

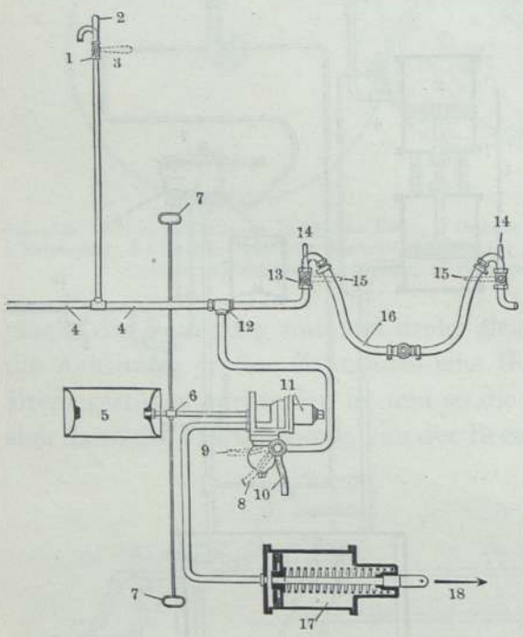


Fig. 1083. Anordnung der Einzelteile der Westinghousebremse an den Fahrzeugen (1 Schaffnerhahn, 2 Hahnstellung geschlossen, 3 Hahnstellung offen, 4 Hauptluftleitung, 5 Hilfsluftbehälter, 6 Auslösventil, 7 Drahtzug für das Auslösventil, 8 Hahnstellung auf Leitung, 9 Hahnstellung auf gewöhnliche Bremse, 10 Hahnstellung auf Schnellbremse, 11 Funktionsventil, 12 Staubfänger, 13 Kuppelungshahn, 14 Kuppelungshahn geschlossen, 15 Kuppelungshahn offen, 16 Luftschlauch, 17 Bremszylinder, 18 Bremsgestänge).

Der in Fig. 1082 noch sichtbare Tropfbecher dient zur Abscheidung von Öl, Wasser u. dergl. aus der Druckluft, damit die Hauptleitung von diesen Verunreinigungen freigehalten wird. An den Tropfbecher schließt sich die eiserne Hauptleitung an, die zu allen mit Bremsen versehenen Fahrzeugen führt (s. Fig. 1083). Gummischläuche mit leicht lösbaren Kuppelungsköpfen zu den Enden vermitteln die Verbindung zwischen den einzelnen Wagen.

Durch einen Staubfänger gelangt nun die Druckluft in das sogenannte *Funktionsventil* (Fig. 1084), das einen der sinnreichst ausgedachten Teile der Westinghousebremse bildet. Es besteht aus einem gußeisernen Gehäuse, das außer dem Anschluß an die Hauptleitung noch Verbindungen mit einem Hilfsluftbehälter und dem Bremszylinder zeigt. In dem Gehäuse sind eingebaut: der Ventilkolben 5, der Schieber 6 mit dem Abstufungsventil 7, die Graduierstange 21 mit Spiralfeder 22 und Führung 4, der Nebenkolben 13, das Mittelventil 18 mit Dichtungsscheibe 15, das Rückschlagventil 19 mit unterer Spiralfeder 20 und Zusatzfeder 24, ein Dreiweghahn 26 und ein vor dem Anschluß der Hauptleitung angebrachtes Drahtsieb 25.

In dem erwähnten Hilfsluftbehälter wird die zur jedesmaligen Bremsung erforderliche Luft aufgespeichert. Zur Bremseinrichtung gehört ferner der Bremszylinder mit Kolben, an dessen Stange das Bremsgestänge befestigt ist. Ein mit Handgriff versehenes Auslöseventil gestattet, einen gebremsten Wagen zu entbremsen, indem man die Preßluft aus dem Hilfsluftbehälter entweichen lassen kann.

In allen Abteilen des Wagens befinden sich an der Decke, dem Reisenden zugänglich, Griffe; durch Ziehen an diesen kann der Reisende ein *Notbremsventil* öffnen, wodurch aus der Hauptleitung, wie bei einer Notbremsung durch den Führer, Druckluft entströmt und die Bremsen kräftig angezogen werden.

Die Wirkungsweise der automatischen Luftdruckbremse ist nun folgende: Nachdem der Führer den Hauptluftbehälter auf der Lokomotive mit Preßluft von vorschriftsmäßiger Spannung gefüllt hat, bringt er das Führerbremsventil in Füllstellung. Die Preßluft gelangt dadurch aus dem Hauptluftbehälter in die Hauptleitung und die daran angeschlossenen Funktionsventile. In diesen geht sie durch den Dreiweghahn 26 und den Kanal 1, die Öffnungen 2—2 vor den Hauptkolben 5, den sie in die gezeichnete Stellung nach links drückt. Durch Nuten 3 und 8 gelangt sie dann über den Schieber 6 hinweg in den Hilfsluftbehälter. Der Schieber 6 hat hierbei eine derartige Stellung, daß die Höhlung 9 in ihm den zum Bremszylinder führenden Kanal 10 mit dem ins Freie führenden Kanal 11 verbindet, so daß das Innere des Bremszylinders mit der Außenluft in Verbindung steht, die Bremsen also gelöst sind.

Bei einer gewöhnlichen Betriebsbremsung vollzieht sich dann folgender Vorgang. Der Führer stellt sein Bremsventil auf Betriebsbremsstellung, bis sich der Druck in der Hauptluftleitung, wie er an dem Luftdruckzeiger ablesen kann, um etwa ½ Atmosphäre ermäßigt hat. Da dann in den einzelnen Hilfsluftbehältern ein Überdruck gegenüber dem Druck in der Leitung vorhanden ist, wird sich der Kolben 5 nach rechts bewegen, wo der geringere Druck der Hauptleitung herrscht. Er schließt dann zunächst die Nut 3 und hebt das Abstufungsventil 7 von seinem Sitz ab, so daß Druckluft durch die kleine Öffnung 12 in den Kanal 14 gelangt. Geht nun der Hauptkolben weiter, so nimmt schließlich die Nase 16 den Schieber mit, bis der Kanal 14 über dem zum Bremszylinder führenden Kanal 10 steht. Es gelangt dann die Druckluft aus dem Hilfsluftbehälter durch 12, 14, 10, 33 in den Bremszylinder, dessen Verbindung mit der Außenluft durch die Schieberbewegung unterbrochen ist. Die Bremsen werden also angezogen. Ist nun der Druck im Hilfsluftbehälter etwas unter den in der Hauptleitung gesunken, so geht der Kolben eine Kleinigkeit nach links und schließt damit das Abstufungsventil wieder, ohne den Schieber zu bewegen; die Bremsung hält demnach an.

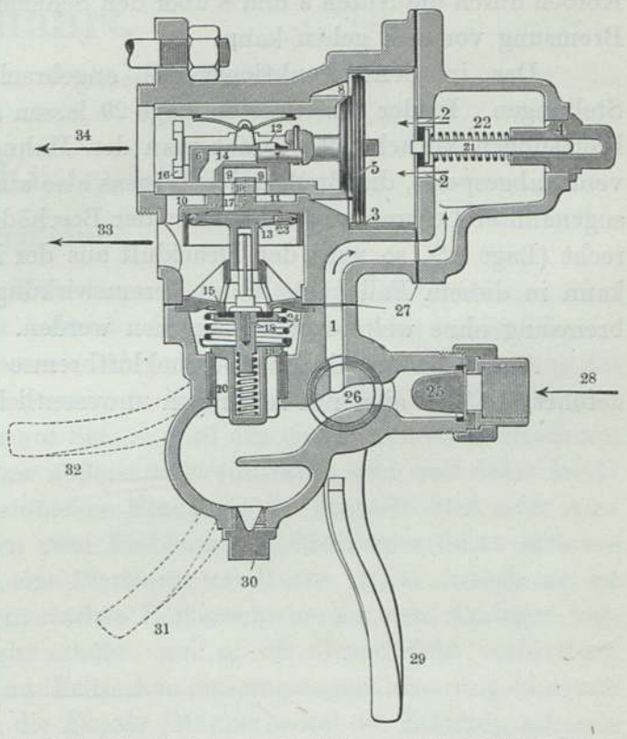


Fig. 1084. Schnellwirkendes Funktionsventil von Westinghouse (1 Luftkanal, 2 Luftöffnungen, 3 Nut, 4 Graduierstangenführung, 5 Ventilkolben, 6 Schieber, 7 Abstufungsventil, 8 Nut, 9 Schieberhöhlung, 10 Kanal zum Bremszylinder, 11 Kanal ins Freie, 12 Öffnung im Schieber 6, 13 Nebenkolben, 14 Kanal im Schieber 6, 15 Dichtungsscheibe, 16 Nase an der Kolbenstange, 17 Öffnung über dem Nebenkolben 13, 18 Mittelventil, 19 Rückschlagventil, 20 Spiralfeder, 21 Graduierstange, 22 Spiralfeder, 23 Öffnung im Kolben 13, 24 Zusatzfeder, 25 Sieb, 26 Dreiweghahn, 27 Lederdichtung, 28 von der Hauptluftleitung, 29 Schnellbremsstellung, 30 Entwässerungsschraube, 31 Leitungsstellung, 32 gewöhnliche Bremsstellung, 33 zum Bremszylinder, 34 zum Hilfsluftbehälter).

Wird statt der geringen Druckverminderung von ½ Atmosphäre der Druck in der Hauptleitung um etwa 1—2 Atmosphären erniedrigt, was der Führer durch Stellen des Bremsventils in die Notbremsstellung, oder ein Reisender durch Ziehen des Notbremsgriffes bewirken kann, so ereignet sich folgendes: Der Kolben 5 geht infolge des eintretenden großen Druckunterschiedes vor und hinter dem Kolben sofort in seine äußerste Endlage nach rechts, indem er sich an die federnde Graduierstange 21 anlegt; der von ihm mitgenommene Schieber kommt dabei in eine solche Lage, daß die im Hilfsluftbehälter enthaltene Luft durch die Öffnung 17 über den Nebenkolben 13 gelangen kann. Dieser wird dadurch heruntergedrückt und hebt gleichzeitig das Mittelventil 18 von seinem Sitz ab. Die Druckluft in der Hauptleitung kann nun das Ventil 19 heben und durch 18 unmittelbar in den Bremszylinder strömen. Infolge der großen Durchgangsquerschnitte erfolgt ein sofortiges, kräftiges Anziehen sämtlicher Bremsen des ganzen Zuges. Gleichzeitig strömt aber auch Luft aus dem Hilfsluftbehälter durch die im Kolben 13

befindliche kleine Öffnung 23 in den Bremszylinder ein; ist dann der Druck im Hilfsluftbehälter, der den Kolben 13 herunterdrückt, gleich dem in der Bremsleitung geworden, so hebt sich der Kolben 13 wieder, und das Ventil 18 schließt sich infolge des Druckes der beiden Federn 20 und 24.

Das Lösen der Bremsen geschieht in der Weise, daß der Führer durch Stellen seines Bremsventils in Füllstellung den Druck in der Leitung wieder erhöht. Die Preßluft gelangt von der Hauptleitung durch Kanal 1 und Öffnungen 2 zum Hauptkolben, schiebt diesen in seine linke Endlage, wie gezeichnet, zurück; Kanal 17 wird durch 9 mit der freien Luft (Kanal 11) in Verbindung gesetzt, und gleichzeitig der Bremszylinder durch 10 und 11 ebenfalls mit der freien Luft verbunden, die Bremsen lösen sich infolgedessen. Die Preßluft gelangt weiter aus dem Raum vor dem Kolben durch die Nuten 3 und 8 über den Schieber in den Hilfsluftbehälter, so daß nun eine neue Bremsung vor sich gehen kann.

Der in dem Funktionsventil angebrachte Dreiweghahn gestattet drei verschiedene Stellungen. In der gezeichneten Lage 29 lassen sich die eben beschriebenen Betriebs- und Notbremsungen vornehmen. Dreht man den Hahngriff um 45° (Lage 31), so ist das Funktionsventil abgesperrt, die Bremse des Wagens also außer Tätigkeit gesetzt: der Wagen dient nur als sogenannter Leitungswagen im Falle der Beschädigung der Bremse. Stellt man den Hebel wagerecht (Lage 32), so wird der Druckluft aus der Leitung der Weg zum Ventil 19 versperrt; es kann in diesem Fall keine Schnellbremswirkung erzielt, dagegen eine gewöhnliche Betriebsbremsung ohne weiteres vorgenommen werden.

Außer der Westinghouse-Druckluftbremse sind noch einige andere Druckluftbremsen eingeführt, die sich aber nur in einigen unwesentlichen Punkten von dieser unterscheiden.

Schiffahrt.

Von Admiralitätsrat G. Wislicenus, Berlin.

A. Boote und Küstenfahrzeuge.

I. Allgemeines.

Die einfachsten Schwimmkörper, die den Menschen auf der Wasseroberfläche tragen, sind Hölzer verschiedener Art, Größe und Form. Der Auftrieb leichter Holzarten oder hohler Stämme ist jedem Naturvolk bekannt und wird wohl schon seit Jahrhunderttausenden zur Herstellung der einfachsten Fahrzeuge der Schiffahrt, der *Flöße*, ausgenutzt. Neben dem Floß ist der *Einbaum* das älteste Fahrzeug auf Binnengewässern und auch auf See; er wird aus einem starken Baumstamm ausgehöhlt. Da die großen, sehr langen Einbäume äußerst rank (unstabil) sind und daher leicht kentern (umschlagen), haben viele Völker die einfachen Einbäume zu Doppelbooten oder Auslegerbooten entwickelt. Beim *Doppelboot* werden zwei Einbäume nebeneinander durch mehrere Querbalken verbunden; oft tragen diese Balken eine Plattform mit Hütte. Beim *Auslegerboot* ist ein Einbaum durch mehrere Querhölzer mit einem starken Balkenschwimmer, dem Ausleger, verbunden, der die Standfestigkeit des Ganzen sehr erhöht, weil er die Grundfläche verbreitert. In waldarmen Gegenden sind *Fellboote* und Flöße aus Fellsäcken (zusammengenähten aufgeblasenen Tierhäuten) weit verbreitet; dazu gehören z. B. die *Kajaks* (Männerboote) der Eskimos, schmale und langgestreckte, meist nur für einen Mann bestimmte Boote; ihr Holzgerippe ist mit Robbenfellen bezogen, deren Nähte wasserdicht sind. Oben bleibt nur eine Öffnung für den Ruderer, die noch durch den sackartigen Rand fest und wasserdicht mit dem Leib verschlossen wird. Der Eskimo sitzt mit dem Gesicht nach vorn flach auf dem Boden des Bootes und bewegt es mit einem kurzem Doppelruder vorwärts. Die *Umiaks* (Weiberboote) der Eskimos sind breitere, offene Fellboote mit Kiel und Spanten aus Treibholz, überzogen mit etwa sechs Robbenfellen. Bei Jägervölkern sind auch leichte *Rindenboote* im Gebrauch, entweder aus einem großen Rindenstück gefertigt oder aus mehreren Rindenstreifen zusammengenäht und durch leichte Spreizlatten oder Stangengerippe versteift *(Kanus)*. An diese Rindenboote und an die Kanus aus Lattengestell mit Überzug aus geteertem oder geöltem Segeltuch schließen sich dann die eigentlichen Holzboote an, z. B. der japanische *Sampan* (Dreiplankenkahn), der aus drei starken Brettern, einem als Boden, zwei als Seitenwände, zusammengefügt wird. Er hat einen flachen, schnabelförmigen Bug und glattes Heck, letzteres durch ein Querbrett gebildet. Holzpflöcke und Holzkeile halten die Bretter zusammen. Große Sampans aus mehreren Planken sind ähnlich den *Flußkähnen* im deutschen Binnenlande, die auch flachbodig, ohne Kiel, gebaut werden und als Fähren wie auch zum Warentransport dienen.

Küstenfahrzeuge wurden schon im Altertum kräftiger gebaut als die Flußfahrzeuge, weil sie den heftigen Stoßbewegungen des Seeganges standhalten müssen. Die Drachenboote der alten nordischen Wikinger sind die ältesten seetüchtigen Fahrzeuge dieser Art. Ein im Nydamer Moor an der Ostküste Schleswigs gefundenes *Wikingboot* ist 24 m lang, 3,5 m breit. Sein

Eichengerippe zeigt einen kräftigen Kiel mit hohem, leicht gekrümmtem Vor- und Achtersteven und vielen, der scharfen Bootsform entsprechend gekrümmten Spanten; darüber sind starke Eichenplanken mit eisernen Nägeln befestigt. Das Boot ist klinkergebaut, d. h. seine Außenhautplanken greifen stufenförmig übereinander, genau wie noch heute die Ruderboote in Norwegen gebaut werden. Der beste Beweis für die Zweckmäßigkeit dieser Form der Kielboote ist die Tatsache, daß die Form länger als ein Jahrtausend fast unverändert blieb und heute noch beim Bau von Schiffsbooten, Fischer- und Küstenfahrzeugen wie auch von größeren Seeschiffen verwendet wird.

II. Bootsbau.

Der Bootsbau hat sich zu einem Sonderzweig des Schiffbaugewerbes entwickelt. Die meisten hölzernen Boote, Küsten- und Fischerfahrzeuge sind als *Klinkerboote* oder *Kraweelboote* gebaut; sie unterscheiden sich, abgesehen von der Form, nur durch die Anordnung der Außenhautplanken. Der Kiel besteht aus einer kräftigen Planke mit seitlichen *Sponungen* (Auskehlungen) zum Einsetzen der Bodenplanke der Außenhaut. Der *Vorsteven* (vordere, senkrecht oder schräg aufsteigende Verlängerung des Kiels) ist ein Knie oder krummes Plankenstück ebenfalls mit Sponungen. Der *Achtersteven* (hintere aufsteigende Kielverlängerung) ist meist gerade, trägt im oberen Teil ein ovales Brett, den *Spiegel*, der das stumpfe, glatte *Heck* des Bootes bildet. Auf den Kiel werden zunächst die Bootsrippen, *Spanten* genannt, aufgesetzt, die bei größeren Booten meist aus eichenen Krummhölzern bestehen. Der Spantenabstand richtet sich nach der Bootsgröße und Spantenstärke. Oft werden als Inhölzer an Stelle der Spanten auch im Dampf warm eingebogene eschene Latten verwendet. Die Bretter der Außenhaut werden an den Spanten mit Spiekern, an den Inhölzern mit Gatnägeln (eine Art Nietnägel) befestigt. Bei den *Klinkerbooten* fassen die einzelnen Außenkantbretter derart übereinander, daß die Unterkante jedes oberen Ganges über die Oberkante des unteren übergreift. Zwischen die Landungen (die übereinanderliegenden Bretterkanten) wird zum Dichten der Außenhaut in Leinöl getränktes Gewebe gelegt; nach Bedarf werden später die Nähte mit Harz ausgegossen. Als *Dollbord* bilden zwei stärkere, warm eingebogene Planken den oberen Bootsrand; auf dem Dollbord tragen viele Boote noch ein dünnes Brett, den *Schandeckel*, unter dem bei Kriegsschiffsbooten noch eine gebogene Latte, die *Scheuerleiste*, als Schutz gegen Beschädigungen durch Stöße liegt. Die *Duchten* oder Sitzbretter für die Ruderer, zugleich Maststützen, ruhen auf der Duchtenlagerung, zwei Brettern, die unterhalb des Dollbords an der Innenseite der Spanten vom Steven zum Spiegel laufen. Zuweilen sind die Duchten auch durch hölzerne oder eiserne Knie mit den Spanten und der Außenhaut verbunden. Beim *Kraweelbau* werden die Planken der Außenhaut Hochkante auf Hochkante gesetzt und dicht zusammengefügt, so daß eine glatte Außenfläche entsteht. Diese Bauart ist jetzt auch bei allen größeren hölzernen Fahrzeugen üblich; sie erfordert sorgfältigere Bearbeitung der Außenhaut als der Klinkerbau, auch geringere Zwischenräume zwischen den Spanten, erleichtert aber das Reinhalten des Bodens und ermöglicht das Auflegen einer Kupferhaut zum Schutz gegen den Bohrwurm. Zum Dichten werden die Nahtflächen der Planken mit Bleiweiß oder Teer gestrichen und zwischen die Nähte Baumwollstränge gelegt. Größere Krawehlfahrzeuge werden mit Werg und Pech *kalfatert*. Ganz eigenartig ist der Bau der *Diagonalboote;* sie werden ohne Spanten gebaut mit doppelter Plankenlage. Die Innenhautplanken werden warm eingebogen und dann von der Kielsponung im Winkel von 50° nach vorn geneigt zum Dollbord geführt; die Außenhautplanken werden vom Kiel im Winkel von 50° nach hinten geneigt zum Dollbord geführt, kreuzen also die Innenplanken im Winkel von 80°. Zum Dichten wird die Innenhaut mit Holzteer und Marineleim bestrichen und mit Nesseltuch bezogen; dann wird die Außenhaut darüber gelegt und durch Nägel mit der Innenhaut verbunden. Diese Bauweise ist teuer, erfordert astfreies Eichenholz und wird nur für die größten Kriegsschiffsboote sowie für größere Sportjachten verwendet.

Der **Jachtbau** weicht vom übrigen Bootsbau beträchtlich ab. Die Segelsportfahrzeuge sollen leicht und fest gebaut sein und völlig glatte Außenhaut haben. Kreuzerjachten mittlerer Größe,

etwa von 10 m Länge, erhalten Kiel sowie schrägen Vor- und Hintersteven aus bestem Eichenholz. Diese drei Teile werden zugleich mit den nötigen Aufklotzungen durch Bolzen zu einem festen Stück verbunden. Die Spanten werden aus mehreren Stücken zusammengesetzt; weil passende Krummhölzer selten und teuer sind, werden die festen Spanten in größeren Zwischenräumen gesetzt und dazwischen noch warm eingebogene *Inhölzer* verwendet. Auf die Innenkante der Spanten werden zur Festigung des Längsverbandes noch starke Planken, die *Wegerungen* (oder *Weger*), aufgelegt, und zwar als *Bodenweger* oder *Kielschwein* am Boden des Innenraums, als *Kimmweger* unter der Wasserlinie in der *Kimm*, d. h. der am stärksten gekrümmten Stelle der Spanten, und als *Balkweger* am oberen Ende der Spanten. Diese Balkweger dienen als Auflager für die Deckbalken, die ihrerseits die *Deckplanken* tragen. Die Außenhaut wird nach Kraweelbauart auf den Spanten befestigt; starke Planken werden zuvor im Dampfkasten biegsam gemacht. Jachten gibt man zuweilen doppelte Außenhaut, bei der entweder beide Plankenlagen wagerecht laufen, aber die Nähte der äußeren Haut durch die innere gedeckt werden, oder man legt die inneren Planken schräg, die äußeren wagerecht. Zum Abdichten legt man zwischen beide Lagen mit Teer oder Firnis getränkte Streifen Leinwand oder Papier. Eiserne Knie verbinden die Deckbalken mit den Balkwegern und den Spanten. Wo die Deckbalken durch *Luken* (Öffnungen im Deck) unterbrochen werden, müssen sie durch Schlingen abgefangen oder durch senkrechte Deckstützen gestützt werden.

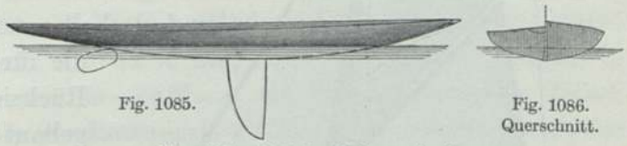


Fig. 1085. Fig. 1086. Querschnitt.

Fig. 1085 und 1086. Schwertjacht.

Moderne Jachten erhalten häufig ein stählernes Gerippe mit hölzernem Kiel, Vor- und Hintersteven und hölzerner Außenhaut. Dieser *Kompositbau* war früher auch für große Kriegsschiffe, Kreuzerfregatten usw. üblich. Auch die Deckbalken und Deckstützen sind dabei aus Stahl. Statt der hölzernen Wegerungen werden dann stählerne Längs- und Diagonalschienen zur Stärkung des Längsverbandes benutzt. Die hölzerne, kraweel aufgelegte Außenhaut kann, ebenso wie bei ganz aus Holz gebauten Jachten, durch eine *Kupferhaut* geschützt werden. Doch muß dabei vermieden werden, daß stählerne Bolzen oder Nägel mit der Kupferung oder deren Messingnägeln in Berührung kommen, weil der Stahl sonst durch den zwischen Stahl, Seewasser und Kupfer entstehenden galvanischen Strom zerstört werden würde. Großen Kompositschiffen gibt man deshalb, um sie „kupferfest" zu bauen, noch eine zweite, dünnere hölzerne Außenhaut. Nach dem Kompositsystem gebaute Jachten erhalten neuerdings zur besseren Dichtung der Nähte noch *Nahtspanten*, d. h. eichene, hochkant innen auf den Nähten der Außenhautplanken stehende Längsplanken; diese Planken sind gegenseitig dicht gefügt, so daß die Nähte nicht kalfatert zu werden brauchen.

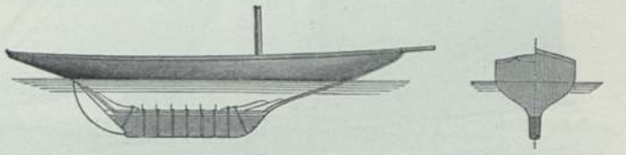


Fig. 1087. Fig. 1088. Querschnitt.

Fig. 1087 und 1088. Kieljacht.

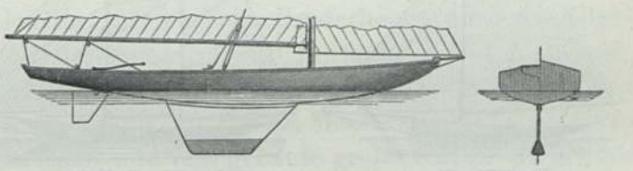


Fig. 1089. Fig. 1090. Querschnitt.

Fig. 1089 und 1090. Wulstkieljacht.

Sehr große Jachten werden ganz aus Stahl gebaut, nur die Deckplanken und Deckaufbauten sind aus Teak- und Mahagoniholz. Ihre Quer- und Längsverbände ähneln den Verbänden der großen stählernen Seeschiffe. Diese Stahljachten bedürfen häufiger Bodenreinigung und Erneuerung des Farbanstriches, um glatten Boden ohne Reibungswiderstand zu haben. Verschiedene neue große Jachten erhielten deshalb eine blankpolierte Außenhaut aus Bronzeplatten.

Die *Schwertjachten* (Fig. 1085 u. 1086) für seichte Binnengewässer erhalten eine bewegliche Kielflosse, das *Mittelschwert*, das in dem wasserdichten *Schwertkasten* über einem Schlitz im Kiel um einen Bolzen drehbar befestigt ist und nach Bedarf zu Wasser gelassen werden kann;

das *Schwert* ist eine eiserne Platte oder ein hölzernes Brett mit Bleiballast. Beim Aufstoßen auf den Grund hebt es sich selbsttätig. *Hochseejachten* werden mit festem Kiel gebaut (*Kieljachten*, Fig. 1087 u. 1088); um ihnen bei möglichst geringer Widerstandsfläche doch möglichst großen Tiefgang und große Standfestigkeit zum Tragen hoher Takelung zu geben, baut man sie oft als *Wulstkieljachten* (Fig. 1089 u. 1090) mit tiefliegenden Bleikielen, die unter dem Holzkiel mit langen Bolzen befestigt sind. Für Segelwettfahrten bestimmte *Rennjachten* zeigen in der Wasserlinie sehr scharfe Formen, während die Schwertboote volle Formen haben und deshalb auch *Flundern* genannt werden. *Kreuzerjachten*, die für größere Seereisen bestimmt sind, werden mit Rücksicht auf Seetüchtigkeit und Wohnlichkeit breiter gebaut als Rennjachten.

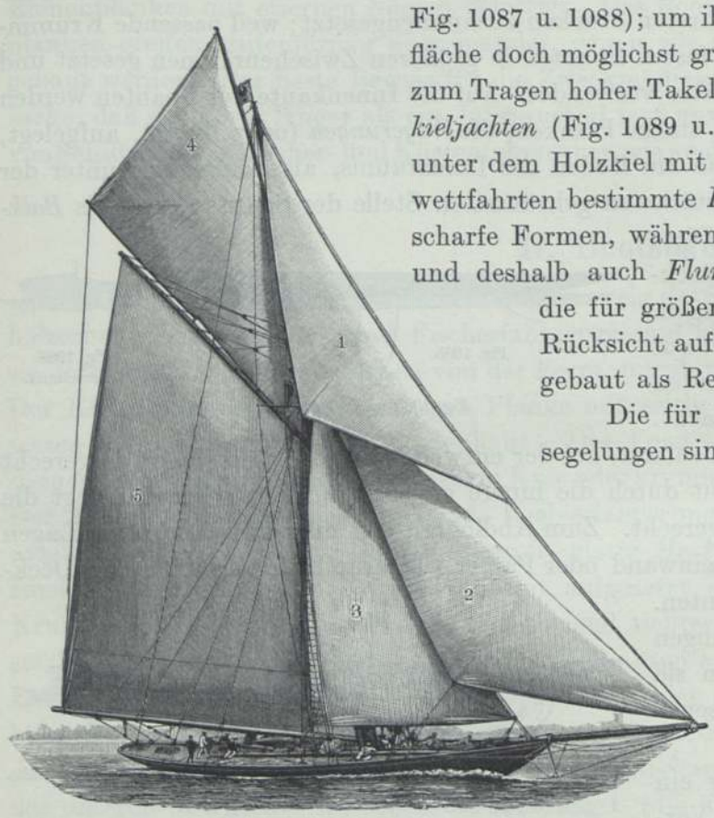


Fig. 1091. Kutter-Segeljacht.

Die für Lustsegelfahrzeuge gebräuchlichsten Besegelungen sind *Kutter* und *Slup* (Fig. 1091 u. 1092); für größere Jachten, namentlich für solche, die mit verhältnismäßig wenig Mannschaft mehr zu Vergnügungsfahrten als zu Regatten verwendet werden, wählt man auch die *Schuner-*, *Yawl-* und *Ketschtakelung* (Fig. 1093, 1094 u. 1095). Eine Abart ist auch noch die aus nur einem Großsegel bestehende *Cattakelung*, die in Nordamerika für kleinere Fahrzeuge *(catboats)* sehr beliebt ist. Die Takelung eines Kutters (Fig. 1091) hat fünf Segel: Flieger 1, Klüver 2, Stagsegel 3, Toppsegel 4 und Großsegel 5; bei sehr schwachem Wind wird statt der drei Vorsegel der große leichte Ballonklüver gesetzt.

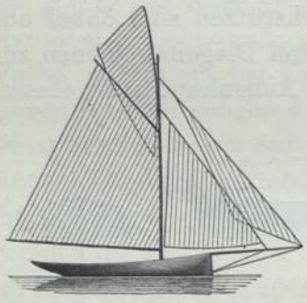


Fig. 1092. Slup.

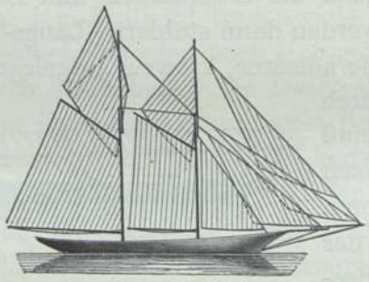


Fig. 1093. Gaffelschuner.

Schiffsbeiboote haben je nach ihrem Sonderzweck sehr verschiedene Größe, Bauart und Takelung. Die eigentlichen Schiffsboote auf Handelsschiffen sind meist aus Holz nach Kraweelart gebaut; man unterscheidet nach der Größe vier Hauptarten: *Großboote*, 6—9 m lang, schwer und voll gebaut, zum Tragen von Ankern, Ketten und schweren Frachtstücken; *Mittelboote*, auch *Pinassen*, *Schaluppen* oder *Kutter* genannt, leichter und schärfer gebaut, seetüchtig und gute Segelboote mit Spriet- oder Luggertakelung (s. Seite 467); *Gigs*, 5—8 m lang, sehr leicht und scharf gebaut, nur Kapitänsboote, Schnellruderer, auch zum Segeln mit Lugger- oder Gleittakelung geeignet; *Jollboote* oder Kleinboote, nur für den Hafenverkehr. Die *Rettungsboote der Handelsdampfer* sind den Kuttern ähnlich, doch mit spitzem Heck, ohne Spiegel; sie haben wasserdichte Luftkasten im Bug und Heck und sind als Brandungsboote brauchbar. Auf großen Passagierdampfern sind die Hälfte aller Boote Rettungsboote, zum Teil sind sie aus

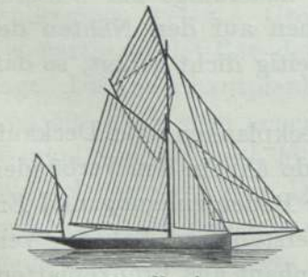


Fig. 1094. Yawl.

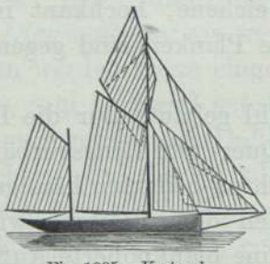


Fig. 1095. Ketsch.

Stahl gebaut. Als Reserveboote dienen *Halbklappboote* mit Stahlboden und Luftkasten und niederklappbarem Oberteil aus wasserdichtem Segeltuch mit Stahlgerüst; von solchen Booten werden auf dem Bootsdeck bis zu drei Stück übereinander gestapelt. Kleine Rettungsboote werden auch aus verzinktem Wellblech oder als *Klappboote* aus ganz zusammenfaltbarem Stahlgestell mit wasserdichter Segeltuchhaut gefertigt.

In der **Kriegsmarine** sind als Ruder- und Segelboote folgende Arten von Schiffsbooten üblich: 1) *Barkassen*, als Diagonalboote aus Eichenholz gebaut, 10—14 m lang, 2,8—3,6 m breit, Tragfähigkeit 5000—9000 kg in See, 8000—12 600 kg im Hafen, oder in See 70, im Hafen 115 Mann, ausgerüstet mit 6 cm-Bootskanone und 8 mm-Maschinengewehr, dienen als Landungsboote und zum Verschiffen von Ankern usw., sind mit 12—18 Riemen (Rudern) und 2—3 Masten nebst Segeln ausgerüstet; 2) *Pinassen*, diagonal gebaut, 9,5—11 m lang, 2,65—2,95 m breit, tragen in See 3750—6000 kg, im Hafen 5500—9000 kg, oder 56—80 Mann, ein Maschinengewehr, Zweck wie bei 1); 3) *Kutter*, auch *Schaluppen* genannt, in See Rettungsboote, im Hafen Verkehrsboote für Offiziere usw., 7,5—10 m lang, 2—2,5 m breit, 28—50 Mann, 8—14 Riemen, Kraweel- oder Klinker-

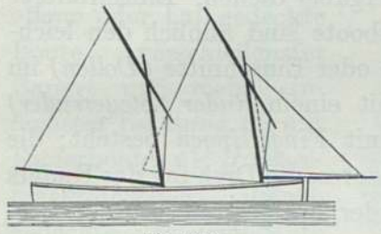


Fig. 1096.

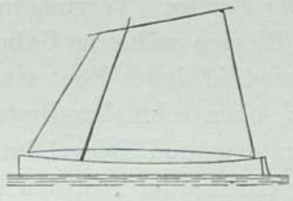


Fig. 1097.

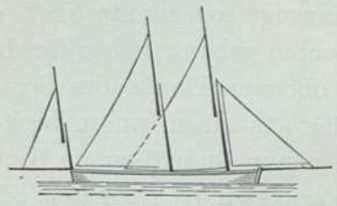


Fig. 1098.

Fig. 1096. Bootstakelung der deutschen Kriegsmarine. Fig. 1097. Lose Luggertakelung. Fig. 1098. Gleittakelung.

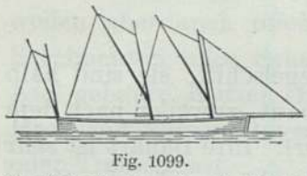


Fig. 1099.

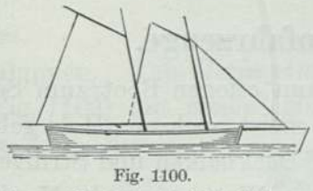


Fig. 1100.

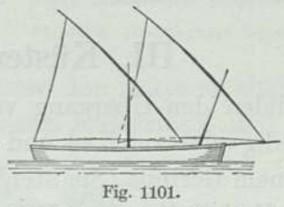


Fig. 1101.

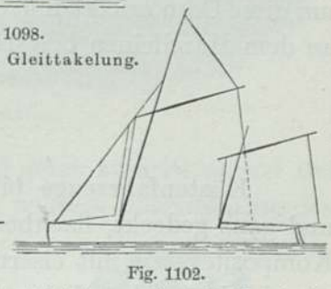


Fig. 1102.

Fig. 1099. Dreimastige Sprietakelung. Fig. 1100. Gaffeltakelung. Fig. 1101. Zweimastige Schebecktakelung. Fig. 1102. Russische Takelung.

bau aus Zypressen- oder Eschenholz; 4) *Gigs*, leichte, scharfe Schnellruderboote, auch mit Gleit- oder Luggertakelung, Kommandanten- und Admiralsboote, 8—10 m lang, 1,8—1,9 m breit, 11—16 Mann, 6—8 Riemen; 5) *Jollen* (Kochboote und Kleinverkehrsboote), 5,5—6 m lang, 1,8 bis 1,9 m breit, 16—20 Mann, 4—6 Riemen, Luggertakelung; 6) *Dingis*, Messeverkehrsboote, 3,6 m lang, 1,3 m breit, 3 Mann, 2 Riemen. Besonders leicht und fein gebaute große Kutter dienen als Kaiserboote, Standartenboote und Admiralskutter. Als Verkehrs- und Rettungsboote an Küsten mit starker Brandung dienen *Walfischboote (Spitzgattboote)* mit spitzem Heck, je nach Größe diagonal oder kraweel gebaut, als *Brandungsboote* meist mit flachem Kiel, etwa 8 m lang, mit Rahsegel, oft auch mit Bug- und Heckluftkasten.

Alle bisher genannten Schiffsboote der Handels- und Kriegsmarine sind gleich geeignet zum Rudern wie zum Segeln; ihre Takelungen sind nach Nationalität und Liebhaberei verschieden. Unter den *Takelungen für Schiffsboote* ist die der deutschen Kriegsmarine eine leichte und sehr handliche *Luggertakelung* (Fig. 1096), bei der die Segel nicht gedippt werden, sondern auch beim Kreuzen gegen den Wind stets auf derselben Mastseite bleiben, während die *lose Luggertakelung* (Fig. 1097) das Dippen der Segel beim Wenden fordert, damit das ganze Segel voll (Wind) stehen kann; die lose Luggertakelung kommt auch zwei- und dreimastig vor. Die *Gleittakelung* (Fig. 1098), ein- bis dreimastig im Gebrauch, ist sehr leicht und bequem zu handhaben; die halben Rahen der dreieckigen Segel bilden zugleich stengenartige Verlängerungen der Bootsmasten, an denen sie mit eisernen Ringen auf und ab gleiten. Diese Takelung eignet sich gut für Gigs und andere leichte Boote, weil sie sehr schnell zu- und abgetakelt werden kann; sie ist auch für Sportboote

beliebt. Die *Sprietakelung* (Fig. 1099), bei der zum Spreizen der Segel Stangen (Spriete) benutzt werden, die am Untermast um einen Stropp oder Stift drehbar sind, ist ursprünglich die Takelung kleiner Fischerboote; wegen ihrer Einfachheit ist sie auch auf Schiffsbooten der Handelsflotte beliebt, außerdem auf Hafenfährbooten usw. Die *Gaffeltakelung* (Fig. 1100) ist eine kräftige Schunertakelung für schwere Schiffsboote. Die *Schebeck-* oder *lateinische Takelung* (Fig. 1101) ist nur im Mittelmeer üblich; sie kommt ein- bis dreimastig vor, ist unbequem in der Handhabung und entspricht noch genau der Takelungsform mittelalterlicher Galeeren; auch größere Küstenfahrzeuge sind dort noch heute mit lateinischen Segeln getakelt. Die *russische Takelung* (Fig. 1102), lose Luggersegel mit Toppsegel, war früher bei schweren Kriegsschiffsbooten sehr beliebt für Wettsegeln und größere Segelfahrten, ist aber schwerfällig; auch kann das Toppsegel nur mit Ballast im Boot und bei leichtem Winde gefahren werden.

Für den *Rudersport* werden nur Boote leichtester Bauart, meist aus Zypressenholz, benutzt. Als Rennboote für 4—8 Ruderer benutzt man *Auslegerboote* mit *Gleitsitz* oder *Rollsitz*, der beim Rudern vor- und zurückgleitet; für die *Riemen* (Ruder) dienen dabei über dem Dollbord befestigte, nach außen ragende, stählerne Ausleger, die als Lager für die Rudergabel dienen. Einzelruderer benutzen zweiarmige sogenannte *Skiffs* oder *Skuller*. Vergnügungsboote sind ähnlich den leichteren Schiffsbooten gebaut, haben für die Riemen stählerne Gabeln oder Einschnitte *(Dollen)* im *Dollbord*, der obersten Planke des Bootsrandes. Jedes Boot ist mit einem *Ruder (Steuerruder)* ausgerüstet, das aus einem unten breiten, oben schmalen Brett mit *Fingerlingen* besteht; die Fingerlinge greifen in Ruderösen am Hintersteven und Spiegel des Bootes, die Drehung des Ruders um diese Ösen erfolgt mit einer *Pinne* oder einem quer über den Ruderkopf gestreiften *Ruderjoch*, an dem Handleinen befestigt sind.

III. Küstenfahrzeuge.

Küstenfahrzeuge bilden den Übergang vom offenen Boot zum Segelschiff; sie sind halb und ganz gedeckt, flachbodig oder auf Kiel und meist noch aus Holz gebaut, zuweilen nach dem Kompositsystem mit eisernem Gerippe (Spanten, Deckbalken und Stringer). Ihre Bauart ist sehr verschieden und örtlichen Verhältnissen, z. B. dem Wattenmeer der Nordseeküste oder den Steilküsten des Adriatischen Meeres, angepaßt. Die älteste Form der niederländischen und deutschen Küstenfahrer des Wattenmeeres der Nordsee ist die plumpe, plattbodige, doch seetüchtige *Kuff*, mit *Seitenschwertern* als Ersatz für den Kiel, zweimastig als *Schunerkuff*, oder mit kleinem Besanmast als *Kufftjalk* getakelt, auch als Ems- und Rheinfahrzeug sowie in den Kanälen Hollands viel verwendet. Es gibt Kuffen von etwa 300 Registertonnen Raumgehalt. Ähnlich, aber kleiner, selten bis 80 Registertonnen groß, ist die *Tjalk;* sie ist einmastig mit Gaffelsegel, Toppsegel, Klüver und Stagsegel, selten auch mit kleinem Treibermast. Ihr Großmast ist der Flußschiffahrt wegen zum Umlegen, das Bugspriet zum Einnehmen. Ebenfalls mit rundem Bug vollgebaut und flachbodig ist die zweimastige *Galjot*, bis 200 Registertonnen groß, meist als *Schunergaljot* mit Gaffelsegeln und Breitfock getakelt. Ebenfalls zu den flachbodigen Küsten- und Flußfahrzeugen gehört der auf der Unterelbe sehr beliebte *Ewer*, meist mit spitzem Bug und Heck, oft mit Seitenschwertern, je nach Größe voll- oder halbgedeckt, ein- oder zweimastig mit Gaffelsegeln; *Ewerkähne* sind längere und schmälere Elbfahrzeuge. Unter den scharf und auf Kiel gebauten Küstenfahrern sind die *Galjassen* am häufigsten; sie sind zweimastig mit plattem oder flachem Heck, haben Pfahlmasten mit Gaffel- oder Rahsegeln und heißen je nach der Takelung: *Schunergaljaß*, *Hukergaljaß* oder *Jachtgaljaß*. Der *Galjaßewer* ist ein auf Kiel gebauter zweimastiger Ewer. Unter den einmastigen Küstenfahrern sind zu erwähnen die *Jacht*, die *Slup*, der *Kutter*, die *Schnigge*, die *Lomme*, die *Quatze* (zum Fischtransport); unter den Flußkähnen die *Zille*, die *Pünte*, die *Mutte*, der *Bojer* und andere.

Als **Hafenfahrzeuge** dienen offene hölzerne oder eiserne flachbodige *Leichter* oder *Schuten*, auch *Prähme* genannt, die oft je nach der Ladung besondere Einrichtungen haben,

z. B. Lademasten mit Ladebäumen, oder als *Baggerprähme* oder *Aschprähme* große Bodenklappen zum Auswerfen des Baggerguts oder der Asche an geeigneten Plätzen außerhalb des Hafens. *Seeleichter* sind große gedeckte stählerne Leichter, oft mit wasserdichten Querschotten, die von Schleppdampfern weite Strecken über See geschleppt werden. Wasserfahrzeuge, Öl- und Petroleumleichter sind *Tankfahrzeuge (Zisternenprähme)* mit Pumpwerken zum Ein- und Ausfüllen der Flüssigkeiten. Andere Prähme dienen beim Hafenbau oder als Träger für schwimmende Landungsbrücken usw.

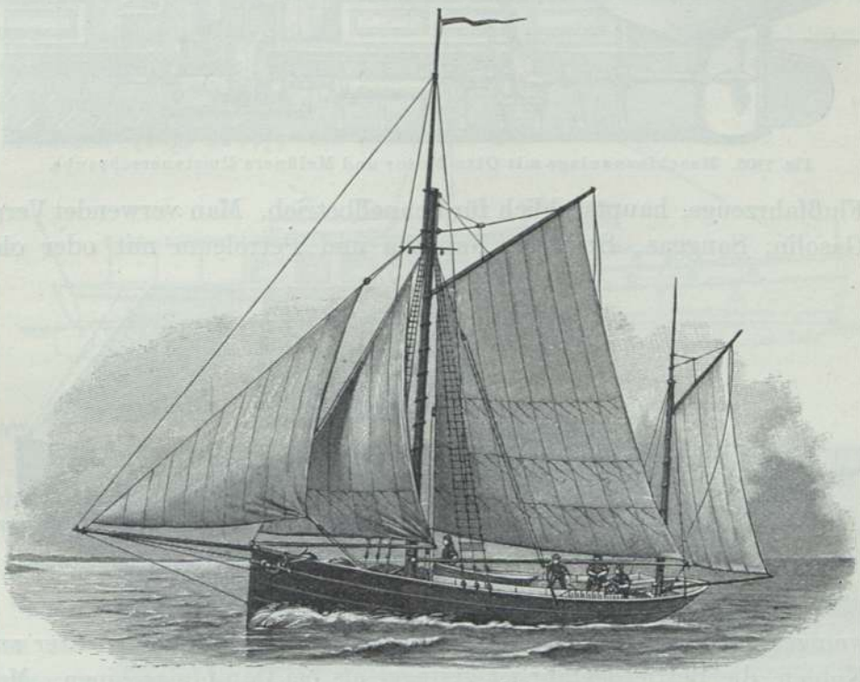


Fig. 1103. Hochseefischkutter.

Fischerfahrzeuge sind als *Küstenfischer* offene oder halbgedeckte Boote verschiedenster Bauart und meist einfachster Takelung, oft nur Ruderboote; als *Hochseefischerfahrzeuge* dienen gedeckte, scharfgebaute ein- oder zweimastige Kutter und Lugger, zuweilen aber auch offene Segeljachten oder Schaluppen. Die *Heringslugger* der Nordsee sind jetzt zumeist scharf auf Kiel gebaute Kutter (Fig. 1103) mit niederlegbarem Kuttermast und achtern nahe dem runden Heck mit kurzem Jager- oder Treibermast.

IV. Dampfbeiboote.

Dampfbeiboote gehören zur Ausrüstung von Kriegs- und Handelsschiffen; sie dienen als Arbeits- und Verkehrsboote, auch als Schlepper für andere Schiffsboote. Die schweren *Dampfbarkassen* der großen Kriegsschiffe sind aus Eichenholz diagonal gebaut, 10—16 m lang, 2,7—3,1 m breit, wiegen mit voller Ausrüstung 7½—15 Tonnen, tragen 25—30 Mann, laufen 10—15 Seemeilen stündlich. Die leichteren Beiboote, *Dampfkutter* genannt, sind aus Zypressenholz, etwa 8 m lang und meist kraweel, seltener klinker gebaut und dienen als Verkehrsboote. Um beim Vollschlagen mit Wasser schwimmfähig zu bleiben, haben die Dampfbeiboote Luftkasten im Bug, an beiden Seiten und am Heck. Als Maschinen dienen ein- oder zweizylinderige stehende Hammermaschinen möglichst einfacher Bauart, die, unmittelbar hinter einem Lokomotivkessel stehend, durch einen Segeltuchbezug oder festen Überbau gegen die Witterung geschützt sind. Propellerschraube und Schraubensteven sind wie auf Dampfern gebaut.

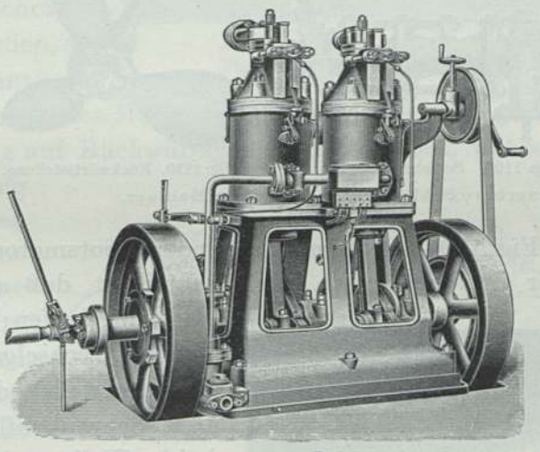


Fig. 1104. Stehender Bootsmotor (Zwillingsmotor).

Fig. 1105. Liegender Bootsmotor (Balancemotor).

Doppelschraubenboote sind selten, weil sie zwei Maschinen erfordern, mithin das Beiboot stärker belasten. Neuerdings werden die Dampfbarkassen fast nur noch als Hafenboote verbraucht, als Schiffsboote aber zumeist durch Motorboote verdrängt.

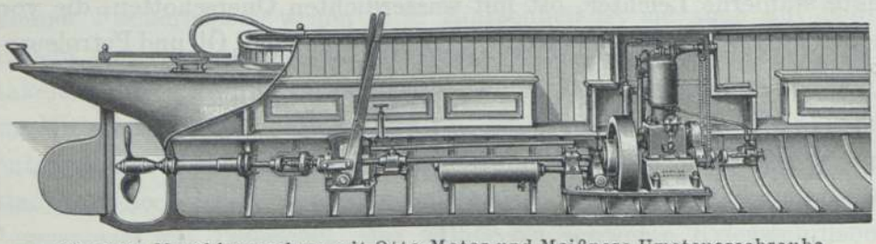


Fig. 1106. Maschinenanlage mit Otto-Motor und Meißners Umsteuerschraube.

V. Motorboote.

Motorboote sind durch Verbrennungsmaschinen getriebene kleine See- und Flußfahrzeuge, hauptsächlich für Schnellbetrieb. Man verwendet Verpuffungsmotoren für Benzin, Gasolin, Sauggas, Spiritus, Naphtha und Petroleum mit oder ohne Wassereinspritzung und Gleichdruckmotoren für Masut, Borneoöl, Texasöl, Teeröl. Vorzüge gegenüber Dampfbooten sind: große Gewichtsersparnis bei der Maschinenanlage, weil Kessel, Dampfrohre und Kondensator fortfallen; die Anlage und ihr Betrieb ist billiger, erfordert weniger Bedienungsmannschaft, der flüssige Brennstoff ist leichter und braucht weniger Platz als Kohlen, die Betriebsgefahr ist geringer als bei Dampfmaschinen. Motorboote sind stets betriebsbereit und entwickeln keinen Rauch. Am billigsten arbeiten Dieselmotoren (vgl. S. 143); die meisten Motorboote haben Viertaktmotoren, der schwedische Bertheau-Motor hat zwei Zylinder mit Zweitaktmotoren, neuere haben vier Zylinder mit Zweitaktmotoren. Fig. 1104 zeigt einen stehenden Bootsmotor *(Zwillingsmotor)*, Fig. 1105 einen liegenden Bootsmotor *(Balancemotor)*. Ein Nachteil ist, daß alle Ölmotoren nur in einer Richtung laufen; deshalb sind *Umkehrkuppelungen* (Wechselgetriebe zwischen Motor und Propellerwelle) oder *Wendeschrauben* (umstellbare Schraubenflügel mit Gestänge in der hohlen Welle; vgl. Fig. 1106 und 1108—1110) erforderlich, die aber nur bei kleinen Motorbooten mit der Hand durch Hebelwirkung vom Vorwärts- auf Rückwärtsgang umgestellt werden können. Bei größeren Motoren sind sowohl zum Andrehen wie auch zur Umsteuerung Hilfsmaschinen erforderlich, deren Wirken bis jetzt noch Mängel zeigt.

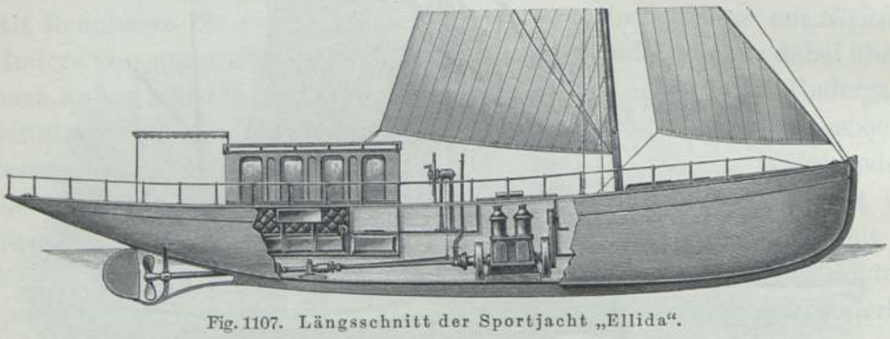


Fig. 1107. Längsschnitt der Sportjacht „Ellida".

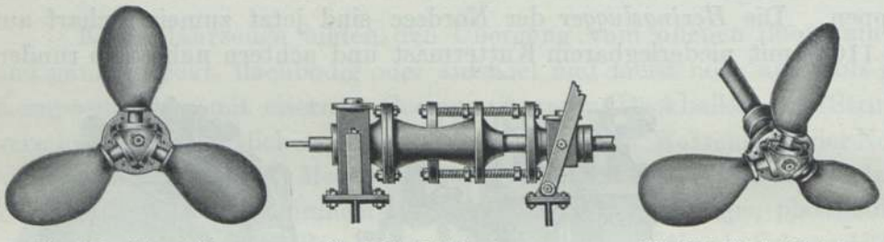


Fig. 1108. Stoppstellung. Fig. 1109. Schiebersteuerung. Fig. 1110. Rückwärtsstellung.

Fig. 1108—1110. Umsteuerbare Schiffsschraube System Meißner.

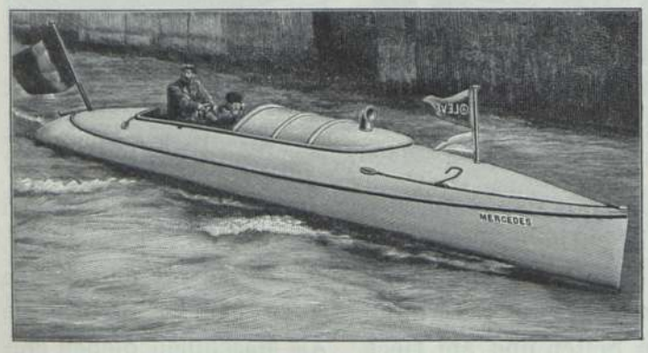


Fig. 1111. Motorrennboot „Mercedes IV".

Motorboote werden sehr vielseitig verwendet: als Verkehrsboote (Fig. 1106) in Häfen, auf Flüssen und Binnenseen, da ihr Betrieb zum Personen- und Frachttransport viel billiger ist, auch,

wo erforderlich, größere Geschwindigkeit ermöglicht als bei Dampfbooten gleicher Größe; ferner als Polizei- und Zollwachtboote, Rettungsboote, kleine Schlepper, Leichterfahrzeuge in überseeischen Häfen, als Jachten usw. Besonders bewährt haben sich Motorboote als kleine und große (gedeckte) Beiboote für Segel- und Dampfjachten, Seedampfer und neuerdings auch als Kriegsschiffsbarkassen und Torpedobarkassen. In allen Marinen sind Motorboote verschiedener Größe als Beiboote für Schiffe im Gebrauch. Zu den Motorbooten sind auch die Hochseefischerfahrzeuge und Segeljachten zu rechnen, die Motoren als Hilfskraft bei Windstille, in Hafeneinfahrten usw. benutzen (Fig. 1107); sie machen den Betrieb wirtschaftlicher, weil sie den Fang schneller zum Markte bringen, und haben sich schnell eingebürgert. Die Hilfsmotoren können auch zum Treiben der Winden für die Schleppnetze und von Ankerspillen benutzt werden. Beim Segeln wird die Hilfsschraube senkrecht gestellt, und ihre Wendeflügel werden so gedreht, daß sie keinen Wasserwiderstand haben. Unter den Wendeschrauben hat sich *Meißners Umsteuerschraube* (Fig. 1108—1110) besonders bewährt; bei ihr kann durch beliebige Stellung der Schraubenflügel die Steigung der Schraube nach Bedarf geändert werden, sowohl um der Schraube die günstigste Steigung für die Umdrehungen des Motors zu geben, als auch um den Steigungssinn der Schraube gänzlich vom Vorwärtsgang auf Rückwärtsgang umzuschalten, während der Motor seinen gleichmäßigen einseitigen Gang beibehält. In der hohlen Schraubenwelle sitzt eine Schubstange, die einen in der hohlen Schraubennabe angeordneten prismatischen Kreuzschieber mit Kurbelzapfen je nach Bedarf in eine von drei Stellungen bringt; die Kurbelzapfen greifen in Kurbelschleifen der Schraubenflügelflanschen und geben den Schraubenflügeln die gewünschte Steigung.

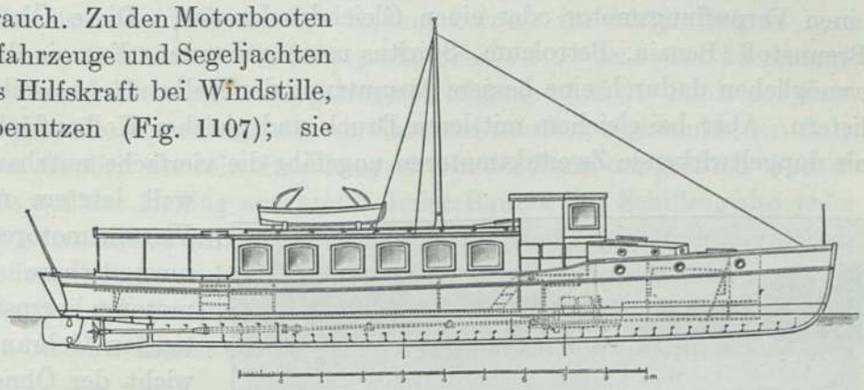


Fig. 1112. Längsschnitt.

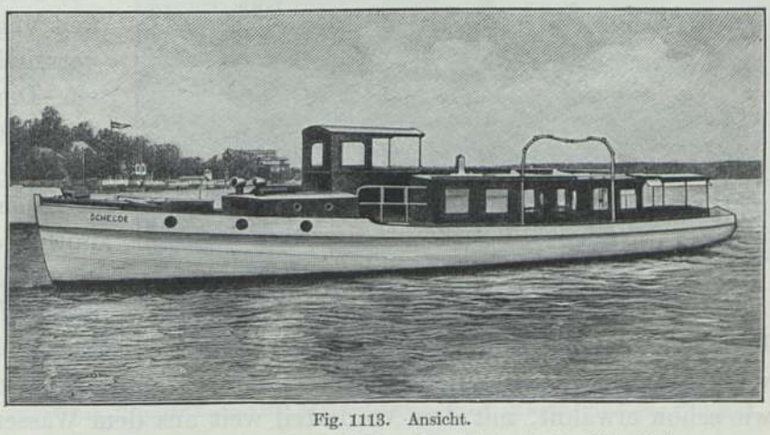


Fig. 1113. Ansicht.

Fig. 1112 und 1113. Doppelschrauben-Motorjacht „Schelde".

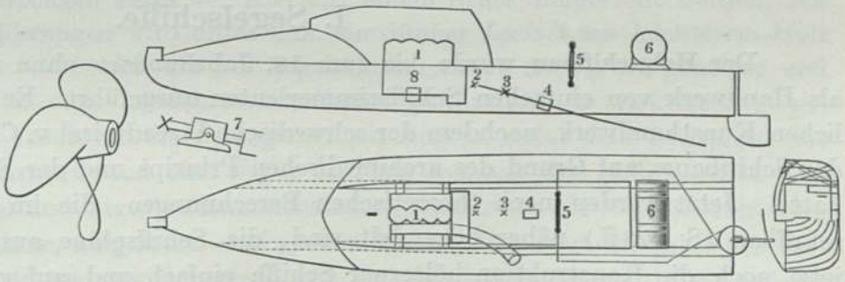


Fig. 1114. Motorschnellboot „Duc II" (7,80 m lang, 1,65 m breit; 1 Motor, 2, 3 Kardangelenke, 4 Drucklager, 5 Steuer, 6 Benzintank, 7 Drucklager mit Lafette, 8 Vergaser; Motor 1300 Umdrehungen, Thornycroftschraube [links]).

Am weitesten verbreitet ist die Verwendung der Motorboote zu Sportszwecken als *Schnellboote* oder *Rennboote* (Fig. 1111). Nach mancherlei Versuchen hat sich bei diesen Schnellbooten eine eigentümliche Bootsform entwickelt, Kretzschmers *Tetraederform:* ihr sehr breites, aber niedriges Hauptspant liegt am Heck, der Bug ist meist ein hoher, stehender Keil; die Verbindungslinien zwischen Vorsteven und Hauptspant sind meist nahezu gerade (Doppelkeilform), die Schraubenwelle führt schräg zum Kiel nach unten, die Schraube liegt unter dem Hinterteil

des Bootes. Bei schneller Fahrt hebt sich das Boot vorn weit aus dem Wasser und gleitet hinten fast ganz auf der Wasseroberfläche (daher auch *Gleitboote* genannt), findet also geringsten Wasserwiderstand und keine Saugwirkung am Heck; die bei Schiffen die Fahrt hemmende Bugwelle verschwindet fast vollständig.

Am geeignetsten für schnelle Motorboote ist der direkte Antrieb der Propellerwelle durch einen Verpuffungsmotor oder einen Gleichdruckmotor. Diese Ölmotoren verwandeln die im Brennstoff (Benzin, Petroleum, Spiritus usw.) gebundene Energie direkt in Rotationsarbeit und ermöglichen dadurch eine bessere Ausnutzung der Kolbenfläche, weil sie höheren mittleren Druck liefern. Aber bei gleichem mittleren Druck und gleicher Kolbenfläche leisten die Dampfmotoren als doppeltwirkende Zweitaktmotoren ungefähr die vierfache nutzbare Arbeit wie die Ölmotoren, weil letztere noch meist einfachwirkende Viertaktmotoren sind. Sobald es gelingt, umsteuerbare doppeltwirkende Viertaktmotoren herzustellen, die sich auch im praktischen Gebrauch bewähren, wird das Gewicht der Ölmotorenanlage, das jetzt dem der Dampfmotoren gleicher Leistungsfähigkeit ungefähr gleichkommt, auf die Hälfte vermindert werden. Auch jetzt fordert ein Dampfmotor drei- bis viermal mehr Gewicht und Raum für den Betriebsstoff als der Ölmotor, auch ist letzterer im Betrieb einfacher. Für kleine Schnellboote ist mithin der Ölmotor am vorteilhaftesten.

Fig. 1115. Motorschnellboot „Benz I“ in Fahrt.

In Fig. 1112 und 1113 ist eine moderne *Motorkreuzerjacht* dargestellt, während Fig. 1114 eines der erfolgreichsten *Motorschnellboote* wiedergibt. Wie man sieht, ist die Schraubenwelle schräg bis tief unter das Boot hindurchgeführt. In voller Fahrt ragen die Schnellboote, wie schon erwähnt, mit dem Vorderteil weit aus dem Wasser, wie dies Fig. 1115 erkennen läßt.

B. Seeschiffe.

I. Segelschiffe.

Der **Holzschiffbau** wurde bis zum 18. Jahrhundert ohne theoretische Vorberechnungen als Handwerk von einfachen Schiffszimmerleuten ausgeführt. Er wurde erst zum wissenschaftlichen Kunsthandwerk, nachdem der schwedische Vizeadmiral v. Chapmann um 1770 die Theorie des Schiffbaues auf Grund des archimedischen Prinzips und der Simpsonschen Regel aufgestellt hatte. Jetzt werden nach theoretischen Berechnungen, die im Abschnitt über den Dampfschiffbau (S. 478ff.) näher behandelt sind, die Schiffspläne ausgeführt. Immerhin ist auch jetzt noch die Konstruktion hölzerner Schiffe einfach und auf vielen aus alter Erfahrung gewonnenen Grundsätzen über Materialstärke und Verstärkungen des Baues begründet. Zur Konstruktionszeichnung gehören ein *Längsriß*, ein *Spantenriß* (Plan der Schiffsquerschnitte) und ein *Wasserlinienriß* (Plan der Horizontalschnitte). Bei diesen Rissen haben Längsriß und Wasserlinienriß gemeinsame Länge, Längsriß und Spantenriß gemeinsame Höhe, Wasserlinienriß und Spantenriß gemeinsame Breite. Aus den drei Rissen kann mithin, ähnlich wie bei den Bauzeichnungen eines Hauses, jeder Punkt des Schiffskörpers genau bestimmt werden. Die Betrachtung der Konstruktionszeichnungen läßt schon die Eigenschaften des Schiffes erkennen; besonders das Verhältnis der Länge zur größten Breite (im sogenannten *Nullspant*) läßt Schlüsse auf die Schiffsgeschwindigkeit zu. Dieses Verhältnis, der sogenannte *Völligkeitsgrad*, ist bei Segelschiffen sehr

verschieden: vollgebaut sind Kuffen, etwa 4:1, und Tjalken, etwa 3,7:1; scharfgebaut sind Klipper, etwa 6:1, und moderne Vier- und Fünfmaster, etwa 8:1 bis 10:1. Über Stabilität und Metazentrum siehe S. 480.

Der Bau hölzerner Schiffe erfolgt auf Schiffbauwerften, die an einem Hafen oder Fluß liegen. Der Bauplatz, die *Bauhelling*, ist eine schiefe Ebene am Wasser, die durch Pfahlroste und Mauerwerk gut gegründet ist. Die Neigung der Helling beträgt für kleine Schiffe 1:10 bis 1:15, für Segelschiffe mittlerer Größe 1:17, für sehr große Schiffe 1:20 bis 1:24; die Ablaufbahn zwischen Bauplatz und Wasser hat stets etwas geringere Neigung. Auf der Sohle der Baustelle werden Stapelklötze aufgestellt, etwa 1 m hoch, um darunter arbeiten zu können; ein Baugerüst aus Balken und Planken (ähnlich wie beim Hausbau) wird in der Form der größten Wasserlinie des zu bauenden Schiffes auf der Helling errichtet. Jeder Bauteil des Schiffes, also jeder Balken und jede Planke, wird genau nach Form und Größe der Bauzeichnung vorher in der Schiffbauwerkstatt, oft auch auf offenem Zimmerplatz, fertig bearbeitet, ehe er zur Helling geschafft wird. Dort wird zuerst das Gerippe des Schiffes zusammengefügt, das aus Kiel, Vor- und Achtersteven, Spanten und Inhölzern besteht. Zuerst wird (vgl. Fig. 1116—1118) der *Kiel* auf den Stapel-

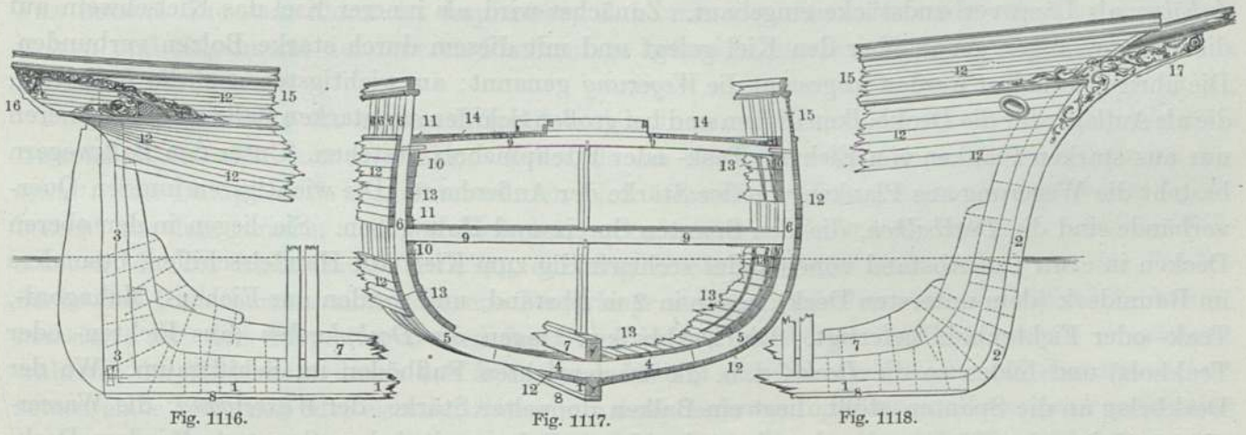


Fig. 1116. Fig. 1117. Fig. 1118.

Fig. 1116—1118. Hölzernes Schiff (1 Kiel, 2 Vorsteven, 3 Achtersteven, 4 Bodenwrangen, 5 Kimmstücke, 6 Auflanger, 7 Kielschwein, 8 Loskiel, 9 Deckbalken, 10 Balkweger, 11 Wassergänge, 12 äußere Beplankung, 13 innere Beplankung, 14 Oberdeckbeplankung, 15 Reling, 16 Heck, 17 Galion).

klötzen „gestreckt"; er bildet das Rückgrat des Schiffes und ist das unterste und wichtigste Längsverbandstück. Die einzelnen Kielstücke, viereckige schwere Balken aus Eichen-, Buchen- oder anderem harten Holz, greifen mit schrägen Laschungen, die durch Bolzen verbunden werden, übereinander. Nur bei kleinen Fahrzeugen kann der Kiel aus einem Stück hergestellt werden. Als Schutz des Kiels bei Grundberührungen wird unter ihm ein dünner *Loskiel* aus leichterem Holz befestigt. Am Vorderende des Kiels wird der bei Segelschiffen meist nach vorn geneigte und gekrümmte *Vorsteven* aufgerichtet und, zunächst vom Gerüst gestützt, in die richtige Lage gebracht. Am Oberende hat der Vorsteven einen trägerartigen Ausbau unter dem Bugspriet, das *Galion*, das später durch Schnitzwerk und eine Figur oder ein Symbol, den Schiffsnamen darstellend, verziert wird. Wo Kiel und Steven zusammenstoßen, wird innen ein starker Holzklotz, das *Reitknie* oder Binnenstevenknie, aufgesetzt. Bei großen Holzschiffen liegt innerhalb des Vorstevens noch ein Binnenvorsteven und erst innerhalb von ihm die doppelten Aufklotzungen des Reitknies, die nach unten in das *Kielschwein* übergehen. In ähnlicher Weise wird der *Achtersteven* auf dem Hinterende des Kiels befestigt. Er ist ein gerader Balken, der bei großen Schiffen fast senkrecht, bei kleinen zuweilen stark nach hinten geneigt ist, mit Zapfen aufgesetzt. Große Schiffe haben innerhalb einen Binnenachtersteven, auf den die Aufklotzungen, Achterstevenreitknie und Totholz, aufgesetzt werden, die ihrerseits mit dem Kielschwein verbunden sind.

Die *Spanten* müssen zunächst aus den *Bodenwrangen*, *Kimmstücken* und *Auflangern* zusammengefügt werden, ehe sie auf den Kiel gestellt werden; dies geschieht derart, daß die Krummhölzer zweier Spanten nebeneinander gelegt und verbolzt werden, wobei auf die Stoßstellen des einen Spants stets ein entsprechend gekrümmtes volles Holz zu liegen kommt. Dann werden die

Spanten mit Hebezeugen am Baugerüst genau senkrecht auf den Kiel nebeneinander gesetzt, wobei zum Ausrichten ein Lot von der Mitte der obersten Spreizlatte zwischen den Auflangern herabhängt. Die Mittelspanten erfordern nur in den Kimmstücken gekrümmte Hölzer; weit schwieriger ist die Auswahl der Bodenwrangen für die Spanten an den Schiffsenden. Bei scharfem Bug und Heck werden als Kantspanten nur halbe Bodenwrangen mit Auflangern an jeder Seite verwendet. Dicht neben dem Vorsteven werden die *Ohrhölzer* oder *Judasohren* befestigt, zwischen denen das *Bugspriet* ruht; daneben sitzen die *Klüshölzer*, Kantspanten mit Löchern für die Klüsen der Ankerketten. Eigenartig ist das Gerippe des Hecks. Die hintersten Kantspanten werden durch wagerechte Krummhölzer, die *Worpen*, mit dem Achtersteven verbunden. Der oberste Worp ist der *Heckbalken;* auf ihm stehen die nach hinten gekrümmten *Heckspanten* und *Gillungsstützen*, die den *Spiegel* und breiten Heckausbau bilden. Die seitliche Ecke des Spiegels wird von den *Randsomhölzern*, kurzen Heckkantspanten, gebildet. Alle Spanten und Heckhölzer werden aus Eichenholz gefertigt. Zu den Füllhölzern zwischen den Spanten wird Eichen- oder Fichtenholz verwendet.

Sobald das Schiff „in Spanten steht", also wenn die Spanten aufgerichtet sind, werden die *Inhölzer* als Längsverbandstücke eingebaut. Zunächst wird als innerer Kiel das Kielschwein auf die Bodenwrangen genau über den Kiel gelegt und mit diesem durch starke Bolzen verbunden. Die übrigen Inhölzer werden insgesamt die *Wegerung* genannt; am wichtigsten sind die *Balkweger*, die als Auflager für die Deckbalken dienen und bei großen Schiffen aus starken Balken, bei kleineren nur aus starken Planken von Eichen-, Teak- oder Pitchpineholz bestehen. Unter den Balkwegern besteht die Wegerung aus Planken von der Stärke der Außenhaut. Die wichtigsten inneren Querverbände sind die *Deckbalken*, die den Spanten Spreiz und Halt geben. Sie liegen in den oberen Decken in etwa 1 m Abstand voneinander rechtwinklig zum Kiel; auf Handelsschiffen, besonders im Raumdeck (dem untersten Deck), sogar in 2 m Abstand, und werden aus Eichen-, Mahagoni-, Teak- oder Fichtenholz gefertigt. Die Deckbalken tragen die *Deckplanken* (aus Fichten- oder Teakholz) und bilden so die *Decke*, d. h. die wasserdichten Fußböden im Schiffsraum. Wo der Deckbelag an die Spanten stößt, liegt ein Balken doppelter Stärke, der *Wassergang;* die Wassergänge stärken den Längsverband und werden durch Bolzen mit jedem Spant und jedem Deckbalken verbunden; sie sind aus demselben Holz wie die Balkweger gefertigt. Um die Deckbalken beim Belasten der Decke gegen Durchbiegung zu schützen, werden sie nach unten abgestützt, und zwar entweder durch einzelne hölzerne oder eiserne Stützen unter jedem Deckbalken, oder indem man da, wo die Deckbalken der Lücken wegen durchschnitten sind, einen Längsbalken als Unterschlag oder Unterzug unter mehrere Deckbalken legt und ihn mit mehreren Stützen abstützt. Das *Oberdeck* ist keine ebene, sondern eine gewölbte Fläche, damit das Wasser, das durch Seegang oder Regen darauf gelangt, schnell ablaufen kann. Die Querschiffswölbung oder *Bucht* des Decks hat mittschiffs den höchsten Punkt. In der Längsschiffswölbung oder dem *Sprung* des Decks liegen die höchsten Punkte vorn und achtern; die Sprungsenkung ist meist auf $^5/_8$ der Schiffslänge von vorn am größten. Alle Öffnungen in den Decken, die *Luken*, erhalten hohe Randschwellen *(Luksülle)*, um zu verhüten, daß Wasser vom Deck durch die Luken in die unteren Räume läuft. Die Luksülle haben Falzen; in diese werden Lukendeckel gelegt, die bei Bedarf durch Übernageln von Segeltuchpresennings *verschalkt*, d. h. gegen Wassereinbruch geschützt werden.

Die Außenhautbeplankung wird erst aufgenagelt, nachdem das Schiffsgerippe fertig ist und die Außenflächen der Spanten geschlichtet sind, so daß die *Planken* glatt aufliegen können. Die untersten Plankengänge heißen *Kielgänge;* sie greifen in die Kielsponung ein. Dann folgen die *Bodenplanken*, und in der *Kimm*, der Krümmung des Schiffsbodens, die *Kimmungsplanken*, darüber die sehr starken *Bergholz- (Barkholz-) Planken* in der Wasserlinie, dann die Oberbeplankung *(Farbegangsplanken)* mit dem *Schergang* (oder *Schandeckel*, wenn Relingsstützen über die Spanten gesetzt werden) in Höhe des Oberdecks und der *Schanzkleid*beplankung darüber bis zur *Reling*, einer balkenartigen Plankenlage, die den oberen Abschluß der Bordwand bildet, zugleich ein starker Längsverband des Schiffes ist. Auch die Innenbeplankung trägt je nach der Lage verschiedene

Benennung: an das Kielschwein schließt die *Raumwegerung* an, deren innerste Plankengänge die *Sandstrakplanken* bilden; dann folgen nach oben die *Kimmwegerungs-*, *Bankwegerungs-* und *Setzbordplanken*. Alle Deckbalken sind mit der Innenhaut und den Spanten durch sehr lange eiserne Hängeknie verbunden, so daß der ganze Schiffskörper ein ungemein festes Gefüge hat, was wegen der starken Stöße im Seegang auch unbedingt erforderlich ist. Um den Schiffskörper wasserdicht zu machen, werden sämtliche Nähte, d. h. die Fugen zwischen den Planken, mit Wergdocht und Pech abgedichtet. Schließlich wird der Schiffsboden zum Schutz gegen den Bohrwurm und gegen das Bewachsen mit Muscheln und Seegras *gekupfert*, d. h. mit einer Haut aus dünnen Platten von Kupfer, Bronze-, Muntz- oder Gelbmetall benagelt. Die Kupfernägel des Bodenbeschlages dürfen aber nirgends mit eisernen Bolzen oder Spiekern der Außenbeplankung in Berührung kommen, damit kein galvanischer Strom entsteht. Deshalb werden alle Bolzen und Spieker in die Außenhaut vertieft eingeschlagen und die Löcher außen mit Holzpfropfen wasserdicht geschlossen. Beim Kompositbau, der schon beim Jachtbau S. 465 erwähnt wurde und früher auch für große Kriegsschiffe üblich war, besteht die Außenhaut meist aus zwei Plankenlagen, die zur besseren Abdichtung noch eine Zwischenschicht aus geteertem Filz haben. Die Außenhaut ist kupferfest, d. h. mit kupfernen, messingenen oder hölzernen Bolzen und Nägeln auf der inneren Plankenlage befestigt, um Zerstörungen durch galvanischen Strom zu verhüten.

Die **Ausrüstung der hölzernen Schiffe** weicht in manchem von der der eisernen ab; nur diese Abweichungen sollen hier angeführt werden, da die Gesamtausrüstung moderner Schiffe im Abschnitt über Dampfschiffe betrachtet werden wird. Das *Ruder* (Steuerungsorgan) hölzerner Schiffe besteht aus dem geraden eichenen *Ruderherz*, oben mit dem *Ruderkopf*, und den fichtenen Füllstücken, die die Ruderfläche (etwa $^1/_{50}$ des eingetauchten Längsrisses) bilden. An der Vorderfläche des Ruderherzens sind bronzene *Fingerlinge* an Bronzebändern, die die Füllstücke halten, befestigt; mit den Fingerlingen wird das Ruder in die Ruderösen am Hintersteven eingehängt, während der Ruderkopf durch den *Ruderkoker* bis auf das Oberdeck reicht und dort durch Aufsetzen einer hölzernen oder eisernen *Pinne* mit dem *Ruderreep* oder einem *Patentsteuer* verbunden ist, das vom Rudersmann mit dem Steuerrad gedreht wird. Das *Ankergeschirr* besteht aus eisernen *Ankern* alter Form *(Admiralitätsanker)* mit hölzernem oder eisernem Stock, die an Kranbalken seitlich vom Galion hängen und mit dem Kreuz auf einer schrägen Gleitfläche ruhen, von Schlippketten gehalten.

Takelung. Die *Masten und Rundhölzer* (vgl. Fig. 1119) hölzerner Schiffe werden meist aus Tannen- oder Fichtenholz gefertigt. Die Untermasten werden zuweilen, wenn der Baumstamm für die Länge reicht, aber nicht stark genug ist, durch etwa acht herumgelegte Längsleisten verstärkt, die durch eiserne Ringe gehalten werden. Sehr große Untermasten werden aus mehreren Hölzern zusammengesetzt und auch durch eiserne Ringe zusammengehalten. Die Mastspuren stehen in Spurklötzen auf dem Kielschwein. Mithin reichen die Masten durch alle Decke bis zum Kiel, nur der Besanmast (der hinterste Mast) steht zuweilen mit seiner Spur auf dem Zwischendeck. Das Bugspriet wird mit eisernen Bändern auf dem Oberdeck und mit Ketten am Galionscheg befestigt. Zur Aufnahme der *Marsstengen* erhält der Topp des Untermastes breite hölzerne Backen, auf denen die *Längssalinge* verbolzt sind, die wiederum die *Quersalinge* und den *Mars*, eine Plattform für die Stengewanten, tragen. Am Oberende trägt der *Topp* des Untermastes das *Eselshaupt*, durch dessen vorderes Auge die *Stenge* geschoben wird, während ihr Fuß mit Schloßholz zwischen den Salingen ruht. Ähnlich wird die *Bramstenge* auf die *Marsstenge* gesetzt, nur ohne Mars; das Oberende der Bramstenge trägt den *Flaggenknopf* mit den Scheiben für die Signal- und Flaggleinen. Zur Stütze der Masten und Stengen dient das „stehende Gut" der *Takelung;* es besteht neuerdings meist aus Stahldrahttauwerk, seltener aus Hanftauwerk. Die Untermasten werden durch *Stage* nach vorn, durch *Wanten* zugleich seitlich und nach hinten gestützt; die Wanten sind starke Doppeltaue (Hoftaue), die mit einem Auge über den Topp des Untermastes gestreift werden, auf den Längssalingen liegen und unten außenbords vom Oberdeck an den *Rüsten*, stark

ausladenden eichenen Balken, durch *Püttingseisen*, *Jungfernblöcke* und *Taljereeps* steif gesetzt, d. h. straff gespannt werden. Zwischen den Wanten werden wagerechte *Webeleinen* ausgewebt, um *Strickleitern* zum Erklettern der Takelung zu schaffen. Die Anordnung des ähnlichen stehenden Gutes der Mars- und Bramstengen zeigt das Bild der Fünfmastbark (Fig. 1119). Als hintere Seitenstütztaue erhalten die Stengen noch *Pardunen*. Bugspriet und seine Verlängerung, der *Klüverbaum*, geben den Stagen des Fockmastes den unteren Halt, müssen deshalb selbst stark nach unten

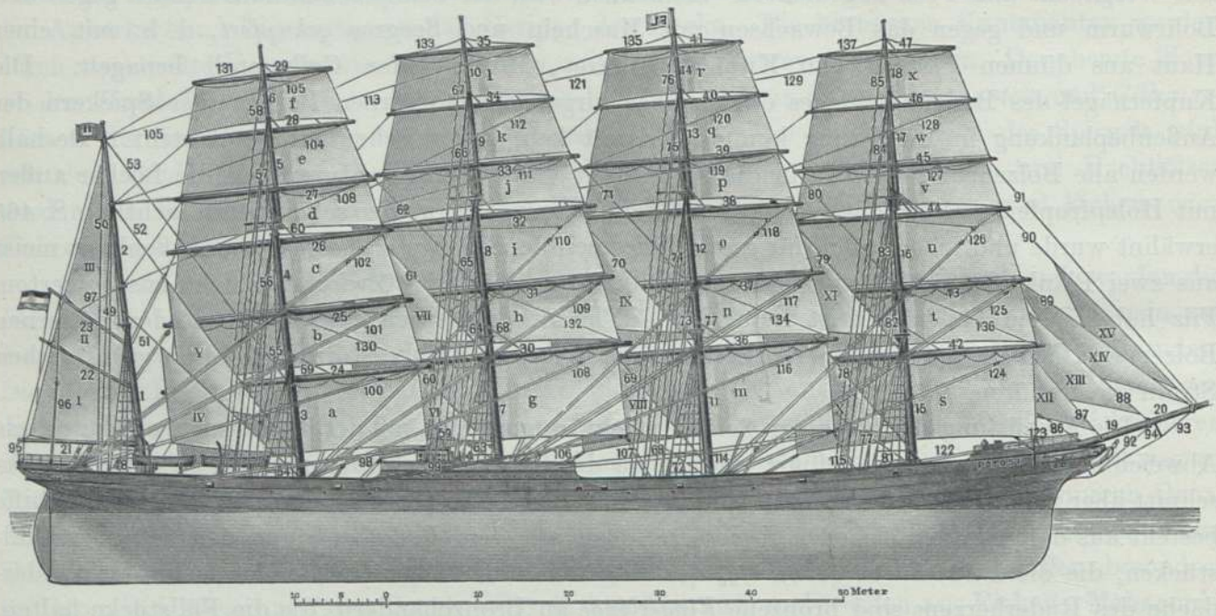


Fig. 1119. Takelung der Fünfmastbark „Potosi".

I. Rundhölzer. 1. Masten und Stengen:

Im Besantopp:	Im Achtertopp:	Im Mitteltopp:	Im Großtopp:	Im Vortopp:	Am Vorgeschirr:
1 Besanmast	3 Achtermast	7 Mittelmast	11 Großmast	15 Fockmast	19 Bugspriet
2 Besanstenge	4 Achtermarsstenge	8 Mittelmarsstenge	12 Großmarsstenge	16 Vormarsstenge	20 Klüverbaum
	5 Achterbramstenge	9 Mittelbramstenge	13 Großbramstenge	17 Vorbramstenge	
	6 Achteroberbramstenge	10 Mitteloberbramstenge	14 Großoberbramstenge	18 Voroberbramstenge	

2. Rahen und Gaffeln:

21 Besanbaum	24 Achterrahe	30 Mittelrahe	36 Großrahe	42 Fockrahe	94 Stampfstock
22 Besanuntergaffel	25 Achteruntermarsrahe	31 Mitteluntermarsrahe	37 Großuntermarsrahe	43 Voruntermarsrahe	
23 Besanobergaffel	26 Achterobermarsrahe	32 Mittelobermarsrahe	38 Großobermarsrahe	44 Vorobermarsrahe	
	27 Achterunterbramrahe	33 Mittelunterbramrahe	39 Großunterbramrahe	45 Vorunterbramrahe	
	28 Achteroberbramrahe	34 Mitteloberbramrahe	40 Großoberbramrahe	46 Voroberbramrahe	
	29 Achterreuelrahe	35 Mittelreuelrahe	41 Großreuelrahe	47 Vorreuelrahe	

***II. Segel.** 3. Rahsegel:*

a Achtersegel	g Mittelsegel	m Großsegel	s Fock	
b Achteruntermarssegel	h Mitteluntermarssegel	n Großuntermarssegel	t Voruntermarssegel	
c Achterobermarssegel	i Mittelobermarssegel	o Großobermarssegel	u Vorobermarssegel	
d Achterunterbramsegel	j Mittelunterbramsegel	p Großunterbramsegel	v Vorunterbramsegel	
e Achteroberbramsegel	k Mitteloberbramsegel	q Großoberbramsegel	w Voroberbramsegel	
f Achterreuel	l Mittelreuel	r Großreuel	x Vorreuel	

4. Schratsegel:

I unterer Besan	IV Besanstagsegel	VI Achterstengestagsegel	VIII Mittelstengestagsegel	X Großstengestagsegel	XII Vorstengestagsegel
II oberer Besan	V Besanstengestagsegel	VII Achterbramstagsegel	IX Mittelbramstagsegel	XI Großbramstagsegel	XIII Innenklüver
III Gaffeltoppsegel					XIV Außenklüver
					XV Vorbramstagsegel

***III. Tauwerk.** 5. Stehendes (unbewegliches) Gut:*

48 Besanwanten	54 Achterwanten	63 Mittelwanten	72 Großwanten	81 Fockwanten	92 Wasserstag
49 unt. Besanstengepardunen	55 Achterpardunen	64 Mittelpardunen	73 Großpardunen	82 Vorpardunen	93 Klüverstampfstag
50 ob. Besanstengepardunen	56 Achterstengepardunen	65 Mittelstengepardunen	74 Großstengepardunen	83 Vorstengepardunen	
	57 Achterbrampardunen	66 Mittelbrampardunen	75 Großbrampardunen	84 Vorbrampardunen	
	58 Achterreuelpardunen	67 Mittelreuelpardunen	76 Großreuelpardunen	85 Vorreuelpardunen	
51 Besanstag	59 Achterstag	68 Mittelstag	77 Großstag	86 Fockstag	
52 unteres Besanstengestag	60 Achterstengestag	69 Mittelstengestag	78 Großstengestag	87 Vorstengestag	
53 oberes Besanstengestag	61 Achterbramstag	70 Mittelbramstag	79 Großbramstag	88 Innenklüverleiter	
	62 Achterreuelstag	71 Mittelreuelstag	80 Großreuelstag	89 Außenklüverleiter	
				90 Vorbramstag	
				91 Vorreuelstag	

6. Laufendes (bewegliches) Gut:

95 Besanschot	98 Achterschot	106 Mittelschot	114 Großschot	122 Fockschot
96 Gaffelgeeren	99 Achterhals	107 Mittelhals	115 Großhals	123 Fockhals
97 Piekfall	100 Achterbraß	108 Mittelbraß	116 Großbraß	124 Fockbraß
	101 Achteruntermarsbraß	109 Mitteluntermarsbraß	117 Großuntermarsbraß	125 Voruntermarsbraß
	102 Achterobermarsbraß	110 Mittelobermarsbraß	118 Großobermarsbraß	126 Vorobermarsbraß
	103 Achterunterbrambraß	111 Mitteluntertbrambraß	119 Großunterbrambraß	127 Vorunterbrambraß
	104 Achteroberbrambraß	112 Mitteloberbrambraß	120 Großoberbrambraß	128 Voroberbrambraß
	105 Achterreuelbraß	113 Mittelreuelbraß	121 Großreuelbraß	129 Vorreuelbraß
	130 Achtertoppnant	132 Mitteltoppnant	134 Großtoppnant	136 Focktoppnant
	131 Achterreueltoppnant	133 Mittelreueltoppnant	135 Großreueltoppnant	137 Vorreueltoppnant

gestützt werden; dies geschieht durch das Wasserstag und das vom Stampfstock niedergehaltene Klüverstampfstag. Zum „laufenden Gut" rechnet die gesamte Takelung der Segel. Man unterscheidet: *Rahsegel*, sie sind an einem wagerechten Baum, *Rahe* genannt, befestigt, der quer zur

Kielrichtung hängt; ferner *Gaffelsegel* an einer hinter dem Mast mit Klaue befestigten Gaffelstange, kurz *Gaffel* genannt; sowie *Stagsegel*, vor dem Mast an einem Stag an Ringen befestigte dreieckige Segel. Die in der Kielrichtung hängenden Gaffel- und Stagsegel werden gemeinschaftlich auch *Schrat-* oder *Schrägsegel* genannt. Alle Segel sind aus Segeltuchstreifen, *Kleider* genannt, zusammengenäht, ihre Ränder mit Tauwerk als *Liek* verstärkt. Das obere Liek der Rahsegel wird mit Bändseln auf der Rahe straff festgebunden; die unteren Ecken der Rahsegel, die *Schothörner*, werden mit Schottauen *(Schoten)* nach den *Nocken* (Enden) der unteren Rahe ausgeholt beim Segelsetzen, aber mit *Geitauen* beim Segelbergen unter der eigenen Rahe zusammengeschnürt. Für die großen Untersegel dienen *Halsen* zum Ausholen der Schothörner nach vorn, *Buggordinge*, *Schlapp-* und *Nockgordinge* zum Schnüren des Segelbauches und der Lieke beim Segelfestmachen. Zum Verkleinern *(Reffen)* der Rahsegel sind *Reffbändsel* eingenäht, die auf der Rahe festgebunden werden; manche Marssegel haben 3—4 Reihen Reffbänder. Bei den doppelten Marssegeln der Handelsschiffe sind meist *Patentreffe* im Gebrauch, bei denen das Segel auf eine Rahstange aufgewickelt wird. Zur Takelung der Rahen gehören die *Toppnanten* zur Stütze der Nocken, die *Racken* zum Festhalten am Mast oder an der Stenge, die *Brassen* zum Schrägstellen (Brassen) der Rahen je nach dem Wind, die *Fallen* zum Hissen der Rahen und Spannen der

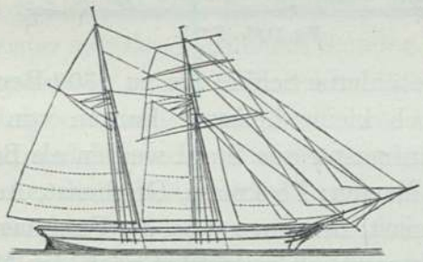


Fig. 1120. Toppsegelschuner.

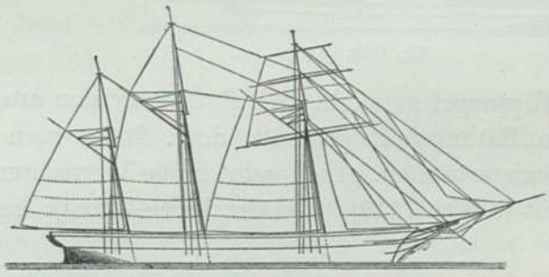


Fig. 1121. Dreimasttoppsegelschuner.

Segelfläche nach oben. Bei den Gaffelsegeln wird die Gaffel durch das *Klaufall* am Mast, durch das *Piekfall* am Außenende gehißt, durch die *Geeren* seitlich nach unten gestützt. Einzelne Gaffelsegel, wie Besan und Briggsegel, haben unten einen *Baum* zum Ausholen der Schot. Das vordere untere Ende des Gaffelsegels, der *Hals*, wird mit einer *Talje* (Flaschenzug) straff gespannt. Gaffelgeitaue dienen zum *Geien* (Bergen) der Gaffelsegel. Das laufende Gut der Stagsegel besteht aus einem Fall zum Setzen *(Hissen)*, einem *Niederholer* zum Bergen und je einer Schot an jeder Schiffsseite zum Ausspannen des Segels nach hinten. Die Benennung der Masten, Rahen, Segel usw. ist aus der Erläuterung zur Takelung der Fünfmastbark auf S. 476 zu ersehen.

Die *Takelung der Segelschiffe* zeigt noch viel mannigfaltigere Formen als die der Segelboote und Segelfahrzeuge. Sie richtet sich in erster Reihe nach Größe und Gebrauchszweck des Segelschiffes, zeigt aber auch manche Eigenart in verschiedenen Ländern mit Seeschiffahrtsbetrieben.

Für kleine Segelschiffe ist die *Schuner*takelung sehr beliebt, weil bequem zu handhaben. Sie hat 2—7 hohe Untermasten ohne Marsen mit kurzen Stengen; jeder Mast trägt ein *Gaffelsegel (Schunersegel)* und darüber ein dreieckiges *Toppsegel*. Unter den *Zweimastschunern* unterscheidet man: den *Gaffelschuner* (Fig. 1093), den *Toppsegelschuner* mit zwei Rahsegeln im Fockmast (s. Fig. 1120), die *Schunerbrigg* (den *Marssegelschuner*) mit voll rahgetakeltem Fockmast, auch *Hermaphroditbrigg* genannt, den *Briggschuner* mit Mars- und Bramsegeln in beiden Masten, auch *Rahschuner* genannt, und andere Abarten. Unter den *Dreimastschunern* sind gebräuchlich: der *Dreimastgaffelschuner*, der *Dreimasttoppsegelschuner* (s. Fig. 1121), der *Dreimastmarssegelschuner* (Fockmast voll rahgetakelt), auch *Barkschuner* genannt, und die *Schunerbark* mit Schunermasten, aber Fock- und Großmast mit leichten Rahsegeln.

Vier- bis Siebenmastschuner sind modern gebaute, schlanke Stahlschiffe sehr großen Raumgehaltes, die an der amerikanischen Küste des Stillen Ozeans sehr beliebt sind, weil sie der bequemen Handhabung der Schunersegel wegen nur schwache Besatzung erfordern.

Früher bei kleinen Segelkriegsschiffen viel im Gebrauch, jetzt bei Handelsschiffen seltener geworden ist die *Brigg*takelung (Fig. 1122). Die Brigg ist ein mit Rahen vollgetakelter Zweimaster von höchstens 500 Registertonnen Raumgehalt. Eine Abart der Brigg ist der schon erwähnte *Briggschuner*, im Mittelmeer als *Brigantine* sehr beliebt, mit langen Untermasten und kurzen Bramstengen darüber.

Am gebräuchlichsten für mittelgroße Segelschiffe aller Handelsmarinen ist die *Bark*takelung (Fig. 1123). Die *Bark*, auch *Barkschiff* genannt, hat zwei vollgetakelte Masten, *Fockmast* und *Großmast;* der dritte und hinterste Mast, der *Besanmast*, ist als Schunermast mit dem Besan und

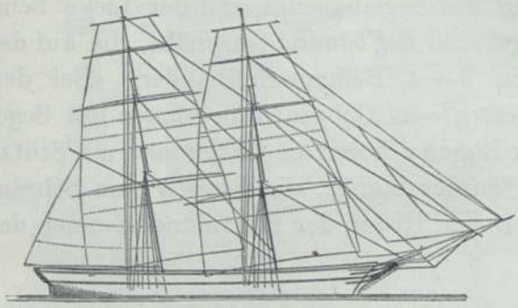


Fig. 1122. Brigg.

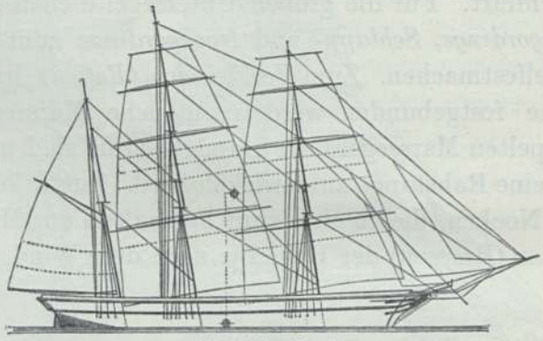


Fig. 1123. Bark.

dem Toppsegel getakelt. Als Barken werden auch große stählerne Schiffe bis zu 1500 Registertonnen Raumgehalt getakelt, doch findet man auch noch kleine hölzerne Barken von etwa 200 Registertonnen. Auch sehr große Viermaster und Fünfmaster aus Stahl werden als Barken getakelt (s. Fig. 1119). Bei der Viermastbark heißen die Masten: Fockmast, Großmast, Achtermast, Besanmast; bei der Fünfmastbark kommt als mittelster noch der Mittelmast dazu.

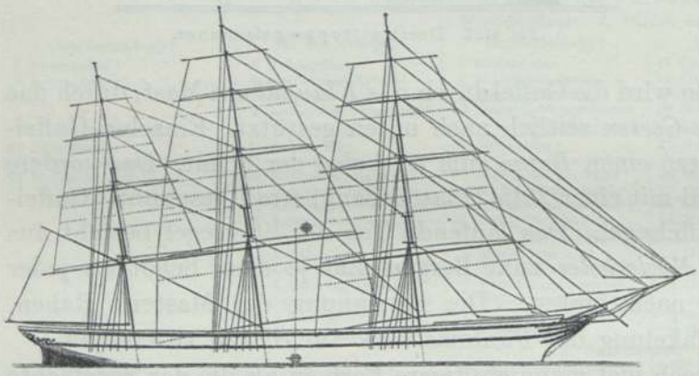


Fig. 1124. Fregatte oder Vollschiff.

Eine ältere Form der Takelung großer Segelschiffe, die jetzt seltener zu werden beginnt, ist die *Fregatt-* oder *Vollschiff*takelung (Fig. 1124). Beim Vollschiff sind alle drei Masten mit Rahen vollgetakelt, auf Handelsschiffen meist mit doppelten Mars- und Bramsegeln, weil diese schneller und bequemer geborgen und gesetzt werden können als die veralteten großen Marssegel, die fast nur noch auf großen Walfischfängern und Schulschiffen vorkommen. Der hinterste vollgetakelte Mast heißt bei allen Drei-, Vier- und Fünfmastvollschiffen *Kreuzmast*, hat statt des untersten Rahsegels aber ebenfalls einen Besan (wie der Besanmast der Barken), weil dieses Segel für die Fahrt dicht beim Wind unentbehrlich ist.

II. Dampfschiffe.

1. Schiffbau.

Um ein Schiff zu entwerfen und zu erbauen, sind eine Reihe allgemeiner und besonderer technischer Anforderungen zu erfüllen.

1. *Die Verbände des Schiffskörpers* müssen so fest sein, daß sie weder durch Belastung noch durch Auftrieb nachgeben und Formänderungen herbeiführen. Auch in ruhigem Wasser haben die zugespitzten Enden des Schiffes geringeren Auftrieb als die vollbauchige Schiffsmitte, haben also das Bestreben, nach unten durchzubiegen, besonders wenn sie noch durch Gewichte

(z. B. Panzertürme) belastet sind. Umgekehrt kann bei sehr langen, flachbodigen Flußdampfern, die in der Mitte durch Maschinen und Kessel am stärksten belastet sind, der Druck auf Durchbiegung in der Schiffsmitte größer als an den Enden sein. Für Seeschiffe ändern sich die Auftriebs- und Druckkräfte sehr schnell, je nachdem bei hohem Seegang der Schiffsbauch (die Mitte) sich in einem Wellental oder auf einem Wellenberg befindet. Zumeist werden dabei die Schiffsenden ruckweise bald auf Zug nach oben, bald auf Druck nach unten beansprucht. Deshalb muß ähnlich wie beim Brückenbau der Schiffskörper als ein Gitter- oder Kastenträger betrachtet werden; das Ober- oder Hauptdeck bildet gleichsam die obere Gurtung, der Doppelboden die untere, und die Außenhaut mit ihren inneren Querversteifungen durch Spanten usw. entspricht den seitlichen Trägerstegen, die die starre Form auch bei den heftigsten Hebungen, Senkungen und Stößen im Seegang sichern müssen. Auch der Querverband ist beim Schlingern des Schiffes in Wellen, deren Kämme quer zum Schiff, also gleichlaufend mit dem Kiel gerichtet sind, in seinen oberen Teilen starkem seitlichen Druck ausgesetzt, worauf bei der Verbindung der Deckbalken mit den Spanten Rücksicht zu nehmen ist. Aber die Biegemomente in der Kielrichtung sind wegen der Länge des Hebelarmes die stärksten, so daß bei langen Dampfern der starke Bau aller Längsverbände die wichtigste Rolle spielt. Da die Schiffsform geometrisch unregelmäßig ist, und da die Bewegungen der Wellen im Seegang außerordentlich unregelmäßig verlaufen, sind die Beanspruchungen der einzelnen Schiffsverbände im Seegang sehr schwer festzustellen, so daß auch der moderne Schiffbaumeister auf die an früheren Schiffen gewonnenen Erfahrungen bei der Bestimmung der Stärkeverhältnisse der einzelnen Bauteile zurückgreifen muß. Deshalb rechnet man bei den theoretischen *Festigkeitsberechnungen*, die nach den Anschauungen der allgemeinen Festigkeitslehre ausgeführt werden, und bei denen, wie oben gesagt, das Schiff als Gitterträger angesehen wird, mit vier- bis fünffacher Sicherheit. Bei sehr langen Seeschiffen soll aber schon die doppelte bis dreifache Sicherheit genügen, weil man annimmt, daß bei solchen Schiffen die ungünstigsten Lagen auf einem Wellenberg in der Schiffsmitte oder auf zwei Wellenbergen an den Schiffsenden nicht vorkommen.

2. Der *Schiffswiderstand* im Wasser muß so klein wie möglich sein, um möglichst große Geschwindigkeit mit möglichst geringer Antriebskraft zu erreichen. Modellschleppversuche des britischen Gelehrten W. Froude haben ergeben, daß die Antriebskraft ungefähr mit der dritten Potenz der Geschwindigkeitszunahme und bei hohen Geschwindigkeiten sogar noch stärker als in diesem Verhältnis wächst. Die Verdoppelung der Schiffsgeschwindigkeit fordert also etwa achtfache Maschinenkraft. Da die günstigste Schiffsform für jede Geschwindigkeit erst durch Versuche ermittelt werden muß — der Schiffswiderstand hängt hauptsächlich von der Form des Schiffes unterhalb der Wasserlinie ab —, hat man in den meisten Schiffbau treibenden Ländern jetzt Schleppversuchsanstalten gebaut, in deren langen Wasserbecken Paraffinmodelle von Schiffsformen ausgeprobt werden. Die Modellform wird so lange geändert, bis sie den geringsten Widerstand bei der für das Schiff gewünschten Höchstgeschwindigkeit zeigt. In Deutschland besteht so z. B. die großartige *Schleppmodellversuchsanstalt des Norddeutschen Lloyd* in Bremerhaven: Die aus Paraffin gegossenen Modelle werden in einem 164 m langen, mit Wasser gefüllten *Schleppbecken* durch einen darüber auf Schienen laufenden Schleppwagen mit Hilfe eines Elektromotors bewegt, wobei Fahrgeschwindigkeit, Kraftleistung, Hebungen und Senkungen des Modells während der Fahrt selbsttätig registriert und die an Bug und Heck auftretenden Wellenformen photographiert werden. Derartige Versuche haben sich als außerordentlich wertvoll zur Gewinnung günstiger Schiffsformen erwiesen; insbesondere haben sie gezeigt, daß häufig die Verlängerung des Schiffskörpers und die Vermehrung der Schiffsgröße möglich ist, ohne den Widerstand der Form zu vergrößern. Außerdem läßt sich durch die Schleppversuche die richtige Lage der Schraubenwellen und die günstigste Form der Schraubenflügel feststellen. Die Versuche haben ferner ergeben, daß die Antriebskraft größerer Schiffe bei gleichen Geschwindigkeiten verhältnismäßig kleiner wird. Nach E. Foerster fordert ein Schiff von 40000 Tonnen Wasserverdrängung nur das 1,5fache der Maschinenkraft eines halb so großen Schiffes; diese Ersparnis an Betriebskraft ist der wichtigste Grund für die heutige Steigerung der Größen von Fracht- und Passagierdampfern

bis zu dem riesigen Raumgehalt von 50 000 Registertonnen brutto beim neuesten Dampfer der Hamburg-Amerika-Linie. Die besonderen Anforderungen an die Größe und Geschwindigkeit des Schiffes bilden bei der Bestimmung des geringsten Widerstandes die Grundlage; von ihnen ist also die Schiffsform abhängig. So müssen z. B. schnellere Schiffe schlanker, also länger, als langsamere von gleicher Wasserverdrängung gebaut sein. Aber diese besonderen Anforderungen wirken auch auf die im folgenden unter 3. und 4. betrachteten allgemeinen technischen Anforderungen ein. Hierdurch wird der Bau eines Schiffes zu besonderen Zwecken und von im voraus festgesetzten Eigenschaften zu einer sehr schwierigen Aufgabe, die nur dadurch zu lösen ist, daß der Schiffbaumeister an seinem ersten Entwurf Änderungen vornimmt, bis alle Bedingungen mit genügender Genauigkeit erfüllt sind.

3. Die *Standfestigkeit (Stabilität)* des Schiffskörpers, also die Sicherheit gegen Kentern (Umschlagen), muß dem besonderen Zweck des Schiffes entsprechen. Schiffe, die in ruhigen Gewässern fahren sollen, sind weniger in Gefahr, bei ungünstiger Gewichtsbelastung umzuschlagen, als Seeschiffe in hohem Seegang. Die Standfestigkeit ist sowohl von der Schiffsform wie von der Lage des Gewichtsschwerpunktes des Schiffes abhängig. Nach dem Archimedischen Gesetz ist bei jedem in Ruhelage schwimmenden Körper sein Gewicht im Gleichgewicht mit seinem Auftrieb. Wenn die Schwerkraft größer ist, wird der Körper ins Wasser gedrückt; wenn die Auftriebskraft größer ist, wird er weiter über die Wasseroberfläche gehoben. In der Ruhelage kann der Körper nur schwimmen, wenn der Angriffspunkt der Auftriebskraft senkrecht über oder unter dem Schwerpunkt des Körpers liegt. Das läßt sich am leichtesten an einer an einem Ende mit einem Gewicht (Stein) belasteten Stange beobachten, ist auch aus dem mechanischen Grundsatz von den Kräftepaaren unmittelbar abzuleiten: zwei entgegengesetzt wirkende Kräfte gleicher Stärke halten sich im Gleichgewicht. Mithin muß auch das Gewicht eines in der Ruhelage schwimmenden Schiffes genau so groß sein wie das der vom eingetauchten Teil des Schiffskörpers verdrängten Wassermasse. Der Auftriebsmittelpunkt des Schiffes in aufrechter Ruhelage ist der Schwerpunkt der vom Schiff verdrängten Wassermasse. Mit jeder Neigung des Schiffes ändert sich die Form des eingetauchten Schiffskörpers und mithin auch die Lage des Auftriebsmittelpunktes zum Schiffskörper, während der Schiffsschwerpunkt stets dieselbe Lage behält, solange im Schiff keine Lageänderungen mit der Ladung vorgenommen werden. Deshalb entsteht bei jeder Neigung des Schiffes ein Kräftepaar aus Auftrieb und Schwerkraft, das das Zurückdrehen des Schiffes in seine Ruhelage bewirkt. Die Wiederaufrichtungsfähigkeit des Schiffes aus der geneigten in die aufrechte Lage nennt man seine Standfestigkeit oder Stabilität; sie ist abhängig von der Schwerpunktslage und von der Form des Schiffskörpers. Kritisch ist nur die Querstabilität; breite und flachgebaute Schiffe mit tiefliegendem Schwerpunkt sind standfester als schmale, scharfgebaute mit hochliegendem Schwerpunkt. Große Standfestigkeit ist bei Seeschiffen keine gute Eigenschaft; solche Schiffe machen bei seitlich aufstoßendem Seegang sehr heftige, unangenehm stoßende Rollbewegungen. Der Schiffbaumeister muß also bemüht sein, die Querschnittsform (also die größere oder geringere Völligkeit des Spantenverlaufes) oder die Höhenlage des Schwerpunktes derart einzurichten, daß die Standfestigkeit zwar gesichert, aber nicht zu groß ist. Das beste Merkmal zur Beurteilung der Standfestigkeit ist das *Metazentrum*, d. h. der Schnittpunkt der Auftriebsrichtungen bei aufrechter und geneigter Lage des Schiffes. In Fig. 1125 ist der Querschnitt eines Schiffes dargestellt, das ursprünglich bis zur Linie 1, 2 im Wasser liegt. Sein Massenschwerpunkt sei 5, sein Deplacementsschwerpunkt 6. Durch Wind oder Wellen werde nun das Schiff so geneigt, daß es auf der Wasserlinie 3, 4 schwimmt. Dann verschiebt sich der Deplacementsschwerpunkt von 6 nach 7. Wo nun die Richtung des Auftriebes 7, 8, die durch 7 senkrecht zur Wasseroberfläche geht, sich mit der durch 5 laufenden Schiffsmittellinie schneidet, also in 9, liegt das

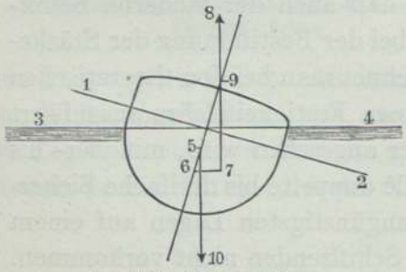
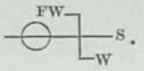


Fig. 1125. Metazentrum.

Metazentrum. Solange das Metazentrum über dem Schwerpunkt 5 des Schiffskörpers liegt, kann das Schiff nicht kentern, sondern muß sich unter Einwirkung des Kräftepaares 7, 8 und 5, 10 wieder aufrichten. Je höher das Metazentrum liegt, desto standfester, oder seemännisch gesagt „steifer", ist das Schiff, um so heftiger sind aber auch die Rollbewegungen. Je schärfer das Schiff gebaut ist, um so höher muß also sein Schwerpunkt liegen, damit die Schiffsbewegungen in See stetig und gelinde sind. Aber die *metazentrische Höhe*, d. h. der Abstand des Metazentrums 5 über dem Schwerpunkt 9, darf nie Null werden, weil dann labiles Gleichgewicht eintreten würde, das geneigte Schiff also seine Aufrichtefähigkeit verlieren würde. Würde dann bei geneigtem Schiff, z. B. infolge Wassereinbruchs durch ein Leck, der Auftriebsmittelpunkt sich nach der ausgetauchten Schiffsseite verschieben, dann muß das Schiff infolge des nunmehr umgekehrt wirkenden Kräftepaares aus Auftrieb und Schwerkraft kentern, d. h. umfallen. Die metazentrische Höhe verschiedener Schiffsklassen ist sehr verschieden, z. B. begnügt man sich bei Schnelldampfern und Torpedobooten mit 30—60 cm, bei Frachtdampfern und Kreuzern mit 70 cm, bei Segelschiffen und Panzerschiffen mit 100 cm Abstand des Metazentrums über dem Schiffsschwerpunkt.

4. Die *Seetüchtigkeit* eines Schiffes hängt nicht nur von der Formfestigkeit und der Standfestigkeit ab, sondern auch von der Tiefe der Eintauchung des beladenen Schiffskörpers. Das den Schiffsraum nach oben abschließende Hauptdeck muß hoch genug über Wasser liegen (marinetechnisch ausgedrückt: genügenden *Freibord* haben); außerdem muß genügende *Reserveschwimmkraft* (also wasserdicht verschließbare Räume über der normalen Wasserlinie) vorhanden sein, damit das Schiff beim Leckwerden und Wassereinbruch in ein oder mehrere untere Schiffsräume noch schwimmfähig bleibt. Die Freibordhöhe, also die größte zulässige Beladung, ist durch gesetzliche Tiefmarken für jedes Handelsschiff genau festgesetzt. Die *Freibordregeln* machen Unterscheidungen je nach Bauart, Materialstärke, Größe und Form der Schiffe; z. B. beträgt nach den deutschen Freibordregeln für Frachtdampfer, die als Volldeckschiffe von 80 Prozent Völligkeit gebaut sind, bei 130 m Länge und 11 m Raumtiefe vom Kiel bis Hauptdeck der Freibord 2 m. Jedes deutsche Handelsschiff trägt an jeder Seite der Außenhaut eine Freibord- oder Tiefmarke der Seeberufsgenossenschaft derart: 

. *FW* ist der erlaubte Tiefgang im Süßwasser (auf Flüssen), *S* der Sommertiefgang im Seewasser und *W* der Wintertiefgang im Seewasser.

Für die Sicherung genügender Reserveschwimmkraft gibt es nur in Deutschland für alle Seehandelsschiffe scharfe gesetzliche Bestimmungen in den *Schottenregeln* der Seeberufsgenossenschaft, wodurch die deutschen Handelsschiffe zu den seetüchtigsten Seeschiffen aller Nationen gemacht sind. Die Schottenregeln beziehen sich auf die Anzahl und Stärke der wasserdichten Querschotte (siehe S. 485) im Schiffsinnern. Die schärfsten Bedingungen sind den großen Passagierdampfern gestellt. Dabei dürfen die Räume in der Schiffsmitte am größten sein, weil bei deren Vollwasserlaufen der Schiffskörper ungefähr in seiner normalen wagerechten Lage tiefer sinkt, das Hauptdeck mithin noch über Wasser bleibt. Die wasserdichten Räume an den Schiffsenden müssen kleiner sein, weil bei ihrem Vollaufen infolge des langen Hebelarmes das Hauptdeck schneller nahe an die Wasserlinie sinken würde. Dabei ist stets an der Bedingung festzuhalten, daß die Schwimmfähigkeit noch beim Vollaufen zweier nebeneinander liegender Räume unter dem Hauptdeck erhalten bleiben muß. —

Schließlich muß der Schiffbaumeister noch mancherlei besondere Bedingungen des Bauherrn berücksichtigen, insbesondere die folgenden: Höhe der Bau- und Betriebskosten; Größe und Gewicht des Kohlenvorrates für die Maschinen; Ausrüstung mit Rettungsbooten, Ankergeschirr, Ladegeschirr, Takelung; Ausgestaltung der Innenräume für Fahrgäste verschiedener Klassen, nebst Küchenbetrieb usw.; gute Unterkunft für die Mannschaft; gute Manövriereigenschaften, zweckmäßiges Ruder- und Steuergeschirr; genügenden Raum für Frachten verschiedener Art, zuweilen Sonderbauten für die Verschiffung von Erzen, Getreide, Baumwolle usw.; Sicherheitsvorrichtungen gegen Feuers- und Wassersgefahr; elektrische Beleuchtung usw. Für die

Erbauer von Kriegsschiffen erwachsen ganz besonders schwierige Aufgaben mit der zweckmäßigsten Bewaffnung und Panzerung der verschiedenen Schiffsarten.

Der **Stahlschiffbau** ist hervorgegangen aus dem viel älteren Holzschiffbau, seine Technik erinnert daher in den Hauptverbänden stark an diesen (siehe S. 472 ff.). Die Schiffspläne *(Längsriß, Spantenriß, Wasserlinienriß)* geben im verkleinerten Maßstab, meist 1:100, 1:50 oder 1:25, die äußere Schiffsform genau an. Außer dieser Konstruktionszeichnung werden noch Einrichtungszeichnungen entworfen, um die Verteilung des Schiffsraumes und seiner Einzelheiten anzugeben; dazu gehören Deckpläne, Stauungsplan der untersten Räume und Quer- und Längsschnitte der Schiffspläne mit allen am Schiffskörper anzubringenden Einrichtungen. Eine sehr wichtige Bauzeichnung ist ferner die *Hauptspantzeichnung* (Schnitt durch das *Nullspant*), worin alle Verbandteile und zugleich die Materialstärken der Platten, Winkeleisen, Profilstahle usw., aus denen das Schiff erbaut wird, zu erkennen sind. Ähnlich werden Bauzeichnungen für andere wichtige Einzelheiten des Schiffes, z. B. für Vor- und Achtersteven, hergestellt.

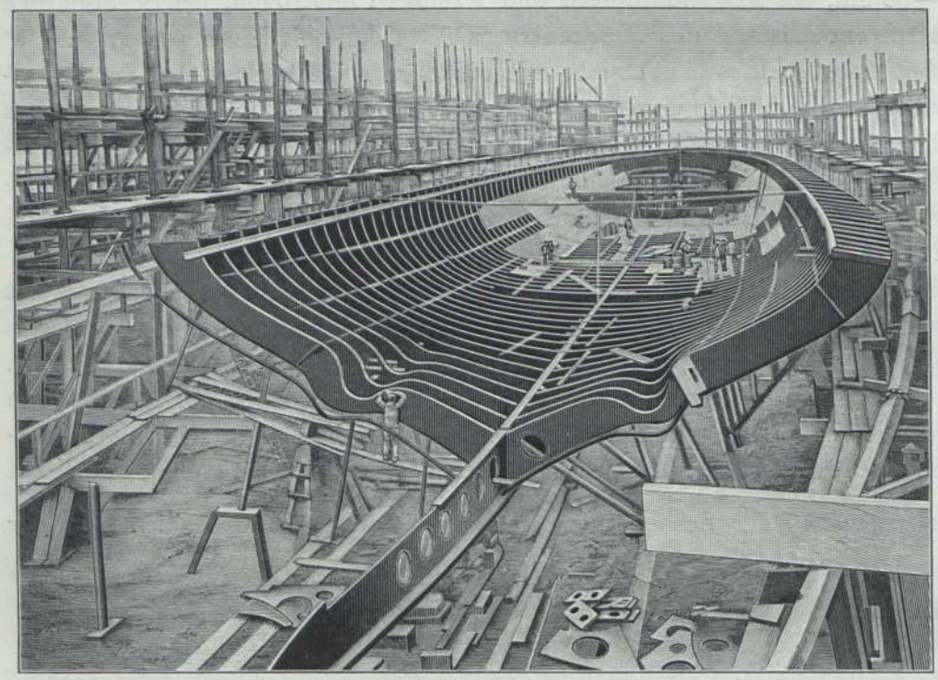


Fig. 1126. Bau des Linienschiffes „Kaiser Barbarossa" auf der Schichauwerft, Danzig.

Um nach den Bedingungen des Bauherrn das Schiff zu entwerfen, muß der Schiffbaumeister zunächst das diesen Bedingungen entsprechende Gewicht des Schiffskörpers mit Maschinenanlage und Ausrüstung, wie mit dem Gewicht der „nützlichen Zuladung" für Ladung und Fahrgäste nebst deren Gepäck, berechnen; dabei werden die Gewichte und Formen ähnlicher, schon gebauter Schiffe der Berechnung zugrunde gelegt. Das Gesamtgewicht ist die *Wasserverdrängung* des Schiffes (sein *Deplacement*); unter Berücksichtigung des Völligkeitsgrades, d. h. der Verhältniszahl zwischen der mehr oder weniger scharfen Schiffsform zum Rechteckkörper gleicher Länge, Breite und Tiefe, sowie unter Berücksichtigung des erforderlichen Tiefganges erfolgt die erste ungefähre Berechnung des Bauplanes. Da die Maschinenkraft beim ersten Entwurf nur ungefähr geschätzt werden kann, müssen genauere Berechnungen folgen, um allen Bedingungen des Bauherrn in ihrer Wechselwirkung auf den Bauplan in zweckmäßigster und auch wohlfeilster Ausführung entsprechen zu können.

Die Bauausführung stählerner Schiffskörper erfolgt, wie beim Holzschiffbau, auf besonders vorbereiteten *Bauhellingen*, die für den Bau großer Schiffe mit sehr verschiedenartigen Krananlagen für den Materialtransport ausgerüstet sind. Für schwere Lasten werden feste oder fahrbare Turmdrehkrane oder Portalkrane verwendet. Zuweilen sind die Hellingen mit stählernen Gittergerüsten überdacht und mit Deckenkranen oder Laufkatzen und Kranwagen versehen. Der Bau (Fig. 1126) beginnt mit dem Strecken des Kiels oder der Kielplatten auf der innersten Doppelreihe von Stapelklötzen. Balkenkiele aus Stangeneisen, nach Art des alten Holzkiels, werden nur noch selten eingebaut. Die meisten großen Stahlschiffe haben einen *Flachkiel*, der aus besonders starken Bodenplatten der Außenhaut gebildet wird. Nicht der Kiel, sondern der ganze Doppelboden

bildet das eigentliche Rückgrat und Hauptverbandstück moderner Schiffe; er erstreckt sich über die ganze Schiffsbreite und den größten Teil der Schiffslänge. Auf den Flachkiel wird eine senkrechte Mittelplatte, verstärkt durch Winkeleisen in Form eines doppelten T, also ⊐|⊏, aufgesetzt; sie läuft meist über die ganze Schiffslänge durch und heißt dann Mittelplattenkielschwein, wird zuweilen auch aus einzelnen Plattenstücken von Spant zu Spant reichend zusammengesetzt und heißt dann eingeschobenes *Kielschwein* (Interkostalkielschwein). Die einfachste Form des Kielschweins ist das auf den Bodenwrangen der Spanten ruhende Trägerkielschwein, das früher bei großen Schiffen als Kastenkielschwein ein kastenförmiger Träger war, jetzt meist ein Doppel-T-Träger ist. Das eingeschobene Kielschwein wird zuweilen noch durch zwei Winkeleisen verstärkt, die mit den über die Bodenwrangen vorstehenden eingeschobenen Kielschweinplatten vernietet werden und dadurch als Längsverband mitwirken. Gleichzeitig beginnt der Bau des *Doppelbodens*, den heutzutage alle Kriegsschiffe und auch alle größeren Handelsschiffe erhalten, weil er die Sicherheit des Schiffes außerordentlich erhöht: bei Grundberührungen wird meist nur ein Leck, oft von großem Umfang, in den äußeren Boden gestoßen; die wasserdichten Zellen des Doppelbodens füllen sich dann zum Teil mit Wasser (oft sind sie sowieso mit Wasserballast gefüllt), das Schiff aber bleibt durch den inneren Boden schwimmfähig und seetüchtig. Der Lloyd-Schnelldampfer „Kaiser Wilhelm II." kann in 26 Doppelbodenzellen 202 cbm Kesselspeisewasser, 866 cbm Trinkwasser und 2097 cbm Ballastwasser mitführen, d. h. 3165 cbm Wasser, also soviel wie ein kleiner moderner Kreuzer Wasserverdrängung hat. Das Gerippe des Doppelbodens bilden die *Bodenwrangen* der Querspanten und die Längsspanten, zu denen das Mittelkielschwein und die ebenso gebauten, seitlich angeordneten Seiten- und Kimmkielschweine gehören. Man baut den Doppelboden verschiedenartig, entweder mit durchgehenden *Querspanten* und eingeschobenen *Längsspanten* oder umgekehrt, oder drittens, indem die Bodenwrangenplatten zwischen die durchgehenden Stützplatten der Längsspanten eingeschoben werden, während die Winkel der Bodenwrangen durchlaufen und die Winkel der Längsspanten rahmenförmig die Platten der Bodenwrangen und der Längsspanten verbinden, wodurch ein sehr fester Verband des Gerippes erreicht wird. Der Doppelboden wird völlig wasserdicht hergestellt, ein Teil der Stützplatten aber erhält zur Erleichterung des Baues und zur Ermöglichung der Reinigung und Erneuerung des Mennigeanstrichs Mannlöcher, so daß die Zahl der wasserdichten Zellen bedeutend geringer ist als die Zahl der Räume zwischen den Quer- und Längsspanten. Wasserläufe in jeder offenen Platte ermöglichen das Abfließen des Bilgewassers nach den Entwässerungsrohrleitungen. Die wasserdichten Räume sind durch dicht verschließbare Mannlochdeckel zugänglich. Seitlich reicht der Doppelboden im Hauptspant und überhaupt im Hauptteil des Schiffes bis zur Kimm, wo die Spantkrümmung nach oben beginnt; dort bildet eine durchlaufende *Randplatte*, die im stumpfen Winkel nach der Außenhaut geführt ist, den Abschluß des Doppelbodens. Außerhalb der Randplatte schließen an die Bodenwrangen die Kimmstützplatten an, die als die Träger des eigentlichen Spantengerippes, das nun oberhalb des Doppelbodens aufgesetzt wird, dienen. Die *Spanten* sind je nach Größe des Schiffes verschieden; bei kleinen Schiffen bestehen sie aus einfachen Winkeleisen ⌝; als einfachste Verstärkung tritt dazu das Gegenspant, ebenfalls ein Winkel, der mit dem Spant Z-förmig zusammengenietet wird ⌝|⌞, oder man verwendet Doppelwinkel in Z-Form ⌝⌞ oder in U-Form ⌈ oder Wulstwinkel. Der Spantenabstand richtet sich ebenfalls nach der Schiffsgröße und beträgt jetzt bei den größten Handelsschiffen etwa 80 cm. Die erforderliche Krümmung der Spanten wird durch Biegen in kaltem oder glühendem Zustand nach Bedarf in der Werkstatt genau nach dem Spantenriß ausgeführt, bevor die Spanten auf die Bauhelling geschafft und dort mittels der Hebegeräte aufgerichtet werden. Anfangs werden sie nur provisorisch mit den Bodenwrangen und Kimmstützplatten verschraubt. Erst wenn die Deckbalken eingefügt sind und das richtige *Straken* der Spanten geprüft ist, d. h. wenn sie nach Stellung und Krümmung genau dem Bauplan entsprechen, werden alle Teile des Gerippes vernietet. Die Zahl der Deckbalkenlagen richtet sich nach der Schiffsgröße *(s. das Klappmodell des Passagierdampfschiffes)*. Näheres ist darüber später bei den verschiedenen Schiffsgattungen angegeben. Die Stärke und

Zusammensetzung der Deckbalken richtet sich ebenfalls nach der Schiffsgröße; man benutzt T-Winkel, Doppelwinkel ⊤ und T-Wulstwinkel ⊺, aber auch U- und Doppel-U-Balken ⊐ und andere Balkenverstärkungen. Die Deckbalken werden durch dreieckige Platten von dreifacher Höhe der Balken mit den Spanten verbunden. Diese Balkenknie sind entweder an die Spanten oder an die Balken angeschweißt und werden mit dem anderen Verbandstück vernietet. Die Deckbalken sind etwas nach oben gewölbt, damit das Wasser nach den Seiten ablaufen kann. — Über die Lage der Konstruktionsteile unterrichten die Fig. 1127—1129.

Zugleich mit dem Spantengerippe werden die *Steven* aufgesetzt, die meist aus Stahlgußstücken sehr verschiedenartiger Form bestehen. Der *Achtersteven* ist, sofern es sich um Segelschiffe handelt, sehr einfach (s. Fig. 1127); er ist gerade und senkrecht oder schwach nach hinten geneigt auf die Kielhacke am Hinterende des Balkenkiels aufgesetzt; für das Ruder sind Ruderösen angeschweißt. Bei Einschraubendampfern bildet der Achtersteven einen Rahmen *(Schraubenrahmen);* an diesem steht vorn der Schraubensteven mit Auge für das Wellenrohr, worin die Schraubenwelle läuft, hinten senkrecht der Rudersteven. Der untere Schenkel des Rahmens läuft

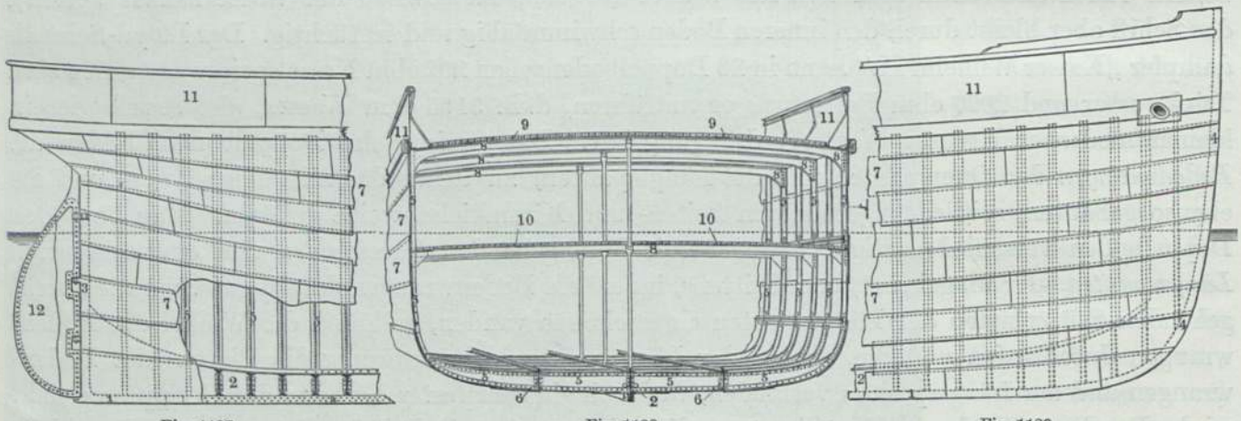


Fig. 1127. Fig. 1128. Fig. 1129.

Fig. 1127—1129. Eisernes Schiff (1 Kiel, 2 Kielschwein, 3 Achtersteven, 4 Vorsteven, 5 Querspanten, 6 Seitenkielschwein, 7 äußere Beplattung, 8 Deckbalken, 9 Oberdeckplanken, 10 Zwischendeckplanken, 11 Reling, 12 Ruder).

etwas schräg nach hinten hoch, damit beim Festkommen des Schiffes der Rudersteven nicht leicht beschädigt wird. Die oberen Teile des Rahmens ragen in den Schiffskörper hinein, um fest mit den Verbandstücken des Hecks verbunden zu werden. Eine sehr eigenartige Form nimmt zuweilen der Achtersteven von Doppelschraubendampfern an, besonders wenn die Böcke für die Wellenlager als Seitenarme des Stevens angeordnet werden, und wenn zugleich ein Rahmensteven wie bei Einschraubendampfern verwendet wird. Häufiger wird bei Handelsschiffen mit Zwillingsschrauben der Achtersteven genau wie bei stählernen Segelschiffen gerade, aus einem Gußstück hergestellt, während die Schraubenwellenböcke für sich an jeder Seite des Hecks vor dem Achtersteven angebaut werden. Eine ähnliche Bauweise ist bei vierschraubigen Turbinenschiffen üblich. Sehr seltsam geformte Achtersteven zeigen die modernen Kriegsschiffe mit Balanceruder; bei ihnen hängt an einem halben Rudersteven das Ruder nach unten frei, oder zuweilen auch durch eine spornartige Verlängerung des Kiels, die *Kielhacke*, gegen Grundstöße geschützt. Bei Dreischraubenschiffen liegt vor dem Rudersteven ein Schraubenrahmen, durch dessen Schraubensteven die Mittelschraube wie bei Einschraubenschiffen hindurchgeführt wird.

Der *Vorsteven* der Handelsdampfer (Fig. 1129) ist meist senkrecht, mit runder unterer Krümmung zum Anschluß an den Balkenkiel des Vorschiffes; bei sehr großen Dampfern werden die Steven aus mehreren Teilen zusammengesetzt. Bei stählernen Segelschiffen hat man die im Seegang gut bewährte nach vorn ausladende Vorstevenform mit Galionsansatz, ähnlich dem Holzschiffbau, beibehalten, wie das Bild des Fünfmasters (Fig. 1119, S. 476) zeigt. Die Vorsteven der Kriegsschiffe zeigen meist eine mehr oder minder starke Ausbiegung nach vorn in oder etwas unterhalb der Wasserlinie, den *Rammsteven*, oft mit scharfem, beilförmig angesetztem *Sporn*.

Auf den eingezogenen Vorsteven, der nach dem Rammstoß dem eigenen Schiffe das Freiwerden vom gerammten Gegner erleichtern soll, haben in neuester Zeit die Japaner bei einigen großen Linienschiffen und Panzerkreuzern verzichtet, indem sie diesen Schiffen nach vorn und oben schräg verlaufende Vorsteven gaben. Bei vielen anderen Marinen, die nicht ganz auf die Ramme verzichten wollen, fällt bei den Neubauten der weit vorspringende Sporn weg; der beilförmige scharfe Vorsteven zeigt nur noch geringen Fall nach rückwärts.

Sobald der Neubau „in Spanten" steht und die Steven an Ort und Stelle sind, wird das Schiffsgerippe durch innere Längsverbände und oft auch durch gleichzeitiges Aufbringen einzelner Plattengänge der Außenhaut zusammengefügt. Jedes Stück wird nach Schablonen angepaßt und an Ort zur Bezeichnung der Nietlöcher angekörnt, dann in der Werkstatt mit Stanzen gelocht und vor dem Nieten vorläufig mit Mutterschrauben an den Spanten befestigt. Das Nieten geschieht nur noch auf kleinen Werften als Handnietung durch Hämmern, auf allen modern eingerichteten Werften durch Nietmaschinen mit Preßluftbetrieb oder durch hydraulische oder elektrische Kraft. Die Nietstärke richtet sich nach der Stärke der zu vernietenden Platten und Winkel; bei wasserdichter Nietung der Außenhaut stehen bei doppelter Vernietung (zwei Reihen Niete) die einzelnen Niete um ihren vierfachen Durchmesser voneinander. Zum besseren Abdichten werden noch die Nähte und Stöße zwischen den Platten mit dem Stemmer, einem Meißel, verstemmt.

Zu den *Innenverbänden* stählerner Schiffe rechnen außer den bisher betrachteten Teilen (Doppelboden, Spanten, Deckbalken und Steven) die *Deckstützen*, die zur Versteifung der Deckbalken dienen; sie werden säulenartig aus hohlen oder vollen Rundeisen hergestellt und erhalten am unteren Ende eine angestauchte oder angeschweißte Fußplatte. Je nach der Größe des Schiffes erhält jeder zweite oder dritte Deckbalken eine Mittelstütze, oder zwei seitliche oder insgesamt drei Deckstützen. Erst in neuester Zeit hat man, um den Ladungsraum besser ausnutzen zu können, weiträumige starke Hohlstützen eingeführt, die eine große Zahl Deckbalken freilassen. Ihre Stützwirkung wird durch auf ihre Köpfe gelegte starke Längsträger, sogenannte gebaute Unterzüge, auf alle zwischenliegenden Deckbalken mit übertragen. Bei einzelnen besonderen Bauarten von modernen Frachtdampfern fallen die Deckstützen ganz fort (s. Fig. 1161, S. 506). Zur Stärkung des Längsverbandes oberhalb des Doppelbodens dienen die *Stringer*, meist aus Platten und Winkeln hergestellte, den Wegerungen des Holzschiffes nachgebildete Stücke, die das Spantengerippe schon vor dem Auflegen der Außenhaut zusammenhalten. Die *Kimmstringer* und *Raumstringer* liegen unter dem untersten Deck und laufen vom Vor- zum Achtersteven auf jeder Seite, die *Seitenstringer* liegen oberhalb davon nach Bedarf. Die *Deckstringer* liegen auf den Deckbalken, wo diese an die Spanten stoßen, und sind durch einen Winkel mit der Innenkante der Spanten verbunden; schräg über das Schiff liegen noch als *Diagonalstringer* oder Diagonalbänder Plattenstreifen auf den Deckbalken zwischen den Deckstringern jeder Seite. *Lukenstringer* nennt man die auf den Deckbalken flach liegenden Plattenstreifen zur Begrenzung der Luken (Öffnungen im Deck), während die senkrechten Randplatten *Luksülle* (wie im Holzschiff) heißen.

Die *wasserdichten Schotte* der modernen Dampfer, die schon S. 481 erwähnt wurden, bilden neben ihrem Hauptzweck zur Erhaltung der Schwimmfähigkeit des Schiffes auch starke Querverbände zur Versteifung des Schiffskörpers. Ihre Wände bestehen aus Platten von der Stärke der Außenhaut, die noch durch ein Gitterwerk von Winkeleisen und ein System von dreieckigen Balkenknien versteift sind. Häufig liegen die *Querschotte* zwischen einem Doppelspant, durch das ihr fester Anschluß an den Schiffskörper gesichert wird. Zahl und Stärke der Schotte richten sich nach der Schiffsgröße. Jedes stählerne Schiff hat nahe innerhalb der Steven je ein wasserdichtes Querschott; das vorderste Schott, *Kollisionsschott* genannt, wird stets leer und frei von Ladung usw. gehalten, da es bei einem Zusammenstoß der dem Wassereinbruch am häufigsten ausgesetzte Raum ist; es wird durch die Decke in mehrere wasserdichte Abteile geteilt. Das hinterste Querschott ist das *Stopfbuchsenschott;* im Raum hinter ihm sind die Stevenrohre der Schiffsschrauben hindurchgeführt, deren Stopfbuchsen im Schott liegen. Hinter dem Stopfbuchsenschott haben die Heckspanten hohe Bodenwrangen (*Piekstücke* genannt) zur Stärkung

des Heckverbandes; diese Bodenwrangen haben bei Doppelschraubendampfern für die Stevenrohre der Schraubenwellen wulstförmige Ausbauten, die dem Heck eine eigenartige Form geben. Alle Öffnungen in den Schotten müssen durch Schiebetüren wasserdicht verschließbar sein; hierbei gleitet der geschliffene Türrand in einem genau angepaßten Rahmen am Schott. In eine Zahnstange auf der Tür greift ein Zahnrad, das meist vom Oberdeck durch Kurbelgestänge gedreht wird. Durch keilförmigen Anzug werden die geschliffenen Flächen wasserdicht aneinandergepreßt. Dieser Schiebetürverschluß wird auch bei den verschiedenen hydraulischen und elektrischen Sicherheitsschließvorrichtungen angewendet, bei denen von der Kommandobrücke aus gleichzeitig alle wasserdichten Schottüren bei Gefahr geschlossen werden. Bequemer für den Verkehr sind Klapptüren, bei denen der Türrand durch mehrere Klinkhebel mit Keilanzug gegen einen Gummirand des Türrahmens gepreßt wird. Um dabei das Türschließen unabhängig von menschlicher Unzuverlässigkeit zu machen, baut man in die Schotte Schleusen ein mit zwei Klapptüren, deren Verschlüsse so verkuppelt sind, daß stets die eine Tür nur geöffnet werden kann, wenn die andere geschlossen ist. Bei sehr großen Schiffen, und besonders bei Kriegsschiffen, baut man auch *Längsschotte* ein, besonders zwischen den Maschinen- und Kesselräumen und als Längswände für die Kohlenbunker. Durch die Längsschotte werden die wasserdichten Abteilungen zwischen je zwei Querschotten nochmals in 2—4 Räume geteilt, außerdem versteifen die Schotte den Längsverband. Auch die sogenannten *Schlingerschotte*, Längswände in den Laderäumen, die das Übergehen loser Ladung (Kohlen, Erz, Getreide usw.) nach einer Schiffsseite im Seegang beim Schlingern des Schiffes verhüten, stärken, wenn sie zwischen Deckstützen aus Stahlwänden fest eingebaut sind, den Längsverband.

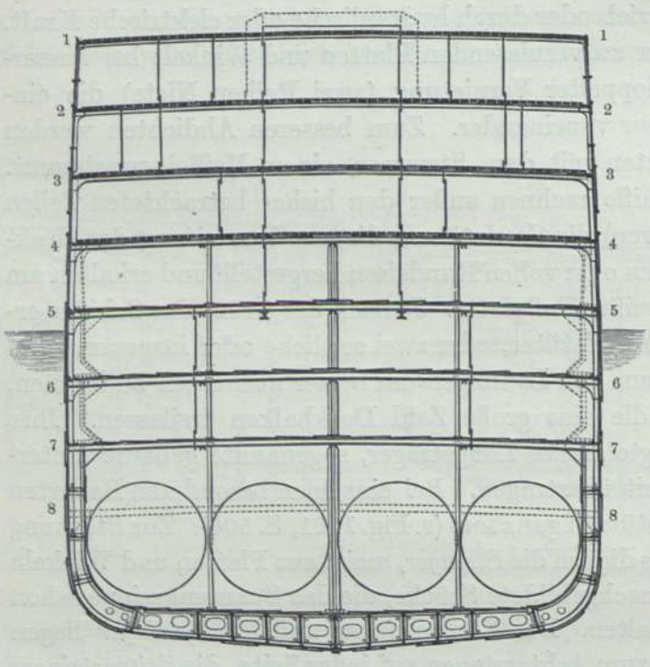


Fig. 1130. Hauptspant eines Handelsschiffes (1 Sonnendeck, 2 Promenadendeck, 3 Brückendeck, 4 Awningdeck, 5 Oberdeck, 6 Hauptdeck, 7 Raumdeck, 8 Orlopdeck).

Die *Außenhaut*, die den wasserdichten Abschluß des Schiffsgerippes bildet, ist zugleich der wichtigste Längsverband des Schiffes. Die Stärke der verwendeten Platten richtet sich nach der Schiffsgröße und nach der Stelle am Schiffskörper, den die Platte decken soll; sie schwankt für die Platten des Flachkiels zwischen 16 und 19 mm bei Spantabständen von 60—65 cm und Plattenbreiten von 85—93 cm. Die Plattenlängen sind sehr verschieden, je nach der erforderlichen Krümmung der Außenfläche; man verwendet Platten bis 10 m lang. Vom Kiel nach oben nimmt die Plattenstärke allmählich ab, ebenso von der Schiffsmitte nach den Enden. Die untersten Plattengänge neben dem Kiel sind die *Kielgänge*, dann folgen die *Bodengänge*, dann in der Kimm (der Spantenkrümmung des Schiffsbauches) die *Kimmgänge;* darüber erhebt sich die Seitenbeplattung, deren oberste Gänge *Schergänge* genannt werden. Die einzelnen Platten jedes Ganges stoßen stumpf gegeneinander; sie werden am Stoß, dem senkrechten Plattenrand, von innen mittels einer Stoßplatte (oder Stoßblech) durch Nietung miteinander verbunden. Die Stöße müssen zwischen die Spanten fallen; die einzelnen Plattengänge fassen mit Nähten übereinander. Am gebräuchlichsten ist es, die Außenhaut mit an- und abliegenden Gängen zu befestigen: der anliegende Plattengang liegt flach an den Spanten an; der nächste Gang unter und über dem anliegenden steht um die Plattenstärke vom Spant ab, wobei der Raum zwischen Spant und Platte durch einen Füllstreifen (Füllblech) ausgefüllt wird. Sehr selten kommt noch die alte, dem Holzschiffbau nachgeahmte Klinkerbauart vor, bei der die Nähte der Platten dachziegelartig übereinander gelappt

sind. Noch seltener läßt man die Kanten der Plattengänge stumpf gegeneinander stoßen und deckt die Nähte wie die senkrechten Stöße durch schmale Laschungsbleche. Zuweilen gibt man einer Plattenseite auch einen gebörtelten oder gekröpften Rand, der über den flachen Rand des nächsten Ganges greift.

Die *Deckbeplattungen* werden etwa gleichzeitig mit der Außenhaut eingebaut. Über Lage und Benennung der *Decke* unterrichtet Fig. 1130. Auf Frachtdampfern und Kriegsschiffen erhalten alle Decke Beplattungen, die glatt, gerauht oder mit Belag verschiedener Art versehen sind. Hölzerne Decke werden noch auf Passagierdampfern verwendet, weil sie am angenehmsten für das Gehen sind; aber auch diese Dampfer erhalten Holzplanken nur für das Oberdeck, die Promenadendecke und das Brücken- und Bootsdeck, dagegen Stahlbeplattung wegen der Feuersicherheit auf allen unteren Decken. Die Deckbalken sind so gewölbt, daß auch die stählernen Decke Sprung und Bucht wie Holzschiffe (S. 474) erhalten. Die Plattengänge laufen längsschiffs und werden von der Mittellinie nach den Seiten entweder klinkerartig gelegt oder an den Stößen und Nähten mit Laschungen an der Unterseite zusammengefügt. Die Decke unter den Aufbauten müssen wasserdicht sein. Das Haupt- oder Oberdeck muß auch sehr stark sein, weil es die obere Gurtung des Kastenträgers bildet, als den man den Schiffskörper betrachten kann; deshalb ist das Hauptdeck ebenfalls ein wichtiger Längsverband. Die Luken in den unteren Decken können durch Lukendeckel meist wasserdicht geschlossen werden, aber der wasserdichte Abschluß der oberen Decke ist im allgemeinen weniger wichtig für die Erhaltung der Schwimmfähigkeit als der rechtzeitige Verschluß aller Schottüren in gefährdeten Abteilungen.

Wenn alle Hauptverbände eingebaut sind, wird mit dem Ausbau einzelner Innenteile begonnen. Die Wellentunnels für die Schraubenwellen werden zwischen dem achteren Maschinenschott und dem Stopfbuchsenschott eingebaut; die Drucklager, Wellenböcke, Stevenrohre (auch *Wellenhosen* genannt), Stopfbuchsen werden vorbereitet und angebracht. Wasserdichte Schiebetüren schließen die Wellentunnels gegen die Maschinenräume ab. Oft werden vor dem Stapellauf auch die Schraubenwellen schon eingesetzt und die Schiffsschrauben auf ihren Köpfen befestigt. Gleichzeitig werden je nach der Bauart des Schiffes die stählernen Deckaufbauten und Deckhäuser, Brücken usw. gebaut, während das Einsetzen der Maschinen und Kessel stets erst nach dem Stapellauf erfolgt, um den auf dem Lande erbauten Schiffskörper bei seinem Hinabgleiten ins Wasser nicht mehr als nötig zu belasten.

Der **Bau stählerner Kriegsschiffe** weicht im einzelnen von dem besprochenen Handelsschiffbau ab. Nach dem Aufbau des Doppelbodens wird bei Panzerschiffen und Panzerdeckskreuzern zunächst der Bau bis zum Panzerdeck geführt. Die Spanten behalten auch oberhalb des Doppelbodens dieselbe Breite und Stärke, um als Panzerträger für den Panzergürtel und dessen Hinterlage zu dienen und zugleich den schrägen Rand des Panzerdecks zu tragen. Mehrere wasserdichte Längsschotte, die innerhalb des Doppelbodens stehen, trennen von den inneren Schiffsräumen einen kleineren äußeren und größeren inneren *Wallgang* ab (zum Schutz gegen Torpedoschüsse) und stützen zugleich das *Panzerdeck*, das in der Mitte nochmals von einem Mittellängsschott getragen wird. Die Lage des Panzerdecks und der Panzerung zeigt die Abbildung des Hauptspants eines Linienschiffes (Fig. 1131). Während der Bau des Unterschiffes fertiggestellt wird, werden auch die *Schlingerkiele* oder *Kimmkiele* in der Kimmung, der stärksten Krümmung des Schiffsbodens, eingebaut. Sie festigen ebenfalls den Längsverband; ihr Zweck ist, heftiges Schlingern oder Rollen des Schiffes um die Längsachse bei seitlichem Seegang zu verhüten. (Auf Handelsschiffen sind sie sehr selten.) Sie sind je nach Bedarf ¼—1 m hoch und werden im mittleren Schiffsteil auf ⅓—½ der Schiffslänge angebracht. Auch die *Lenzrohre* im und über dem Doppelboden, die zum Entleeren der einzelnen wasserdichten Zellen dienen, werden gelegt und ihre Schleusenschieber eingebaut. Wenn die sehr starken Deckbalken und Schlingen (kurze Balkenstücke) des Panzerdecks eingebaut und die Platten der Panzerung darauf befestigt sind, wird der Bau des Oberschiffes begonnen. Die Spanten werden auf dem Panzerdeck aufgestellt und befestigt, dann die Deckbalken und Deckstützen für die oberen Decke aufgebaut und die Außenhaut bis zum Oberdeck aufgelegt. Zugleich werden die

aus mächtigen Gußstahlstücken hergestellten Steven aufgesetzt und Heck und Bug fertig gebaut. Für den Panzergürtel wird die Teakholzhinterlage auf die Außenhaut befestigt (die sehr schweren Panzerplatten des Gürtels werden aber erst nach dem Stapellauf aufgesetzt). Im Zwischendeck wird innerhalb der Außenhaut der *Kofferdamm* gebaut; er besteht aus einer langen Reihe wasserdichter Zellen rings um die Wasserlinie des Schiffes, die mit leckstopfendem Material (Schichten von Kork und Marineleim) gefüllt werden. Dieser *Korkgürtel* schützt die Wasserlinie gegen Schußverletzungen; sobald Wasser durch ein Schußloch eindringt, quillt der Kork auf und stopft das Leck. Panzerkreuzer wurden früher noch gekupfert, indem über die stählerne Außenhaut eine einfache oder doppelte Holzplankenlage gelegt wurde, auf der die Kupferhaut kupferfest (d. h. mit bronzenen Nägeln) befestigt wurde. Neuerdings zieht man es vor, die stählerne Außenhaut mit dickem Farbenanstrich zu versehen und die Schiffe auch im Ausland öfters zur Bodenreinigung zu docken. Vor dem Stapellauf werden noch die *Torpedorohre* unter der Wasserlinie in Vor- und Achtersteven und in der Breitseite nebst ihren Schleusenschiebern eingebaut. Auch die *Wellenrohre* für die Schraubenwellen werden eingezogen und seitlich vom Achtersteven die Schraubenböcke befestigt. Auch das Ruder wird meist schon eingebaut, ebenso die Wellenlager. Oft werden auch die Schraubenwellen und Propellerschrauben vor dem Stapellauf eingesetzt. Für die Maschinen und Kessel werden nur die Fundamente, aus sehr starken Stahlbalken und Winkeln bestehend, eingebaut. Die Oberdeckbeplattung wird fertig gelegt, während die Deckaufbauten, Geschützstürme, Kommandobrücken und Türme erst nach dem Stapellauf eingebaut werden; der ganze innere Ausbau des Schiffes beginnt erst nach dem Stapellauf.

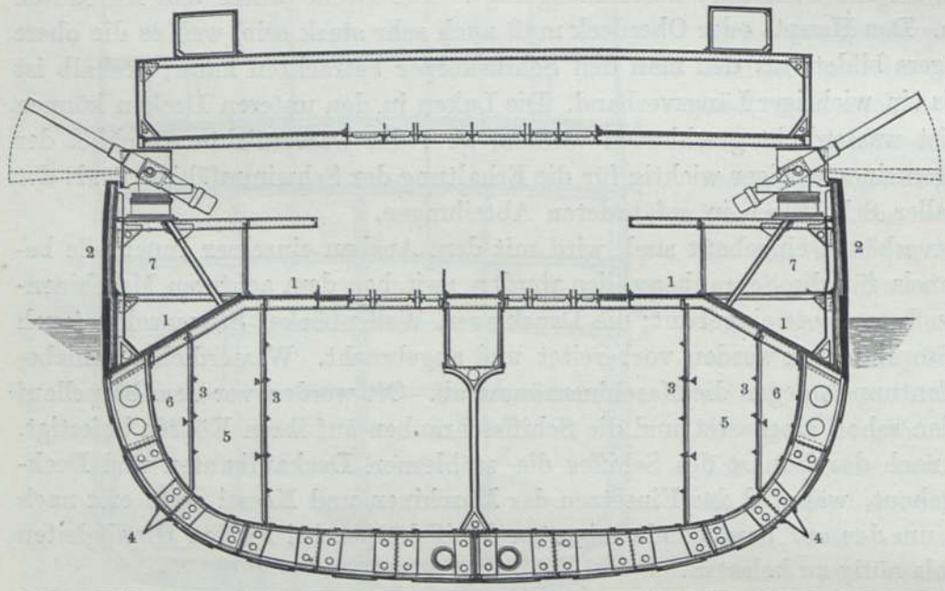


Fig. 1131. Hauptspant eines Linienschiffes (1 Panzerdeck, 2 Panzergürtel, 3 Längsschotte, 4 Schlingerkiele, 5 innerer Wallgang, 6 äußerer Wallgang, 7 Kofferdamm).

Der **Stapellauf** *großer Schiffe* gehört zu den schwierigen Aufgaben moderner Schiffsbautechnik. Die kleineren Schiffe und Fahrzeuge laufen auch heute noch auf ihrem Kiel ab, auf gut geschmierter Gleitbahn; ihre seitlichen Ablaufschlitten dienen nur zur Abstützung, um das Umfallen des Schiffskörpers zu verhüten. Bei den schweren Schiffskörpern der heutigen Mammutdampfer der Handelsflotte und der „Dreadnoughts" der Kriegsmarine, die beim Stapellauf bereits bis zu 30 Mill. kg (beim Dampfer „Imperator") angewachsen sind, müssen sehr sinnreiche Einrichtungen getroffen werden, damit das schwere Schiff beim Gleiten in sein Element keinerlei Schaden erleidet. Diese schweren Schiffe brauchen eine breite Unterlage zum Ablauf, sowohl zur Druckverteilung wie zur Verhütung des Umkippens. Zwei- oder sogar dreifache *Gleitbahnen* zu beiden Seiten der Stapelklötze (auf denen der Flachkiel beim Bau ruht) werden schon vor dem Baubeginn auf der Helling erbaut. Wie schon erwähnt, hat die Bauhelling bei großen Schiffen für 200 m Länge etwa 10 m Fall nach dem Wasser hin, ihr äußeres Ende, die Ablaufbahn, noch etwas mehr. Die Gleitbahnen haben denselben Fall und werden seitwärts mit starken Stützen verstrebt, um durch das Schiffsgewicht beim Abrutschen nicht seitwärts auseinandergequetscht zu werden. Der Schiffskörper, an dessen Unterwasserteil alle Öffnungen, wie Bodenventile,

Schraubenwellenrohre, Unterwasserrohre der Torpedos, Saugrohre der Zirkulationspumpen usw., vor dem Stapellauf geschlossen werden müssen, ruht beim Ablauf auf etwa 4—6 Paar zu beiden Seiten gleichmäßig angeordneten starken, hölzernen Laufschlitten, deren schwere Gleitplanken wie Schlittenkufen auf den Gleitbahnen rutschen, wenn sie gut geschmiert sind. Die Laufschlitten werden mit Winkeleisen an der Außenwand des Schiffes befestigt. Auf den meisten Bauwerften werden die Schiffe so auf Stapel gesetzt, daß ihr Heck, der verletzlichste Teil, dem Wasser am nächsten ist und beim Ablauf zuerst zu Wasser kommt (Fig. 1132). Der Bug mit seinem meist geraden und scharfen Vorsteven hat günstigere Form und größere Festigkeit, so daß er beim Aufschwimmen des Schiffskörpers, während nur das Vorderteil des Schiffes noch auf die Gleitbahnen drückt, die Festigkeit des ganzen Baues nicht gefährdet. Da aber bei großen Schiffen im Augenblick des Flottwerdens des Hinterschiffes doch zuweilen Beschädigungen des Bugs oder ein Festhängen auf der Bauhelling vorkommen, werden in letzter Zeit die zuletzt ins Wasser rutschenden Ablaufschlitten für den Bug schwerer Schiffe in sinnreicher Weise eingerichtet: Zu beiden Seiten des Schiffsbugs sind außen stählerne Drehlager mit wagerechten Achsen angebracht, die auf entsprechenden Achslagern der beiden Bugablaufschlitten ruhen. Im Augenblick des Flottwerdens übertragen diese *Drehlager* den gewaltigen Druck des Bugs nicht nur, wie früher, auf die Endpunkte der Bugschlitten, sondern auf deren ganze, ziemlich lange Gleitfläche; so kann der letzte und gefährlichste Teil des Ablaufs glatt und ohne Schaden erfolgen.

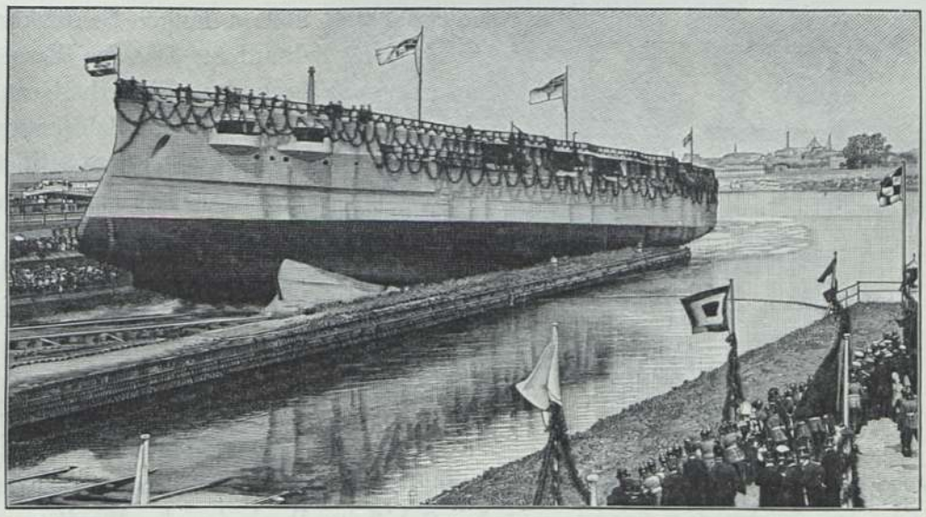


Fig. 1132. Schiff im Stapellauf.

Um den Schiffskörper von den Stapelklötzen auf die Ablaufschlitten zu setzen, verwendet man in England noch immer die alte, unbequeme und handwerksmäßige Methode des Aufkeilens. Mehrere hundert Arbeiter müssen in der Nacht vor dem Stapellauf zwischen die Laufplanken und das Obergestell der Ablaufschlitten von beiden Seiten sehr flache, aber starke eichene Keile eintreiben, um den Schiffskörper auf den Schlitten so viel zu lüften, daß die Stapelklötze vom Druck frei und entfernt werden können. Stundenlanges Eintreiben der Keile hebt den Schiffskörper einige Millimeter, und das genügt zum Herausschlagen der aufgekeilten Stapelklötze, so daß dann der Schiffskörper nur noch auf den Ablaufschlitten ruht. Je kürzere Zeit vor dem Stapellauf das Aufkeilen geschieht, um so besser; wenn das Schiff lange auf den Schlitten ruht, quetscht sein Gewicht das Schmiermaterial zwischen Schlitten und Gleitbahn heraus, und der Ablauf kann nicht oder nicht glatt erfolgen. Viel einfacher ist die weit sinnreichere deutsche Methode des Aufsetzens des Schiffskörpers auf die Ablaufschlitten. Beim Stapellauf des Panzerkreuzers „Blücher" wurden schon beim Baubeginn, also vor dem Strecken der Kielplatten, die 130 Stapelklötze des 152 m langen Schiffes in viereckige eiserne Töpfe genau eingepaßt; jeder Topf war mit Sand gefüllt und wurde von seinem Stapelklotz nach oben genau abgeschlossen, so daß kein Sand entweichen konnte, solange die Bodenschrauben des Topfes geschlossen waren. Auf diesem Sandtopfstapel wurde in 18 Monaten das Schiff erbaut. Zum Stapellauf wurden die Laufschlitten auf den Gleitbahnen genau unter dem Schiffskörper angebracht; kurz vor dem Ablauf wurden auf ein Signal die vier Bodenschrauben jedes Sandtopfes herausgenommen, so daß der Sand infolge des Druckes

des Schiffsgewichts herausgepreßt wurde. Auf diese Weise wurde binnen 3 Minuten das Riesenschiff vom Baugerüst auf sein Ablaufgerüst gesetzt, wo dann sofort der Ablauf glatt vonstatten ging. An Schmiermaterial wurden dabei verbraucht 1050 kg grüne Seife, 300 kg Rindertalg und 250 kg Ablaufschmiere. Um vorzeitiges Ablaufen (vor der Schiffstauffeier) zu verhüten, werden die Laufschlitten jeder Gleitbahn untereinander mit starken Tauen verbunden; die obersten Schlitten werden durch eine leicht zu lösende Haltevorrichtung am Lande befestigt. Mit Beendigung des Taufaktes werden die Tauhemmungen mit Beilen gekappt, oder die hebelartige Haltevorrichtung löst sich zuweilen auch selbsttätig, wenn die Flasche den Bug trifft. Beim Stapellauf der „Olympic" war am Unterende der Ablaufschlitten eine knaggenförmige Hemmvorrichtung (Fig. 1133) angebracht; den Knaggen hielt der Kolben einer hydraulischen Presse fest. Bei der Taufe wurde das Ventil der hydraulischen Presse geöffnet, gleichzeitig drückten am Innenende der Bauhelling mehrere Kolben anderer hydraulischer Pressen gegen den Schiffsbug; der des Halts beraubte Ablaufschlitten setzte sich aber schon in Bewegung, ehe die Schiebevorrichtung (die als Reserve vorgesehen war) zu wirken brauchte. Der Stapellauf des 27000 Tonnen schweren und 269 m langen Schiffskörpers vollzog sich glatt innerhalb 62 Sekunden. Das ins Wasser gleitende Riesenschiff forderte noch besondere Sicherheitsmaßregeln, um es in dem schmalen Flusse, an dem die Schiffswerft von Harland & Wolff in Belfast liegt, rechtzeitig zum Stillstand zu bringen. Acht bis zu 80 t schwere Anker waren im Fluß verankert, ihre 7—8zölligen Stahltrossen waren an den Festmachepollern an Bord der „Olympic" befestigt. Sobald das Schiff flott war, kamen alle acht Stahltrossen gleichzeitig steif zum Tragen und hielten das Schiff fest.

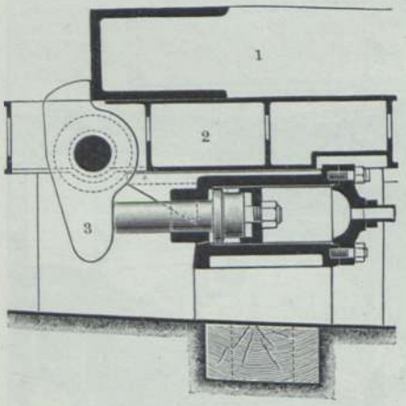


Fig. 1133. Hydraulische Hemmvorrichtung beim Stapellauf der „Olympic" (1 Ablaufschlitten, 2 Gleitbahn, 3 Knaggen).

2. Schiffsmaschinen.

Die *Maschinenanlage* wird meist erst nach dem Stapellauf, bei großen Dampfern stets erst dann eingebaut, während das Schiff im Bauhafen der Werft am Kai unter dem großen Kran liegt. Zum Antrieb von Dampfern verwendet man als Treibapparate die Schiffsschraube (den Schraubenpropeller), die Schaufelräder oder das Schraubenrad. Der *Schraubenpropeller* hat den Vorteil, daß er auch im Seegang fast stets unter Wasser gleichmäßig wirkt, während die ältere Antriebsform der Schaufelräder nur noch auf Flußdampfern üblich ist, weil die an beiden Schiffsseiten angebrachten Räder im Seegang sehr oft ungleichmäßig arbeiten, auch leichter Verletzungen bei den Stoßbewegungen des Schiffes ausgesetzt sind. Für Kriegsschiffe kommt noch die leichte Treffbarkeit der Schaufelräder, die zum größten Teil frei über Wasser angebracht sein müssen, durch Geschosse hinzu. Als Seedampfer dienen fast nur noch *Schraubendampfer*, deren Propeller, die zwei- bis vierflügelige *Schiffsschraube*, am Heck des Schiffes unter Wasser auf der *Schraubenwelle* sitzt; diese führt in wasserdichter Stopfbüchse durch das Schiff längsschiffs, parallel dem Kiel, zur Maschine, wo sie durch Kurbeln mit den Zylinderstangen der Dampfmaschine verkuppelt ist. Die meisten *Schrauben* sind dreiflügelig mit gekrümmten Flügeln aus Stahl, Bronze oder aus Stahl mit Bronzeüberzug. Je nach der Drehungsrichtung der Kurbeln schraubt sich die Schiffsschraube vorwärts oder rückwärts in die sie umgebende Wassermasse ein. Da das Wasser aber der Schraube zum Teil ausweicht, gehen, je nach ihrer Form und nach der Form des Schiffshinterteils, 20—30 Proz. der Arbeitsleistung verloren. Diesen Verlust nennt man *Slip* oder *Schlipp* der Schraube. Die kleineren Dampfer haben meist nur eine Schraube, die in einem Rahmen zwischen Hintersteven und Rudersteven vor dem Ruder liegt. Große Seedampfer und Kriegsschiffe werden jetzt meist als *Doppelschraubendampfer*, mit zwei Maschinen nebeneinander, gebaut. Diese wenden, wenn eine Schraube vorwärts, die andere rückwärts arbeitet, fast auf der Stelle und sind sicherer gegen Seegefahr, da sie im Notfall mit *einer* Schraube fahren können. Auch haben Doppelschrauben

den Vorteil, daß bei Bruch des Ruders das Schiff mit den Schrauben gesteuert werden kann. Viele Kriegsschiffe sind sogar *Dreischraubenschiffe*. Auch die modernen *Turbinenschiffe* sind Schraubendampfer, deren Schraubenwellen durch Dampfturbinen bewegt werden. Die Flügel der Schiffsschraube sind Teile von Schraubenflächen, deren Neigung (Steilheit des Schraubengewindes) nach der Größe des Schraubendurchmessers, der Flügelzahl und der Umdrehungsgeschwindigkeit möglichst günstig gewählt oder vielmehr ausprobiert werden muß. Auch die Heckform des Schiffes wirkt auf die Schraubenform mit ein. Überraschend groß ist der Geschwindigkeitsunterschied, den Schrauben verschiedener Form, Größe und Steigung bei Anwendung gleicher Maschinenkraft an demselben Schiff zeigen. Deshalb wird die günstigste Schraubensteigung, Größe und Form ebenfalls auf den schon S. 479 erwähnten Schleppmodell-Versuchsanstalten für bestimmte Schiffe ausgeprobt. Besonders günstige Nutzwirkung zeigt der sogenannte *Nikipropeller* (Fig. 1134), erfunden vom Großherzog von Oldenburg, mit in der Längsrichtung auf der Nabe versetzbaren Flügeln. Bei dem deutschen Riesendampfer „Amerika" hat jeder Schraubenflügel der vierflügeligen Schraube etwa 3 m Länge, der Durchmesser der ganzen Schraube beträgt über 7 m, da die Schraubennabe mehr als 1 m dick ist. Eine solche Schraube aus Manganbronze wiegt etwa 36 000 kg. Welche Maße die Schraubenwellen großer Dampfer annehmen, zeigt die Wellenleitung des Schnelldampfers „Kaiser Wilhelm der Große"; sie besteht aus einer vierfachen Kurbelwelle, aus 20 einzelnen Stücken zusammengebaut, von 14 m Länge und 83 300 kg Gewicht (Fig. 1135); daran schließt sich die 5 m lange Druckwelle, dann folgen vier zwischengeschaltete Laufwellen von zusammen 25 m Länge und schließlich als letztes und längstes Stück die 15 m lange Schraubenwelle, die durch das Wellenrohr und die Schraubenböcke hindurchgeführt ist und auf ihrem konischen Ende die Nabe der Schiffsschraube trägt. Diese gesamte Wellenanlage, die die Kraftwirkung der Maschine auf die Schraube überträgt, ist 61 m lang und wiegt ohne die zahlreichen Wellenlager 180 000 kg. Die Welle hat überall 60 cm Durchmesser; die Flanschen der Zusammenfügungen haben sogar 1 m Durchmesser. Die von Fried. Krupp gefertigte Wellenleitung ist zur Hauptsache aus Nickelstahl gefertigt, nur die Druckwelle und die vier Laufwellen bestehen aus Martinstahl. Diese gewaltige Wellenleitung muß mit äußerster Genauigkeit eingebaut sein, denn ihre sämtlichen Teile müssen genau die gleiche Umdrehungsachse haben, damit die Kurbelwirkung der Maschine mit dem geringsten Reibungsverlust erfolgen kann.

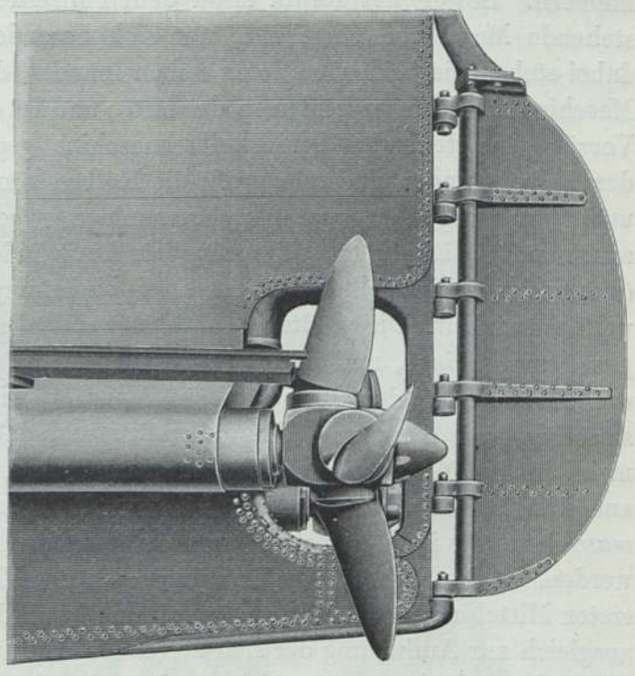


Fig. 1134. Achtersteven mit Nikipropeller.

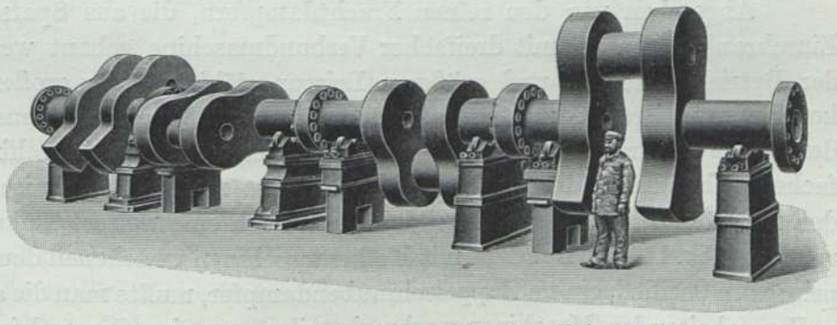


Fig. 1135. Vierfache Kurbelwelle des Schnelldampfers „Kaiser Wilhelm der Große".

Die zweckmäßigste Anordnung der *Schiffskolbenmaschinen* ergibt sich aus der Lage der Schraubenwelle, die tief im Schiff und parallel dem Kiel gelagert ist. Am günstigsten für die

Hubwirkung der Kurbeln ist es, wenn die Dampfzylinder über der Schraubenwelle stehen. Diese Anordnung der *stehenden Maschine* ist auf Handelsdampfern sowohl für Einschraubenschiffe wie für Doppelschraubenschiffe allgemein üblich. Bei den Schnelldampfern erreicht dabei die Maschinenanlage meist die Höhe eines dreistöckigen Hauses. Bei Doppelschraubendampfern werden die beiden nebeneinanderstehenden Maschinen durch ein mittleres Längsschott getrennt, um die Zahl der wasserdichten Abteilungen zu vergrößern und ihre Größe zugleich zu verkleinern. Soweit der Raum unter dem Panzerdeck es zuläßt, werden auch auf Kriegsschiffen stehende Maschinen eingebaut, was sich besonders bei Dreischraubenschiffen einrichten läßt; dabei stehen die beiden vorderen nebeneinander, durch ein Mittellängsschott getrennt, die dritte Maschine steht hinter beiden in der Mitte und ist durch ein Querschott von ihnen getrennt. Die Vorzüge der stehenden Schiffskolbenmaschine gegen jede schräge oder wagerechte Anordnung der Kolbenstangen sind sehr groß: die Kolben können frei schwingen, haben also wenig Reibung und Abnutzung; die ganze Maschinenanlage ist sehr übersichtlich, leicht zu bedienen und leicht auseinander zu nehmen. Ursprünglich Einzylindermaschine, hat sich die stehende Maschine (Hammermaschine) allmählich zur Zwei- bis Fünfzylindermaschine mit ein- bis vierfacher Kurbelwelle entwickelt. Die größten Schiffe verwenden meist ausschließlich *vierfache Verbund-* oder *Expansionsmaschinen*, und zwar mit Kondensation, damit der Dampf wieder in Speisewasser verwandelt und in den Kessel zurückgepumpt wird. Bei der *dreikurbeligen Dreifachverbundmaschine* (vgl. Abteilung „Dampfkraftmaschinen", Fig. 165, S. 78) ist der Hochdruckzylinder meist in der Mitte angeordnet; die drei Zylinder für Mittel-, Hoch- und Niederdruck wirken auf drei Kurbeln, die im Winkel von 120° zueinander stehen. Bei den *Vierfachverbundmaschinen*, die im allgemeinen nur für Dampfdrucke von mindestens 15 Atmosphären verwendet werden, ist die Reihenfolge der Zylinder an der Maschine: Hochdruck, Niederdruck, zweiter und erster Mitteldruck. Bei dieser Anordnung kann der vom Ingenieur Schlick ersonnene Massenausgleich zur Aufhebung der sehr störenden und auch für den Schiffskörper schädlichen heftigen zitternden Schwingungen erzielt werden: das durch die unausgeglichene Anordnung der Kolbenbewegungen hervorgerufene Zittern der Decke des Schiffes wird aufgehoben durch genaue Abwägung der Abstände der Zylinder voneinander und durch Änderung in der Stellung der vier Kurbeln zueinander. Für die Wohnlichkeit aller hinteren Schiffsräume ist diese Ausbalancierung der Kurbelstöße sehr wichtig.

Abgesehen von den reinen Frachtdampfern, die aus Sparsamkeitsgründen fast stets als Einschraubendampfer mit dreifacher Verbundmaschine gebaut werden, baut man aus Gründen der Betriebssicherheit und größeren Leistungsfähigkeit die großen Seedampfer, jetzt auch die kombinierten Fracht- und Passagierdampfer, als Doppelschraubenschiffe und gibt ihnen je nach der für die gewünschte Schiffsgeschwindigkeit erforderlichen Maschinenkraft zwei-, drei- oder vierfache Verbundmaschinen nebeneinander. Aus maschinentechnischen Gründen mußte man bei den neuesten sehr großen Schnelldampfern noch eine weitere Teilung der Maschinenanlagen vornehmen (Fig. 1136). Bei dem mit Kolbenmaschinen versehenen deutschen Schnelldampfer „Kronprinzessin Cecilie", einem Doppelschraubendampfer, mußte man die auf jeder der beiden Schraubenwellen arbeitenden Maschinen nochmals teilen, um eine Gesamtleistung von 48 000 Pferdestärken zu erreichen, ohne die Einzelabmessungen der Zylinder usw. in technisch unrationeller Weise vergrößern zu müssen; denn sehr große Dampfzylinder werden einerseits sehr schwer, anderseits ist die Herstellung und Bearbeitung riesiger Gußstahlblöcke mit sehr großen Kosten und Schwierigkeiten verknüpft. Man verteilte also die 48 000 Pferdestärken auf vier Vierfachverbundmaschinen von je 12 000 Pferdestärken Leistungsfähigkeit; paarweise arbeiten je zwei Maschinen auf die beiden Propellerwellen (Fig. 1136), und zwar mit je drei Kurbeln, weil der Hochdruckzylinder über dem Niederdruckzylinder an gemeinschaftlicher Kolbenstange sitzt. Dabei hat der Niederdruckzylinder bereits 280 cm Durchmesser, die Kurbelwelle 63,5 cm Durchmesser. Da diese größte Kolbenmaschinenanlage der Jetztzeit sich vorzüglich bewährt hat, würde man für künftige Riesenschiffe die Maschinenleistung noch auf etwa 90 000 Pferdestärken

steigern können, bei gleichen Zylinderdurchmessern, wenn man solche Maschinenanlage in ein Vierschraubenschiff bauen würde, wobei freilich wegen der doppelten Maschinenräume die zwei Wellenleitungen über 80 m lang werden müßten.

Wahrscheinlich wird aber bei künftigen Schnelldampfern die *Dampfturbine* oder ein Verbrennungsmotor die Antriebskraft liefern. Als *Turbinenschiffe* sind allerdings bisher erst zwei große Schnelldampfer gebaut, die Dampfer „Mauretania" und „Lusitania" der Cunardlinie. Sie haben Parsonsturbinen, von denen vier dreiflügelige Schrauben von 5 m Durchmesser etwa 175 Umdrehungen in der Minute erhalten. Die beiden äußeren, nach innen schlagenden Schrauben werden durch je eine Hochdruckturbine, die beiden inneren, nach außen schlagenden Schrauben durch je eine Niederdruckturbine getrieben. Die beiden inneren Schrauben liegen dicht am Rudersteven

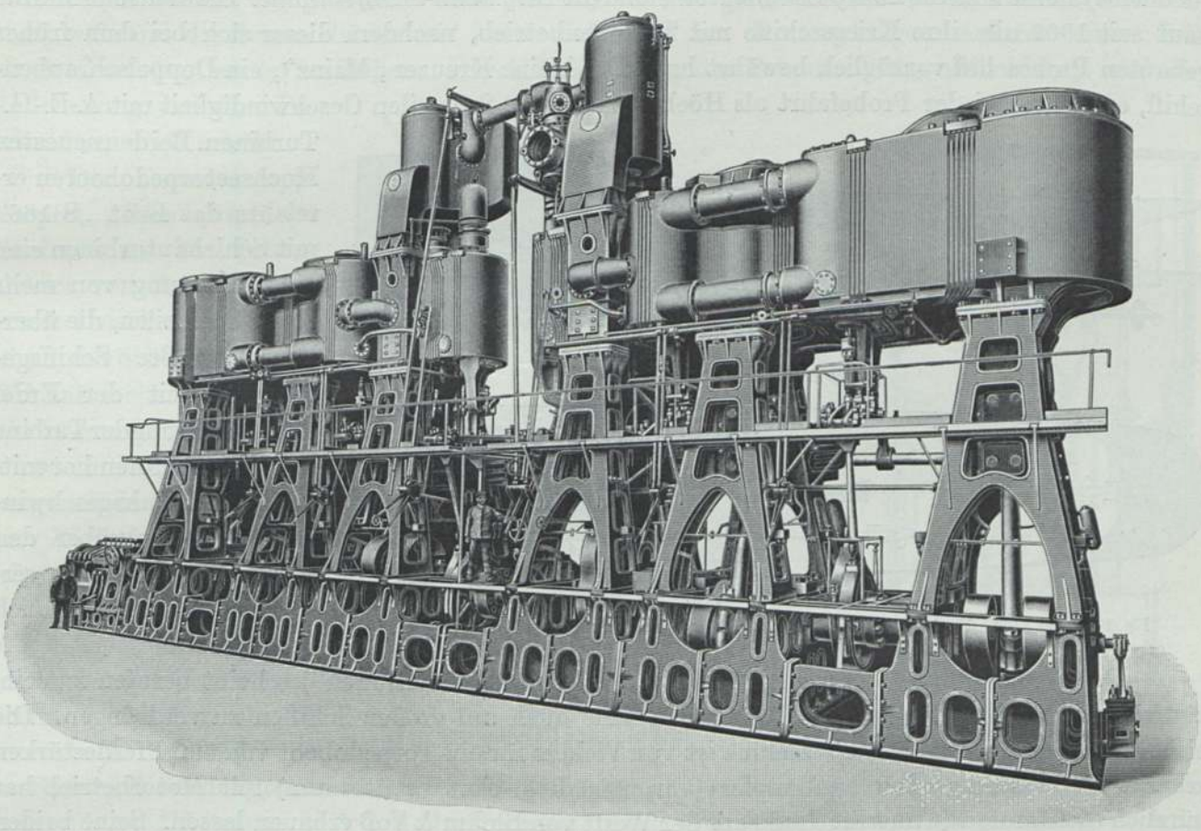


Fig. 1136. Eine der beiden Vierfach-Expansionsmaschinen des Schnelldampfers „Kaiser Wilhelm II.", erbaut von der Stettiner Maschinenbau-Aktiengesellschaft „Vulcan".

und etwa 15 m weiter hinten als die äußeren Schrauben, doch alle vier in gleicher Tiefe. An die inneren Schraubenwellen sind auch die Rückwärtsturbinen angekoppelt, denn da die Turbinen nicht umgesteuert werden können, müssen für Rückwärtsgang der Schrauben besondere Turbinen vorhanden sein. Die Hochdruckturbinen haben etwa 3 m Durchmesser und 8 m Länge; die Niederdruckturbinen haben etwa 5 m Durchmesser und 27 m Länge mit den auf derselben Welle sitzenden Rückwärtsturbinen. Den Dampf für die Turbinen liefern 25 Zylinderkessel, davon 23 Doppelender und 2 Einender, mit insgesamt 192 Feuerungen und 14 864 qm Heizfläche. Bei etwa 70 000 Pferdestärken Maschinenleistung erreichen die Schiffe bis 27½ Seemeilen Geschwindigkeit. Störend sind auf diesen größten Turbinenschiffen die Erschütterungen, die hauptsächlich von dem im wild wirbelnden Heckwasser wirkenden hinteren Schraubenpaar herrühren und durch die Wellenböcke auf den ganzen Schiffskörper übertragen werden.

Die Figuren 1137 und 1138 zeigen die Zerlegung einer Dampfturbine (Parsonsturbine) in drei Teile 1, 2 und 3, die auf drei Schiffswellen 4, 5 und 6 sitzen, und die der Dampf nacheinander durchströmt, nämlich 7 (Einlaß), 1, 8, 3, 2, 9 (Auslaß zum Kondensator). Die

mittlere Welle treibt einen Ventilator 10 für die Feuerung; 11 ist eine besondere kleine Kolbendampfmaschine für die Kondensatorpumpe.

Über Wirkungsweise und Arten der Dampfturbine s. Abteilung „Dampfkraftmaschinen", S. 82 ff. Als Schiffsturbinen werden die *Parsonsturbine* und die *A.-E.-G.-Turbine* verwendet, ferner die *Schichauturbine*. Die Schichauturbine ist der Parsonsturbine verwandt, hat jedoch Druckausgleich für alle Geschwindigkeiten, so daß auf das Drucklager fast kein Schub wirkt; ferner ist die Hohltrommel der Turbine geheizt, um Wärmeverluste zu verringern. Bei der Marschfahrt durchzieht der Dampf alle Stufen der Trommel; für höhere Geschwindigkeiten wird nach Bedarf einer späteren Stufe Dampf zugesetzt, der also die vorhergehenden Stufen überspringt. Die *Germaniaturbine* weicht nur in Einzelheiten der Anordnung von der A.-E.-G.-Turbine ab. Andere Schiffsturbinensysteme sind die *Zoelly-Schiffsturbine* und die *Bergmann-Schiffsturbine*. Die deutsche Marine baut seit 1909 alle ihre Kriegsschiffe mit Turbinenbetrieb, nachdem dieser sich bei dem früher gebauten Probeschiff vorzüglich bewährt hat. Der kleine Kreuzer „Mainz", ein Doppelschraubenschiff, erreichte bei der Probefahrt als Höchstleistung 28 Seemeilen Geschwindigkeit mit A.-E.-G.-Turbinen. Bei den neuesten Hochseetorpedobooten erreichte das Boot „S 166" mit Schichauturbinen eine Höchstleistung von mehr als 36 Seemeilen, die überhaupt größte Schiffsgeschwindigkeit der Erde. Die Einführung der Turbine auf Kriegsschiffen hat mithin deren Fahrgeschwindigkeiten gegenüber den mit Kolbenmaschinen versehenen Schiffen erheblich gesteigert.

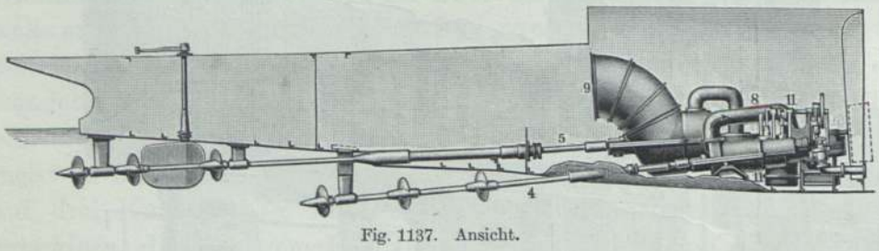


Fig. 1137. Ansicht.

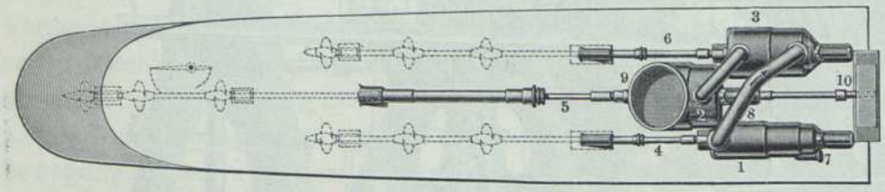


Fig. 1138. Querschnitt.

Fig. 1137 und 1138. Verteilung einer Parsons-Turbine auf drei Schiffswellen.

Der *Verbrennungsmotor* (vgl. Abteilung „Verbrennungsmaschinen") scheint berufen zu sein, künftig die Dampfturbine wie die Kolbenmaschine auch auf großen Schiffen zu verdrängen. Die bisher stärkste erprobte Motormaschine ist von Vickers für ein Torpedoboot von 800 Pferdestärken erbaut. Den ersten großen Seedampfer (von 9000 Reg.-Ton. Bruttoraum) mit Motorbetrieb hat kürzlich die Hamburg-Amerika-Linie auf der Werft von Blohm & Voß erbauen lassen. Seine beiden Propellerschrauben werden von zwei Dieselmotoren (vgl. S. 139 ff.) von je 1500 Pferdestärken getrieben, die dem Frachtdampfer 12 Seemeilen Geschwindigkeit geben. Die von der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg erbauten Motoren sind dreizylinderig und verbrauchen stündlich etwa 200 g Rohöl oder Petroleumrückstände für jede Pferdestärke. Die Schrauben machen 150 Umdrehungen in der Minute. Der Betrieb der Motoren ist bedeutend wirtschaftlicher als der von Kolbendampfmaschinen, weil er weniger Brennstoff und auch viel weniger Bedienungspersonal erfordert; außerdem nimmt die Motoranlage viel weniger Schiffsraum ein, da die Kesselanlagen fortfallen, und auch der flüssige Brennstoff fordert weniger Raum als die Kohlenbunker, kann sogar meist im Doppelboden der Seeschiffe untergebracht werden. Geplant, aber bisher noch nicht ausgeführt ist von Mc Kechnie eine *Gasmotorenanlage* für Kriegsschiffe von 16000 Pferdestärken, wobei das Gas an Bord selbst aus Anthrazit hergestellt wird; die Anlage soll aus Zweitaktmotoren in drei Gruppen bestehen: vorn vier Satz Luftpumpen mit Gasmotorenantrieb, mittschiffs die Gaserzeuger und achtern vier zehnzylinderige stehende Gasmotoren, auf je eine Schraubenwelle arbeitend. Solche Anlage soll knapp halb soviel Gewicht beanspruchen wie eine Dampfmaschine gleicher Stärke; außerdem würden die Schornsteine mit ihrer verräterischen Rauchentwickelung auf den Kriegsschiffen fortfallen. — Über die Umsteuerbarkeit von Dieselmotoren vgl. S. 144.

In der Flußschiffahrt sind neben der Schiffsschraube noch zwei andere Propeller gebräuchlich. Passagierdampfer werden noch jetzt meist als *Raddampfer* gebaut; ihr Antrieb wird durch zwei *Schaufelräder* bewirkt, die seitlich von der Außenhaut des Schiffs ungefähr in dessen Mitte gewöhnlich auf einer gemeinsamen Haupttriebwelle der meist schrägstehenden Maschine (vgl. Abteilung „Dampfkraftmaschinen", Fig. 159 und 160, S. 76) angebracht sind. Dabei müssen die Schaufelräder hoch genug über Wasser liegen, so daß nur die unteren Schaufeln ins Wasser tauchen. Damit die Schaufeln senkrecht ein- und austauchen, baut man *Patenträder mit beweglichen Schaufeln* (Fig. 1139 u. 1140); jede Schaufel ist hier um ihre besondere Achse drehbar, die Drehung bewirkt ein Hebelgestänge, das auf einer Exzenterscheibe der Radachse befestigt ist und den Schaufeln die günstigste Stellung während ihrer Schubarbeit im Wasser gibt. Diese Patenträder werfen wenig Wasser beim Austritt auf, es geht also nur wenig Druckarbeit verloren, während die Schaufelräder mit festen Schaufeln bei deren schrägem Austritt einen Teil der Stoßwirkung wieder aufheben. Durch Krümmung der Schaufelfläche nach hinten wird die Stoßwirkung bei den Patenträdern noch erhöht.

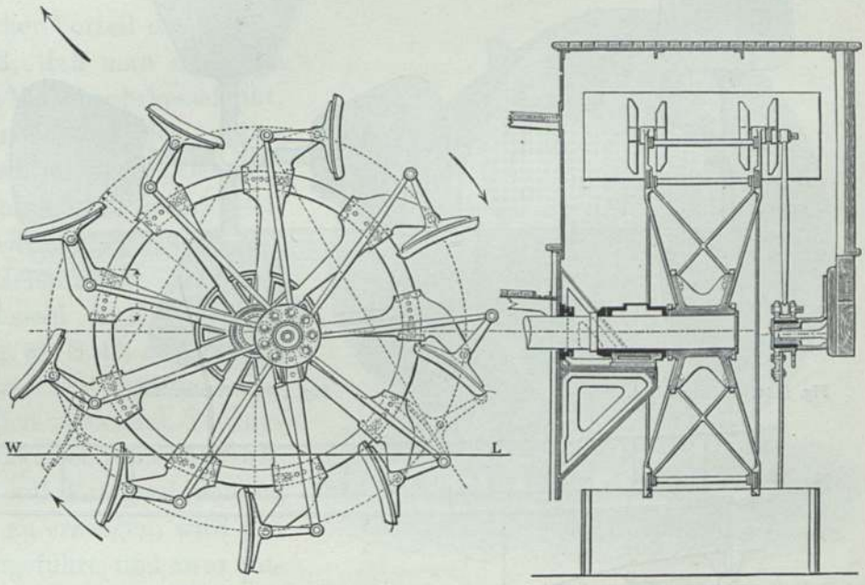


Fig. 1139. Seitenansicht. Fig. 1140. Querschnitt.

Fig. 1139 und 1140. Patent-Schaufelrad mit beweglichen Schaufeln.

Der Donauschleppdampfer „Pécs" von 650 Pferdestärken hat Schaufelräder von 2,5 m Durchmesser zwischen den Drehachsen der Schaufeln; jedes Rad hat sechs bewegliche, gekrümmte Eisenschaufeln von 90 cm Höhe und 3,65 m Länge. Jede Schaufel ruht ihrer Länge wegen auf drei Trägern und einem festen Radlager. Die zweizylindrige Verbundmaschine liegt schräg längsschiffs; die querschiffs liegende Kurbelwelle ist zugleich die Triebwelle der Räder. Einer der größten modernen Raddampfer, der 122 m lange Hudsondampfer „Hendrick Hudson", hat Räder von über 7 m Durchmesser, deren neun Schaufeln 1,2 m hoch und 4,3 m lang sind; bei etwa 5500 Pferdestärken der schrägliegenden Verbundmaschine und 40 Umdrehungen der Räder in der Minute soll das Fahrzeug 23 Seemeilen Geschwindigkeit haben. Das Schiff trägt 5000 Fahrgäste, aber keine Fracht.

Da die Radkasten an den Seiten der Raddampfer die Schiffsbreite sehr erhöhen, baut man für schmale Flüsse und Kanäle *Heckraddampfer* mit nur einem Schaufelrad, das in einem Trägerrahmen am Hinterteil des Schiffes gelagert und durch lange Gestänge mit der querschiffs liegenden Kurbelwelle verbunden ist (vgl. Fig. 1182—1185, S. 514 u. 515). Auch die Heckraddampfer erhalten jetzt stets Patenträder mit beweglichen Schaufeln.

In neuester Zeit hat sich für den Antrieb von Dampfern und Motorbooten auf seichten Flüssen und Seen ein neuer Propeller, das *Schraubenrad* (Fig. 1141—1143), als besonders zweckmäßig erwiesen. Es taucht, wie das Schaufelrad der Raddampfer, nur zu einem Viertel seines Durchmessers ein, hat aber, wie die Welle der Schiffsschraube, seine Umdrehungsachse in der Kielrichtung gelagert. Während das Schaufelrad nur etwa 60 Umdrehungen in der Minute machen kann, um wirksam zu sein — bei schnelleren Umdrehungen kann das Wasser sich nicht schnell genug hinter den Schaufeln ergänzen — und während die Schiffsschraube zwar hohe Umdrehungszahlen zuläßt, aber dabei genügend tief unter Wasser liegen muß, arbeitet das Schraubenrad noch

bei sehr hohen Umdrehungszahlen, bis 200 in der Minute, und nur etwa 0,5 m Tauchung sehr günstig. Wegen seiner geringen Tauchung übt es wenig seitlichen Druck aus, wirft also geringen Wellenschlag auf, was für schmale Gewässer wichtig ist. Auch ist die stehende Maschine für das Schraubenrad leichter, billiger und nimmt weniger Raum ein als die schrägliegende Raddampfmaschine. Man baut *Schraubenraddampfer* mit einer Schraube oder mit zwei Schrauben nebeneinander oder auch hintereinander, wobei das innere Schraubenrad auf einer Hohlwelle über der Welle des äußeren sitzt und durch Räderübersetzung im entgegengesetzten Sinne gedreht wird. Nebeneinander angeordnete Schraubenräder drehen, um dem Schiff die Steuerfähigkeit zu erhalten, ebenfalls entgegengesetzt: beide oben nach außen, also unten nach innen. Man baut auch große Schleppkähne mit einem kleinen Hilfsmotor, der ein oder zwei Schaufelräder treibt.

Für alle Dampfer mit Kolbenmaschinen oder Turbinen sind *Kesselanlagen* erforderlich, um den Dampfdruck für die Maschinen oder Turbinen zu erzeugen. Die *Schiffskessel* werden in Heizräumen aufgestellt, die durch Quer- und Längsschotte in wasserdichte Abteilungen geteilt sind. Der Riesendampfer „Olympic" hat in sechs Heizräumen insgesamt 24 *Doppelender*- und 5 *Einenderkessel* (erstere von beiden Enden, letztere von einem Ende zu befeuern); jeder der vier Schornsteine, die den Rauch aus diesen Räumen abführen, hat 7,3 m Durchmesser. Der deutsche Schnelldampfer „Kronprinzessin Cecilie" des Norddeutschen Lloyd hat in acht Kesselräumen 12 Doppelender- und 7 Einenderkessel mit 15 at Überdruck, mit insgesamt 124 Feuerungen von 290 qm Rostfläche und 10 000 qm Heizfläche. Diese Kessel haben insgesamt 15 438 Stück Siederohre und verbrauchen täglich 720 t Kohlen. Man verwendet jetzt für Handelsschiffe allgemein zylindrische Kessel bis zu 16 at Dampfdruck, die zur Erzeugung von Dampf für eine Pferdestärke stündlich etwa 0,6 kg Kohlen benötigen. Von der günstigen technischen Entwickelung des Schiffskesselbaues hängen die großen Erfolge der Schnelldampfer hauptsächlich ab. Einfache Kessel oder Einender erhalten je nach ihrem Durchmesser eine bis vier Feuerungen oder Flammrohre mit Rost, Feuerbrücke und Feuertür eingebaut. Alle Flammrohre münden in eine gemeinsame Rauchkammer nahe der Kesselrückwand. Von dieser Rauchkammer führen viele dicht beieinander gelagerte Siederohre (oder Feuerrohre) wagerecht durch die Stirnwand des Kessels, bei sehr großen Kesseln mehr als 200 Rohre (Fig. 1144; vgl. auch Abteilung „Dampfkraftmaschinen", Fig. 85, S. 44). Vor die Öffnungen der Siederohre wird der untere Teil des Rauchfanges an den Kessel angesetzt, der die verbrauchten Heizgase in den Schornstein leitet. Die Doppelkessel, *Doppelender*, gleichen zwei Einendern mit gemeinschaftlicher Rauchkammer und ohne Rückwände. Neuerdings rüstet man die Zylinderkessel mit Dampfüberhitzern aus,

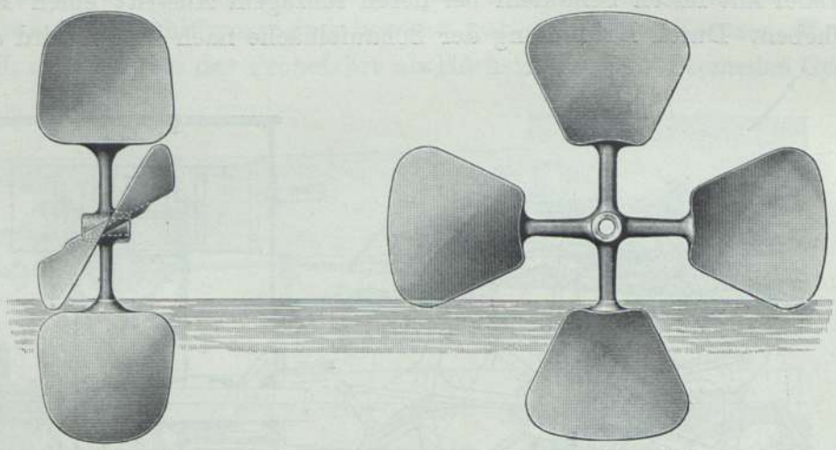


Fig. 1141. Seitenansicht.

Fig. 1142. Totalansicht.

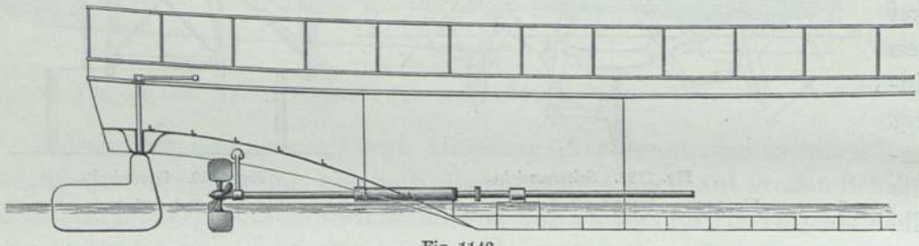


Fig. 1143.

Fig. 1141—1143. Schraubenrad.

um den im Kessel erzeugten Naßdampf auf 300° und höher zu erhitzen und dabei zu trocknen; beim überhitzten Dampf werden bis zu 20 Proz. Kohlen gespart.

Auf Kriegsschiffen, wo im Gegensatz zu den Handelsschiffen die Entwickelung der höchsten Dampfspannung nur gelegentlich, aber oft unvermutet erforderlich wird, benutzt man jetzt hauptsächlich *Wasserrohrkessel;* diese haben keinen großen Wasserraum, sondern mehrere kleine Speisewassersammler (Unterkessel), von denen Röhrenbündel in Krümmungen zu einem Dampfsammler (Oberkessel) in die Höhe führen; die Unterkessel und Röhren sind mit Wasser gefüllt und werden von den Stichflammen der Kesselfeuerungen und von den überhitzten Heizgasen umspült. In Wasserrohrkesseln kann man in ½ Stunde Dampf aufmachen und einen Druck von 17 at erreichen; sie können auf Kriegsschiffen unter dem Panzerdeck auseinandergenommen und neu montiert werden, während zylindrische Feuerrohrkessel fertig in die Schiffe eingesetzt und ebenso erneuert werden müssen. Wasserrohrkessel sind sehr empfindlich, schwer zu speisen und schwer zu reinigen; sie werden leicht leck, kochen auch leicht über. Die meisten sind im Betrieb auch unökonomischer als die Zylinderkessel; aber bei Kriegsschiffen ist ihr taktischer Vorteil des schnellen Dampfmachens so groß, daß man einzelnen Schiffen schon ausschließlich Wasserrohrkessel gibt, während andere vorläufig noch Zylinder- neben Wasserrohrkesseln haben. Das Linienschiff „Deutschland" hat z. B. 6 Zylinder- und 8 Wasserrohrkessel; der große Kreuzer „Prinz Heinrich" hat 14 Wasserrohr- (Dürr-) Kessel in vier Heizräumen. Die deutschen Dürr- und Schulzkessel (vgl. Abteilung „Dampfkraftmaschinen", Fig. 88, S. 46, und Fig. 91, S. 47) haben sich gut bewährt. Unter vielen anderen Wasserrohrkesseln sind Niclaussekessel, Thornycroftkessel, Babcock- & Wilcoxkessel, ferner Yarrowkessel, Normandkessel u. a. auf Kriegsschiffen im Gebrauch. Um große Hitze zu erzeugen, wird den Feuerungen künstlich Luft zugeführt, und zwar entweder durch Ober- oder durch Unterwind. Bei *Oberwind-Luftzufuhr* wird in die luftdicht geschlossenen Heizräume mit starken Gebläsen Luft hineingedrückt. *Unterwind-Luftzufuhr* (vgl. Abteilung „Dampfkraftmaschinen", Fig. 76, S. 39) kommt seltener vor; bei ihr wird die Preßluft durch besondere Kanäle unmittelbar unter die Roste in die luftdicht geschlossenen Aschfälle gedrückt.

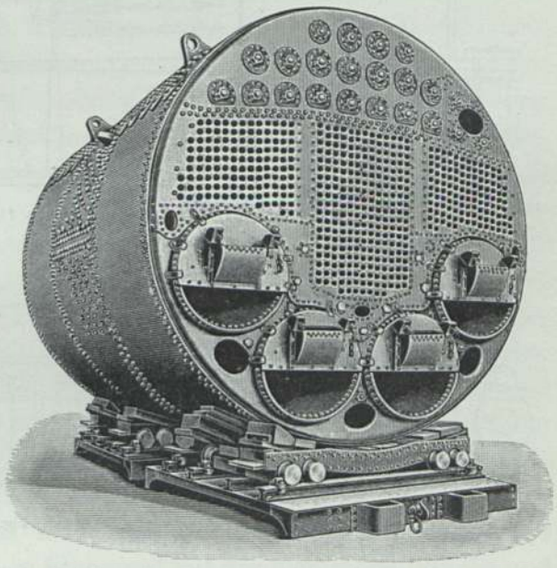


Fig. 1144. Doppelkessel des Schnelldampfers „Kaiser Wilhelm II." (Gesamtfläche 10000 qm).

Als *Heizmaterial* für Schiffskessel dienen Steinkohlen, Steinkohlenbriketts, Braunkohlenteeröl und Petroleumrückstände (Masut) und gelegentlich auf kleinen Dampfern Holz oder Fischabfälle, neuerdings auch Spiritus und Benzin. Die Kohlen lagern in den *Kohlenbunkern*, die möglichst nahe den Kesselräumen liegen und wasserdicht geschlossene Räume bilden; man unterscheidet *Längsbunker* und *Querbunker* nach der Lage zur Kielrichtung. *Bunkerschotte* trennen die Bunker von den Kessel- oder Maschinenräumen. Das Teeröl wird in *Ölzellen* aufbewahrt. Bunker reichen meist nicht höher als bis zum Zwischendeck oder Panzerdeck; Ölzellen liegen oft im Doppelboden der Schiffe. Auf einigen Kriegsschiffen werden die Räume zwischen Zwischendeck und Panzerdeck als Reservekohlenbunker benutzt und mit Kohlenbriketts gefüllt, die sich wegen ihrer gleichmäßigen Form gut zur Füllung eignen. Um Selbstentzündung in den Kohlenbunkern zu verhüten, müssen sie viel gelüftet werden. Masut wird als Heizmaterial auf Kriegsschiffen verwendet, weil es im Verhältnis zu seinem Gewicht mehr Heizkraft als Kohle hat, auch bequem aufzubewahren ist. Meist werden aber dann die Dampfschiffe für *gemischte Feuerung* eingerichtet, weil Masut nicht überall zu haben ist; es wird durch Düsen zerstäubt in die Kesselfeuerungen gespritzt und entwickelt weniger Rauch als Kohle, was ein wichtiger seetaktischer Vorzug ist.

3. Schiffsausrüstung.

Außer den Hauptmaschinen haben alle Dampfer je nach ihrer Größe noch viele *Hilfsmaschinen* mit Dampfantrieb, elektrischem oder hydraulischem Trieb, die zum Teil allen Dampfern gemeinschaftlich sind, zum Teil aber auch den besonderen Zwecken des Dampfers entsprechen müssen.

a) **Ruder** und **Rudermaschine.** Die wichtigste Hilfsmaschine großer Dampfer ist die Rudermaschine zur Bewegung des Ruders. Auf großen Schnelldampfern hat das Ruderblatt bis zu 40 qm Fläche; zum schnellen Legen des Ruders (Winkeldrehung von etwa 40° Ausschlag nach jeder Seite von der Kielrichtung) ist für sehr große Schnelldampfer bei voller Fahrt eine Kraftleistung von mehreren hundert Pferdestärken erforderlich. Bei kleinen Frachtdampfern und bei Flußdampfern findet man noch das *Rudergeschirr* mit Handbetrieb, zuweilen verbunden mit mechanischer Kraftübertragung (als *Patentsteuer*) durch Schraubenspindeln oder Schneckenräder, meist aber mit Steuerung aus Ketten und Gestänge, das nach dem Ruderrad

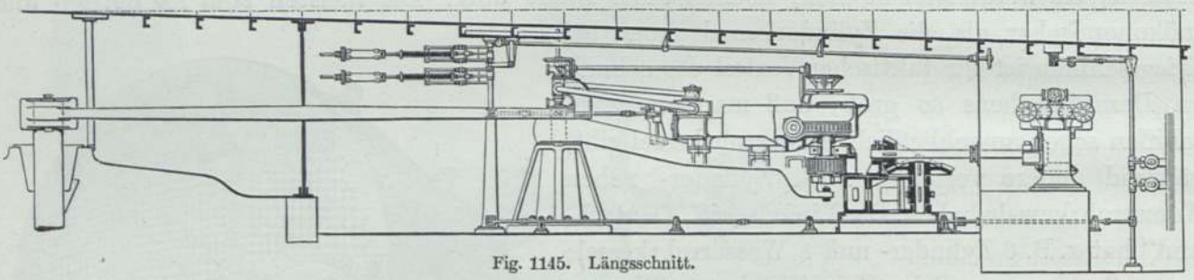


Fig. 1145. Längsschnitt.

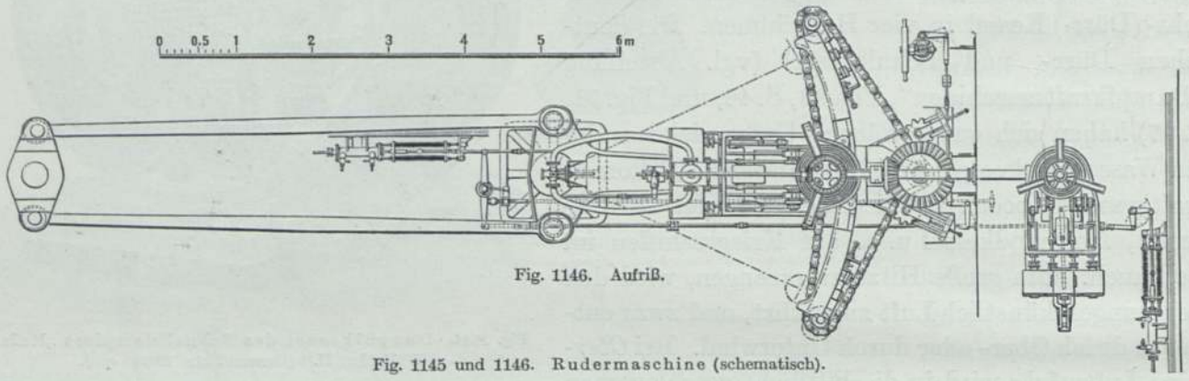


Fig. 1146. Aufriß.

Fig. 1145 und 1146. Rudermaschine (schematisch).

führt; das Handsteuerrad steht auf Seedampfern immer senkrecht und querschiffs, damit der Rudersmann (Mann am Steuer) stets den Blick nach vorn gerichtet hat. Auf Flußdampfern liegt die Achse des Ruderrades senkrecht, das Steuerspeichenrad dreht also in wagerechter Ebene, eine wesentlich unzweckmäßigere Einrichtung, an der aber vielfach noch festgehalten wird. Bei den Reserve-Handsteuervorrichtungen großer moderner Seeschiffe sind oft 3—4 Handspeichenräder auf einer gemeinschaftlichen Welle angeordnet, so daß 12—16 Rudersleute in die Speichen greifen können, um das Ruder zu drehen. Als Hauptsteuereinrichtung haben jetzt alle Kriegsschiffe und ebenso alle größeren Handelsdampfer Rudermaschinen.

Das *Ruder* der modernen und größten Handelsdampfer hat noch immer ganz ähnliche Form wie auf den alten Holzschiffen. Am senkrechten *Rudersteven* (vgl. Fig. 1134, S. 491) sind Ruderösen angeschmiedet oder bei Gußstahlsteven ausgedreht. Das Ruder besteht aus einem Stahlgerippe, dem Ruderrahmen; an diesem sitzt oben der Ruderschaft, dessen Kopf oder Spindel in das Heck des Schiffes hineinragt und dort, im Ruderraum, ein starr mit ihm verbundenes Joch trägt. Der Ruderschaft hat Ösen mit Fingerlingen, die in die Ösen des Ruderstevens eingreifen und die Drehgelenke (Scharniere) für die Bewegung des Ruders um seinen Schaft als Achse bilden. Der Ruderrahmen wird mit Stahlplatten benietet. Etwa 4—6 m vor der Ruderspindel ist (Fig. 1145 u. 1146) im Ruderraum eine Jochspindel fest eingebaut, die ein zweites, um diesen Spindelkopf drehbares Joch trägt; dieses ist durch zwei sehr starke stählerne Lenkstangen, die vier Drehbolzen

festhalten, mit dem eigentlichen Ruderjoch verbunden. An dem zweiten Joch sitzt starr mit ihm verbunden die nach vorn gerichtete *Ruderpinne*. Am Vorderende der Ruderpinne greift ein Schneckengetriebe in den innen gezahnten, im Ruderraum fest eingebauten *Quadranten*. Auf die Ruderpinne ist die eigentliche *Rudermaschine*, eine zweizylinderige Dampfmaschine, aufgesetzt, die das Schneckengetriebe treibt, wodurch je nach dem Sinne der Kurbeldrehung die Pinne nach rechts oder links am Zahnkranz des Quadranten entlang bewegt wird; mit ihr dreht sich entsprechend das zweite Joch, dessen Drehung durch die Lenkstangen auf das eigentliche Ruderjoch übertragen wird. Die Dampfzu- und -abfuhr geschieht durch Rohrleitungen, die durch die Drehachse der Pinne gelegt sind. Um diesen Steuermechanismus gegen Stöße des Ruders im Seegang zu schützen, sind am Rudergestänge Bremsvorrichtungen, meist aus hydraulischen Bremszylindern, zuweilen aus starken Stahlfedern oder aus beiden vereint, angebracht, die das Rucken des Getriebes verhüten oder doch abschwächen. Die modernen Rudermaschinen werden verschiedenartig ausgeführt; zuweilen sitzt der Quadrant auf der Pinne, das Schneckengetriebe ist fest am Deck des Ruderraumes, wo dann auch die Betriebsmaschine steht. Stets sind neben der Haupteinrichtung Reservevorrichtungen angebracht, z. B. in Fig. 1145 u. 1146 eine Gallsche Kette, die über Rollen am Ende des Quadranten läuft, am Vorderende der Pinne befestigt ist und von einem Radgetriebe mit Reservemaschine getrieben wird. Zuweilen verwendet man zum Drehen des Jochgestänges an Stelle des Quadranten Schraubenspindeln und andere Vorrichtungen.

Da das Steuern des Schiffes von der Kommandobrücke aus erfolgen muß (nur im Notfall hilft man sich durch Befehlsübertragung mit Telephon oder Sprachrohr von der Brücke nach dem Ruderraum), sind Übertragungsapparate nötig, um von der Brücke aus die Rudermaschine in die nötige Rechts- oder Linksdrehung zu versetzen oder das Ruder in bestimmter Lage festzuhalten. Auf Schiffen mittlerer Größe benutzt man mechanische Übertragungen, z. B. Axiometerleitungen, mit denen durch Drehung des Steuerrades auf der Brücke die Dampfsteuermaschine die erforderliche Drehung und Stellung durch Öffnen und Schließen entsprechender Ventile erhält. Für sehr große Schiffe, wo solche Leitungen über 100 m lang werden würden, verlieren sie an Genauigkeit durch toten Gang, der oft von wechselnder Temperatur noch vergrößert wird. Deshalb benutzt man jetzt auf allen großen Passagierdampfern und Schnelldampfern die *Telemotoren* (Fernbeweger), nämlich doppelte Kupferrohrleitungen von Fingerdicke, die den Kreislauf einer Flüssigkeit, Wasser mit Glyzerin gemischt, zwischen dem Steuerrad auf der Kommandobrücke und dem Dampfverteilungsschieber der Rudermaschine am Heck vermitteln. Durch Drehen des Steuerrades wird eine hydraulische Pumpe in Betrieb gesetzt; der Druck pflanzt sich durch die Rohrleitung fort und bewegt den Wechselschieber der Rudermaschine, die nun die gewünschte Drehung ausführt, solange kein Gegendruck auf den Schieber erfolgt. Der Sicherheit halber gibt man jedem Steuerrad zwei hydraulische Pumpen und leitet vier Rohre zum Steuerraum; wenn die Gebrauchsleitung versagt, wird sofort die Reserveleitung in Betrieb genommen. Vor dem Handruder im Steuerraum ist ein elektrischer *Ruderanzeiger* aufgestellt, der mit einem Geber auf dem Ruderschaft oder der Ruderpinne im Ruderraum durch Kabel verbunden ist und dem Steuernden stets die Lage des Ruders zur Kielrichtung anzeigt. Bei großen Schiffen, die immer für das Manövrieren im Hafen noch eine achtere, zuweilen auch noch eine dritte, mittlere Kommandobrücke haben, führen elektrische *Ruderbefehlstelegraphen (Steuertelegraphen)* zur vorderen Brücke.

Zur Befehlsübermittelung von der Hauptkommandobrücke nach der Maschine, den Heizräumen und den anderen Kommandoständen dienen mechanische und elektrische Telegraphenleitungen, Lautsprechtelephone und Sprachrohrleitungen. Die älteren mechanischen *Maschinentelegraphen* sind Axiometerleitungen zur Bewegung von Zeigern, die auf Zifferblättern die gegebenen Kommandos anzeigen. Die Leitungen für jede Maschine sind doppelt; sobald mit dem Handgriff des Telegraphen auf der Brücke ein Kommando dort eingestellt wird, bewegt sich der innere Zeiger des Maschinentelegraphen im Maschinenraum unter Glockenschlägen auf dasselbe Kommandowort. Als Rückantwort stellt der Maschinist den Handgriff seines Telegraphen auf das Wort, das der innere Zeiger anzeigt; mit dieser Bewegung stellt sich zugleich unter Glockenschlägen

der innere Zeiger des Maschinentelegraphen auf der Brücke auf das Kommandowort; hierdurch weiß der Schiffsführer, daß sein Befehl richtig verstanden ist. In gleicher Art wirken die neueren *elektrischen Maschinentelegraphen*. Ein solcher ist in Fig. 1147 dargestellt, und zwar in der Konstruktion von Siemens & Halske. Schematisch geht die Art seiner Wirkung aus Fig. 1148 hervor. Als Sender dient ein Kommutator in der Form eines Kurbelkontaktes I, dessen Kurbel 1 mit dem einen Pol einer Stromquelle 2 in Verbindung steht und ein beliebiges der drei Kontaktstücke 3, 4 und 5 berührt. Der Empfänger II besteht aus drei Elektromagneten 6, 7 und 8, deren Wickelungen durch eine gemeinsame Leitung an den zweiten Pol der Batterie 2 geführt werden. Die drei äußersten Enden der Elektromagnetspulen sind je durch eine Leitung mit einem der Kontaktstücke des Senders I verbunden. Wird nun der Sender auf ein Kontaktstück eingestellt, so wird der Strom über die mit diesem Stück verbundene Elektromagnetspule geleitet, so daß der betreffende Elektromagnet, und zwar nur dieser, erregt wird. Ein über dem Elektromagnet sich drehender kleiner eiserner Zeiger wird durch die Anziehung des erregten Elektromagnets mit diesem parallel gestellt und dadurch die Einstellung des Senders am Empfänger kenntlich gemacht. Damit das Signal nicht nur von der einen zur anderen Stelle, sondern auch von der letzteren zur ersteren gegeben werden kann, um z. B. den richtigen Empfang des Zeichens oder die Ausführung des Auftrages zu bestätigen, werden zwei Anordnungen der beschriebenen Art zusammengelegt, so daß eine jede für eine der beiden Richtungen dient. In die Rückleitung werden an beiden Stellen elektrische Klingeln 9, 10 eingeschaltet, die bei Betätigung des Apparates ansprechen und einerseits dem Absender anzeigen, daß Strom vorhanden ist, anderseits den Empfänger anrufen. Bei der Ausführung dieses Prinzips (Fig. 1149) stellt die Anordnung einen vollkommenen magnetischen Kreislauf dar. Die Elektromagnetspulen 1—6 sind im Kreise aufgestellt und mit radialen, nach innen zeigenden Polschuhen ausgerüstet. In dem freibleibenden Mittelraum dreht sich ein kleiner Anker, ein gleicharmiger Hebel, um eine zu den Magnetkernen parallele Achse. Die unteren Enden der Elektromagnete sind in gleicher Weise geschaltet und umfassen einen zweiten gleichen Anker, der mit dem oberen durch eine Welle verbunden ist. Je zwei diametral gegenüberstehende Elektromagnetspulen sind derart in eine Reihe geschaltet, daß sie einander oben und unten entgegengesetzte Pole zukehren. Geht nun ein Strom durch ein solches Spulenpaar, so entsteht zwischen seinen Polschuhen oben und unten ein starkes magnetisches Feld, und die drehbaren Anker stellen sich in die Polverbindungslinie ein. Wird mithin der Kurbelumschalter betätigt, so erregt er reihenweise die Spulenpaare, und der Anker folgt seiner Bewegung, indem er sich stets für jede Kontaktgebung zwischen die betreffenden Pole stellt. Auf diese Weise werden sechs Ankerstellungen erzielt; bei mehr Signalen läßt man jede Ankerstellung einer ganzen Gruppe von Signalen entsprechen, deren einzelne Glieder wieder in besonderer Weise unterschieden werden.

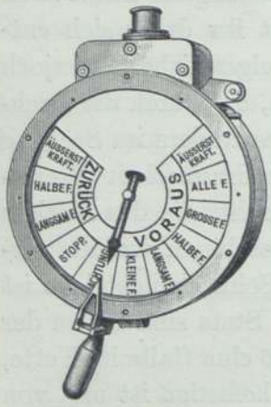


Fig. 1147. Maschinentelegraph.

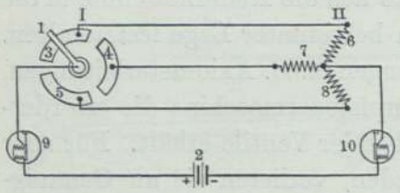


Fig. 1148. Schematische Darstellung des Maschinentelegraphen.

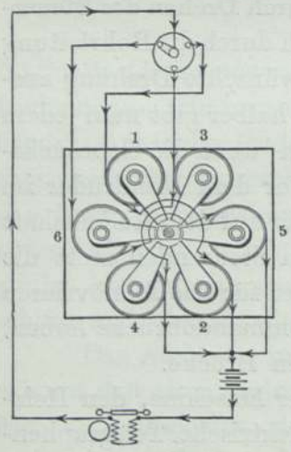


Fig. 1149. Maschinentelegraph (Grundriß).

Elektrische *Umdrehungsanzeiger* im Steuerraum zeigen stets die Umdrehungen der Schiffsschrauben an, woraus der Schiffsführer ohne weitere Messungen die Schiffsgeschwindigkeit und den zurückgelegten Seeweg beurteilen kann. Auch die Einrichtungen zum Ertönenlassen der Dampfpfeife und Dampfsirene befinden sich im Steuerhaus. Einzelne Dampfer betreiben die Nebelsirene automatisch durch Elektromotoren.

b) Schottschließvorrichtung. Auf großen Passagier- und Schnelldampfern ist im Steuerraum auch die Zentrale für die elektrische oder hydraulische Schließvorrichtung der wasserdichten Schottüren (vgl. S. 481, 485 u. 486) vorhanden. Von solchen Vorrichtungen arbeitet das *Lloyd-Stone-System* mit hydraulischen Zylindern, die durch Drehung eines einzigen Handrades im Steuerraum und Übertragung durch Druckrohrleitungen aus einem Akkumulator Druckwasser erhalten, während beim *Longarm-System* ein Geberapparat im Steuerraum durch Hebeldrehung die an den Türen angeordneten Elektromotoren in den Stromkreis einschaltet, die ihrerseits Schneckentriebe zum Schließen der Türen treiben. Bei beiden Systemen ist auf der Brücke ein elektrischer Kontrollapparat vorhanden, dessen Glühlampen erkennen lassen, welche Türen geschlossen oder offen sind. Kurz vor dem Türschließen warnt eine weitverzweigte Alarmweckeranlage das Personal in den Unterwasserräumen, daß die Türen geschlossen werden.

c) Ankergeschirr. Auch das Ankergeschirr der großen Seedampfer wird von wichtigen Hilfsmaschinen bedient. Als Anker (Fig. 1150—1153) benutzt man allgemein in der Handels- und Kriegsmarine die stocklosen *Patentanker*, und zwar vorzugsweise den *Hallanker* (Fig. 1152), an dessen viereckigem Schaft ein nach jeder Seite um 40° drehbares Kopfstück mit schaufelförmigen Rändern mittels eines Achsbolzens verbunden ist. Der Anker fällt mit beiden Armen flach auf den Grund; wenn die Kette anzieht, schneidet der untere schaufelförmige Rand des Kopfstückes in den Grund ein und drückt die Spitzen der *Ankerpflüge* (auch *Ankerhände* oder *Ankerspaten* genannt) in den Grund. Die Pflüge graben sich dann um so tiefer ein, je mehr Zug auf die Kette wirkt. Ähnlich ist der *Inglefieldanker* (Fig. 1153); sein Kopfstück hat eine daumen- oder hakenförmige Spitze, deren Widerstand im Grund das schräge Eingraben der Pflüge zur Folge hat. Auch der in der Handelsmarine verbreitete *Smithanker* (Fig. 1151) wirkt ähnlich, während bei dem älteren *Martinanker* (Fig. 1150) mit kurzem Stock der dicke Kopf die Schrägstellung und das Eingraben der ebenfalls beweglichen Ankerpflüge sichert. Alle diese Patentanker halten fester im Grund als die alten Anker mit festem Stock, wie sie noch auf Segelschiffen üblich sind, weil sie mit beiden Pflügen in den Grund greifen, nicht nur mit einem, wie die alten Anker. Auf großen Dampfern haben die Patentanker sehr hohe Gewichte. Die drei Buganker und zwei (leichte) Stromanker der „Kaiserin Auguste Victoria" wiegen 30 700 kg; die Ketten sind 600 m lang, ihre Glieder haben 88 mm Durchmesser und pro Meter 225 kg Gewicht, so daß eine Kette mehr als 130 000 kg wiegt. Die Ankerketten setzen sich aus Kettenlängen von 25 m zusammen, die durch Schäkel verbunden werden. Die ovalen Kettenglieder werden aus kurzen Stahlstangen zusammengeschmiedet und erhalten meist in ihrer Mitte einen Steg aus Gußstahl zur Erhöhung der Festigkeit; damit Verdrehungen (Törns) in der Kette sich ausdrehen können, erhält jede Kette einen oder mehrere *Patentwirbel*. An Bord liegt jede Kette in einem besonderen Kettenkasten unter dem Zwischendeck; ihr Innenende ist am Boden des Kastens an einem schweren Augbolzen mit einem Schlippschäkel befestigt, der im Notfall leicht gelöst werden kann. Zum Lichten des Ankers an seiner Kette dient das *Ankerspill*, das auf allen großen Dampfern jetzt von Dampfspillmaschinen betrieben wird (Fig. 1154). Dies sind meist zweizylinderige liegende Maschinen, die eine wagerechte Kurbelwelle treiben; durch Schnecke und Schneckenrad dreht diese Welle die senkrechten Spillspindeln, die bis zum Backdeck durchgeführt sind und dort ein Spill mit Kettengang treiben. Die Ankerkette liegt beim Einhieven (Einholen) zum Ankerlichten wie auch beim Auslaufen zum Ankern stets in der Kettenscheibe des Spills, die gewöhnlich lose auf der Spillspindel sitzt und nur nach Bedarf durch eine Bremsvorrichtung mit der Spillspindel fest verbunden wird. Jede *Dampfspillmaschine* bedient durch Umkuppelung mehrere

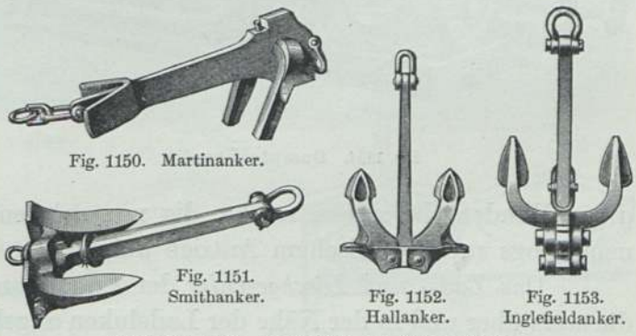


Fig. 1150. Martinanker.

Fig. 1151. Smithanker.

Fig. 1152. Hallanker.

Fig. 1153. Inglefieldanker.

Fig. 1150—1153. Verschiedene Schiffsanker.

Kettenspille und *Verholspille;* die letzteren sind mit Tautrommeln und Drahttaugängen versehen, zum Einhieven von Drahttrossen, die benutzt werden, um das Schiff am Land oder an Bojen festzumachen oder von einer Stelle zur anderen zu verholen. Die Hauptspillmaschine für die Buganker und Bugtrossen befindet sich meist unter der Back, sie hat zuweilen auch elektrischen Betrieb; ist sie ein Dampfspill, so erhält sie den erforderlichen Dampf durch eine Röhrenleitung aus einem Hilfskessel. Eine zweite Spillanlage ist auf allen größeren Passagier- und Kriegsschiffen am Heck oder in dessen Nähe vorgesehen zum Lichten der gelegentlich in engen Häfen erforderlichen Heckanker und der Trossen zum Verholen und Festmachen des Hinterschiffes. — Vgl. auch Abteilung „Arbeitsmaschinen", Fig. 564—567, S. 241.

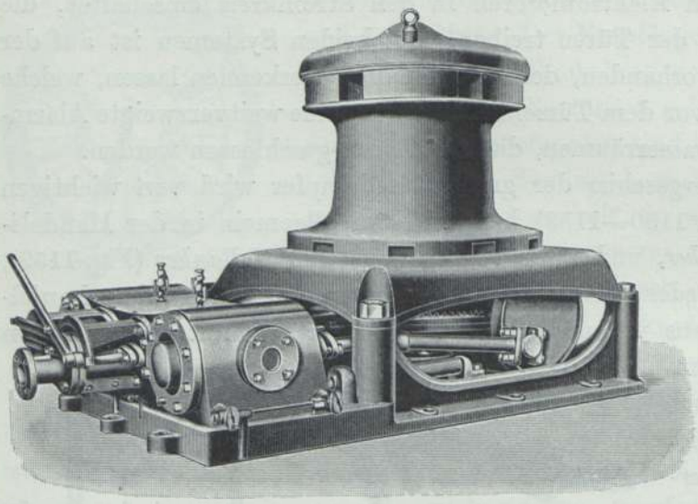


Fig. 1154. Dampfgangspill.

d) Lösch- und Ladevorrichtungen. Zu den Hilfsmaschinen zählen ferner die zahlreichen *Ladewinschen*, d. h. Winden zur Bedienung der Ladebäume, deren beispielsweise der Dampfer „Kaiserin Auguste Victoria" 19 Dampfwinden von je 3000 kg Hebekraft hat, sowie die Deckkrane und Kohlenwinden, letztere zum Fördern von Kohlensäcken. Viele dieser Winden, besonders solche, die nur gelegentlich und im Hafen benutzt werden, werden neuerdings mit elektrischem Antrieb ausgerüstet (Fig. 1155).

Das *Lade- und Löschgeschirr* der Frachtdampfer zeigt sehr verschiedenartige Hebegeräte, die stets über und in der Nähe der Ladeluken angebracht sein müssen. Meist wird der Betrieb mit zwei schräg am Mast aufgetoppten und durch Stütztaue festgestellten Ladebäumen ausgeführt, von denen einer längsschiffs über der Luke steht und zum Fördern der Stückgutladung aus dem oder in den Laderaum dient, während der zweite querschiffs mit seinem Kopf über dem längsseit gelegten Leichterfahrzeug oder über dem Kai steht. Vom Baum über der Luke wird die Last an den zweiten Baum gehievt, von da dann in den Leichter hinabgefiert oder umgekehrt. Oder die Ladebäume werden ein- und ausgeschwungen, wobei seitliche Taue ebenfalls von Winden bedient werden. Andere Winden sind als Boothißmaschinen im Gebrauch; „Kaiserin Auguste Victoria" hat vier Dampfbootwinden zum Zuwasserlassen der Rettungsboote. Die Einrichtungen zum Hissen, Ein- und Ausschwingen der Boote sind sehr verschiedenartig. Als zweckmäßigste Ausschwingevorrichtung gilt der bei allen großen Dampfern des Norddeutschen Lloyd und der Hamburg-Amerika-Linie eingeführte *Welinsche Quadrantdavit* (Fig. 1156), ein Bootsdavit, dessen Fuß durch einen Zahnradquadranten auf einer Zahnstange gelagert ist; durch eine Schraubenspindel wird mit einer Kurbel der Davit in starrer Lage hin und her geschwenkt, wobei die Boote aus ihren Deckklampen gehoben und außenbords geschwenkt werden. Auf Kriegsschiffen werden die schweren Deckboote durch Ladebäume oder häufig auch durch große *Bootkrane* aus- und eingeschwenkt, an Deck gesetzt und zu Wasser gelassen. Es sind dies starke, stählerne Kastenträger mit großer Ausladung; sie haben in ihrer Drehachse Kugellager, das Schwenkwerk wird von einer besonderen

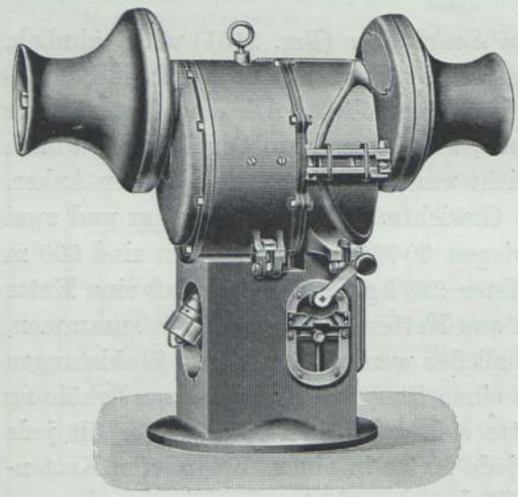


Fig. 1155. Elektrische Kohlenwinde.

Hilfsmaschine bedient, während eine Bootswinde oder Bootshißmaschine mit Trommel das zum Hissen dienende Drahtseil auf oder ab windet. Diese Krane tragen bis 32 t Gewicht.

e) **Schiffspumpen** (vgl. S. 242—249). Jeder moderne Dampfer ist ferner mit einer großen Anzahl von Dampfpumpen für verschiedene Zwecke ausgerüstet; der Schnelldampfer „Kaiser Wilhelm II." hat 17 mächtige Dampfpumpen, die bei etwa eindringendem Wasser imstande sind, stündlich 9360 cbm Wasser auszupumpen. Zur *Pumpenanlage* des Dampfers „Kaiserin Auguste Victoria" gehören zwei an die Hauptmaschinen angehängte *Lenzpumpen* zum ständigen Lenzen (Leerpumpen) der Maschinen- und Kesselraumbilgen, ferner zwei besondere Lenzpumpen und vier Zentrifugalpumpen zum Liefern des Kühlwassers für die Kondensatoren; die letzteren Pumpen können im Notfall auch zum Lenzen beschädigter Abteilungen des Schiffes im Anschluß an das Dränagerohrsystem benutzt werden. Mit zwei anderen Dampfpumpen werden die Feuerlöschleitungen, die Destillierapparate (Frischwassererzeuger) und die Wassertanks für die Bade- und Klosetträume mit Seewasser gespeist. Drei Ballastpumpen dienen zum Entleeren des Wasserballastes aus den Zellen des Doppelbodens; zwei Frischwasserpumpen fördern die in zwei Destillierapparaten täglich gewonnenen 40000 l Trinkwasser in die Frischwassertanks im Doppelboden. Drei Zwillingsdampfspeisepumpen im Maschinenraum führen das Kesselspeisewasser durch zwei Filter und einen Vorwärmer nach den Kesseln. Zwei Evaporatoren erzeugen täglich 50000 l Kesselspeisewasser. Schließlich dienen noch zwei Hilfsspeisepumpen außer zum Kesselspeisen auch zum Feuerlöschen und zum Lenzen oder liefern nach Bedarf Druckwasser zum Betrieb der Asch-Ejektoren.

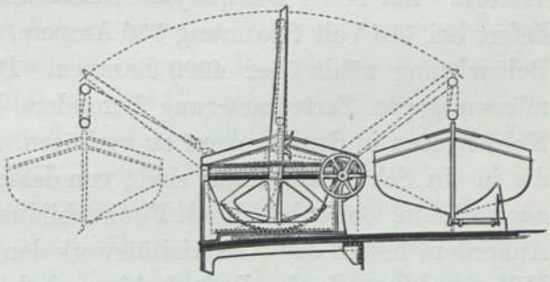


Fig. 1156. Welin-Davit.

Ähnliche großartige Pumpenanlagen befinden sich auf den modernen Kriegsschiffen; sie umfassen: Maschinenlenzpumpen, Dampflenzpumpen, Zirkulationspumpen, die sämtlich an die Hauptlenzrohre angeschlossen sind; ferner Reservedampfspeisepumpen, Dampfspülpumpen, zugleich für Feuerlöschleitung, Hafendienstpumpen, Trinkwasserpumpen, Waschwasserpumpen, Kühlpumpen und Dampfstrahlpumpen, letztere als Lenzpumpen auf Torpedobooten.

f) **Lüftung und Heizung.** Die Lüftung aller Schiffsräume, d. h. die Absaugung der verbrauchten und Einführung frischer Luft, deren zweckmäßige Verteilung, ohne daß Zug entsteht, und deren Kühlung oder Wärmung, wird in modernen Dampfern von vielen *Ventilationsanlagen* besorgt. Eine Zentralanlage zur Lüftung würde ein unübersichtliches Rohrsystem fordern. Besonders sorgfältige Lüftung wird den Zwischendeckräumen zuteil, wo viele Reisende zusammenwohnen. Dort saugen große *Zentrifugalventilatoren* mit Elektromotorenbetrieb aus Rohrleitungen, die oben an der Decke münden, die schlechte Luft heraus, während *Kappenventilatoren*, die auf dem Bootsdeck stehen und nach der Windrichtung stellbar sind, durch ihre Rohre große Luftmengen in die Räume des Zwischendecks hinabführen. Durch die Trennung der Luftzufuhr von der Abfuhr wird der lästige Zug vermieden. In den Heizräumen werden meist je zwei große, elektrisch betriebene Zentrifugalventilatoren angebracht, einer für Luftabfuhr, einer für Luftzufuhr, die bei mitlaufendem Wind und schwülem Wetter, besonders aber in den Tropen, unentbehrlich sind, während bei Gegenwind und kühlem Wetter die vielen Kappenventilatoren zur Zufuhr frischer und Abfuhr schlechter Luft genügen. Auch in den Laderäumen der Viehdampfer, Fleischdampfer, Fruchtdampfer, Getreidedampfer und Kohlendampfer sind Ventilationsmaschinen unentbehrlich. Auf dem Dampfer „Berlin" werden die Speisesäle und Gesellschaftsräume durch 31 elektrische Flügelventilatoren unter der Decke, die Kabinen durch 250 kleine Fächerventilatoren gelüftet. Auf demselben Dampfer erfolgt die Heizung vieler Räume durch Anwärmen der Ventilationsluft, während sonst gewöhnlich *Dampfheizung* benutzt wird. Die verbesserte Dampfheizung nach dem *Thermotanksystem* besteht darin, daß durch Elektromotoren betriebene

Zentrifugalventilatoren die frische Luft an der Außenseite eines innen von heißem Dampf durchströmten Röhrensystems entlang treiben. Auf dem Cunardriesendampfer „Mauretania" sind 53 Thermotankstationen zur Versorgung der Schiffsräume mit frischer und angewärmter Luft vorhanden. Durch die *Seitenfensterventilatoren* nach *Utleyschem Patent* ist dafür gesorgt, daß auch auf den unteren Decken bei Seegang stets frische Luft von außenbords in die Kabinen, Gänge usw. hineinkommen kann, während der Seegang abgehalten wird. Diese Fenster haben einen Korkschwimmer, der dem einlaufenden Wasser den Weg sperrt, aber nach Abfluß der Welle der Luft wieder Zutritt läßt. Bäder und Waschräume sowie Aborte werden durch besondere Pump- und Spülanlagen versorgt.

g) **Elektrische Ausrüstung.** Das *Elektrizitätswerk* großer Dampfer ist schon jetzt größer als das mancher Kleinstadt; früher benutzte man zum Antrieb der Dynamomaschinen meist Kolbendampfmaschinen, in neuerer Zeit aber Dampfturbinen. Die Turbodynamos nehmen weniger Raum ein, auch fallen bei ihnen die Kolbenstöße fort; Turbine und Dynamomaschine haben eine gemeinsame Welle. Die meisten neuen Schiffe haben 3—6 Dynamomaschinen, davon eine als Reserve oberhalb der Wasserlinie, um auch dann Strom erzeugen zu können, wenn durch ein Leck der Hauptdynamoraum unter Wasser gesetzt sein sollte. Zur Beleuchtung werden außer Kohlenfadenglühlampen vielfach Tantallampen verwendet. Der Dampfer „Kaiserin Auguste Victoria" hat sechs Dampfdynamomaschinen, davon fünf im Maschinenraum; jede dieser fünf liefert bei 110 Volt Spannung 750 Ampere, die sechste oberhalb der Wasserlinie 300 Ampere, die Beleuchtung zählt über 4000 Lampen. Die Lampen in den Kohlenbunkern und Heizräumen müssen gegen Zertrümmerung besondere Umhüllungen haben. Um auch die Explosion von Kohlengasen in den Bunkern zu verhüten, setzt man dort die Lampen neuerdings in Lichtspinde, die in ein Schott eingebaut sind; von dessen Nachbarraum aus kann man im Spind die Lampen auswechseln, ohne daß durch Funkenbildung Entzündung der Gase im Bunker entstehen kann. Außerdem liefert das Elektrizitätswerk den Strom für alle Ventilatoren und für sehr viele größere Hilfsmaschinen. In den Luxuskabinen sind elektrische Heizvorrichtungen vorhanden, zum Reinigen der Teppiche usw. elektrisch betriebene, fahrbare Entstäubungspumpen, im Küchenbetrieb außer elektrischen Eierkochern und Teemaschinen auch Elektromotoren für allerlei Haushaltungsmaschinen zum Fleischschneiden, Schneeschlagen, Teigkneten usw. Elektrische Pumpen heben beim Öffnen der Wasserleitungshähne das kühle Frischwasser aus dem Doppelboden des Schiffes in die Küchen, Wasch- und Baderäume. Zum Transport der Lebensmittelvorräte in die Küche, der fertigen Speisen in die Speisesäle und des Gepäcks in den und aus dem Gepäckraum dienen elektrische Seilwinden und Aufzüge. Große Passagierdampfer haben auch elektrische Personenaufzüge; auch elektrisch betriebene Ozonerzeugungsanlagen zur Verbesserung der Luft in Schiffsräumen kommen schon in Gebrauch. Zum schnellen und sicheren Aus- und Einsetzen der Rettungsboote sind elektrische Bootswinden üblich. Für die wichtigen Schiffspositionslaternen sind Glühlampen mit doppelten Kohlenfäden eingeführt, von denen aber nur einer glüht; brennt dieser durch, so erlischt die Lampe nicht, weil dann der andere Kohlenfaden automatisch aufglüht. Außerdem ist ein Kontrollapparat im Steuerhaus angebracht, an dem die den Positionslichtern entsprechenden Lampen brennen oder erlöschen, wie die Positionslichter selbst.

h) **Kühlanlage.** Andere Hilfsmaschinen dienen zum Betrieb der *Kühlanlagen* für den Bedarf an Lebensmitteln usw. sowie für Laderäume zum Transport frischen Fleisches. Die Kühlmaschinen sind für den Betrieb mit Ammoniak oder Kohlensäure eingerichtet. Bei großen Anlagen durchströmt eine 25proz. Salzsole von —15° die langen Kühlrohrschlangen; dazu sind starke Antriebsmaschinen für die Kühlpumpen erforderlich.

i) **Feuerschutz.** Auch gegen Feuersgefahr sind auf Dampfern sorgsame Maßregeln getroffen. Elektrische Feuermelder sind im Schiffsinnern überall angebracht. In den Laderäumen und Kohlenbunkern hat man auch *selbsttätige Feuermelder;* sie bestehen aus einem Sockel mit thermometerartiger Glasröhre, auf deren Kugel eine Feder drückt. Bei großer Hitze zerspringt die Glasröhre, und die Feder schließt einen elektrischen Strom, wodurch an der Zentralstelle die

Nummer des gefährdeten Raumes angezeigt wird. Auch auf irgendeine gewünschte Temperatur einstellbare *Alarmthermometer* findet man vielfach. An der Zentralstelle befindet sich auch eine *Feueralarmeinrichtung*, welche die Mannschaft zur Bereitstellung der Feuerlöschvorrichtungen ruft. Neben Dampf- und Handpumpen, Rauchhelmen usw. hat jeder größere Dampfer noch eine *Dampffeuerlöschanlage*, d. h. ein Netz von Dampfrohren, das durch alle Laderäume führt; an den Verteilungskasten der Rohrleitung befinden sich Öffnungen mit Riechschrauben; nach Entfernung der Schrauben kann man in die (noch dampfleeren) Rohre hineinriechen, um Brandgeruch zu entdecken. Da aber das Einlassen von Dampf in die Laderäume viel kostbare Ladung zerstört und doch nicht stets zum Ersticken des Feuerherdes führt, wenn er verborgen liegt, so hat man viele Versuche mit anderen Mitteln gemacht, z. B. mit dem *Gronwaldschen Apparat*, der als Löschmittel Kohlensäure verwendet, aber davon zu viel verbraucht; überdies verliert die Kohlensäure bei 1200° infolge Zersetzung die Löschfähigkeit. Als brauchbarster Feuerlöscher bei Laderaumbränden hat sich der *Clayton-Apparat* bewährt. Er besteht aus einem halbzylindrischen Generatorofen, worin Schwefel verbrannt wird, ferner aus einem Wasserkühler zur Abkühlung der Schwefelverbrennungsgase, und einem von einer Maschine getriebenen Flügelgebläse, das Luft in den Generator saugt und das *Claytongas*, aus Schwefeldioxyd und Stickstoff bestehend, durch im Schiff eingebaute Röhrenleitungen von unten in den brennenden Raum hineintreibt: das Gas verbreitet sich und steigt dann mit der am Brandherd erzeugten heißen Luft in die Höhe; schon Mengen von 5—10 Proz. des Gases ersticken das Feuer. Um das Wiederaufflammen durch die Hitze im Raum zu hindern, bleibt der Clayton-Apparat so lange im Betrieb, bis durch seinen Wasserkühler das Gas samt der Luft des Raumes gekühlt ist. Der Clayton-Apparat ist außerdem sehr wichtig als Desinfektionsapparat für Krankheitsstoffe und zur Vertilgung von Ungeziefer, Ratten, Malariamücken usw.

Auf Kriegsschiffen sind noch besondere Hilfsmaschinen für die Bedienung der Waffen erforderlich, und zwar teils mit Dampfbetrieb, teils mit elektrischem oder hydraulischem Antrieb. Zu erwähnen sind die *Schwenkwerke* für die Geschütze, die *Turmdrehmaschinen*, die Aufzüge und Förderwerke für die Ladung der Geschütze, zum Teil als Paternosterwerke mit Gelenkketten und Förderschalen eingerichtet; sie sind je nach der Anordnung und Größe der Geschütze verschiedenartig. Für die Munitionskammern sind meist Kühlanlagen eingebaut, da das sehr empfindliche brisante Pulver bei hoher Wärme sich leicht zersetzt.

4. Die wichtigsten Arten von Seehandelsdampfern.

Nach Bauart und Ausrüstung hat man zu unterscheiden zwischen reinen Frachtdampfern, kombinierten Fracht- und Passagierdampfern, gewöhnlichen Passagierdampfern und Schnelldampfern.

a) **Frachtdampfer** werden in den verschiedensten Größen und Formen gebaut, haben aber stets großen Völligkeitsgrad, bis zu 82 Proz., und dementsprechend geringe Geschwindigkeit, zwischen 9 und 12 Seemeilen stündlich. Ihre Maschinenanlage nimmt wenig Raum fort; deshalb ist auf diesen Schiffen der größte Teil des Schiffsraumes für die Nutzladung verfügbar. Wohnräume für die Besatzung werden meist in drei Deckaufbauten, der *Back*, dem *Brückenhaus* und der *Poop*, untergebracht. Frachtdampfer mittlerer Größe werden meist als Eindecker, d. h. mit einem einzigen Deck, gebaut; auch bei größeren Frachtdampfern sucht man den unteren Laderaum möglichst hoch zu halten und erreicht dann durch Einbau eines Doppelbodens und starker Rahmenspanten genügende Festigkeit. Bei Zweideckern läßt man die Zwischendeckbalken ohne Beplankung, führt auch stärkere Deckbalken in größeren Abständen ein. Je mehr die wertvollere Stückgutladung (Maschinen, Industriewaren usw.) auf den Liniendampfern untergebracht wurde, die gleichzeitig Fahrgäste nehmen, um so eigenartigere Frachtdampferformen sind für die Ladung von Rohstoffen ersonnen worden. Für alle Ladungen, die durch besondere Ladevorrichtungen in den Schiffsladeraum unverpackt geschüttet und mit besonderen Förderwerken ausgeladen (gelöscht) werden, wie Kohlen, Erze, Getreide, Phosphate usw., sind Frachtdampfer besonderer Form entstanden. Unter ihnen sind *Walrückendampfer* (Fig. 1157 u. 1158) und *Turmdeckdampfer*

(Fig. 1159 u. 1160) namentlich für den Getreidetransport bestimmt. Diese Typen erstreben große Tragfähigkeit bei geringem nominellen Tonnengehalt. Bei ihnen ist das Nullspant ein Rechteck und der Völligkeitsgrad sehr groß (etwa 85— 90 Proz.). Das Deck des Walrückendampfers ist stark gekrümmt und hat nur ganz geringen Freibord, so daß es bei voller Ladung teilweise unter Wasser liegt. Auf dem Deck erheben sich eine Anzahl (etwa sieben, Fig. 1157) runder Aufbauten, die durch Brückengänge verbunden sind und als Aufenthalt für die Mannschaft dienen. Beim Turmdeckdampfer (Fig. 1159 u. 1160) trägt das Deck einen von vorn bis hinten durchgehenden schmalen Aufbau, der allein über Wasser bleibt, wenn das Schiff vollbeladen ist. Diese Dampfer bieten dem Wind wegen ihres kleinen Oberschiffes nur wenig Widerstand, sparen also Kohlen für die Fortbewegung und bedürfen nur geringer Besatzung. Eine Abart der Turmdecker sind die elliptischen Dampfer des *Sunderland-Typs*. Es gibt Turmdecker, die als Dreidecker gebaut sind, wobei aber die Raumdeckbalken ohne Deckbelag sind, und das Ober- oder Hafendeck nur an den Seiten freiliegt, im übrigen das Deck für das Innere des Turmes bildet, der selbst mit einem vollen Deck (Turmdeck) gedeckt ist. Um die für manche Ladung lästigen Deckbalken entbehrlich zu machen, baut man auch balkenlose Turmdecker, deren Hauptspant seitliche Schrägbalken zeigt (Fig. 1161). In neuester Zeit sind aus den Turmdeckern noch die *Trunkdecker* oder *Kofferdampfer* (Fig. 1162—1164), entstanden, bei denen die aufgesetzten Schächte (Trunke) den Böschungswinkel der Schüttladung erhalten, wodurch das Trimmen der Ladung unnötig wird. Ähnlich hat man auch diese schrägen Schächte in gewöhnliche Eindecker mit Doppelboden eingebaut und benutzt dann die Toppseiten, die für Ladung frei bleiben, zu Ballasttanks, um dem unbeladenen Schiff die zu große Steifigkeit zu nehmen, es also vor zu heftigen Rollbewegungen im Seegang zu schützen.

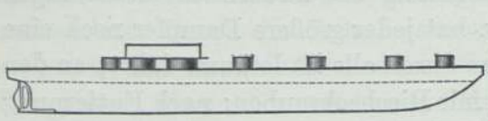


Fig. 1157. Längsschnitt. Fig. 1158. Querschnitt.

Fig. 1157 und 1158. Walrückendampfer.

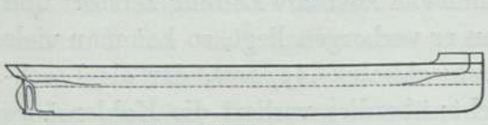


Fig. 1159. Längsschnitt. Fig. 1160. Querschnitt.

Fig. 1159 und 1160. Turmdeckdampfer.

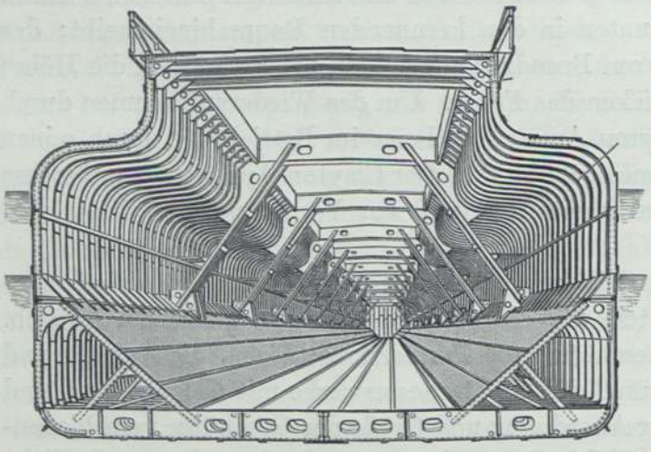


Fig. 1161. Turmdecker ohne Deckbalken.

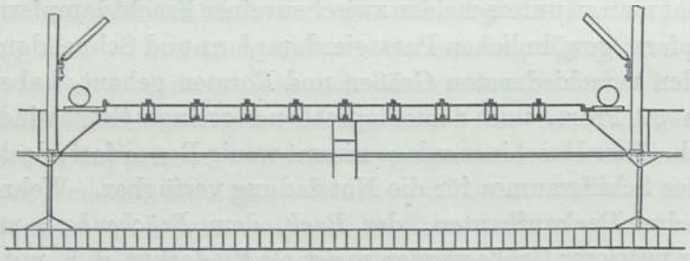


Fig. 1162. Längsschnitt.

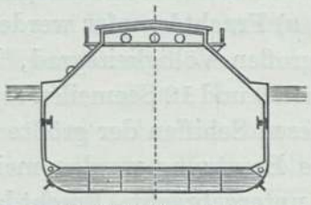


Fig. 1163. Querschnitt.

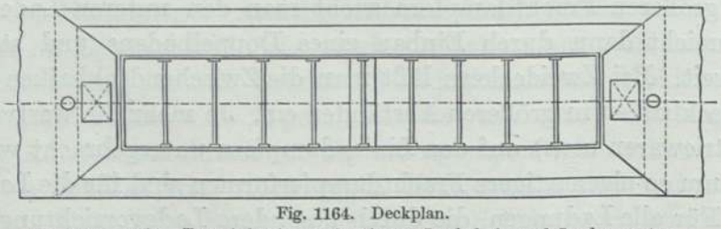


Fig. 1164. Deckplan.

Fig. 1162—1164. Trunkdecker mit einem Ladeluk und Lademasten.

Spezialfrachtdampfer werden hauptsächlich zur Beförderung von Erzen, Kohlen und Petroleum gebaut. Die *Erzdampfer* (Fig. 1165—1167) sind schon äußerlich an ihrer Bauart, oft auch an der Takelung zu erkennen; einzelne haben 6—8 Paar niedriger Lademasten nebeneinander über den Luken stehen. Da bei der Schwerladung der Erzdampfer der Schwerpunkt des beladenen Schiffes sehr tief liegt, mithin die stoßenden Bewegungen im Seegange infolge der Steifigkeit die Schiffsverbände sehr anstrengen, hat man neuerdings vom Laderaum an beiden Schiffsseiten noch Wasserballasträume durch den Einbau von zwei wasserdichten Längsschotten über dem Doppelboden abgetrennt (Fig. 1168). In dem so geschaffenen schmalen hohen Laderaum liegt der Schwerpunkt der Erzladung beträchtlich höher. Bei der Fahrt in Ballast werden außer dem Doppelboden auch die seitlichen Ballasttanks gefüllt, so daß auch dann der Schwerpunkt hoch genug liegt, um sanfte Seebewegungen zu sichern.

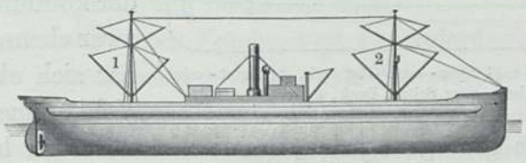


Fig. 1165. Ansicht.

Fig. 1166. Querschnitt.

Fig. 1165 und 1166. Deutscher Erzdampfer „Narvik“ (1:1500; Länge 104 m, Tiefgang 6,8 m, Wasserverdrängung 8622 t; [1, 2 Kranmasten]).

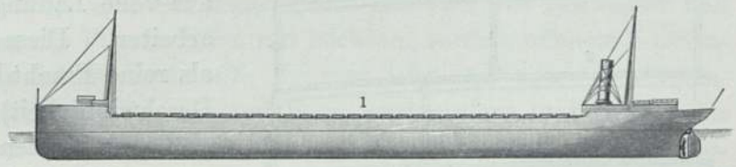


Fig. 1167. Amerikanischer Erzdampfer „James C. Wallace“ (1:1500; Länge 156 m, Tiefgang 6 m, Wasserverdrängung 12860 t; [1 Ladeluken]).

Eine schon lange bewährte Sonderart von Frachtdampfern sind die nur für flüssige Ladung, besonders Petroleum, bestimmten *Tankdampfer*, auch *Zisternendampfer* genannt. Sie sind außergewöhnlich stark gebaute Zweidecker mit Rahmenspanten und verstärkten Deckbalken. Maschinen- und Kesselraum liegen ganz hinten im Schiff; davor ist $^2/_3$ der Schiffslänge innen durch ein mit Stringern verstärktes Mittellängsschott und 4—8 Querschotte in 7—17 Öltanks geteilt, deren Expansionsschächte im mittleren Drittel bis zum Oberdeck reichen, während die Tanks in den äußeren Dritteln nur bis zum Zwischendeck hinaufgehen. Oben sind die Tanks durch Expansionsluken, die den Abzug von feuergefährlichen Gasen zulassen, geschlossen. Die Expansionsschächte sind nötig wegen der großen Volumenänderung des Petroleums bei Temperaturwechsel. Zugleich dienen die Schächte zur Erhaltung der Stabilität beim Seegang; sie verhüten bei richtig bemessener Füllung das Überfließen der Ladung nach der geneigten Schiffsseite, hindern also die Bildung einer freien Flüssigkeitsoberfläche im Schiff, die unbedingt zu dessen Kentern führen würde. Bei der Leerfahrt benutzen die Tankdampfer Wasserballast nach Bedarf in entsprechender Weise. Die Petroleumladung wird mit Rohrleitungen und Saugpumpen gelöscht und geladen. Ähnlich gebaut sind moderne Zisternendampfer für Frischwassertransport, die zum Troß von Hochseeflotten gehören.

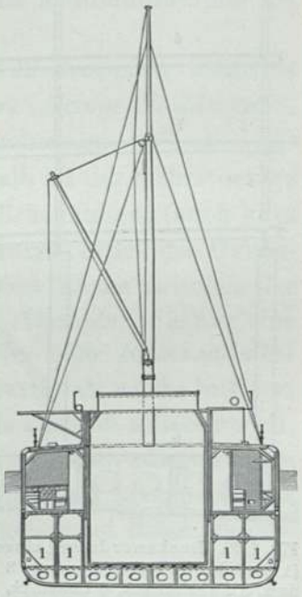


Fig. 1168.
Erzdampfer mit Seitenballasttanks (1 Tanks für Wasserballast).

Auch *Kohlendampfer* als Troßschiffe der Kriegsmarinen werden als Sonderdampfer gebaut; sie haben bis zu 10000 Tonnen Ladefähigkeit und bis 17 Seemeilen Geschwindigkeit; die Maschinenanlage liegt meist im Hinterschiff. Die neuesten amerikanischen Kriegskohlendampfer „Mars“, „Vulcan“ und „Hector“ haben fünf Laderäume mit je zwei Ladeluken; jeder Dampfer trägt zehn Doppellademasten mit je einem *Temperlay-Transporter*, einem langen beweglichen stählernen Ladekran mit eigenartiger Laufkatzeneinrichtung, der querschiffs weit ausragt und sich zur schnellen Förderung von Kohlen in Säcken vorzüglich bewährt hat.

Als Frachtdampfer besonderer Art kann man schließlich die *Kabeldampfer* betrachten; sie dienen zum Legen unterseeischer Telegraphenkabel und zu deren Ausbesserung. An Stelle der Laderäume haben sie Kabeltanks, in denen das zuweilen mehr als 10000 km lange Kabel in runden

Buchten gelagert ist. Das in den Schiffstanks ringförmig aufgeschossene Kabel läuft über ein Spannungsregulierrad, die bremsbare Kabeltrommel der Kabelmaschine, mehrere Leitrollen, ein Dynamometer und die Auslegerolle in See. Ein Zählwerk an der Trommel zeigt die abgelaufene Länge an. An Bord befinden sich, außer Geräten zur Bestimmung der Meerestiefen und der Schiffsgeschwindigkeit, Markierbojen, Anker und Instrumente zur Prüfung des Kabels auf Fehlerfreiheit.

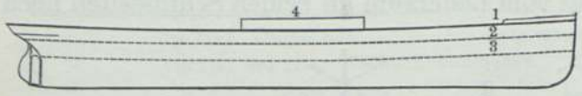


Fig. 1169. Spardecker (1 Spar- oder Oberdeck, 2 Haupt- oder zweites Deck, 3 Zwischen- oder drittes Deck, 4 Brückenhaus).

b) Fracht- und Passagierdampfer. Der Typ der kombinierten *Fracht- und Passagierdampfer* ist zwar ebenso alt wie der der reinen Frachtdampfer, hat sich aber erst im letzten Jahrzehnt zu großer Vollkommenheit entwickelt. Es sind Dampfer, deren Laderäume groß genug sind, um so viel Güter zu befördern, daß die volle Besetzung mit Fahrgästen nicht erforderlich ist, um die Fahrt dennoch ertragsfähig zu gestalten; anderseits können diese Dampfer zu Zeiten starken Reiseverkehrs auf volle Ladung verzichten, ohne unwirtschaftlich zu arbeiten. Diese Dampfer sind beträchtlich schneller als reine Frachtdampfer (13—15 Seemeilen stündliche Geschwindigkeit), fordern also stärkere Maschinen und größeren Kohlenvorrat, sind aber viel langsamer und daher viel wirtschaftlicher im Kohlenverbrauch als die Schnelldampfer; infolgedessen sind auch die Fahrpreise auf diesen Dampfern geringer, während die Frachten höher sind als auf gewöhnlichen Frachtdampfern, weil die Güter schneller befördert werden, was bei wertvollen Ladungen oft den Ausschlag gibt. Um die Passagierräume vollständig von der Ladung zu trennen, begann der Norddeutsche Lloyd bei den über 10000 Registertonnen brutto großen Dampfern des Barbarossatyps damit, den Schiffen einen hohen Mittelaufbau mit drei Decken für Kajüteneinrichtungen und Kajütenpassagiere zu geben. Vor- und Hinterschiff haben zwischen den Lademasten die großen Ladeluken. Für die Tropenfahrt bestimmte Dampfer werden ähnlich, aber luftiger gebaut, mit Sonnendeck und luftigem Mittelgang auf dem Oberdeck.

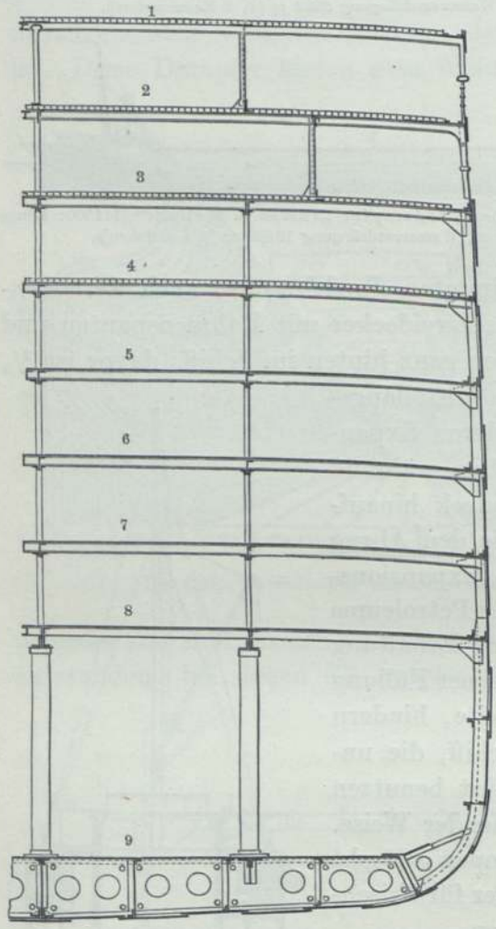


Fig. 1170. Deckanordnung eines Mammutdampfers (1 Bootsdeck, 2 Promenadendeck, 3 Brückendeck, 4 Hauptdeck, 5 Zwischendeck, 6 Unterdeck, 7 Orlopdeck, 8 unteres Orlopdeck, 9 Innenboden).

Die größeren Fracht- und Passagierdampfer sind meist Dreidecker (mit Oberdeck, Hauptdeck und Zwischendeck) oder Vierdecker (mit Oberdeck, Hauptdeck, Zwischendeck und Orlopdeck), ungerechnet die Decke der Brückenaufbauten. Wenn sie nach den Vorschriften der Schiffsklassifikationsgesellschaften durchgehend aus stärkstem Material gebaut sind, werden sie als *Volldecker* bezeichnet und erhalten dann die höchste Klasse als Ausdruck ihrer Vollwertigkeit; nach der Klasse richtet sich die Höhe der Prämie der Schiffsversicherungsgesellschaften. Volldecker erhalten die günstigsten Bedingungen für die Tiefladelinie (siehe S. 481), sie dürfen also tiefer beladen werden als Schiffe gleicher Bauart und Größe, deren Material (Winkel und Platten) innerhalb bestimmter Grenzen schwächer gehalten ist. Das hat seinen Grund darin, daß die Festigkeit der Schiffsverbände um so mehr im Seegang beansprucht wird, je schwerer ein Schiff beladen wird. Schiffe schwächerer Bauart als Volldecker, die unter der Bedingung größeren Freibords dennoch die höchste Klasse erhalten, nennt man Spardecker und Sturmdecker. *Spardecker* (Fig. 1169) haben solche Materialstärken, daß

ihr Hauptdeck bei voller Beladung noch etwas unter der Wasserlinie liegen darf, während es bei Volldeckern beträchtlich tiefer tauchen darf. Die meisten heutigen Fracht- und Passagierdampfer sind Spardecker, weil sie ihre Ladungrsäume selten für Schwergut, meist für sperriges, d. h. viel Raum forderndes Gut von geringerem spezifischen Gewicht ausnutzen, und weil die Passagiere wenig Gewichtsbelastung bedeuten im Verhältnis zu den ihnen verfügbar gemachten großen Räumen. Auch reine Frachtdampfer werden sehr häufig als Spardecker gebaut, wenn sie nicht, wie die Erzdampfer usw., für Schwergutladung bestimmt sind.

Die *Mammutdampfer*, die größten kombinierten Fracht- und Passagierdampfer unserer Zeit (Fig. 1170), sind sämtlich als verstärkte Sturmdecker gebaut. Als *Sturmdecker* bezeichnet man solche Dampfer, deren Oberbau noch schwächer ist als von einem Spardecker derselben Größe. Dementsprechend dürfen Sturmdecker weniger tief tauchen als gleichgroße Spardecker; ihr Hauptdeck muß stets guten Freibord behalten. Als Sturmdecker baute man anfangs Viehdampfer; man gab den Frachtdampfern, die Viehladung auf dem Oberdeck und unter einem Schutzdeck unterbrachten, feste Seitenwände zwischen Ober- und Schutzdeck, um das Vieh vor Seewasser und Sturm zu schützen. Ähnlich entstanden aus Pilgerschiffen mit leichtem, seitlich offenem Sonnen- oder Schattendeck die *Schutzdecker* oder *Schattendeckschiffe*, die man jetzt mit unter die Sturmdecker rechnet. Bei den sehr großen modernen Fracht- und Passagierdampfern fordern die sehr hohen und vielstöckigen Deckaufbauten eine den kleinen Sturmdeckschiffen ähnliche feste Verbindung mit dem Unterschiff oder Hauptbau. Aber dennoch genügt ein verhältnismäßig leichter Oberbau, um der höchsten Versicherungsklasse zu genügen, weil bei diesen Riesendampfern sowieso infolge der Raumverschwendung für die Fahrgäste auch bei genügender Ausnutzung der Laderäume noch mehr Freibord übrigbleibt, als nach den Klassifikationsregeln erforderlich ist. Um aber die Verbandsfestigkeit mit Rücksicht auf die Zahl der Menschenleben und den Wert des Schiffes noch mehr zu erhöhen, als die Technik fordert, baut man die Mammutdampfer als *verstärkte Spardecker*.

Wie sich bei diesen 20—50 000 Registertonnen großen und bis zu 19 Seemeilen schnellen Dampfern die Raumverteilung entwickelt hat, zeigt das Modell des Dampfers „George Washington“. Bis hinauf zum unteren Promenadendeck sind die Aufbauten kaum zu erkennen, weil sie vollständig in den eigentlichen Schiffskörper eingebaut sind; erst weiter oberhalb ist der mehrstöckige Mittelaufbau von der Back und der Poop getrennt. Das lange mittlere Brückenhaus (auch kurz die *Brücke* genannt) läßt meist vorn, oft auch an seinem Hinterende ein kurzes Stück des Hauptdecks frei, und zwar meist an der Stelle, wo die Hauptladeluken liegen. Diese Lücke zwischen der Back (dem Backsaufbau) und der Brücke heißt die *Mall* oder der Brunnen. Dampfer, die nur eine vordere Mall haben, werden wegen dieser Aufbautenanordnung *Malldecker* oder *Brunnendecker* genannt; diese Schiffe werden hinsichtlich der Freibordregeln günstiger bewertet als solche mit drei kürzeren, durch zwei Lücken getrennten Aufbauten, eine Anordnung, die deshalb seltener wird. Erwähnt sei schließlich, daß die Mammutdampfer bisher nur in der Fahrt zwischen einigen europäischen Häfen (Hamburg, Bremerhaven, Antwerpen, London, Southampton und Liverpool) und Neuyork beschäftigt werden, weil nur diese nordatlantischen Hauptlinien genügend Reisende und Fracht für den wirtschaftlichen Betrieb solcher Riesendampfer bieten.

c) **Schnelldampfer.** Diese sind reine Post- und Passagierdampfer; bei ihnen, die ebenfalls nur für die transatlantische Hauptlinie bestimmt sind, kommt es auf kurze Fahrzeit und höchsten Komfort der Kajütenfahrgäste an. Ihre Maschinen, die bis zu 26 Seemeilen stündlich leisten, sind teils Kolbenmaschinen, teils Turbinen und nehmen mit dem gewaltigen erforderlichen Kohlenvorrat einen verhältnismäßig großen Teil des unteren Schiffsraumes ein, so daß, abgesehen vom Reisegepäck und von den Postsäcken, nur sehr wenig Ladungsraum für Eilfrachtgüter übrigbleibt. Der Kohlenverbrauch der Schnelldampfer von 26 Seemeilen ist reichlich doppelt so groß wie der der als kombinierte Fracht- und Passagierdampfer gebauten Mammutdampfer mit 18 Seemeilen Geschwindigkeit. Nur sehr sorgfältige Ausnutzung der technischen Errungenschaften unserer Zeit vermag den Betrieb dieser „Kohlenfresser“ noch einigermaßen nutzbringend zu gestalten. Die

sehr großen Turbinenschnelldampfer „Mauretania“ und „Lusitania“ der englischen Cunardlinie sind mit Staatsgeldern erbaut und werden nur durch einen staatlichen Betriebszuschuß in den Stand gesetzt, die Unkosten ihrer Fahrten zu decken. Dadurch ist der Wettbewerb von Privatdampfergesellschaften für den Bau der schnellsten Schnelldampfer ausgeschaltet; denn die Gesellschaften müssen ihre Betriebe auf Gewinn ohne Staatszuschüsse einrichten. Aus diesem Grunde hat man allgemein, in letzter Zeit auch in England beim Bau des riesigen Mammutdampfers „Olympic“ von 45000 Registertonnen, auf den Schnelligkeitsrekord von vornherein verzichtet; z. B. erhielt „Olympic“ eine Maschinenanlage von 45000 Pferdestärken, die drei Schrauben treibt, und zwar die mittlere mit einer Parsonsturbine, die beiden seitlichen mit Kolbenmaschinen, wobei man auf 21 Seemeilen Fahrgeschwindigkeit rechnet. Auch von dem größten Schiff der Erde, dem bereits vom Stapel gelaufenen, aber noch nicht vollendeten 50 000 Registertonnen großen Mammutdampfer „Imperator“ der Hamburg-Amerika-Linie ist bekannt, daß er nur ein Passagier- und Postdampfer mit etwa 22 Seemeilen Geschwindigkeit wird. Um so größere Sorgfalt und um so höhere Kosten werden bei diesen Luxusdampfern auf die künstlerische und technische Ausstattung der Wohnräume sowie auf die Sicherheitseinrichtungen verwendet.

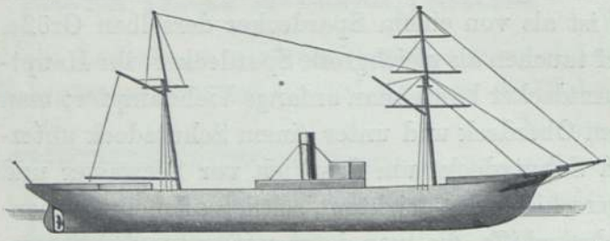


Fig. 1171. „Prinzesse Alice“, Jacht des Fürsten von Monaco, mit Takelung zum Segeln (1:1000; Länge 74,72 m, Tiefgang 3 m, Wasserverdrängung 1368 t).

Inneneinrichtungen moderner Passagierdampfer. In den letzten Jahrzehnten haben sich die Passagierdampfer, besonders die Schnelldampfer, hinsichtlich ihrer Innenausstattung mehr und mehr zu Prachthotels entwickelt. Der Norddeutsche Lloyd machte mit dem künstlerischen Ausbau der Wohnräume auf seinem Schnelldampfer „Lahn“ (1887) den Anfang. Die Dampfer dieser Zeit, hauptsächlich für den Geschmack der amerikanischen Plutokratie berechnet, verblüfften durch eine fabelhaft prunkvolle, aber barocke Ausgestaltung. Vornehm ruhige Schiffsraumkunst kam erst seit 1900 zur Geltung; sie erreichte in den Riesendampfern des Norddeutschen Lloyd „Kronprinzessin Cecilie“, „Berlin“ und „George Washington“ sowie in den Dampfern „Kaiserin Auguste Victoria“, „Cleveland“ und „Cincinnati“ der Hamburg-Amerika-Linie die höchsten Erfolge. Für die Entfaltung der Raumkunst kommen außer den Luxuskabinen besonders die großen Gesellschaftsräume erster Klasse in Betracht, indessen werden auch die Räume der zweiten Klasse nicht mehr künstlerisch vernachlässigt. Alles ist aufs zweckmäßigste angeordnet.

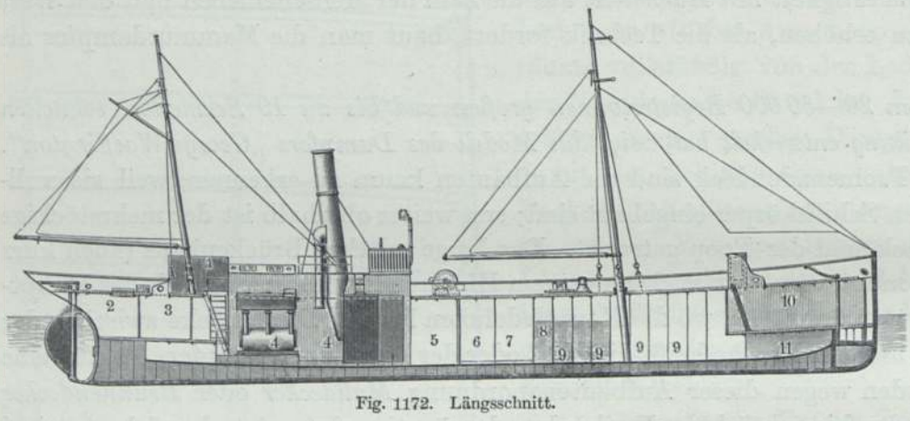


Fig. 1172. Längsschnitt.

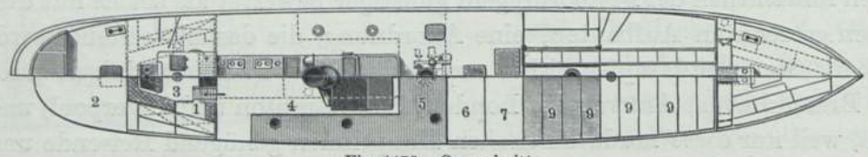


Fig. 1173. Querschnitt.

Fig. 1172 und 1173. Fischdampfer (1 Kombüse, 2 Stauraum, 3 Kajüte, 4 Maschinen- und Kesselraum, 5 Bunker, 6 Reepraum, 7 Netzraum, 8 Fischraum für frische Fische, 9 Faßräume, 10 Logis für 18 Mann, 11 Frischwassertank).

Das *Küchenwesen* ist entsprechend dem Wettbewerb der einzelnen Dampferlinien, ihren

Reisenden die beste und reichhaltigste Verpflegung zu bieten, vorzüglich durchgebildet. Z. B. hat der Dampfer „Kaiserin Auguste Victoria" sieben Küchen, außerdem eine besondere französische Restaurationsküche mit eigener Kühlanlage und Proviantraum. Sämtliche Küchen haben Dampfbetrieb. Elektrisch betrieben werden die Eierkocher, die Tellerwasch- und Messerputzmaschinen. Mehrere Bäckereien mit drei und vier Backöfen, Schlächterei mit großem Kühlraum, Anrichten mit Wärm- und Kühlschränken usw. vervollständigen den Küchenbetrieb. Die Küche erster Klasse des neuesten Lloyddampfers „George Washington" hat täglich etwa 600 Reisende zu versorgen (erstes Frühstück mit 20 warmen Gerichten, Gabelfrühstück ähnlich, Mittagstafel etwa 10 Gänge); dazu sind zahlreiche Hilfsmaschinen erforderlich, die für Elektromotorenbetrieb eingerichtet sind, auch die Geschirrspülmaschinen. Um beim Schlingern des Schiffes die Kochtöpfe und Schüsseln auf dem Herd zu halten, sind Schlingerleisten angebracht. Die Kühlräume der Schnell- und Eildampfer fassen etwa 20000 kg frisches Fleisch, Wild, Geflügel und frische Fische, etwa 15000 Liter Faßbier für jede Reise neben dem vielen anderen Bedarf. Je nach Art des zu kühlenden Proviants ist die Temperatur in den einzelnen Kühlräumen abgestimmt. Auch die Verpflegung der Zwischendeckfahrgäste ist durch zweckmäßige Einrichtungen sehr vervollkommnet. Salzfleisch und Hartbrot (Schiffszwieback) sind fast ganz verschwunden; es gibt fast täglich frisches Fleisch, in Dampfkochtöpfen zubereitet, und frisches Brot, täglich an Bord gebacken, und zwar für bis zu 2600 Zwischendecker. Die Bäckereien für das Zwischendeck liefern täglich Weiß- und Schwarzbrot. Zum Backen dienen Teigknetmaschinen mit Elektromotorenbetrieb und Dampfbacköfen. Um gesundes und rostfreies Trinkwasser zu bereiten, befinden sich auf den Schiffen Wasserfilteranlagen mit Saug- und Druckpumpen. Das Trinkwasser wird durch besondere Trinkwasserkühler gekühlt.

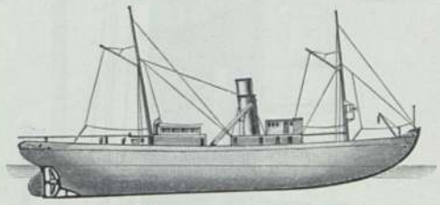


Fig. 1174. Russischer Eisbrecher „Haidamak" (1:1000; Länge 56,7 m, Tiefgang 4,88 m).

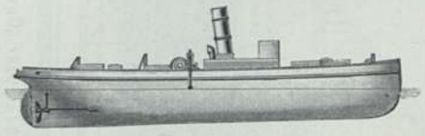


Fig. 1175. Bergungsdampfer „The Earl", mit starken Pumpen (1:500; Länge 27,4 m, Tiefgang 3,3 m).

d) Seedampfer zu Sonderzwecken. *Dampfjachten* sind leichte, elegante Vergnügungsdampfer (Fig. 1171), meist mit Schunertakelung; größere Dampfjachten werden zuweilen auch von Reedereien für Gesellschaftsreisen gebaut und benutzt.

Fischdampfer (Fig. 1172 u. 1173) sind kleine Dampfer bis zu 600 Registertonnen Bruttoraum für den Hochseefischereibetrieb. Für den Frischfischfang als *Dampftrawler* führen sie Grundschleppnetze von fast 30 m Netzöffnung. Der Fang wird lebend im *Bünn* (Fischkasten im Schiffsraum, dessen Löcher Seewasser einlassen) oder geschlachtet zwischen Eisstückchen frisch gehalten. Für den Heringsfang führen die Fischdampfer etwa 150 große Treibnetze von je 30 m Länge und 15 m Tiefe; der Fang wird sofort geschlachtet und in Fässern eingesalzen. Für Kabeljaufang sind die Fischdampfer zur Angelfischerei mit Langleinen ausgerüstet. Der Fang wird ebenfalls sofort geschlachtet und eingesalzen. Neuerdings rüstet man auch Dampfer sowohl zum Frischfisch- wie Heringsfang aus.

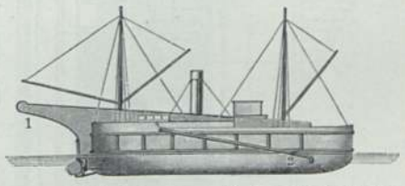


Fig. 1176. Hebefahrzeug „Unterelbe" (1:750, Länge 36,6 m, Tiefgang 3 m, Wasserverdrängung 1100 t; [1 Hebekran, 2 Saugrohr, beigeklappt]).

Eisbrecher (Fig. 1174) sind stark gebaute Schraubendampfer zum Zerbrechen der Eisdecke eines Fahrwassers zum Hafen; sie haben meist eingezogenen Bug, um mit Volldampf mit dem Vorderschiff auf die Eisdecke hinaufzulaufen und sie durch ihr Gewicht zu zerbrechen. Der größte Eisbrecher, „Jermak", von 14800 Tonnen, 93 m Länge und 12000 Pferdestärken wurde nach den Plänen des russischen Admirals Makarow erbaut; er zertrümmert Eis von 7 m Dicke.

Bergungsdampfer (Fig. 1175) sind mit starken Pumpen, Dampfspillen, Kranbalken, Tauchergerät, Hebezeugen, Winden, Stahltrossen, Ketten usw. ausgerüstet, um gesunkene, gestrandete oder beschädigte Schiffe zu retten. Ihre Maschine kann zum Betrieb starker Zentrifugallenzpumpen umgekuppelt werden. *Hebefahrzeuge* (Fig. 1176) können durch Vollaufenlassen

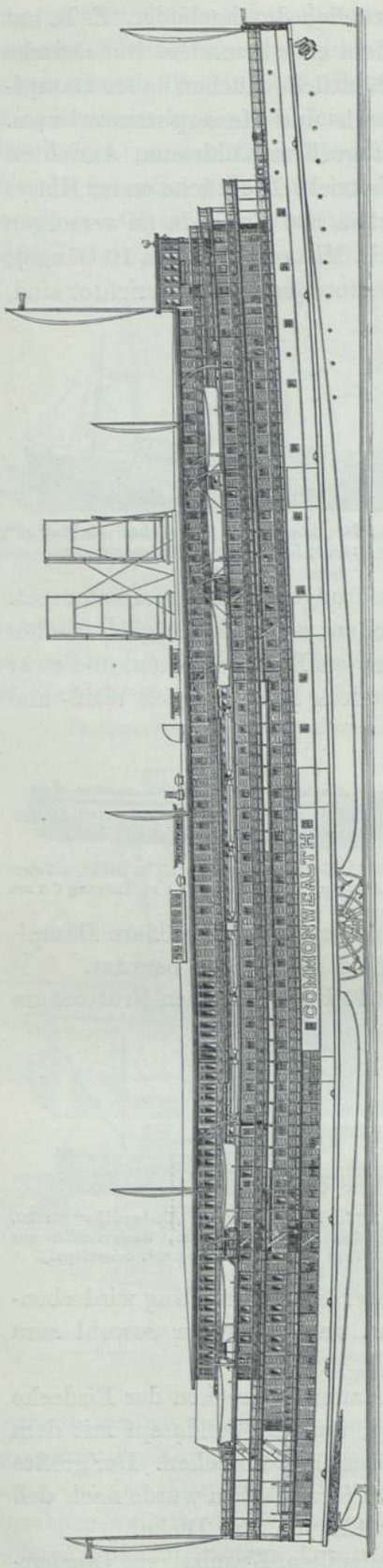


Fig. 1177. Amerikanischer Flußdampfer „Commonwealth“ (139 m Gesamtlänge).

wasserdichter Zellen etwa 4 m gesenkt, dann mit Ketten am gesunkenen Schiff befestigt werden. Durch Auspumpen des Ballastwassers wird das gesunkene Schiff mitgehoben, auf flacheres Wasser gebracht, dann das Hebefahrzeug wieder gesenkt, die Ketten straff gesetzt und nochmals gehoben. Meist werden zur Hebung größerer Schiffe zwei mit Hilfsmaschinen und Hilfsschrauben ausgerüstete Hebefahrzeuge nebeneinandergelegt. Ähnlich den Bergungsdampfern sind die *Pumpendampfer* der Marinewerften; sie sollen Kriegsschiffen beistehen, die durch Rammstoß, Granaten-, Torpedo- oder Seeminenwirkung ein sehr starkes Leck erhalten haben. Diese Pumpendampfer können auch als *Spritzendampfer* (mit Dampffeuerspritzen) und Schleppdampfer verwendet werden. Spritzendampfer befinden sich in allen Häfen zum Löschen von brennenden Schiffen. Besonders seetüchtig und mit starken Maschinen versehen müssen die kleineren Seedampfer sein, wie die *Seeschlepper*, Schleppdampfer, die Segelschiffen weit in die See entgegenfahren, um sie schnell in die Häfen zu bringen; ferner *Lotsendampfer*, die vor den Hafeneinfahrten den ankommenden Seeschiffen Lotsen überbringen.

C. Flußdampfer.

Flußdampfer zeigen beträchtliche technische Unterschiede gegen die Seedampfer. Da sie sich in ruhigem Wasser im Vergleich zu den hohen Wellenbergen der offenen See bewegen, ist ihre Standfestigkeit weniger gefährdet; auch werden die einzelnen Verbände des Schiffskörpers viel weniger auf Druck und Durchbiegung, also auf Stauchen und Zerreißen, beansprucht, als bei Seeschiffen. Infolgedessen sind alle Flußdampfer bedeutend leichter und schwächer gebaut und haben fast stets glatten Boden. Die bei Flußdampfern gebräuchlichen Propeller und Maschinenanlagen wurden schon S. 495 beschrieben. Im Flußdampferbau sind im letzten Jahrzehnt ebenso wichtige technische Fortschritte gemacht worden wie im Seedampferbau; die Hauptbedingungen sind im allgemeinen: bei oft sehr geringem Tiefgang, oft auch durch die Fahrwasserverhältnisse in Kanälen und Flüssen mit starken Krümmungen bedingter geringer Breite und beschränkter Länge doch genügend große Geschwindigkeit zur Überwindung starker Flußströmung zu erreichen. Leichte Bauart ist deshalb auch wegen der geforderten hohen Geschwindigkeit notwendig. Die Längsverbände der Seeschiffe, wie Kielschweine, Längsschotte und Seitenkiele, fallen fort; dagegen ist der Doppelboden auf allen größeren modernen Flußdampfern vorhanden und in zahlreiche Zellen geteilt, die durch Lenzrohrleitungen leergepumpt werden können. Bei größeren Flußdampfern verwendet man breite Rahmenspanten und gibt ihnen meist bis zum Oberdeck eine wasserdichte Innenhaut, wodurch die in der Flußschiffahrt beträchtlich größere Gefahr des Wassereinbruches bei Strandungen oder Zusammenstößen sehr vermindert wird. Außerdem werden, der

Schiffsgröße entsprechend, eine ausreichende Anzahl wasserdichter Querschotte bis zum Oberdeck eingebaut. Den Längsverband stellen die Platten der Außen- und Innenhaut sowie die Beplattung des Zwischendecks und Oberdecks dar; lange Flußdampfer erhalten noch ein bis zwei durchlaufende Seitenstringer und Deckstringer zur Verstärkung des Längsverbandes. Zum Schutz gegen Beschädigungen bei Eisgang erhält die Außenhaut des Bugs und Vorderschiffes verstärkte Stahlplatten; ferner werden die Kimmplatten der Außenhaut besonders stark gewählt, weil in der Kimm, dem rechten Winkel zwischen dem Schiffsboden und den Seitenwänden, am häufigsten Grundberührungen stattfinden. Im allgemeinen müssen die Bodenplatten von Dampfern für felsige Flußstrecken stärker gehalten sein als von Dampfern für Flüsse mit weichem, schlickigem Bett.

Nach dem Gebrauchszweck unterscheidet man in der *Binnenschiffahrt* hauptsächlich Personendampfer, Schleppdampfer und Frachtdampfer. Die großen *Personendampfer*, oft bei eleganter Ausstattung mit hohen, mehrstöckigen Deckaufbauten auch *Salondampfer* genannt, werden stets als Raddampfer gebaut, weil die Schaufelräder auf glattem und flachem Wasser die beste Nutzleistung, also größte Geschwindigkeit geben. Der von der Schiffswerft Gebr. Sachsenberg in Roßlau 1899 erbaute Salondampfer „Auguste Victoria" ist 82 m lang; seine Verbundmaschinen leisten bei etwa 40 Schaufelradumdrehungen 1500 Pferdestärken,

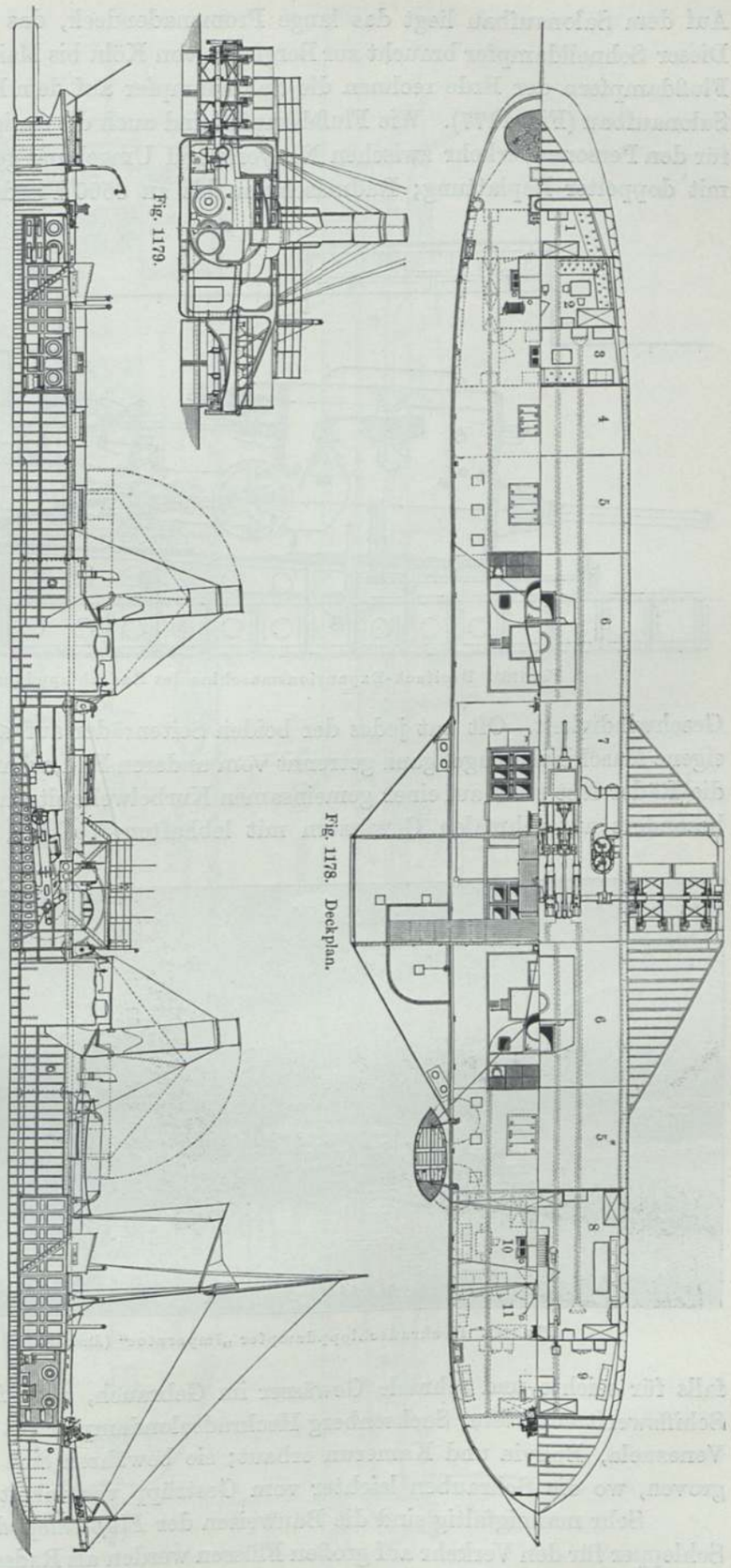


Fig. 1178—1180. Radschleppdampfer „Kaiser Wilhelm II." (1 erster Steuermann, 2 Direktion, 3 Kapitän, 4 Laderaum, 5 Kohlenbunker, 6 Kesselraum, 7 Maschinenraum, 8 zweiter Steuermann und Bootsleute, 9 Heizer, 10 erster Maschinist, 11 zweiter Maschinist).

Fig. 1179.

Fig. 1180. Längsschnitt.

Fig. 1178. Deckplan.

Auf dem Salonaufbau liegt das lange Promenadendeck, das durch Sonnensegel überdacht ist. Dieser Schnelldampfer braucht zur Bergfahrt von Köln bis Mainz nur 10 Stunden. Zu den größten Flußdampfern der Erde rechnen die Salondampfer auf dem Hudson mit drei- bis vierstöckigem Salonaufbau (Fig. 1177). Wie Flußdampfer sind auch die riesigen amerikanischen Küstendampfer für den Personenverkehr zwischen Neuyork und Umgebung gebaut, flachbodig, etwa 130 m lang, mit doppelter Beplattung; Radmaschinen bis zu 8500 Pferdestärken geben etwa 22 Seemeilen

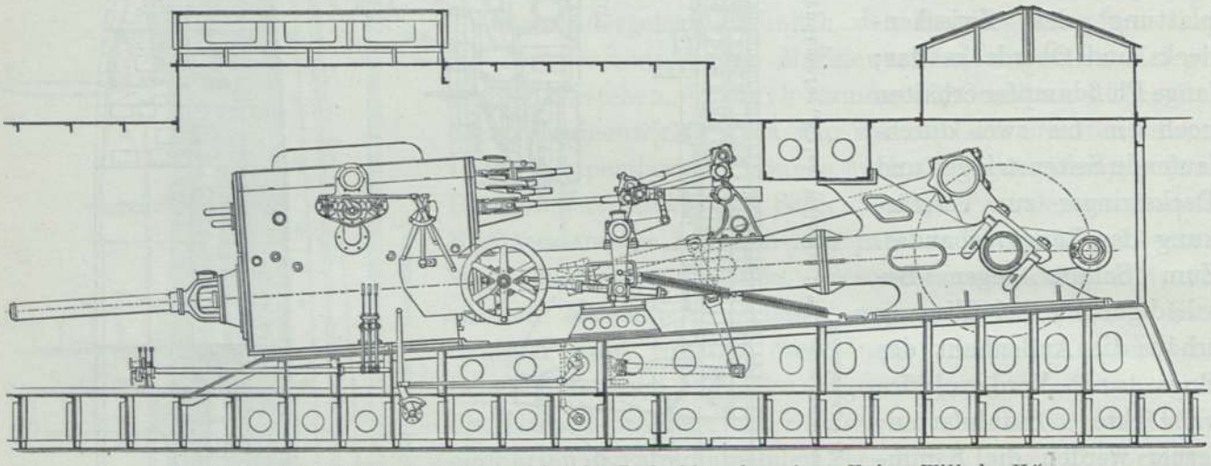


Fig. 1181. Dreifach-Expansionsmaschine des Radschleppdampfers „Kaiser Wilhelm II."

Geschwindigkeit. Oft hat jedes der beiden Seitenräder auf amerikanischen Flußdampfern seine eigene Maschinenanlage, ganz getrennt vom anderen Rad, während bei europäischen Raddampfern die Räder fast stets auf einer gemeinsamen Kurbelwelle sitzen. Kleine Personendampfer werden, besonders auf schmalen Gewässern mit lebhaftem Verkehr, wo häufiges Anlegen an Brücken nötig ist, als Ein- oder Doppelschraubendampfer erbaut, weil diese Bauart bequemeres Manövrieren erlaubt, und weil der Schraubenpropeller besser gegen Beschädigungen geschützt ist. In seichten Gewässern dient dabei das Schraubenrad (siehe S. 495) als Antrieb. Kleine Personendampfer mit Heckrad sind ebenfalls für seichte und schmale Gewässer im Gebrauch, aber fast nur im Ausland, z. B. hat die Schiffswerft von Gebr. Sachsenberg Heckradsalondampfer bis zu 130 Pferdestärken für Brasilien, Venezuela, Bolivia und Kamerun erbaut; sie bewähren sich in Gewässern mit Schilf und Mangroven, wo die Schrauben leichter vom Gestrüpp verwickelt werden.

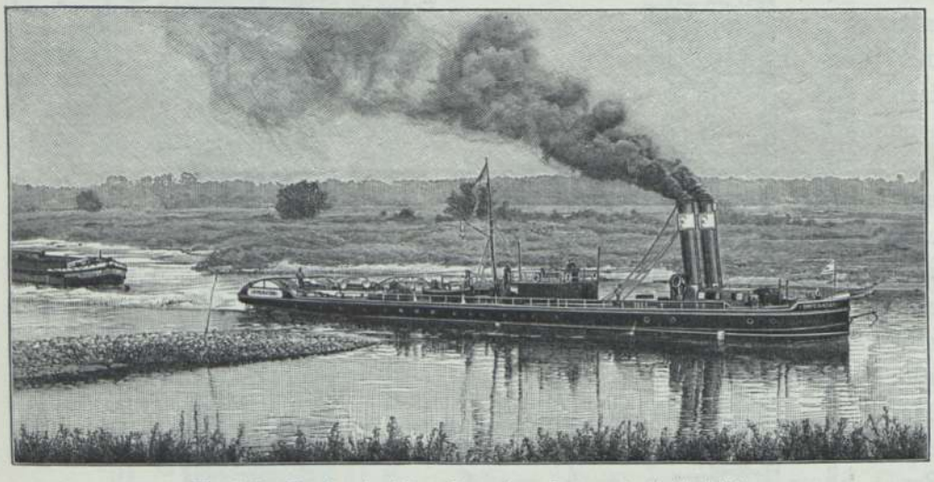


Fig. 1182. Heckradschleppdampfer „Imperator" (Ansicht).

Sehr mannigfaltig sind die Bauweisen der *Flußschleppdampfer*. Die größten und stärksten Schlepper für den Verkehr auf großen Flüssen werden als Radschleppdampfer erbaut, und zwar für den Mittelrhein mit Verbundmaschinen bis zu 1500 Pferdestärken; von solcher Stärke ist der 1909 erbaute Radschleppdampfer „Franz Haniel XIV.", Ruhrort, von 73,2 m Länge, 8,8 m Breite und 1,24 m Tiefgang, erbaut von Gebr. Sachsenberg. Für die Elbschiffahrt sind etwas flachere Schlepper

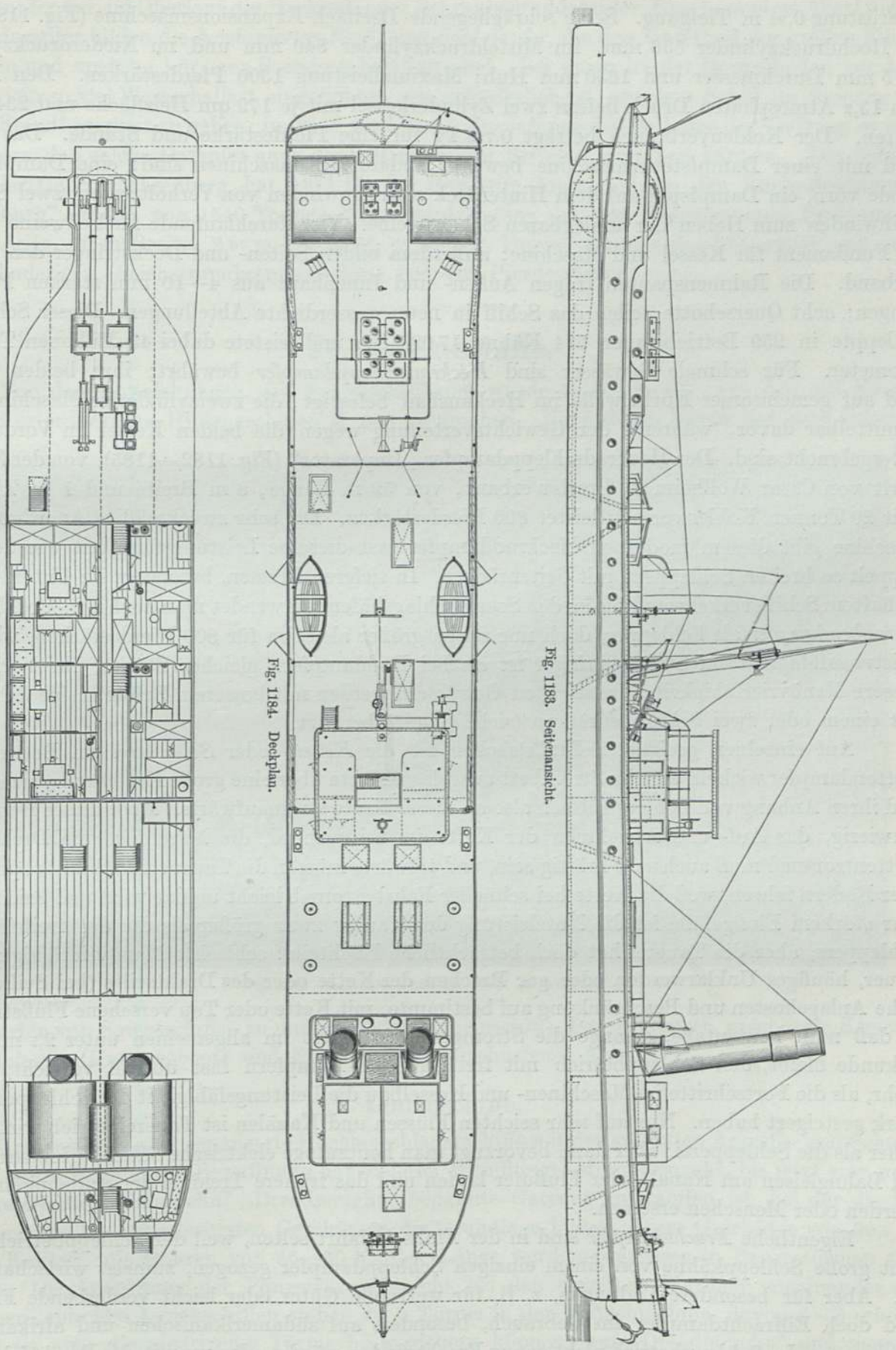


Fig. 1183—1185. Heckradschleppdampfer „Imperator".

Fig. 1185. Zwischendeckplan.

Fig. 1184. Deckplan.

Fig. 1183. Seitenansicht.

üblich. Der von der Dresdener Schiffswerft Übigau 1906 erbaute Radschleppdampfer „Kaiser Wilhelm II." (s. Fig. 1178—1180) ist 72 m lang, 9 m breit im Nullspant, 18,5 m breit über Radkasten, 2,85 m hoch bis Oberdeck und hat mit 20 Tonnen Kohlenvorrat, gefüllten Kesseln und voller

Ausrüstung 0,98 m Tiefgang. Seine schrägliegende Dreifach-Expansionsmaschine (Fig. 1181) hat im Hochdruckzylinder 536 mm, im Mitteldruckzylinder 840 mm und im Niederdruckzylinder 1375 mm Durchmesser und 1650 mm Hub; Maximalleistung 1300 Pferdestärken. Den Dampf von 13,2 Atmosphären Druck liefern zwei Zylinderkessel mit je 179 qm Heizfläche und 234 Heizrohren. Der Kohlenverbrauch beträgt 0,782 kg für eine Pferdestärke und Stunde. Das Ruder wird mit einer Dampfsteuermaschine bewegt; andere Hilfsmaschinen sind: eine Dampfankerwinde vorn, ein Dampfspill auf dem Hinterdeck zum Einwinden von Verholtrossen, zwei Schornsteinwinden zum Heben der umlegbaren Schornsteine. Vier durchlaufende Kielschweine dienen als Fundament für Kessel und Maschine; außerdem bilden Seiten- und Deckstringer den Längsverband. Die Rahmenspanten tragen Außen- und Innenhaut aus 4—10 mm starken Plattengängen; acht Querschotte teilen das Schiff in neun wasserdichte Abteilungen. Dieser Schlepper schleppte in 259 Betriebstagen 514 Kähne 17 090 km und leistete dabei 43 Millionen Tonnenkilometer. Für schmale Gewässer sind *Heckradschleppdampfer* bewährt; ihre beiden Räder sind auf gemeinsamer Kurbelwelle im Heckausbau befestigt, die zweizylinderige Maschine liegt unmittelbar davor, während der Gewichtsverteilung wegen die beiden Kessel im Vorderschiff untergebracht sind. Der Heckradschleppdampfer „Imperator" (Fig. 1182—1185), von der Schiffswerft von Cäsar Wollheim in Breslau erbaut, von 52 m Länge, 8 m Breite und 1 m Tiefgang (mit 20 Tonnen Kohlenvorrat), leistet 800 Pferdestärken. Die sehr zweckmäßige Anordnung der Maschine gibt diesem modernen Heckraddampfer fast dieselbe Leistungsfähigkeit wie den fast doppelt so breiten Schleppern mit Seitenrädern. In tieferen Flüssen, besonders im Unterlauf mit lebhaftem Schiffsverkehr und bis zu den Seeumschlagshäfen, verwendet man auch *Ein-* und *Doppelschraubendampfer* als Schlepper, doch nur selten größer als etwa für 800 Pferdestärken, weil ihre Leistungsfähigkeit im Strom geringer ist als bei Raddampfern gleicher Stärke; ihr Vorzug ist bessere Manövrierfähigkeit. In seichten Gewässern werden mit besserem Erfolg kleine Schlepper mit einem oder zwei Schraubenrädern (siehe S. 495) benutzt.

Auf einzelnen geeigneten Flußstrecken ist die *Ketten-* oder *Seiltauerei* im Betrieb; die Kettendampfer wickeln eine im Strombett ausgelegte Kette über eine große Kettenrolle, ziehen sich und ihren Anhang von Schleppkähnen also an dieser Kette stromaufwärts. Aber dieser Betrieb ist schwierig, das Auf- und Abnehmen der Kette ist zeitraubend, die Maschine zum Drehen der Kettentrommel muß auch sehr kräftig sein, und talwärts müssen die Tauer mit Schraubenpropeller oder Rädern fahren, weil die Kette bei schneller Fahrt stromab leicht unklar wird und bricht. Bei sehr starkem Flußgefälle ist die Nutzleistung des Tauers zwar größer als die des freifahrenden Schleppers, aber die Tauerei hat doch beträchtliche Nachteile: schlechte Manövrierfähigkeit der Tauer, häufiges Unklarwerden oder gar Brechen der Kette oder des Drahtseiles (bei Seiltauern), hohe Anlagekosten und Beschränkung auf bestimmte, mit Kette oder Tau versehene Flußstrecken, so daß man heutzutage, solange die Stromgeschwindigkeit im allgemeinen unter 2,5 m in der Sekunde bleibt, den Schleppbetrieb mit freifahrenden Dampfern fast überall vorzieht, um so mehr, als die Fortschritte im Maschinen- und Kesselbau die Leistungsfähigkeit der Schleppdampfer stark gesteigert haben. Nur auf sehr seichten Flüssen und Kanälen ist Tauereibetrieb wirtschaftlicher als die Schlepperei; aber dann bevorzugt man heutzutage elektrische *Schlepplokomotiven*, die auf Bahngleisen am Kanal- oder Flußufer laufen und das frühere Treideln der Schleppkähne mit Pferden oder Menschen ersetzen.

Eigentliche *Frachtdampfer* sind in der Flußschiffahrt selten, weil der Schleppbetrieb, etwa acht große Schleppkähne von einem einzigen Schleppdampfer gezogen, zumeist wirtschaftlicher ist. Aber für besondere Ladungen, z. B. für wertvolle Güter oder leicht verderbende Früchte, sind doch Eilfrachtdampfer im Gebrauch, besonders auf südamerikanischen und afrikanischen Flüssen, wo der Schleppbetrieb nicht genug Fracht finden würde, oder wo mit der Frachtfahrt, wie auf dem Jangtsekiang, Amazonenstrom und La Plata, zugleich eine beschränkte Beförderung von Reisenden verbunden ist. Diese Dampfer sind im tiefen Unterlauf des Stromes meist Schraubendampfer, oft aber auch Seitenraddampfer; im Mittellauf und auf Nebenflüssen herrschen die

Raddampfer vor, im Oberlauf die Heckrad- oder Schraubenraddampfer. Eine besondere Abart dieser Frachtdampfer bilden die *kombinierten Fluß- und Seedampfer*, die den Unterlauf der großen Flüsse befahren und auch zu kürzeren Seereisen befähigt sind. Bei ihnen ist der Doppelboden zur Aufnahme von so viel Wasserballast eingerichtet, wie erforderlich ist, um dem Schiff im Seegang die nötige Standfestigkeit zu geben; im Fluß wird durch Auspumpen des Ballastes der Tiefgang so weit verringert, daß solche Dampfer auch den Mittellauf des Stromes erreichen können. Die Schiffswerft der Gebr. Sachsenberg hat 1911 für die Hamburg-Amerika-Linie den Rhein-Seedampfer „Straßburg" erbaut, von 1540 Tonnen Wasserverdrängung und 910 Registertonnen Bruttoraum, 66 m Länge, 10 m Breite, 2,97 m Tiefgang; er ist ein Doppelschraubenfrachtdampfer mit einer zweizylinderigen Gleichstromdampfmaschine von 600 Pferdestärken.

D. Kriegsschiffe.

Von den Abweichungen des Kriegsschiffbaues wurde schon S. 487, von den auf Kriegsschiffen erforderlichen Hilfsmaschinen S. 505 gesprochen. Nach ihrem Zweck hat man folgende

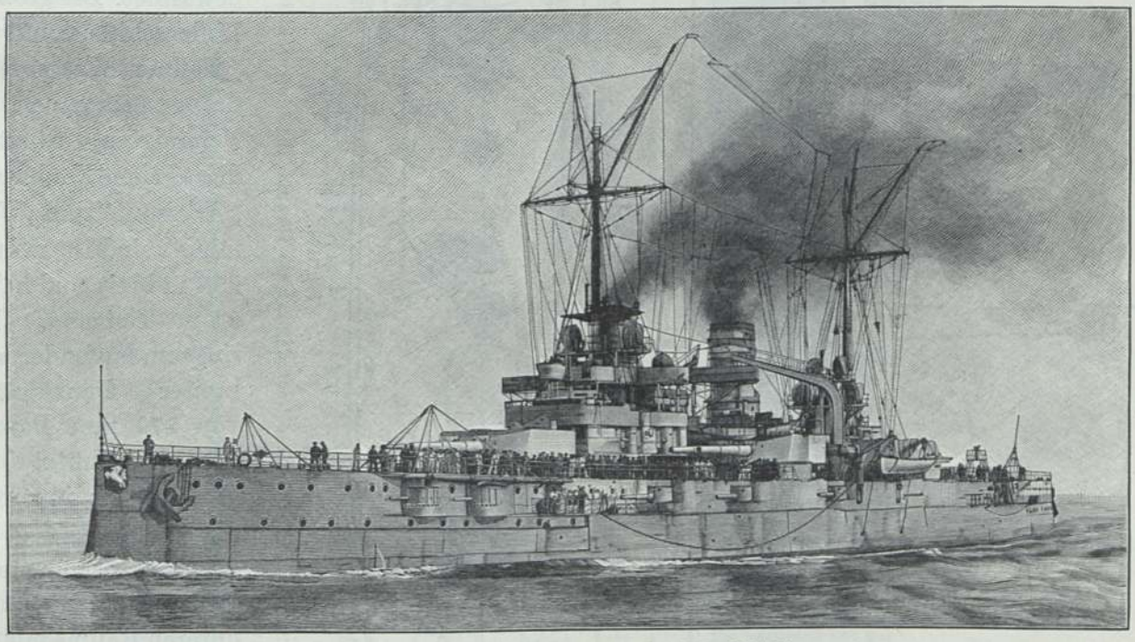


Fig. 1186. Deutsches Linienschiff „Westfalen".

Hauptarten von Kriegsschiffen zu unterscheiden: Linienschiffe, Panzerkreuzer, geschützte Kreuzer, Torpedoboote, Unterseeboote und Spezialschiffe verschiedener Art.

1. Linienschiffe.

Linienschiffe sind gepanzerte Hochseeschlachtschiffe mit den stärksten Angriffs- und Schutzwaffen. Ihre Bauart und Bewaffnung hat vielerlei Wandlungen durchgemacht, bis jetzt eine nach dem ersten Riesenlinienschiff „Dreadnought" benannte Gattung entstanden ist, bei der die Bewaffnung mit 10—12 schwersten Geschützen die Grundlage bildet. Diese Geschütze von 30,5 bis 35 cm Kaliber, mit Rohren von 45—50 Kaliber Länge werden paarweise in Panzertürmen aufgestellt. Die Anordnung der Panzertürme weicht bei den einzelnen Marinen voneinander ab: auf amerikanischen Linienschiffen stehen 4—6 Türme in der Mittschiffslinie, davon 2—3 erhöht, so daß sie über die niedrigeren Türme hinwegfeuern können; auf „Dreadnought" und neueren britischen Linienschiffen stehen drei Türme in der Mittschiffslinie, zwei seitlich; auf den deutschen Linienschiffen der Nassauklasse (Fig. 1186) steht der vordere und hintere Turm mittschiffs, vier mittlere Türme stehen paarweise im Viereck an den Seiten. Während bei den englischen Linienschiffen die

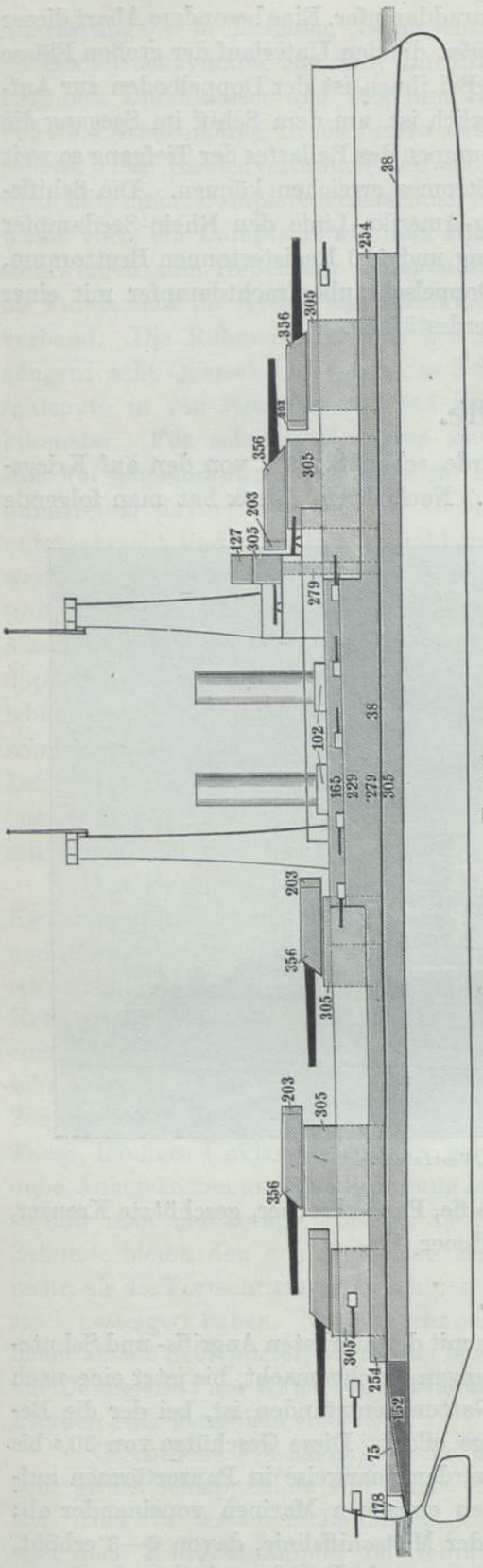


Fig. 1187.

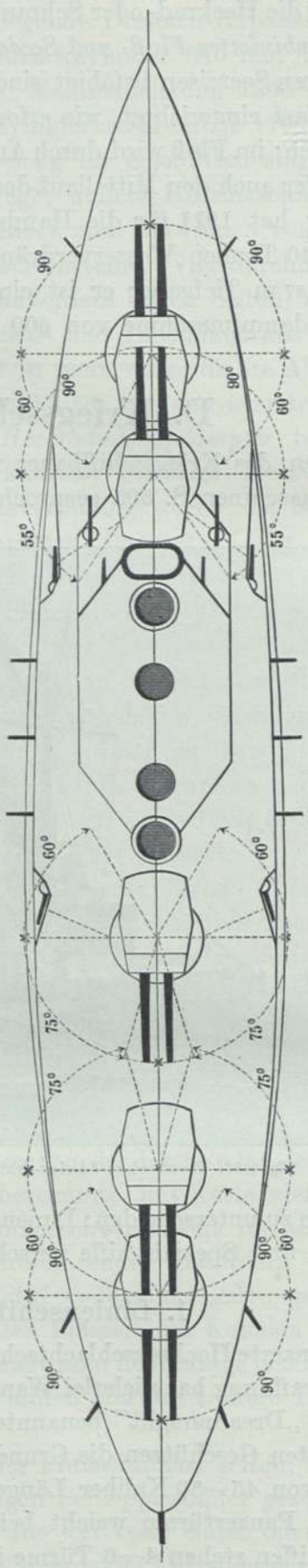


Fig. 1188.

Fig. 1187 und 1188. Seitenansicht und Deckplan der amerikanischen Linienschiffe „Texas" und „Neuyork".

Mittelartillerie vollständig fehlt, stehen auf den deutschen zwölf 15 cm-Schnelladekanonen in Einzelkasematten im Mittelaufbau unter dem Deck, auf dem die schweren Panzertürme ruhen. Zur Torpedobootsabwehr sind außerdem alle Linienschiffe mit einer großen Zahl leichter Schnelladekanonen von 8,8—10 cm Kaliber bewaffnet. Die größten Linienschiffe, von 27780 Tonnen Wasserverdrängung, bauen die Vereinigten Staaten; diese beiden Neubauten, „Arkansas" und „Wyoming", sind 169 m lang, 28,4 m breit und haben 8,7 m Tiefgang. Ein ringsum laufender, sehr breiter Panzergürtel von 279 mm Panzerstärke schützt die Wasserlinie; innerhalb dieses Gürtels liegt das gewölbte, 76 mm starke Panzerdeck, das alle unteren Räume mit den Maschinen- und Kesselanlagen, den Munitionskammern, Torpedoräumen, sowie das Steuerruder gegen Schußverletzungen schützt. Alle Luken im Panzerdeck werden mit Panzerdeckeln geschlossen. Im Vorderschiff erhebt sich über dem Panzergürtel eine Panzerkasematte für die Mittelartillerie, deren Panzerstärke 203 mm beträgt; in der Kasematte stehen, durch Splitterschotte voneinander getrennt, zwölf 12,7 cm-Schnelladekanonen, während noch neun dieser leichten Geschütze an ungepanzerten Stellen verteilt sind. Die schweren Geschütze, zwölf 50 Kaliber lange 30,5 cm-Kanonen,

sind paarweise in sechs Panzerdrehtürmen untergebracht, die sämtlich hintereinander in der Mittschiffslinie stehen; die gepanzerten Unterbauten der Türme führen bis auf das Panzerdeck hinab. Über dem Vorderende der Panzerkasematte steht der vorderste Drehturm mit etwa 270° Bestreichungswinkel; dicht hinter ihm erhebt sich der zweite Turm, dessen Geschütze den vorderen Turm überragen. Dann folgt unmittelbar der noch etwas höhere gepanzerte Kommandoturm, hinter dem sich die für Entfernungsmessungen und Trefferbeobachtungen bestimmten beiden *Gittermasten*, ferner die beiden Schornsteine, drei Gittergerüste für Scheinwerfer und zwei Drehkrane zum Ein- und Aussetzen der Deckboote erheben. Auf der hinteren Hälfte des Oberdecks stehen die übrigen vier Panzertürme hintereinander und abwechselnd sich überragend. Die vier Propellerschrauben jedes dieser Schiffe werden von Parsonsturbinen getrieben, die bis 28 000 Pferdestärken leisten und 22 Seemeilen Geschwindigkeit geben. Den Dampf liefern 14 Wasserrohrkessel System Babcock und Wilcox; der größte Kohlenvorrat beträgt 2500 Tonnen und reicht für eine Dampfstrecke von etwa

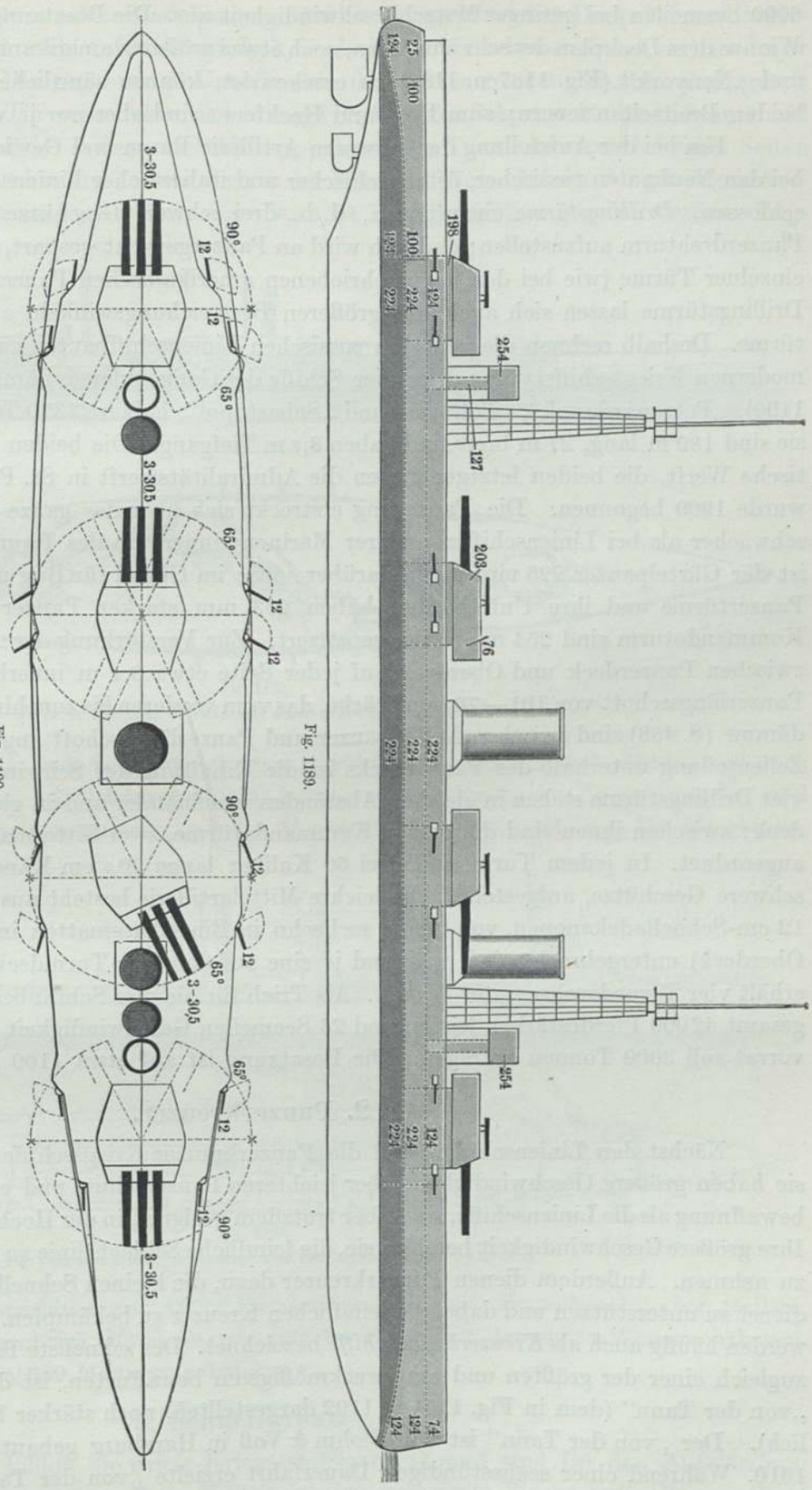


Fig. 1189 und 1190. Seitenansicht und Deckplan des russischen Linienschiffes „Gangut".

6000 Seemeilen bei geringer Marschgeschwindigkeit aus. Die Besatzung ist etwa 1000 Mann stark. Wie aus dem Deckplan der sehr ähnlichen, noch etwas größeren amerikanischen Linienschiffe „Texas" und „Neuyork" (Fig. 1187 u. 1188) zu ersehen ist, können sämtliche schweren Geschütze nach beiden Breitseiten feuern; zum Bug- und Heckfeuer sind aber nur je vier Geschütze verwendbar.

Um bei der Aufstellung der schweren Artillerie Raum und Gewicht zu sparen, hat man sich bei den Neubauten russischer, österreichischer und italienischer Linienschiffe zu der Neuerung entschlossen, *Drillingstürme* einzuführen, d. h. drei schwere Geschütze gemeinschaftlich in einem Panzerdrehturm aufzustellen; dadurch wird an Panzergewicht gespart, auch wird die Überhöhung einzelner Türme (wie bei den vorbeschriebenen amerikanischen Panzerschiffen) vermieden. Vier Drillingstürme lassen sich auch mit größeren Bestreichungswinkeln aufstellen als sechs Doppeltürme. Deshalb rechnen die neuesten russischen Linienschiffbauten zu den interessantesten aller modernen Kriegsschiffstypen; diese vier Schiffe der Gangutklasse, nämlich „Gangut" (Fig. 1189 u. 1190), „Petropáwlowsk", „Poltawa" und „Sebastopol", haben 23370 Tonnen Wasserverdrängung; sie sind 180 m lang, 27 m breit und haben 8,3 m Tiefgang. Die beiden erstgenannten hat die Baltische Werft, die beiden letztgenannten die Admiralitätswerft in St. Petersburg gebaut; der Bau wurde 1909 begonnen. Die Panzerung erstreckt sich über das ganze Oberschiff, ist aber dafür schwächer als bei Linienschiffen anderer Marinen; innerhalb des Raumes, wo die Türme stehen, ist der Gürtelpanzer 225 mm stark, darüber sowie im Gürtel für Bug und Heck nur 125 mm. Die Panzertürme und ihre Unterbauten haben 203 mm starken Panzer; der vordere und hintere Kommandoturm sind 254 mm stark gepanzert. Zur Verstärkung der Außenhautpanzerung dient zwischen Panzerdeck und Oberdeck auf jeder Seite etwa 3,4 m innerhalb des Außenpanzers ein Panzerlängsschott von 101—76 mm Stärke, das vom vorderen bis zum hinteren Turm reicht. Kofferdämme (S. 488) sind zwischen Außenpanzer und Panzerlängsschott angeordnet. Durch sorgfältige Zellenteilung unterhalb des Panzerdecks ist die Erhaltung der Schwimmfähigkeit gesichert. Die vier Drillingstürme stehen in gleichen Abständen voneinander und in gleicher Höhe auf dem Oberdeck; zwischen ihnen sind die beiden Kommandotürme, zwei Gittermasten und zwei Schornsteine angeordnet. In jedem Turm sind drei 50 Kaliber lange 30,5 cm-Kanonen, insgesamt also zwölf schwere Geschütze, aufgestellt. Die leichte Mittelartillerie besteht aus zwanzig 50 Kaliber langen 12 cm-Schnelladekanonen, von denen sechzehn in Einzelkasematten im Batteriedeck (unter dem Oberdeck) untergebracht sind, während je eine auf den vier Turmdecken freisteht. Jedes Schiff erhält vier Torpedorohre unter Wasser. Als Trieb für die vier Schrauben dienen Turbinen, die insgesamt 42000 Pferdestärken leisten und 23 Seemeilen Geschwindigkeit geben sollen. Der Kohlenvorrat soll 3000 Tonnen betragen. Die Besatzung ist auf etwa 1100 Mann zu schätzen.

2. Panzerkreuzer.

Nächst den Linienschiffen sind die Panzerkreuzer Kriegsschiffe mit großem Gefechtswert; sie haben größere Geschwindigkeit, aber leichteren Panzerschutz und etwas schwächere Geschützbewaffnung als die Linienschiffe, sind aber trotzdem geeignet, in der Hochseeschlacht mitzukämpfen. Ihre größere Geschwindigkeit befähigt sie, die feindliche Schlachtlinie zu umgehen und in Kreuzfeuer zu nehmen. Außerdem dienen Panzerkreuzer dazu, die kleinen Schnellkreuzer beim Aufklärungsdienst zu unterstützen und dabei die feindlichen Kreuzer zu bekämpfen. Sehr große Panzerkreuzer werden häufig auch als *Kreuzerlinienschiffe* bezeichnet. Der schnellste Panzerkreuzer aller Marinen, zugleich einer der größten und am zweckmäßigsten bewaffneten, ist der deutsche Panzerkreuzer „von der Tann" (dem in Fig. 1191 u. 1192 dargestellten, noch stärker bewaffneten „Moltke" ähnlich). Der „von der Tann" ist von Blohm & Voß in Hamburg gebaut; Beginn der Probefahrten 1910. Während einer sechsstündigen Dauerfahrt erzielte „von der Tann" die bisher von großen Schiffen unerreichte Durchschnittsgeschwindigkeit von 27 Seemeilen in der Stunde. Das Schiff ist 171 m lang, 26,5 m breit und hat 8,1 m Tiefgang. Wasserverdrängung etwa 19000 Tonnen. Der Panzergürtel reicht in großer Breite rings um das Schiff, darüber befindet sich eine bis zum Oberdeck geführte Panzerzitadelle, in der zehn 15 cm-Schnelladekanonen in Kasematten aufgestellt sind. Die

schweren Geschütze, acht 28 cm-Schnelladekanonen, sind in vier gepanzerten Doppeltürmen untergebracht; der vorderste Turm steht auf dem Backdeck, die drei anderen stehen ein Stockwerk niedriger auf dem freien Oberdeck. Die gepanzerten Unterbauten der Türme reichen bis zum Panzerdeck hinab. Die beiden mittleren Türme stehen seitlich schräg vom hinteren Schornstein, der an Steuerbord in der Diagonale nach vorn, der andere nach hinten; jeder dieser Türme kann nach beiden Seiten feuern. Der vordere und der hintere Turm stehen in der Mittschiffslinie. Infolge der günstigen Aufstellung kann Breitseitfeuer nach jeder Seite mit allen acht Turmgeschützen gegeben werden; Bug-

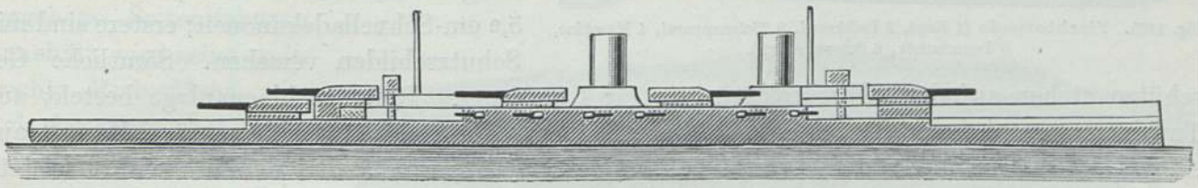


Fig. 1191.

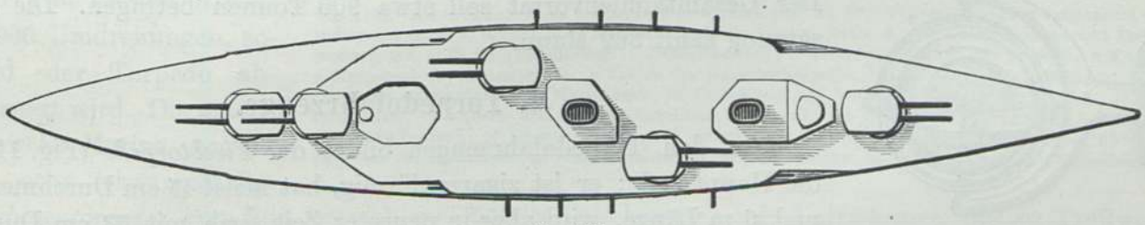


Fig. 1192.

Fig. 1191 und 1192. Deutscher Panzerkreuzer „Moltke".

und Heckfeuer mit je sechs, weil beide Mitteltürme sowohl nach vorn wie nach achtern und nach beiden Seiten feuern können. Als leichte Artillerie, besonders zur Abwehr von Torpedobooten, sind noch sechzehn 8,8 cm-Schnelladekanonen auf den Deckaufbauten usw. verteilt. Die Maschinen-

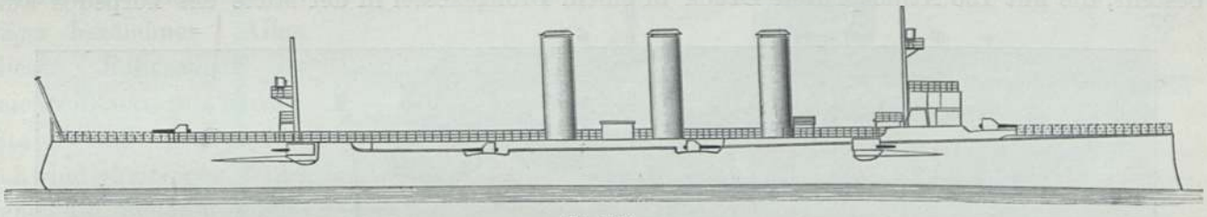


Fig. 1193.

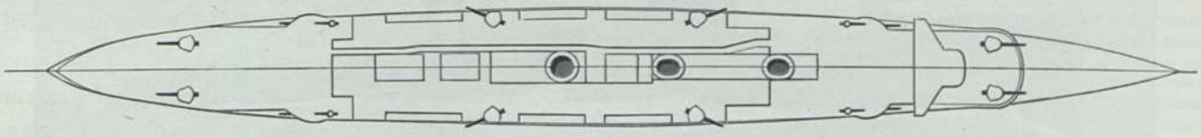


Fig. 1194.

Fig. 1193 und 1194. Deutscher kleiner Kreuzer „Kolberg".

anlage besteht aus Parsonsturbinen von 41 000 Pferdestärken, die vier Propellerschrauben treiben. Den Dampf liefern 18 engrohrige *Marinekessel*, eine bewährte Art deutscher Wasserrohrkessel. Die Besatzung ist auf etwa 950 Mann zu schätzen.

3. Schnellkreuzer.

Die Schnellkreuzer bilden die dritte Kriegsschiffsgattung und sind für den Aufklärungs- oder Kundschafterdienst bestimmt. Schnelligkeit ist ihre wichtigste Eigenschaft; Panzerschutz ist nur für das Unterschiff, und zwar als Panzerdeck vorgesehen, die Wasserlinie wird nur mit Korkdämmen geschützt. Die Bewaffnung besteht meistens nur aus leichten Schnelladekanonen zur Bekämpfung von Torpedofahrzeugen; große Schnellkreuzer haben zuweilen auch Mittelartillerie

von 15 cm Kaliber. Als mustergültig sind für diese Aufgaben sowohl wie auch für den Auslandsdienst als Stationskreuzer im Frieden und als Handelszerstörer im Krieg die deutschen sogenannten *kleinen Kreuzer* zu betrachten, deren neuester Typ, die vier Schiffe der Kolbergklasse, nämlich „Kolberg" (Fig. 1193 u. 1194), „Mainz", „Cöln" und „Augsburg", soweit bekannt, wie folgt beschaffen sind: Wasserverdrängung 4350 Tonnen, Länge 130 m, Breite 14 m, Tiefgang 5 m; die Schiffe sind also sehr scharf gebaut, zugunsten der Geschwindigkeit. Die Bewaffnung besteht aus zwölf 10,5 cm- und vier 5,2 cm-Schnelladekanonen; erstere sind mit Schutzschilden versehen. Sämtliche Geschütze stehen auf dem Oberdeck günstig für Rundfeuer. Die Maschinenanlage besteht aus Turbinen verschiedener Systeme, z. B. für „Kolberg" aus Schichauturbinen, für „Mainz" aus A. E. G.-Curtisturbinen; den Dampf liefern je 15 Marinekessel. Bei der Probefahrt leistete „Mainz" mit 27115 Pferdestärken 27,2 Seemeilen Geschwindigkeit. Der Gesamtkohlenvorrat soll etwa 900 Tonnen betragen. Die Besatzung zählt 362 Mann.

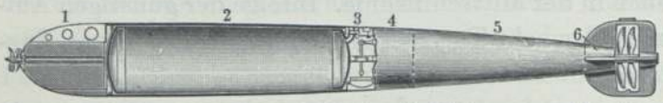


Fig. 1195. Fischtorpedo (1 Kopf, 2 Luftkessel, 3 Tiefenapparat, 4 Maschine, 5 Tunnelstück, 6 Schwanzstück).

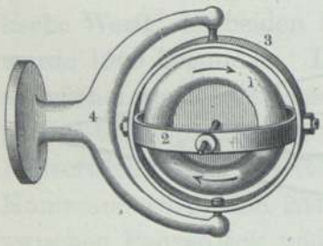


Fig. 1196. Obrysches Gyroskop zur selbsttätigen Torpedosteuerung (1 Schwungring, 2, 3 Kardanischer Ring, 4 Träger).

4. Torpedofahrzeuge.

Auf den Torpedofahrzeugen bildet der *Fischtorpedo* (Fig. 1195) die Hauptwaffe; er ist zigarrenförmig, hat meist 45 cm Durchmesser und 6 m Länge, wird aber in neuester Zeit auch mit 53 cm Durchmesser und 7 m Länge hergestellt. An seinem Schwanzstück sitzen zwei Propellerschrauben, deren Wellen, die innere voll, die äußere hohl, ineinanderliegen. Zum Steuern des Torpedos dienen am Schwanzstück bewegliche wagerechte und senkrechte Ruderflächen. Die Propellerschrauben werden durch eine dreizylinderige Wolfsche Maschine getrieben, deren Triebkraft aus Preßluft besteht, die mit 130 Atmosphären Druck in einem Bronzekessel in der Mitte des Torpedos auf-

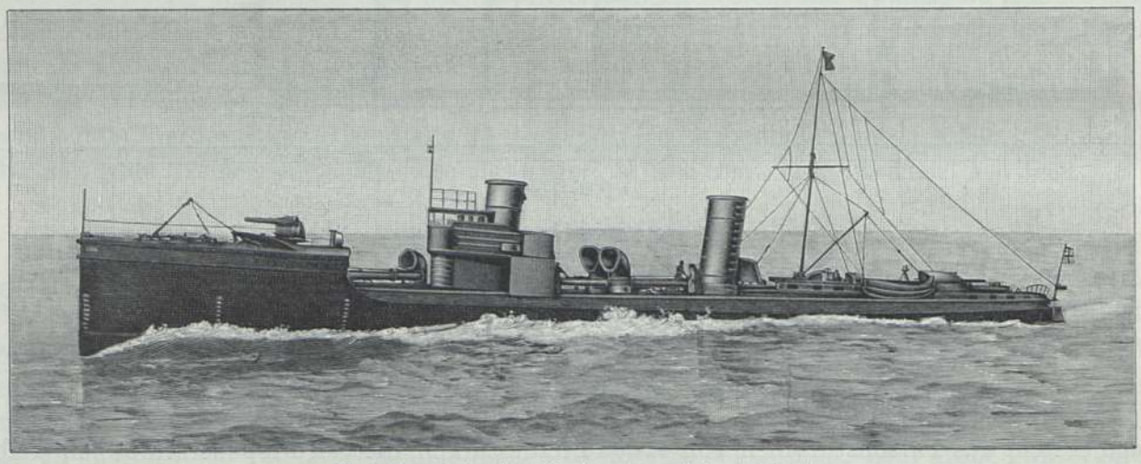


Fig. 1197. Deutsches Hochseetorpedoboot V. 161.

gespeichert ist. Ein sehr sinnreicher Druckfeder-Regulator leitet die Preßluft in die Maschine. In neuester Zeit gibt man dem Regulator eine Anwärmevorrichtung, welche die Spannung der Preßluft noch bedeutend steigert, so daß die sogenannten *Heißlufttorpedos* bedeutend größere Schußweite (bis zu 4000 m und darüber) als die gewöhnlichen Fischtorpedos (kaum 1000 m) haben. In dem Augenblick, wenn der Torpedo aus seinem *Lancierrohr*, das über oder unter Wasser im Schiff eingebaut ist, mit Preßluft oder schwacher Pulverladung ausgestoßen wird, öffnet ein Hebel das Absperrventil des Regulators und setzt die Torpedomaschine in Betrieb. Eine doppeltwirkende eigenartige Tiefensteuerung zwingt den Torpedo, seine Laufbahn in bestimmter Tiefe (meist 3 m

unter Wasser) innezuhalten. Ein Pendel und eine Druckplatte regeln den Tiefenlauf derart, daß der Torpedo bald nach Verlassen des Rohres die eingestellte Tiefe innehält. Die (stets senkrechte) Lage eines schweren Pendels im Innern des Torpedos wirkt je nach der Schräglage der Torpedoachse nach unten oder oben durch Gestängeübertragung auf die wagerechten Ruderflächen am Torpedoschwanz, deren Stellungsänderung auch die Richtung der Torpedoachse ändert. Außerdem wirkt auf dieselben Rudergestänge eine Druckplatte, deren Gleichgewichtslage für den Wasserdruck durch Gegenfedern so eingestellt wird, daß die Ruderflächen wagerecht liegen, wenn der Torpedo in der gewünschten Tiefe geradeaus läuft. Damit ferner der Torpedo die ihm beim Abfeuern gegebene Seitenrichtung innehält, wird seine senkrechte Ruderfläche mittels des Obryschen *Gyroskops* (Fig. 1196) gesteuert; eine kleine Turbine gibt diesem Kreisel 18000 Umdrehungen, sobald der Torpedo abgefeuert wird. Die amerikanische Marine verwendet sehr leistungsfähige *Turbinentorpedos* von Bliß-Leavith von 53 cm Durchmesser mit Luftwärmer, die an Treffweite alle anderen Torpedos übertreffen sollen, aber auch 25000 Mark das Stück kosten.

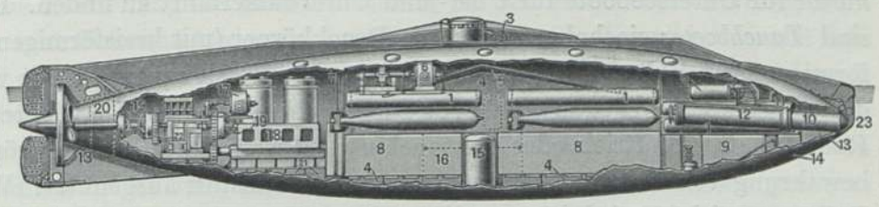


Fig. 1198. Amerikanisches Unterseeboot „Holland Nr. 9“ (Wasserverdrängung aufgetaucht 64 t, untergetaucht 74 t, Schnelligkeit 8 Seemeilen, Länge 16,3 m, Breite 3,1 m, Gasolinmotoren und Elektromotoren von je 50 PS [Erläuterung: 1 Preßluftflaschen, 2 Kompensationstank für Torpedo, 3 Kompaß, 4 Haupttank für Wasserballast, 5 Ventile des Hauptballasttanks, 6 Lenzpumpe mit Hilfsmotor, 7 Ventilator, 8 Akkumulatoren, 9 Gasolintank, 10 Torpedorohr, 11 Kompensationstank für Torpedo, 12 Preßluftflaschen, 13 vorderer und achterer Trimmtank, 14 Wassertank für das Torpedorohr, 15 Auftriebtank, 16 Hilfsballasttank, 17 Hauptlenzpumpe, 18 vierzylindrige Gasolinmaschine, 19 Kuppelungen, 20 Drucklager der Schraubenwelle, 21 Wasserballasttanks, 22 Elektromotor, 23 Verschlußkappe des Torpedorohrs]).

Die Torpedofahrzeuge werden als *Küstentorpedoboote* von etwa 50—100 Tonnen Wasserverdrängung, als *Hochseetorpedoboote* (Fig. 1197) von 200—600 Tonnen und mehr gebaut; die großen Torpedoboote werden auch als *Torpedobootzerstörer* oder *Torpedojäger* bezeichnet. Allen diesen Fahrzeugen ist leichte Bauart aus bestem Stahl und große Geschwindigkeit eigen. Während die neueren englischen Zerstörer bereits Größen von 1000 Tonnen erreichen, mit Turbinen bis zu 18000 Pferdestärken und 34 Seemeilen Geschwindigkeit, leisten die beträchtlich kleineren deutschen Hochseetorpedoboote von etwa 700 Tonnen Wasserverdrängung mit Turbinen von etwa 14000 Pferdestärken sogar mehr als 36 Seemeilen Höchstgeschwindigkeit. Alle Torpedofahrzeuge sind mit mehreren auf Deck aufgestellten schwenkbaren *Torpedokanonen*, ferner mit mehreren leichten Schnelladegeschützen bewaffnet; zuweilen ist auch noch ein *Ausstoßrohr* im Bug eingebaut.

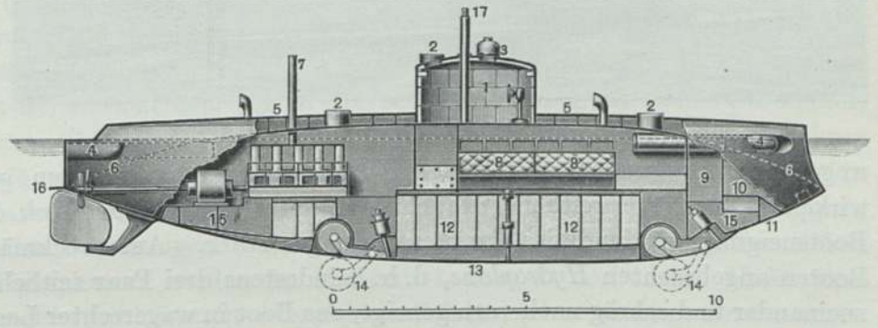


Fig. 1199. Amerikanisches Lake-Boot „Protector“ (Wasserverdrängung aufgetaucht 136 t, untergetaucht 174 t, Schnelligkeit über Wasser 10 Seemeilen, unter Wasser 7 Seemeilen, Länge 20,6 m, Breite 4,3 m, Gasolinmaschinen von 240 PS, Elektromotoren von 100 PS [Erläuterung: 1 Kommandoturm aus Bronze, 2 Ausgangsluken, 3 Ausguckkappe, 4 Torpedorohre, 5 Gasolintanks, 6 Linie des Druckkörpers, innerer Bootskörper, 7 Maschinenauspuffrohr, 8 Mannschaftsraum, 9 Luftschleuse, 10 Taucherraum, 11 Tauchertür, 12 Akkumulatoren, 13 ablösbarer Ballastkiel, 14 Räder für Fahrt auf Grund, 15 Ballasttanks, 16 Horizontalruder, 17 Sehrohr]).

5. Unterseeboote.

Die Unterseeboote sind als Abart der Torpedoboote zu betrachten; ihre Entwickelung ist im letzten Jahrzehnt bei den meisten Marinen sehr gefördert worden. Diese beim Angriff unter der Wasseroberfläche, während des Marsches aber über Wasser ausgetaucht fahrenden Kriegsfahrzeuge sind nur mit Torpedos (in mehreren Ausstoßrohren) bewaffnet und werden über Wasser meist mit Verbrennungsmotoren verschiedener Art, seltener mit Kolbendampfmaschinen oder

Dampfturbinen betrieben, bei der Tauchfahrt aber mit Elektromotoren, deren Triebkraft in Akkumulatoren aufgespeichert wird. Als Motoren für die Überwasserfahrt werden Petroleummotoren von Diesel und Körting bevorzugt, weil sie bedeutend sicherer arbeiten als die Gasolin- oder Benzinmotoren, deren Dämpfe bei Undichtigkeiten leicht Unfälle herbeiführen. Damit die Zylinder nicht zu heiß werden, muß die Maschinenanlage in viele Zylinder geteilt werden; z. B. hat die französische de Forest-Maschine von 850 Pferdestärken 18 Zylinder, die in drei Gruppen je 120° voneinander um die Propellerwelle angeordnet sind. Da die jetzt für die Unterwasserfahrt üblichen Elektromotoren nur geringe Steigerung der Leistungsfähigkeit zulassen, sucht man einen Einheitsmotor für Unterseeboote für Über- und Unterwasserfahrt zu finden. Die modernen Unterseeboote sind *Tauchboote;* sie haben über dem Druckkörper (mit kreisförmigem Querschnitt) einen schiffsförmigen Außenkörper, der beim Tauchen mit Wasserballast gefüllt werden kann. Die Form für die Überwasserfahrt muß dem Boot Seetüchtigkeit geben. Die Boote erhalten 15—20 Proz. ihres Raumgehaltes Auftrieb oder Austauchung. Die Zellen des Außenkörpers werden auch zur Aufbewahrung von Frischwasser und flüssigem Brennstoff ausgenutzt. Wenn auf die Einnahme von Ballast verzichtet wird, können die modernen Unterseeboote nur in Fahrt befindlich tauchen, und zwar mit Hilfe von Tiefenrudern, die verschieden angeordnet werden. Drei Arten von Unterseebooten zeigen die Figuren 1198 bis 1200.

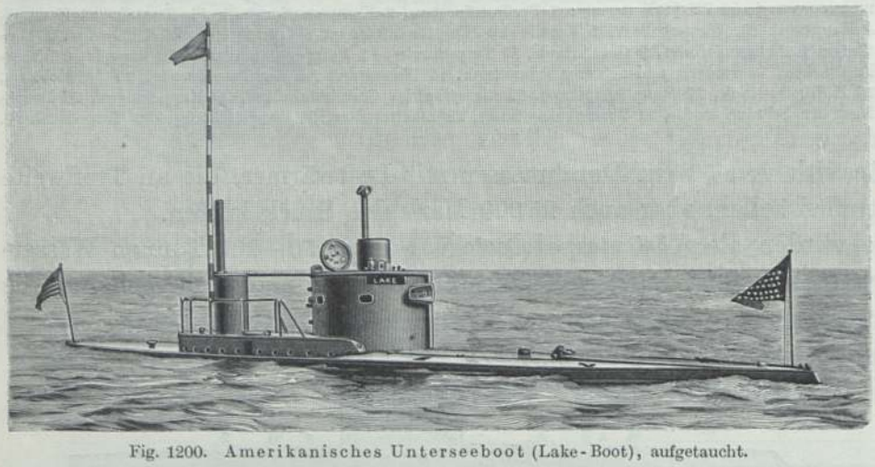


Fig. 1200. Amerikanisches Unterseeboot (Lake-Boot), aufgetaucht.

Das Klappmodell zeigt ein modernes Tauchboot der Germaniawerft in Kiel. Aus dem Modell und seiner Beschreibung sind alle wesentlichen Teile zu ersehen.

Die älteren Unterseeboote haben meist nur wagerechte Heckruder, mit denen die Boote stark nach unten geneigt tauchen. Günstiger wirken je ein Paar seitlicher Tauchruder am Bug und am Heck des Bootes; hierbei ist die Bootsneigung während des Tauchens weniger stark. Am zweckmäßigsten sind die bei Lake-Booten angebrachten *Hydroplane,* d. h. mindestens drei Paar seitlicher Tauchruder, die, parallel zueinander und schräg nach vorn geneigt, das Boot in wagerechter Lage tauchen lassen; aber diese großen Ruderflächen wirken infolge ihres Widerstandes hemmend auf die Geschwindigkeit des Bootes, deshalb haben die meisten modernen Unterseeboote nur zwei Paar Tauchruder, mit denen sie (nur in Fahrt) in etwa 5 Minuten auf 5 m Tiefe tauchen können. Eine wesentliche Vervollkommnung der Sehvorrichtung ist bis jetzt noch nicht gelungen; man rüstet jedes Unterseeboot meist mit zwei bis zu 7 m langen *Sehrohren (Periskopen)* aus; das Gesichtsfeld jedes Rohres umfaßt etwa 50°, größeres Gesichtsfeld verlangt Vermehrung der Linsen und Prismen und schwächt dadurch die Lichtstärke zu sehr. Einzelne Sehrohre haben feststehende Okulare und drehbare Objektive. Zur Signalgebung von Boot zu Boot versucht man die Unterwasserschallsignale. Die meisten Marinen geben Gruppen von je 3—5 Unterseebooten ein Begleitschiff. In der deutschen Marine dient ein *Dockschiff* als Begleit- und Hilfsschiff bei Unfällen. Als Rettungsgerät bei Unglücksfällen dient eine *Telephonboje,* die vom gesunkenen Boot ausgelöst wird, an die Oberfläche auftaucht und die Lage des Bootes dem Begleitschiff anzeigt, das von der Boje aus sofort Telephonanschluß herstellen und sich so mit dem Unterseeboot verständigen kann. Als *Abwehr* gegen Unterseeboote dienen: Pfahlwerke mit Minen und Drahtnetze in den Hafeneinfahrten; mit Spierentorpedos ausgerüstete Torpedoboote; Schleppnetze, von zwei Kreuzern geschleppt.

E. Schiffahrtsbehelfe.

I. Schiffahrtsbehelfe an Bord.

Die **nautischen Instrumente** dienen zur Bestimmung des Schiffsweges und Schiffsortes auf See, ferner der Wassertiefen, der Strömung und Witterung. Am wichtigsten ist der *Kompaß* zur Bestimmung des Schiffskurses. Die Kompaßrose, die eine oder mehrere Magnetnadeln trägt, schwebt auf einer Pinne des Kompaßkessels, der in kardanischer Aufhängung auf einer Säule gelagert ist. Ruhige und genaue Einstellung der Rose ist wichtig bei den Schiffserschütterungen im Seegang; deshalb bevorzugt man *Schwimmkompasse*, bei denen die Rose im Kessel schwimmt und nur ganz geringen Druck auf die Pinne übt, oder man benutzt Trockenkompasse mit ganz leichten Seidenfädenrosen. Zur Bestimmung des Schiffsortes nach Landpeilungen tragen die Brückenkompasse Peilvorrichtungen mit drehbarem Doppelvisier. Beim *Kreiselkompaß* ersetzt ein Gyroskop (schnell rotierender Kreisel) die Magnetnadel. Die Schiffsgeschwindigkeit wird mit dem gewöhnlichen *Log* oder dem *Patentlog* gemessen; letzteres (Fig. 1201) schleppt eine kleine Propellerschraube im Wasser nach, deren Umdrehungen auf ein Zählwerk übertragen werden. Zur astronomischen Ortsbestimmung auf See dient der *Sextant*, ein Winkelmesser mit einem festen und einem drehbaren Spiegel; beim Kreiselsextanten wird die unsichtbare *Kimm* (d. h. der Horizont) durch ein Gyroskop ersetzt. Die geographische Länge auf See wird durch Vergleich der beobachteten Ortszeit mit einem *Chronometer* gefunden, einer sehr fein gearbeiteten Schiffsuhr, die die Zeit des Nullmeridians zeigt. Die Wassertiefe mißt man mit dem *Handlot* (Bleigewicht mit gemarkter Leine), dem *Tieflot* oder der *Lotmaschine* von Thomson (verbessert von Hechelmann und Bamberg); der *Tiefenmelder*, ein mitgeschlepptes, unter Wasser schneidendes Scherbrett, zeigt an, wann das Schiff die Wassertiefe, auf die der Melder eingestellt ist, erreicht hat. Zur Wetterbeobachtung auf See dienen Barometer, Thermometer und Anemometer. *Seekarten*, auf denen alle gefährlichen Untiefen genau verzeichnet sind, ermöglichen die Schiffsführung in Küstengewässern. Die Seekarten stellen je nach Bedarf in größerem oder kleinerem Maßstab Küstenstrecken dar, auf denen der Strand, Inseln, Klippen, Riffe, Bänke, ferner Meerestiefen, Strömungen, Gezeiten, Leuchtfeuer, Landmarken und Seezeichen genau eingetragen sind. Küstenkarten werden im Maßstab 1 : 200 000 und mehr, Hafenpläne im Maßstab 1 : 5000 und mehr gefertigt. Küsten- oder Seehandbücher geben wichtige Anweisungen für die Schiffsführung.

Fig. 1201. Patentlog.

Zum *Signalisieren* auf See dienen bei Tage farbige Signalflaggen mit Buchstabenbedeutung; die Zusammenstellungen sind im „Internationalen Signalbuch" erklärt. Wenn die Farben der Flaggen nicht mehr zu erkennen sind, gibt man Fernsignale mit großen schwarzen Bällen, Kegeln und Trommeln. Aus geringer Entfernung macht man Winksignale mit Winkflaggen. Nachts werden Signale mit verschiedenfarbigen Signallichtern oder mit elektrischen Signalapparaten, bengalischen Flammen und Signarlaketen gemacht; Winksignale nach dem Morsesystem werden mit Nachtwinkern, zwei weißen Laternen, gegeben. Bei Nebel werden Luftschallsignale mit Glocke, Handnebelhorn, Dampfnebelhorn, Dampfsirene und Dampfpfeife gemacht. Die *Unterwasserschallsignale* werden von Feuerschiffen mit im Wasser hängenden, durch Preßluft betriebenen Glocken gegeben; als Schallempfänger führen alle großen Handels- und Kriegsschiffe an jeder Seite des Bugs im Wasser an der Bordwand befestigte Mikrophone, mit denen die Richtung des Schalles genau bestimmt werden kann. Außerdem sind alle großen Passagierdampfer und die meisten Kriegsschiffe als Funkentelegraphenstationen eingerichtet, zum Verkehr untereinander und mit Landstationen.

Nach der Seestraßenordnung zur Verhütung von Zusammenstößen müssen alle Seeschiffe nachts bestimmte *Schiffslichter* führen, und zwar eine grüne Seitenlaterne (Buglaterne) am

Steuerbordbug, eine rote am Backbordbug, Dampfer in Fahrt ein weißes Topplicht (Dampferlaterne) am Fockmast, Schleppdampfer zwei oder drei Topplichter. Dampfer dürfen als Richtlicht ein zweites weißes Licht höher als das Topplicht und hinter diesem führen, das mit dem Topplicht die Kursrichtung zeigt. Segler in Fahrt führen nur die Seitenlaternen. Manövrierunfähige Schiffe führen zwei rote Laternen übereinander. Ein Schiff, das von einem anderen eingeholt wird, trägt am Heck eine weiße Hecklaterne oder ein Flackerfeuer. Fischerfahrzeuge haben besondere *Fischerlichter*, Lotsenfahrzeuge ein *Lotsenlicht*. Verankerte Schiffe zeigen eine weiße *Ankerlaterne* und, wenn sie länger als 45 m sind, am Heck eine zweite weiße. Kabeldampfer zeigen drei Lichter (rot, weiß, rot) untereinander.

II. Schiffahrtsbehelfe am Lande und auf See.

Häfen. Dem Zwecke der Handelsschiffahrt entsprechend, Fahrgäste und Güter von einem Ort zum anderen über See oder auf Flüssen zu verschiffen, sind Schutzplätze für Schiffe erforderlich, wo sie gegen Stürme, Seegang, Eisgang und Strom geschützt liegen können, um zu laden oder zu löschen. In einem brauchbaren Hafen müssen Schiffe bequem ankern und laden, sich mit allen Betriebsmitteln versehen und Reparaturen vornehmen können. *Natürliche Häfen* sind Meeresbuchten mit engen Einfahrten oder Buchten mit vorgelagerten Inseln oder mit Landzungen oder Riffen; die meisten liegen aber in Flußmündungen. *Künstliche Häfen* sind sehr verschieden; die einfachste Anlage besteht aus einem steinernen Schutzdamm (Wellenbrecher), der die Bucht gegen Seegang schützt. Viele künstliche Häfen haben mehrere *Hafendämme (Molen)* mit abgerundeten *Hafenköpfen*, die zwischen sich eine Einfahrt freilassen; auch viele Flußmündungen und Einfahrten in Binnenseen haben solche künstliche *Hafeneinfahrt*. Da für schnelles Laden und Löschen der Schiffe unmittelbares Anlegen am Lande, an *Bollwerken* oder steinernen *Kaianlagen*, nötig ist, werden jetzt alle wichtigen Häfen damit versehen; um viel Kaiplatz zu schaffen, hat man in allen großen See- und Flußhäfen mit Eisgang *künstliche Hafenbecken* aus dem Lande ausgegraben, die die größten Schiffe aufnehmen. Solche Hafenbecken sind stets *offen* in allen Häfen, wo Ebbe und Flut nur gering ist, aber durch Schleusen *geschlossen* (Dockhäfen) und nur zur Hochwasserzeit geöffnet, wo der Flutwechsel groß ist. Geschlossene Hafenbecken haben oft noch einen offenen *Vorhafen* oder ein *Halbtidebecken* oder *Schleusenbecken*, in das die Schiffe schon bei halber Fluthöhe gelangen. Kleine offene Häfen, die bei Niedrigwasser trocken fallen, nennt man *Flut-* oder *Tidehäfen*; *Flotthäfen* haben stets genügende Wassertiefe.

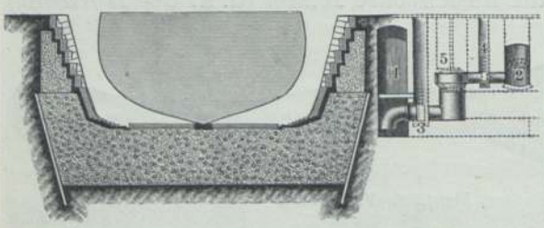


Fig. 1202. Trockendock in Bremerhaven (Querschnitt; 1 Wassersammler, 2 Abflußkanal, 3, 4 Schieber, 5 Kreiselpumpen).

Nach dem Gebrauchszweck unterscheidet man: 1. *Handelshäfen* mit Einrichtungen zum schnellen Laden und Löschen sowie zur Verschiffung von Reisenden, Pferden, Vieh usw.; Warenspeicher, Bahngleise (Hafenbahnen), Krane müssen reichlich vorhanden sein, ebenso Werften und Docks für Reparatur und Reinigung. Viele Handelshäfen haben Silospeicher für Getreide, Petroleumbehälter, Gefrierhäuser für Fleisch und Fische, Kohlen- und Erzschütten und anderes. Nach der Hauptverfrachtung unterscheidet man auch *Kohlenhäfen*, *Reishäfen*, *Erzhäfen*, *Fruchthäfen*, *Getreidehäfen* und andere. *Freihäfen* sind Handelshäfen mit großen zollfreien Niederlagen. 2. *Fischereihäfen* für Hochseefischereibetrieb gewähren Fischerfahrzeugen Schutz und Gelegenheit, ihren Fang schnell ins Binnenland zu versenden. 3. *Kriegshäfen* dienen als Flottenstützpunkte; sie müssen möglichst gegen Beschießung vom Meer gesichert sein, alle Einrichtungen zum Bau und zur Ausrüstung von Kriegsschiffen haben (Werften mit Docks, Kohlen- und Munitionslager, Lazarette, Pumpen- und Schleppdampfer), mit starken Küstenbefestigungen, Minenlagern, Torpedosperren usw. zur Küstenverteidigung und starker Besatzung und Werftarbeitern versehen sein. 4. *Nothäfen* sind geschützte Häfen, die von Schiffen in Seenot angelaufen werden. 5. *Orderhäfen* werden nur angelaufen, um

Anweisungen des Reeders abzuwarten. 6. *Quarantänehäfen* für seucheverdächtige Schiffe während der Quarantäne haben Lazarette und Desinfektionseinrichtungen. 7. *Umschlagshäfen* dienen zur Umladung von Gütern, z. B. von Flußfahrzeugen auf Seeschiffe. 8. *Heimats-* (oder *Register-*) *Häfen* sind solche, wo ein Schiff „zu Hause" und ins Schiffsregister eingetragen ist.

Docks sind zum Ausbessern und Reinigen des Schiffsbodens dienende besondere Anlagen in den Häfen. Die *Trockendocks* oder *Grabendocks* (Fig. 1202) sind große ausgeschachtete Gruben oder Becken am Rande eines Hafens mit ausgemauerten oder hölzernen Wänden. Große Trockendocks werden bis zu 300 m lang, 30 m breit und mehr als 10 m tief gebaut. Die *Docksohle* entspricht dem Tiefgang des größten Schiffes, das im Dock Platz hat. Das *Dockhaupt*, die Dockeinfahrt vom Hafen her, wird hinter dem Schiff mit Schleusentoren (Dockschleuse) oder Senkkasten (Gleitpontons, Caissons) geschlossen; dann wird das Dock durch Pumpwerke ausgepumpt, während das „trockenfallende" Schiff im Dock mit *Dockstützen* abgestützt wird, sobald sein Kiel auf den Stapelklötzen der Docksohle ruht (Fig. 1203). *Schwimmdocks* (Fig. 1204) sind schwimmende, große eiserne Doppelböden aus vielen wasserdichten Kasten (Zellen) mit zwei hohlen Längswänden. Um das Schiff aufzunehmen, wird das Schwimmdock versenkt, nach Aufnahme werden die Dockzellen durch Dampfpumpen ausgepumpt. Solche Schwimmdocks, zum Teil bis 30000 t Tragfähigkeit, werden benutzt, wo die Anlage von Trockendocks zu schwierig und teuer ist. Man baut auch Schwimmdocks mit nur einer Seitenwand, stützt dafür die andere Wand nach dem Lande zu ab oder gibt ihr Gegengewichte. Solche Schwimmdocks kann man als *Absetzdocks* einrichten, um Schiffe auf *Rostdocks* (Pfahlrosten) am Land abzusetzen. Der Boden des Absetzdocks besteht aus vielen parallelen Kasten, die kammartig zwischen die Lücken der Pfahlroste eingreifen. *Hydraulische Docks* heben den Senkkasten, worauf das Schiff gebracht wird, mit hydraulischen Pressen hoch. Das *Schraubendock* hebt kleine Schiffe zwischen zwei Pfahlreihen mit Ketten und Schrauben.

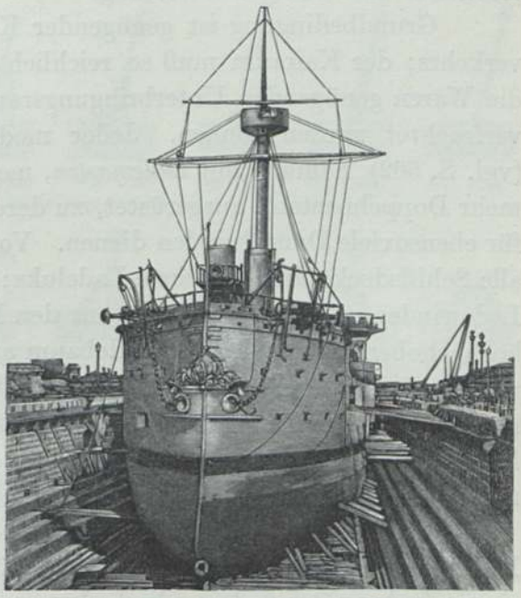


Fig. 1203. Panzerschiff im Trockendock.

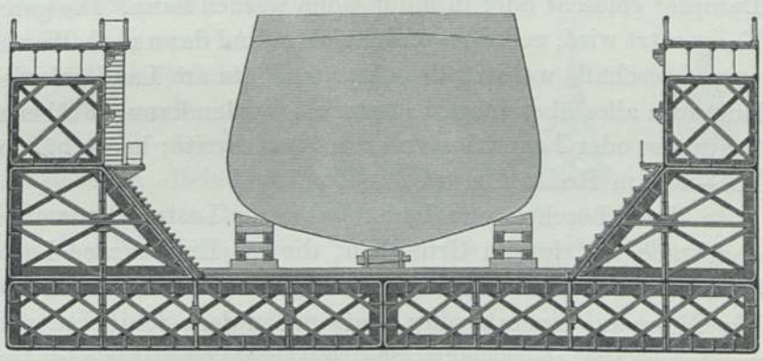


Fig. 1204. Schwimmdock der Kieler Werft.

Meist sind mit den Dockanlagen noch *Schiffswerften* verbunden, Anstalten zum Bauen, Ausrüsten, Aufbewahren und Ausbessern von Schiffen. Jede moderne Werft hat Schiffbau- und Maschinenbauwerkstätten, Kesselschmieden, Bauhellinge, Patentaufschleppen für kleinere Fahrzeuge und mancherlei Betriebe zur Herstellung der Schiffsausrüstung usw.

Der heutige *Hafenbetrieb* erfordert für schnelles Löschen und Laden der See- und Flußschiffe sehr mannigfache Einrichtungen, die zumeist dem Verkehrsbedürfnis der einzelnen Häfen angepaßt sind; sie sind verschieden, je nachdem der Hafen in gleicher Weise oder mehr oder weniger für Ein- oder Ausfuhr bestimmt ist; ferner ob er nur Stapel- und Umschlagsplatz für die Warendurchfuhr ist, oder ob am Orte selbst die zu verschiffenden Güter erzeugt oder die von See einkommenden Güter verbraucht werden; ferner ob die Warendurchfuhr mit der Bahn, mit

Küsten- oder Fluß- und Kanalschiffahrt oder mit anderen Verkehrsmitteln (z. B. im Karawanenverkehr afrikanischer Häfen) erfolgt; schließlich, ob der Warenverkehr sich auf einzelne Massengüter (z. B. Kohle, Getreide, Baumwolle usw.), auf Rohstoffe oder Fabrikate und gemischte Waren aller Art oder auf lebendes Vieh erstreckt, oder ob Auswanderer oder Kajütsfahrgäste hauptsächlich den Hafenverkehr ausmachen. Schließlich sind auch die Witterungsverhältnisse am Orte für die Hafeneinrichtungen nicht ohne Einfluß; z. B. gehören zu den Lösch- und Ladeeinrichtungen in regenreichen und kalten Häfen mehr Schuppen und besser gebaute Lagerräume als in Häfen mit trockener und warmer Witterung.

Grundbedingung ist genügender Kairaum für die Abfertigung der Schiffe und des Bahnverkehrs; der Kairaum muß so reichlich sein, daß die Schiffe längsseit des Kais liegen können, die Waren genügenden Unterbringungsraum finden und sofort oder später mit der Bahn weiter verfrachtet werden können. Jeder moderne Handelsdampfer ist mit *Lösch- und Ladegeschirr* (vgl. S. 502), nämlich mit *Lademasten*, meist 2—3 (bei Erz- und Kohlendampfern zuweilen 6 und mehr Doppelmasten), ausgerüstet, zu deren Takelung je 3—4 Ladebäume gehören, die als Krane für ebensoviele Dampfwinden dienen. Vor und hinter jedem Lademast befindet sich eine durch alle Schiffsdecke durchgeführte Ladeluke; jede Ladeluke wird von 2—4 Winden bedient. Mit den Ladewinden wird das Stückgut aus den Laderäumen durch die Luken bis zur Höhe der Reling hochgehoben; dann wird der Ladebaum ausgeschwungen, so daß die Ladung außerhalb der Bordwand auf eine schräge Ladebrücke gesetzt und auf den Kai hinabgeschoben werden kann. Wird in Leichter gelöscht, so wird das Stückgut mit der Schiffswinde an Reibhölzern außerhalb der Bordwand entlang in den längsseit befestigten Leichter hinabgelassen. Dieses Löschen und Laden nur mit Schiffsmitteln ist überall üblich, wo der Hafen selbst keine Einrichtungen dafür besitzt.

Bei den Riesenfrachtdampfern der Jetztzeit muß die Liegezeit im Hafen für Löschen und Laden durch besondere Einrichtungen möglichst abgekürzt werden. Deshalb dient bei ihnen das eigene Ladegerät nur dazu, die Ladung schnell aus den tiefen Laderäumen emporzuheben oder sie in diese hineinzulassen; die in Höhe der Reling gehobenen Lasten werden dann von zahlreichen Kranen auf dem Kai abgenommen, durch Schwenken des Krans nach Land bis auf die Rampen der Lagerschuppen oder auch sofort in die Räume der Lagerhäuser befördert. Es gibt Einrichtungen, mit denen so während einer Tagesarbeit bis zu 3000 t Warengewicht aus einem Dampfer gelöscht oder in ihn geladen werden kann. Die ganze Ladung muß, während sie auf den Kai gesetzt wird, geordnet und gesichtet und dann nach Warengruppen in die Schuppen oder Bahnwagen geschafft werden; dazu ist viel Platz am Land erforderlich, weil dort nicht wie im Schiffsladeraum alles übereinander gestapelt werden kann. Früher rechnete man für die Kaianlagen mit Schuppen oder Lagerhäusern etwa 50 m Breite; heute hält man in Häfen mit lebhaftem Verkehr 100—150 m Breite für zweckmäßig.

Zum Löschen und Laden schwerer Lasten dienen elektrische, hydraulische oder Dampfdrehkrane mit festem Grundbau, die als Riesenkrane Lasten bis zu 200 000 kg (200 t) heben können, ferner Schwimmkrane sowie fahrbare Krane für kleinere Leistungen (vgl. S. 231—235). Wo Güter auf einem großen Platz neben dem Schiffsliegeplatz aufgestapelt werden müssen, verwendet man fahrbare elektrische *Drehkranladebrücken* oder *Laufkatzenladebrücken*, bei Kohle, Erzen, Sand usw. auch mit Selbstgreiferbetrieb. Auch elektrische Hängebahnen finden Verwendung.

Für Massengüter sind in großen Seehäfen besondere Förderwerke angelegt. Die ältesten Förderwerke für Getreideladung sind die *Elevatoren*, Paternosterwerke in geschlossenem Gehäuse mit Stahlband oder Ketten ohne Ende, worauf die Schöpfeimer befestigt sind. Die vom Elevator gehobene Ladung fällt entweder in ein schräges Abflußrohr nach unten oder wird durch Fördergurte auf Tragrollen oder Propellerrinnen wagerecht weiter gefördert bis in das Lagerhaus *(Silospeicher)*. Zum Laden und Löschen von Schiffen mit Getreide dienen auch schwimmende Elevatoren verschiedener Systeme. Die großen Silospeicher in Rosario (am Paraná in Argentinien) fassen 30 000 cbm Getreide; zum Anfüllen der Silozellen dienen Elevatoren und Förderrinnen; die Seeschiffe werden mit vier Förderrinnen vom Silo aus beladen, und zwar mit etwa 200 t

stündlich. In neuester Zeit werden auch in Seehäfen *Propellerrinnen* verwendet, eine Art von Förderrinnen, die aus einem auf Rollen gelagerten oder an Pendeln aufgehängten Trog bestehen, der sich mit gleichförmig beschleunigter Bewegung vorwärts, und mit rasch und plötzlich einsetzender Verzögerung zurückbewegt, so daß sein Antrieb der Wurfschaufelbewegung entspricht. Diese Rinne ist sehr leistungsfähig zum Fördern von Erzen, Kohle und Steinen, ermöglicht auch automatisches Fördern vom Lagerplatz zum Verbrauchsplatz. Zur Förderung harter Stoffe, wie Erze, Schotter oder Zementklinker, dient eine Abart der Propellerrinne, die *Gitterrinne*.

Das Löschen und Laden von Petroleumtankdampfern geschieht mit Rohrleitungen, zumeist aus Eisen, nur zwischen Kai und Schiff aus biegsamen Spiraldrahtröhren mit Kautschuk; Saugpumpen an Bord saugen das Petroleum in die Schiffstanks. Beim Entladen wird das Petroleum von Pumpen am Land aus den Schiffen gesaugt und in großen Petroleumtanks gesammelt. Wegen der Feuergefährlichkeit sind in allen großen Seehäfen die Hafenbecken für Petroleumschiffe abgesondert von dem übrigen Hafen angelegt.

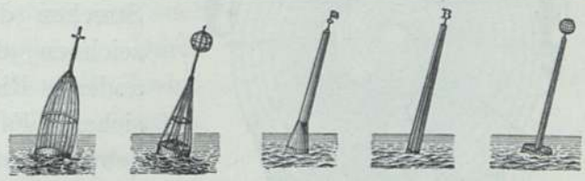


Fig. 1205. Fig. 1206. Fig. 1207. Fig. 1208. Fig. 1209.
Baken-(Ansegelungs-)tonnen. Spierentonnen.

Fig. 1210. Fig. 1211. Fig. 1212. Fig. 1213. Fig. 1214.
Pricken. Spitze Tonnen. Stumpfe Tonnen.

Fig. 1215. Fig. 1216. Fig. 1217. Fig. 1218. Fig. 1219.
Kugeltonne. Faßtonnen. Heultonne. Glockentonne.

Fig. 1205—1219. Verschiedene Formen von Seezeichen.

Die schnelle Ergänzung des Kohlenvorrates der Dampfer erfordert in allen See- und Flußhäfen besondere Einrichtungen. Die *Bekohlung verankerter Schiffe* im Hafen oder auf einer Reede, die gegen Seegang genügend geschützt ist, geschieht durch Leichterfahrzeuge (Kohlenprähme), die an beiden Schiffsseiten längsseit befestigt werden. In den Leichtern sind die Kohlen entweder unverpackt und werden dann von Kohlenarbeitern in flache Körbe geschaufelt und von Hand zu Hand auf Gestellen an Bord in die Bunkerlöcher gefördert. Oder die Kohlen werden schon am Land in Säcke verpackt in die Leichter geladen, dann mit *Kohlenwippen* an den Ladebäumen der Schiffe sackweise an Bord geheißt, oft mit Dampfwinschen, und auf dem Oberdeck in die Ladetrichter der Bunkerlöcher geschüttet. *Die Bekohlung von Schiffen, die am Kai oder an einer Kohlenbrücke festgemacht haben,* geschieht in einfachster Art ebenfalls in Säcken, die auf Handkarren über Landungsstege an Deck gefahren werden, oder durch Kohlenträger mit Weidenkörben. In Häfen mit neuzeitlichen Bekohlungseinrichtungen sind *Kohlenschütten* erbaut, deren Hebewerke, mit Dampf- oder elektrischem Betrieb, die Kohlenwagen auf eine Plattform heben und in die Schütte kippen. Die Schütte reicht bis zum Trichter der Schiffsbunker.

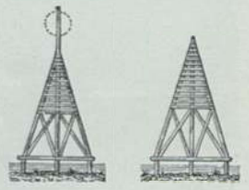


Fig. 1220. Fig. 1221.
Fig. 1220 und 1221. Baken (Steuerbord und Backbord).

Um Schiffe aus Kohlenlagern zu laden, die unmittelbar am Hafen oder auf einer Kohlenbrücke angelegt sind, benutzt man fahrbare elektrische Drehkrane, die auf vier Schienen über dem Kohlenlager laufen und automatische Ladeschalen haben. Die Ladeschalen *(Selbstgreifer)* werden aufgeklappt auf die Kohle herabgelassen, senken sich in die lockere Masse und schließen sich beim Anheben nach Art der Greifbagger. Durch Schwenken des Krans wird die Ladeschale zum Schiff gebracht. Statt des über dem Kohlenlager laufenden Krans, der seinen Dampfkessel und Elektromotor mit sich schleppen muß, baut man häufig Förderanlagen als Drahtseilbahnen mit Selbstgreifern.

Seezeichen. Um den Schiffen in den oft engen und gefährlichen Küstengewässern das sichere Fahrwasser zu bezeichnen, dienen nach Form und Farbe verschiedene Tonnen, Baken und Leuchttürme als *Seezeichen*. Die *Tonnen* sind mit Toppzeichen (Bällen, Kegeln, Besen, Fähnchen) zur Unterscheidung versehen (Fig. 1205—1217). Einzelne von ihnen an besonders gefährlichen Stellen sind als *Heultonnen* oder *Glockentonnen* (Fig. 1218 u. 1219) eingerichtet; die automatische

Heulpfeife oder die Glocke wird durch leichte schwankende Bewegung der im Seegang schwimmenden Tonnen zum Ertönen gebracht, was besonders im Nebel wichtig ist. *Baken* (Fig. 1220 und 1221) sind hölzerne oder eiserne Gerüste verschiedener Form, die am Rande des Fahrwassers, auf Bänken und Klippen errichtet werden.

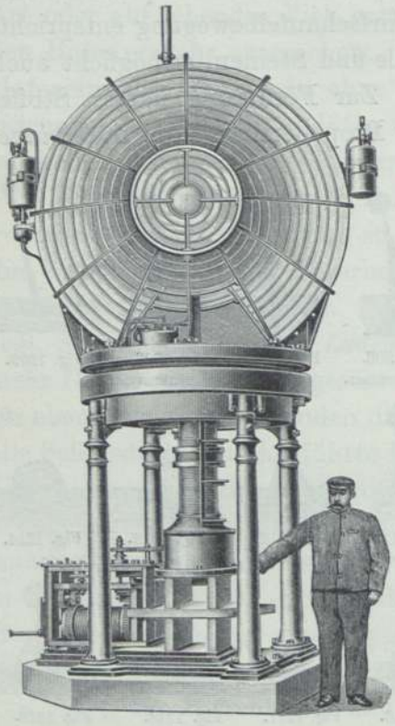


Fig. 1222. Bild der drehbaren Optik des Fettgas-Glühlichtfeuers (Blinkfeuer), System Pintsch (Leuchtturmfeuer).

Die *Küstenbeleuchtung* dient nicht zur Erhellung der Fahrstraße, sondern lediglich dazu, bestimmte Punkte oder Strecken des Küstengebietes auch nachts genau zu kennzeichnen, damit das Schiff mit Hilfe von Peilungen und anderen Richtungsbestimmungen nach den Leuchtfeuern im sicheren Fahrwasser und frei von den Untiefen in seiner Umgebung gesteuert werden kann. Zur Küstenbeleuchtung gehören Leuchttürme, Leuchtbaken, Feuerschiffe und Leuchttonnen, die sämtlich auch bei Tage als Seezeichen dienen.

Leuchttürme. Auf den auch der äußeren Form nach sehr verschiedenartigen *Leuchttürmen* wird mit Argandschen Öllampen, Drummondschem oder Magnesiumlicht, jetzt meist mit Petroleum, Fettgas, Leuchtgas oder elektrischem Licht, und mit Spiegel- oder Linsensystemen ein weit sichtbares Licht *(Leuchtfeuer)* erzeugt, das gleichmäßig als festes Feuer oder kurz aufleuchtend als Dreh-, Blick-, Blitz- oder Blinkfeuer, Funkelfeuer oder farbenwechselnd als Wechselfeuer brennt, damit die verschiedenen Leuchtfeuer einer Küstenstrecke zu unterscheiden sind. Das mächtigste Leuchtfeuer (elektrisches Blitzfeuer, mit drehbarer Doppeloptik, das alle 5 Sekunden einen Blitz von etwa $^1/_{13}$ Sekunde Dauer zeigt) befindet sich auf der Landspitze Penmarch, südlich von Brest, 50 m über höchster Flut, Lichtstärke 10 Millionen Kerzen, sichtbar auf 100 km. Fig. 1222 zeigt ein Blinkfeuer von Julius Pintsch in Berlin mit zwei dioptrischen Scheinwerferlinsen von 2,2 m Durchmesser; die *Optik* wird durch ein Uhrwerk auf einer auf Quecksilber schwimmenden Drehscheibe gedreht und zeigt alle 5 Sekunden einen Blitz von 0,2 Sekunden Dauer und 40 km Sichtweite. Das Auersche Gasglühlicht des Leuchtfeuers wird mit Pintschschem Preßgas gespeist. Das Blitzfeuer von Helgoland (Fig. 1223) besteht aus drei auf einer Drehscheibe kreisenden elektrischen Scheinwerfern mit Glasparabolspiegeln. Die meisten Leuchtfeuer verwenden, um die Lichtstrahlen parallel der Horizontalfläche ausstrahlen zu lassen, das *Fresnelsche Linsensystem*, bei dem eine kreisförmige Mittellinse von mehreren ringförmigen Gürtel- oder Zonenlinsen umgeben ist. Die Optik (Laterne mit Linsensystem) eines festen Feuers (*Festfeuer*, rings um den Horizont gleichmäßig leuchtend) besteht (Fig. 1224) aus einem linsenförmigen Gürtel, in dessen Innern im Brennpunkte der Ringlinse die Laterne mit elektrischer oder Fettgasglühlichtflamme brennt; über und unter dem Linsenkörper bewirken prismatische Ringe, daß jeder Lichtstrahl der Flamme horizontal austreten muß. In der heutigen Leuchtfeuertechnik werden meist kurz aufleuchtende und weit sichtbare *Blitzfeuer* hergestellt, deren Optik schnell drehbar ist *(Drehfeuer)*, um das Strahlenbündel des Leuchtfeuers dem Beobachter nur einen Augenblick

Fig. 1223. Leuchtturm von Helgoland mit elektrischem Drehfeuer (Blitzfeuer).

($^1/_{20}$ bis 2 Sekunden Lichtdauer gilt als *Blitz*, mehr als 2 Sekunden bei längerer Verdunkelung als *Blink)* zu zeigen und dann verschwinden zu lassen. Solches Strahlenbündel liefert die Optik von Fig. 1222. Dabei sind zwei solcher Linsensysteme senkrecht angeordnet (das zweite auf der Rückseite des auf Fig. 1222 sichtbaren), in der Mitte die Linse, umgeben von Prismenringen in schildförmiger Anordnung. Wenn solche Optik langsam gedreht wird, ergibt sie ein *Funkelfeuer*, d. h. ein Leuchtfeuer, das langsam bis zur größten Lichtstärke aufleuchtet und dann wieder schwächer wird. Statt der dioptrischen Linsensysteme verwendet man auch katoptrische Spiegel (meist parabolische Hohlspiegel). Durch Drehung der Spiegel um die Lampe kann man ebenfalls *Funkel-* und *Blinkfeuer* erzeugen. Zuweilen werden innerhalb des Linsensystems eines Festfeuers durch Uhrwerk auf und nieder klappende Blenden angebracht (Ottersche Blenden), wodurch man die *unterbrochenen Feuer*, abwechselnd hell und dunkel, erhält. Schaltet man statt der Blenden farbige (rote oder grüne) Glasscheiben ein, so erhält man *Wechselfeuer*, die in Zwischenräumen die Farbe wechseln. Der Bau der Leuchttürme, die häufig auf weit ins Meer vorgeschobenen Plätzen, auf Riffen, Triebsand usw., errichtet werden müssen, gestaltet sich oft sehr schwierig. Dies war z. B. der Fall bei dem Rotersandleuchtturm (Fig. 1225) vor der Wesermündung, ungefähr in der Mitte zwischen Bremerhaven und Helgoland.

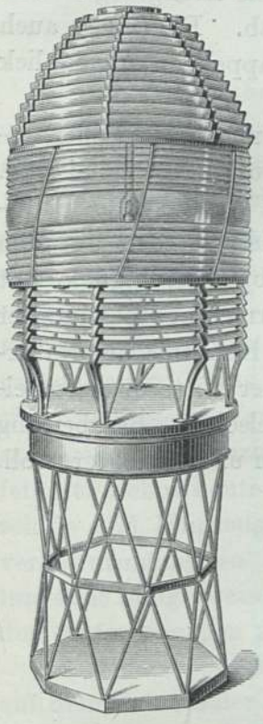


Fig. 1224. Optik eines Leuchtturms mit Festfeuer.

Leuchtbaken sind kleine Leuchttürme, mit Leuchtfeuern ausgerüstete Gestelle; *Leuchttonnen* sind Ersatz für Leuchtbaken an Stellen, wo der Bau von Baken zu schwierig ist. *Elektrische* Leuchttonnen werden durch Kabel von Land aus angezündet; *Fettgasleuchttonnen*, deren Schwimmkörper von 5—10 cbm Rauminhalt alle 1—5 Monate mit Fettgas gefüllt werden, brennen Tag und Nacht, erlöschen auch bei heftigem Seegang nicht. Im Laternengehäuse befinden sich Fresnelsche Linsen als Leuchtverstärker. Nach Bedarf wird das Leuchtfeuer durch einen Druckapparat in Zwischenräumen verdunkelt (unterbrochenes Feuer).

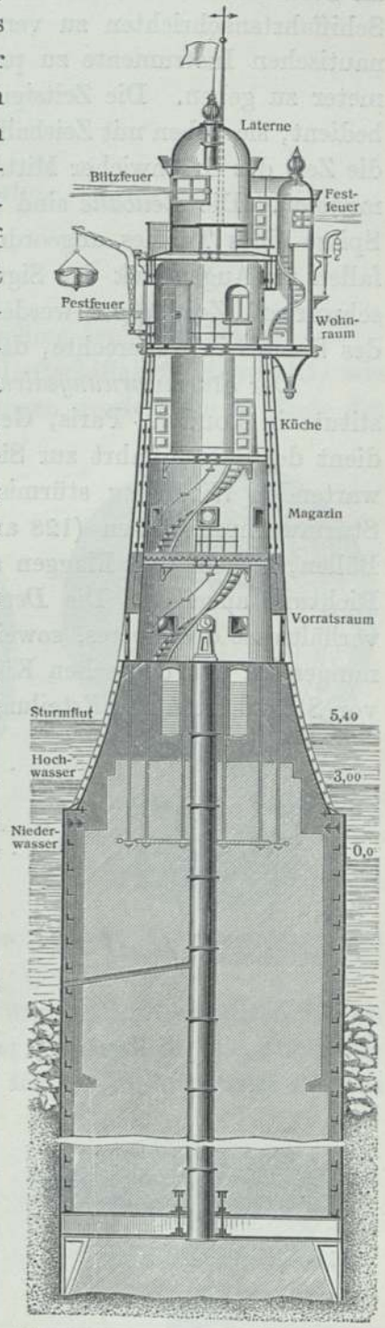


Fig. 1225. Leuchtturm auf Rotersand (Vertikalschnitt).

Feuerschiffe sind sehr kräftig gebaute Fahrzeuge, meist ohne Maschine, selten mit Hilfsmaschine, neuerdings auch ohne Takelung, nur mit turmähnlichem Mast, auf dem ein Fettgasleuchtfeuer mit Linsenapparat befestigt ist. Die Feuerschiffe werden vor Küstenbänken und in Flußmündungen als Seezeichen stark und dauernd verankert, sind meist mit Besatzung und Rettungsgerät versehen, auch als Signal- und Telegraphenstellen, Sturmwarnungs- und Eismeldestellen eingerichtet. Die meisten Feuerschiffe sind rot gestrichen, haben einen Signalmast mit roten Korbbällen als Tagmarke, und geben Nebelsignale mit Horn, Sirene oder Knallraketen; in den nordwesteuropäischen und amerikanischen Gewässern sind die wichtigsten Feuerschiffe mit Unterwassersignalglocken und Funkentelegraphie ausgerüstet.

Signalstellen zur Abgabe von Nebelsignalen mit Sirenen, durch Dampf oder Preßluft betrieben, ferner zur Warnung vor Sturm und Eisgang sind auf vielen Leuchttürmen, wie auch an Hafeneinfahrten usw. eingerichtet. Diese Stellen übernehmen häufig auch die Anmeldung ankommender Schiffe und die Beförderung von Depeschen durch Signale oder drahtlose Telegraphie an bestimmte Schiffe. In den Seehäfen befinden sich Einrichtungen aller Art, die Schiffe mit Schiffahrtsnachrichten zu versehen, ihre Seekarten und Seehandbücher zu berichtigen, ihre nautischen Instrumente zu prüfen, und ihnen *Zeitsignale* zur Berichtigung der Schiffschronometer zu geben. Die Zeitsignalstellen werden von Sternwarten oder nautischen Observatorien bedient; sie geben mit Zeitball oder Zeitklappen ein auf Zehntelsekunde genaues Zeitsignal, meist die Zeit des Greenwicher Mittags (in Deutschland 1 Uhr nachmittags, in Rußland 2 Uhr nachmittags). Die *Zeitbälle* sind leichte schwarze Ballonkörper, die an einem Fallgerüst auf der Spitze eines Turmes angeordnet sind. Kurz vor der Signalzeit werden sie hochgezogen und fallen im Augenblick des Signals, durch elektrischen Kontakt gelöst, herab. Die (meist auch schwarzen) *Zeitklappen* werden vor dem Signal senkrecht gestellt und klappen im Augenblick des Signals in wagerechte, daher unsichtbare Lage zurück.

Der *Sturmwarnungsdienst* der Deutschen Seewarte in Hamburg, der meteorologischen Institute in London, Paris, Genua, St. Petersburg, Madrid, Manila, Neuyork, Schanghai usw. dient der Seeschiffahrt zur Sicherung. Wenn nach der aus den täglichen Wetterkarten zu erwartenden Witterung stürmisches Wetter an der Küste vorauszusehen ist, werden auf den Sturmwarnungsstellen (128 an den deutschen Küsten) weithin sichtbare optische Signale mit Bällen, Kegeln und Flaggen aufgehißt, die das Herankommen eines Sturmes aus bestimmter Richtung anzeigen. Die *Deutsche Seewarte* ist ein Reichsinstitut, das die Kenntnis der Naturverhältnisse des Meeres, soweit sie für die Seeschiffahrt wichtig ist, und der Witterungserscheinungen an den deutschen Küsten fördern und durch Anleitungen für Segelschiffe, Bearbeitung von Stromkarten und Erteilung von Sturmwarnungen den Seeverkehr sichern und erleichtern soll.

Luftfahrt.

Von Diplom-Ingenieur **P. Reiniger**, Berlin.

Einleitung.

Das erste Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts ist für die Entwickelung der Luftfahrt von außerordentlicher Bedeutung gewesen. Sowohl auf dem Gebiete der Luftschiffahrt *(Aërostatik)* wie auf dem Gebiete des Flugwesens *(Aërodynamik)* sind Erfolge errungen worden, die zu Ende des 19. Jahrhunderts niemand für möglich gehalten hätte. Das Problem der statischen wie der dynamischen Luftfahrt muß, wenn man vom motorlosen menschlichen Kunstflug absieht, als gelöst gelten. Was noch übrigbleibt, sind technische Vervollkommnungen, an deren Durchführung nicht zu zweifeln ist. Schon heute besitzen wir Luftschiffe und Flugzeuge, die allen nach verhältnismäßig so kurzer Entwickelungszeit billigerweise an sie zu stellenden Anforderungen gewachsen sind.

Fig. 1226. Montgolfiers Luftballon, 1783.

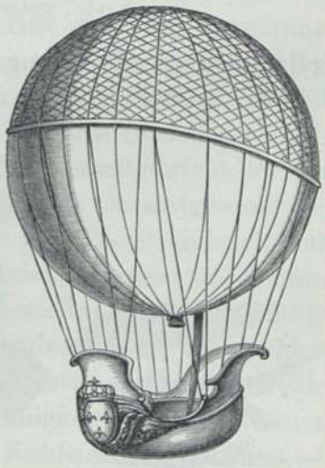


Fig. 1227. Ballon von Charles und Gebrüder Robert, 1783.

Der erste bedeutungsvolle Schritt auf dem Gebiete der Luftschiffahrt war die Erfindung des Luftballons durch die Gebrüder Montgolfier, die am 5. Juni 1783 einen größeren, mit warmer Luft gefüllten Ballon (*Montgolfiere*, Fig. 1226) öffentlich aufsteigen ließen. Wichtiger aber war noch für die Entwickelung der Luftschiffahrt die Erfindung des Physikers Charles, der für die Füllung eines Ballons anstatt der nur geringen Auftrieb besitzenden erwärmten Luft zum erstenmal Wasserstoff, das noch heute beste Füllgas, verwendete und gleichzeitig einen Ballon (*Charliere*, Fig. 1227) schuf, der bereits die Hauptorgane des modernen Freiballons, Ventil, Füllansatz, Netzhemd und Gondel, aufwies. — Der praktisch brauchbare Freiballon war erfunden; nun galt es, das neue Luftfahrzeug, das noch ein Spiel der Winde war, lenkbar zu machen. Die Haupterfordernisse hierfür erkannte bereits 1784 General Meusnier, der vorschlug, einem Ballon längliche Gestalt zu geben, zur Erhaltung der Prallform des Tragkörpers im Innern einen nach Maßgabe des Gasverlustes aufzublasenden Luftsack anzuordnen und durch von Menschenkraft anzutreibende Luftschrauben dem Fahrzeug die zur Steuerfähigkeit nötige Eigengeschwindigkeit zu verleihen.

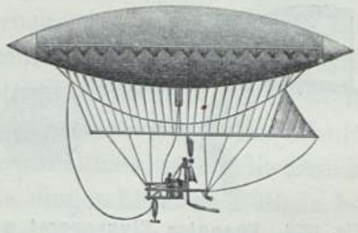


Fig. 1228. Giffards Luftschiff, 1852.

Fast ein Jahrhundert lang scheiterten jedoch alle praktischen Versuche an der Unmöglichkeit, einen genügend starken und dabei leichten Motor zu beschaffen. Wohl vermochte Giffard,

1852 mit seinem mit einer Dampfmaschine ausgerüsteten Luftschiff (Fig. 1228) Geschwindigkeiten bis zu 3 m in der Sekunde zu erreichen. Der Deutsche Hänlein, der eine durch das Ballonfüllgas gespeiste Gasmaschine verwendete (Fig. 1229), kam schon auf ca. 5 m in der Sekunde, eine Geschwindigkeit, die auch die Gebrüder Tissandier 1883 mit ihrem durch einen Elektromotor angetriebenen Luftschiff nicht zu übertreffen vermochten. Alle diese Luftfahrzeuge bewiesen bei ruhigem Wetter eine gewisse Lenkbarkeit, versagten aber schon bei geringen Windstärken; die Rückkehr zum Aufstiegsort vermochte keines zu vollbringen. Dies gelang erst 1884 den französischen Hauptleuten Renard und Krebs mit ihrem berühmten Luftschiff *La France* (Fig. 1230). Ein praktisch verwendbares Luftschiff war aber auch hiermit noch nicht geschaffen, da die erreichte Eigengeschwindigkeit von 6,2 m nur für geringe Windstärken ausreichte. Erst nachdem durch die Entwickelung der Automobilindustrie der Verbrennungsmotor bei geringem Gewicht auf hohe Leistungsfähigkeit gebracht war, konnte die Entwickelung der Luftschiffahrt weiter fortschreiten und führte zu den großen Erfolgen Zeppelins und Parsevals in Deutschland und Lebaudys in Frankreich, die wohl als allgemein bekannt gelten können.

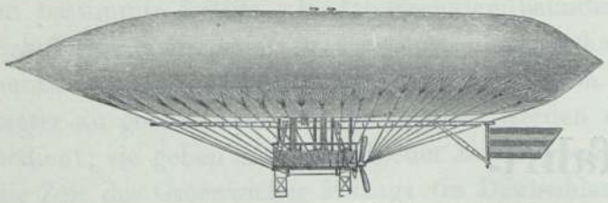


Fig. 1229. Hänleins Luftschiff, 1872.

Fig. 1230. Luftschiff „La France" von Renard und Krebs, 1884/85.

Während auf dem Gebiete der Luftschiffahrt das Ende des 18. Jahrhunderts mit der Erfindung des Luftballons den ersten großen Erfolg brachte, war es erst dem 20. Jahrhundert beschieden, den Beweis dafür zu erbringen, daß die Anhänger des Prinzips „schwerer als Luft" nicht die Narren seien, für die man sie bis dahin meist gehalten hatte. Der Grundstein aber, auf dem die moderne Flugtechnik sich aufbauen konnte, wurde bereits am Ende des 19. Jahrhunderts gelegt. Der Deutsche Otto Lilienthal, den man mit Recht den Vater des dynamischen Fluges nennt, stellte mit seinem *Gleitflugzeug*, das zunächst als Eindecker, später als Zweidecker ausgebildet war (Fig. 1231 und 1232), 1890—96 zahlreiche Versuche an, die ihn die wichtigsten Gesetze des dynamischen Fluges erkennen ließen. Sein Hauptverdienst liegt darin, daß er seine Erfahrungen nicht wie andere Flugtechniker geheimnisvoll für sich behielt, sondern sie in seinem Werke „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst" der Öffentlichkeit mitteilte und so seinen Nachfolgern die Grundlagen gab, auf denen sie weiter bauen konnten. Ein tragisches Geschick setzte dem Streben Lilienthals frühzeitig ein Ziel, da er 1896 bei einem Gleitflugversuch tödlich verunglückte. Seine Nachfolger Pilcher, Chanute (Fig. 1233), Herring, und nicht zuletzt die Gebrüder Wright, verdanken Lilienthal einen nicht geringen Teil ihrer Erfolge.

Fig. 1231. Lilienthals Flugapparat von vorn, 1896 (Landungsstellung).

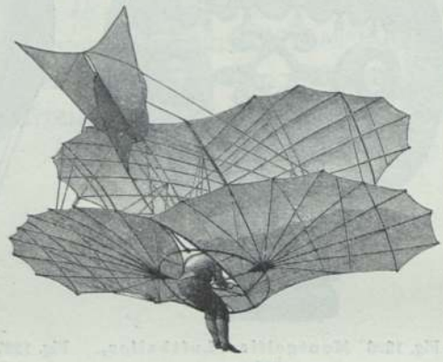


Fig. 1232. Lilienthals Flugapparat von hinten, 1896.

Fig. 1233. Chanutes Flugapparat mit zwei Flächen, 1898.

Von anderen Männern, die vorher und gleichzeitig auf anderem Wege demselben Ziele zustrebten und zur Aufklärung der vielen wichtigen Fragen der Flugtechnik beitrugen, sind zu

nennen die Engländer Henson, Wenham und Maxim, die Franzosen Pénaud, Tatin und Ader, der Österreicher Kreß, die Amerikaner Langley und Philipps und der deutsche Regierungsrat Hofmann.

A. Luftschiffahrt.

I. Grundbegriffe der Luftschiffahrt.

Auftrieb. Nach dem archimedischen Gesetz verliert ein in eine Flüssigkeit getauchter Körper so viel von seinem Gewicht, wie die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt. Dieses Gesetz gilt auch für die Gase. Auf jeden in der Luft befindlichen Körper wirken also zwei Kräfte, die Schwerkraft, gleich dem Gewicht des Körpers im luftleeren Raume, nach unten, und der Auftrieb, gleich dem Gewicht der verdrängten Luftmenge, nach oben. Sind diese beiden Kräfte gleich groß, so ruht der Körper gewichtslos auf seiner Unterlage; ist der Auftrieb größer als die Schwerkraft, so wird der Körper aufsteigen, und zwar so lange, bis beide Kräfte wieder gleich sind. — Eigengewicht und Luftgewicht sind also die beiden für den Auftrieb eines Ballons maßgebenden Faktoren. Je geringer das erstere und je größer das letztere, um so größer ist die Differenz, der „freie Auftrieb". Möglichst großes Volumen und möglichst geringes Gewicht sind die in erster Linie an einen Ballon zu stellenden Forderungen. Ein luftleerer Hohlkörper mit gewichtsloser Hülle würde diesen Bedingungen am besten entsprechen. Jedoch läßt sich das sogenannte *Vakuumluftschiff* nicht ausführen, denn der Luftdruck beträgt auf 1 qcm Fläche rund 1 kg. Auf 1 qm Hüllenoberfläche würde also eine Belastung von 10 000 kg kommen. Ein Kugelballon von 1200 cbm Inhalt z. B. hat nun eine Oberfläche von ca. 547 qm. Auf diese Oberfläche würde also ein Druck von 5470000 kg wirken. 1 cbm Luft wiegt ca. 1,3 kg; das Gesamtgewicht der von dem Kugelballon verdrängten Luft beträgt mithin $1200 \times 1{,}3 = 1560$ kg. Das Gesamtgewicht des Ballons muß also, damit er schwebefähig bleibt, kleiner sein als 1560 kg. Es ist einleuchtend, daß bei so geringem zulässigen Gewicht sich eine Versteifungskonstruktion, die dem ungeheuren Druck von 5470000 kg standhält, nicht herstellen läßt. — Die Versteifung der Ballonhülle gegen den äußeren Luftdruck läßt sich praktisch nur durch den Gegendruck eines eingeschlossenen leichten Füllgases erzielen, wofür *Wasserstoff* und *Leuchtgas* in erster Linie in Betracht kommen, ersteres wegen seiner Leichtigkeit, letzteres wegen seiner Billigkeit. 1 cbm Wasserstoff wiegt ca. 0,09 kg; Leuchtgas je nach dem Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen 0,4—0,6 kg. In der praktischen Luftschiffahrt rechnet man bei Wasserstoff mit einem Auftrieb von 1,1 kg pro cbm, bei Leuchtgas mit 0,7 kg auf 1 cbm.

Die Größe des Auftriebes eines Ballons hängt außer vom Verdrängungsvolumen und vom Eigengewicht noch von mehreren anderen Faktoren ab. Luftdruck und Lufttemperatur beeinflussen das Gewicht der verdrängten Luft, Gastemperatur und Diffusion das Gewicht des Füllgases. Nach dem Gesetz von Boyle-Mariotte ist die Dichte eines Gases, mithin das spezifische Gewicht, proportional dem Druck; das Volumen des Gases dem Druck umgekehrt proportional. Steigt also ein Ballon von einer Stelle, wo ein Luftdruck von 760 mm herrscht, auf bis zu einer Höhe, wo der Luftdruck nur noch $^3/_4$ dieser Größe, also 570 mm, beträgt, so ist auch das Gewicht der verdrängten Luft, mithin der Auftrieb, um $^1/_4$ vermindert. Mit der Abnahme des äußeren Luftdruckes muß nun aber auch der Druck des Füllgases in gleicher Weise abnehmen, wobei die Druckabnahme eine Volumenvergrößerung zur Folge hat. Erfordert das eingeschlossene Füllgas bei 760 mm Barometerstand einen Raum von V cbm, so erfordert es bei 570 mm einen Raum von $V . {}^{760}/_{570} = {}^4/_3 V$. Da das Innere der Ballonhülle, pralle Anfangsfüllung vorausgesetzt, nur für V cbm Raum gewährt, muß $^1/_4$ der Füllgasmenge ins Freie strömen, d. h. das Gasgewicht verringert sich um $^1/_4$, wodurch wieder ein Auftriebszuwachs entsteht. Da aber das Gewicht von 1 cbm Wasserstoff nur rund $^1/_{14}$ des Gewichtes von 1 cbm Luft beträgt, so fällt dieser Auftriebszuwachs infolge Abnahme des Gasgewichtes gegenüber der Auftriebsabnahme infolge Verringerung des Gewichtes der verdrängten Luft kaum ins Gewicht. Ein aufsteigender Ballon verliert also

allein infolge der Abnahme des Luftdruckes stets an Auftrieb. Der Ballon wird so lange steigen, bis Auftrieb und Schwerkraft gleich groß sind, d. h. bis der „freie Auftrieb" gleich Null ist und der Ballon sich im statischen Gleichgewicht befindet. Die Höhenlage, in der dies eintritt, ist die maximale Steighöhe.

Einen weiteren Einfluß auf den Auftrieb üben Lufttemperatur und Gastemperatur aus. Jedes Gas dehnt sich bei einer Temperaturerhöhung von 1° C um $^1/_{273}$ oder um rund 0,37 Proz. seines Volumens aus. Mit zunehmender Temperatur verringert sich also die Dichte, mithin das spezifische Gewicht von Luft und Füllgas. Da der Einfluß der Gewichtsverringerung der Luft stärker ist als der der Gewichtsverringerung des Füllgases, so nimmt mit zunehmender Lufttemperatur der Auftrieb stets ab. Die Gastemperatur wird außer durch die Lufttemperatur noch durch die Strahlwärme der Sonne beeinflußt, welche die Ballonhülle und durch diese das Füllgas erwärmt und somit eine Auftriebssteigerung bewirkt. Tritt der Ballon in Wolkenschatten, so hört der Einfluß der Strahlwärme plötzlich auf, der Auftrieb sinkt schnell und der Ballon fällt. — Schließlich ist noch der Einfluß der *Diffusion* zu erwähnen. Durch die Poren der Hülle, die vollkommen gasdicht nicht hergestellt werden kann, dringt allmählich Füllgas nach außen und atmosphärische Luft nach innen. Hierdurch wird das spezifische Gewicht des Füllgases allmählich vergrößert und der Auftrieb entsprechend verringert.

Vortrieb. Durch Vergrößerung und Verringerung des Auftriebes, durch Ballastausgabe und Gasauslaß, ist jeder Ballon in vertikaler Richtung lenkbar. Soll er jedoch imstande sein, unabhängig vom Winde eine bestimmte horizontale Flugrichtung einzuschlagen, so muß ihm eine Eigengeschwindigkeit verliehen werden durch Schaffung einer Vortriebskraft. Hierdurch wird der Freiballon zum *Luftschiff*. Jedes Luftschiff, das gegenüber der umgebenden Luftmasse eine Eigengeschwindigkeit besitzt, erfährt stets einen der Vortriebskraft entgegengerichteten Luftwiderstand. Dieser Luftwiderstand setzt sich zusammen aus zwei Einzelwiderständen, dem *Form-* oder *Stirnwiderstand* und dem *Reibungswiderstand*. Ersterer ist abhängig von der Form des Luftschiffes, letzterer von der Größe der luftberührten Oberfläche. Der Luftwiderstand wächst erfahrungsgemäß mit dem Quadrat der Geschwindigkeit und im einfachen Verhältnis mit dem Querschnitt. Um letzteren zu verringern, wählt man möglichst langgestreckte Tragkörper, jedoch ist dieses Bestreben nur innerhalb gewisser Grenzen berechtigt. Ein langgestreckter Tragkörper hat bei gleichem Inhalt eine erheblich größere Oberfläche als ein kurzer, gedrungener, und somit einen erheblich größeren Reibungswiderstand. Das günstigste Streckungsverhältnis für einen bestimmten Inhalt liegt erfahrungsgemäß zwischen den Werten 1 : 6 und 1 : 8. Als günstigste Form hat sich die sogenannte *Fischform* erwiesen, bei welcher der größte Durchmesser vor der Mitte liegt, so daß das Vorderende gedrungener, das Hinterende schlanker ist. Wegen der Schwierigkeit der Beschaffung einer genügend großen Vortriebskraft stand die Entwickelung der Luftschiffahrt nach Erfindung des Luftballons ein Jahrhundert hindurch fast still. Um diese Schwierigkeit zu verstehen, muß man beachten, daß die erforderliche Motorleistung annähernd mit der dritten Potenz der Eigengeschwindigkeit fortschreitet. Wenn ein Luftschiff z. B. für eine Geschwindigkeit von 5 m in der Sekunde einen Motor von 10 PS braucht, dann benötigt es für 15 m pro Sekunde, d. h. für eine Geschwindigkeit, die für eine einigermaßen ausreichende Verwendbarkeit unbedingt erforderlich ist, einen Motor von $10 \times 3^3 = 270$ PS. Erst nachdem im Benzinmotor eine Antriebskraft von genügender Stärke und Leichtigkeit gefunden war, konnte sich die Luftschiffahrt weiter entwickeln.

Steuerung. Für ein Luftschiff, das eine genügende Eigengeschwindigkeit besitzt, bietet die Steuerung kaum Schwierigkeiten. Die Seitensteuerung erfolgt wie beim Wasserschiff durch ein um eine vertikale Achse drehbares, in der Regel am Heck angebrachtes Steuerruder. Für die Höhensteuerung stehen zunächst dieselben Mittel zur Verfügung wie bei jedem Freiballon, d. h. Ballastausgabe und Gasauslaß. Diese Mittel können bei einem Luftschiff nur in Ausnahmefällen angewendet werden, da dasselbe nicht wie ein Freiballon nach jeder Fahrt entleert wird, sondern seine teure Wasserstoffüllung möglichst lange erhalten muß. Man erzielt daher bei Luftschiffen

die Höhensteuerung auf dynamischem Wege, mittels besonderer *Höhensteuer*, bestehend aus Flächen, die um horizontale Querachsen drehbar sind. Befinden sich diese Flächen in geneigter Stellung, so erzeugt der Luftwiderstand, wenn die Vorderkante der Fläche höher steht als die Hinterkante, eine aufwärts gerichtete, im umgekehrten Fall eine abwärts gerichtete Kraft. Es ist daher möglich, mit derartigen Höhensteuern ein Luftschiff dauernd in einer Höhenlage zu halten, in der es statisch nicht im Gleichgewicht ist, d. h. in der das Gewicht der verdrängten Luft eine andere Größe besitzt als das Gesamtgewicht des Luftschiffes. Anstatt besondere Höhensteuerflächen anzuwenden, kann man auch den Tragkörper selbst durch Gewichtsverschiebung schräg stellen.

Für die Erhaltung der Steuerfähigkeit eines Luftschiffes ist es nötig, daß der Tragkörper stets seine Form behält. Nach den Mitteln, die hierfür zur Anwendung kommen, unterscheidet man Ballonetluftschiffe *(Prallschiffe)* und ballonetlose Luftschiffe *(Starrschiffe)*. Bei ersteren sind im Innern des unstarren Tragkörpers Luftsäcke *(Ballonets)* angeordnet, die nach Maßgabe des eintretenden Gasverlustes mit einem geringen Überdruck aufgeblasen werden und so die Prallform erhalten; bei letzteren ist der Tragkörper als starres stoffüberzogenes Gerüst ausgebildet, in dessen Innern die eigentlichen Gasbehälter liegen, so daß Gasverluste die Außenform nicht verändern.

Stabilität. Unter Stabilität eines Luftschiffes versteht man das Verhalten gegenüber Einflüssen, die bestrebt sind, Drehungen um die drei Raumachsen des Fahrzeuges herbeizuführen. Den Neigungen um die horizontale Querachse wirkt die Längsstabilität, denen um die horizontale Längsachse die Quer- oder Seitenstabilität entgegen. Eine Stabilität im weiteren Sinne ist die Stabilität des Kurses, die den Drehungen um die vertikale Mittelachse entgegenwirkt. Die Längsstabilität wird hauptsächlich beeinflußt durch Ungleichheiten im Widerstand infolge böigen Windes, durch ungleiches Arbeiten der Antriebsorgane, durch ungleiche Gasverluste in den einzelnen Zellen oder durch sonstige Gewichtsverschiebungen in der Längsrichtung. Den hierdurch entstehenden Schwankungen (Stampfbewegungen) begegnet man durch Anordnung fester horizontaler *Dämpfungsflächen*. Die Bewegungen um die horizontale Längsachse (Schlingerbewegungen), denen die Querstabilität entgegenwirkt, sind infolge der geringen Breitenausdehnung der Luftschiffe meist erheblich geringer als die Stampfbewegungen; man dämpft sie durch vertikale Starrflächen, sogenannte *Kielflächen*, die gleichzeitig die Stabilität des Kurses unterstützen. Sämtliche Dämpfungs- und Kielflächen müssen möglichst weit von den betreffenden Drehachsen liegen.

II. Ballone ohne Motor.

1. Der Freiballon.

Für den Freiballon, der eine Eigengeschwindigkeit nicht besitzt, mithin auch keinen Luftwiderstand bei seiner Horizontalbewegung erfährt, sondern vom Winde getragen wird, kommt es in der Hauptsache auf günstige Auftriebsverhältnisse an, d. h. der Ballon muß bei geringem Gewicht möglichst großes Volumen haben. Die diesen Forderungen am besten Rechnung tragende und beim motorlosen Freiballon wohl ausschließlich angewendete Kugelform ergibt bei geringster Oberfläche und somit geringstem Hüllengewicht den größten Inhalt, die größte Luftverdrängung und somit den größten Auftrieb.

Der moderne Freiballon (vgl. Schema, Fig. 1234) besteht aus folgenden Hauptteilen: Hülle (mit Ventil, Reißbahn, Füllansatz), Netz (mit Auslaufleinen), Korbring, Korb (mit Ausrüstung) und Schleppseil.

Die **Hülle** (Fig. 1234) besteht meist aus gummiertem Baumwollenstoff. Auch Seidenstoffe, durch Firnisanstrich gedichtet, finden vielfach Verwendung. Das leichteste, freilich auch teuerste und in der Behandlung schwierigste Material ist die aus Tierdärmen hergestellte Goldschlägerhaut. Zur Herstellung der Kugelform wird der Hüllenstoff zu einzelnen, nach den Enden zu sich verjüngenden Bahnen zugeschnitten, die miteinander vernäht werden. — Am tiefsten Punkt der kugelförmigen *Hülle* 1 ist der schlauchartige *Füllansatz* 3 angeschlossen, durch den das Traggas

in den Ballon eingelassen wird. Der Füllansatz dient gleichzeitig als Sicherheitsvorrichtung, da durch ihn beim Aufsteigen des Ballons das sich ausdehnende und daher größeren Raum beanspruchende Gas zum Teil entweicht. Der Füllansatz ist daher ganz offen oder nur durch ein sogenanntes *Scherenventil* geschlossen, welches das Traggas zwar ungehindert abströmen läßt, ein Eindringen von Luft jedoch, das bei schnellem Fall eintreten könnte, verhindert. — Am höchsten Punkt der Kugel ist das *Ballonventil* 2 angeordnet, das, durch Leinenzug von Hand geöffnet, ein allmähliches Ausströmen des Traggases und somit ein Senken des Ballons ermöglicht. Die gebräuchlichsten Ventilkonstruktionen sind das *Tellerventil* und das *Doppelklappenventil*. Die *Ventilleine* 9 führt durch den Ballon und den Füllansatz hindurch zur Gondel. — Ein weiteres, überaus wichtiges, an der Hülle angeordnetes Organ ist die *Reißbahn* 4. Diese von dem späteren Kommandeur des Preußischen Luftschifferbataillons, Major Groß, eingeführte Vorrichtung dient als Ersatz für den früher allgemein verwendeten, dem Schiffsanker nachgebildeten Ballonanker. Der moderne Freiballon ist mit einem Anker in der Regel nicht mehr ausgerüstet, da die Reißbahn das Landen des Ballons an bestimmter Stelle viel sicherer und zuverlässiger ermöglicht als der Anker. Die Reißbahn ist ein Stoffstreifen, der von innen über einen im Oberteil der Ballonhülle vorgesehenen, ca. ⅓ m breiten und mehrere Meter langen Schlitz geklebt ist. Dieser Stoffstreifen wird bei der Landung durch die an ihm befestigte, durch das Innere des Ballons in die Gondel geführte *Reißleine* 10 abgezogen, so daß das Füllgas schnell entweicht und der Ballon bald zum Stillstand kommt, wodurch die bei starkem Wind so gefährlichen Schleiffahrten in der Regel vermieden werden.

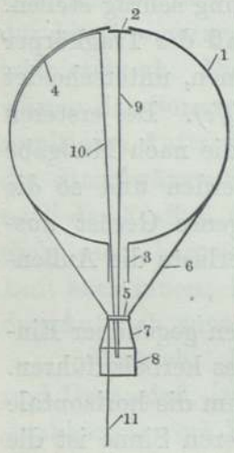


Fig. 1234. Schema eines Kugelballons.

Das **Netz** hat den Zweck, das Gewicht des Korbes mit Inhalt so auf den Tragkörper zu verteilen, daß Zugbeanspruchungen der Hülle vermieden werden. Oben ist das Netz am Ventil angeschnallt; der untere Teil läuft in sogenannte *Gänsefüße* aus, von denen aus die *Auslaufleinen* 6 sich bis zu einem mehrere Meter unterhalb des Tragkörpers angebrachten Ring, dem *Korbring* 5, erstrecken, an dem sie angeknebelt sind.

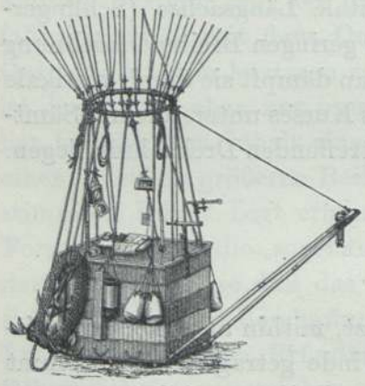


Fig. 1235. Korb des Ballons mit Ausrüstung.

Der **Korb** (8), früher *Gondel* genannt, ist aus Weidengeflecht hergestellt und mittels starker, miteingeflochtener Leinen 7 am Korbring aufgehängt. Er dient zur Aufnahme der Passagiere, des Ballastes und der Instrumente.

Was die **Korbausrüstung** (Fig. 1235) anbetrifft, so sind neben dem Ballast, der in der Regel in Form von trockenem Sand in kleineren Säcken mitgeführt wird, die Navigationsinstrumente (Kompaß, Barometer, Barograph, Statoskop usw.) das Wichtigste. Außerdem gehören zur Ausrüstung natürlich noch Proviant und die Verpackungsplane usw. für den Rücktransport des Ballons.

Ein wichtiger Teil der Ballonausrüstung ist schließlich noch das **Schleppseil** (11 in Fig. 1234). Dieses ist ein 60—100 m langes Tau und dient einmal als Fühler, um bei Fahrten in niedriger Höhenlage den Abstand des Ballons vom Erdboden anzuzeigen, und zweitens bei der Landung als Bremsvorrichtung, da es sich dann auf den Boden legt, den Ballon entlastet und somit die Fallgeschwindigkeit vermindert.

2. Der Fesselballon.

Der Fesselballon dient vornehmlich militärischen Beobachtungszwecken. Der an ein Kabel gefesselte gewöhnliche Kugelballon ist hierfür nur wenig verwendbar, da er vom Winde, dem er einen Widerstand bietet, ständig hin und her geschleudert und in Drehung versetzt wird, was die Beobachtung für die Insassen sehr erschwert. Die Verwendung des Kugelfesselballons ist

daher auf ganz geringe Windstärken beschränkt. Dieser Übelstand führte zur Konstruktion des *Parseval-Sigsfeldschen Drachenballons* (Fig. 1236 u. 1237). Es ist dies ein länglicher Ballon, der infolge eigenartiger Fesselung und besonderer Vorrichtungen sich stets in gleicher drachenartiger Schrägstellung gegen den Wind einstellt. Der zylinderförmige Tragkörper ist am hinteren Ende durch eine bei Schrägstellung des Ballons horizontal liegende Trennungswand 6 in zwei Räume eingeteilt, von denen der vordere größere den Gasraum 1 (Fig. 1236), der hintere kleinere ein Luftballonet 2 bildet; das letztere füllt sich durch eine ständig gegen den Wind gerichtete, mit Rückschlagklappe versehene Öffnung 7 selbsttätig mit Luft und erhält so die Ballonform stets prall. Um den Ballon stabil zu machen, d. h. um ihm stets eine gleiche, gegen den Wind gerichtete Stellung zu sichern, ist am hinteren Teil ein raupenförmiger, nach vorn zu offener Steuersack 3 angeordnet. Durch die mit Rückschlagklappen versehene Öffnung 8 dringt stets Luft in den Steuersack, die hinten aus einer kleineren schlauchartigen Öffnung 10 wieder entweicht. Zur weiteren Dämpfung der Bewegungen ist noch eine Art Drachenschwanz vorgesehen, bestehend aus einer Leine mit einer Anzahl aufgereihter, aus Stoff hergestellter und mit der offenen Grundfläche dem Wind zugekehrter Hohlkegelstümpfe. Um die durch diese Vorrichtungen entstehende Belastung auszugleichen, sind seitlich an der Tragkörperhülle Segel vorgesehen, die drachenartig wirken und durch den gegenströmenden Wind einen Auftrieb erzeugen. Wenn der Drachenballon aufsteigt oder durch Sonnenstrahlen erwärmt wird, dehnt das Traggas sich aus und drückt die Luft aus dem Ballon heraus, und zwar durch ein besonderes Ventil 9 in den Steuersack. Damit nun bei weiterer Ausdehnung des Gases ein Platzen des Ballons vermieden wird, ist das an der Vorderseite des Ballons sitzende Gasventil 4 durch eine Zugleine 5 mit der Ballonetwand 6 verbunden. Sobald die Luft aus dem Ballonet bis zu einem gewissen Grade herausgedrückt ist, wird die Zugleine stramm; bei weiterem Zusammenpressen des Ballonets wird das Gasventil geöffnet und läßt das überschüssige Gas entweichen. Wird das Gasvolumen beim Herabholen des Ballons oder durch Eintritt desselben in Wolkenschatten geringer, so wird das Ballonet vom Gegenwind wieder aufgebläht, die zum Ventil führende Zugleine wird schlaff, und das Ventil schließt sich. Durch eine eigenartige, im Bereich der vorderen zwei Drittel des Ballons angreifende, von der Korbaufhängung völlig unabhängige Fesselung wird der Ballon ständig in einer Schräglage von ca. 30—40° zur Horizontalen gehalten. Der Drachenballon besitzt kein Netz, sondern nur einen starken, mit der Hülle vernähten und verklebten längslaufenden Gurt, an dem die zur Fesselung und zur Korbaufhängung dienenden Leinen befestigt sind. Um für den Fall eines Bruches des Fesselkabels dem Ballon eine glatte Landung als Freiballon zu ermöglichen, ist auch eine Reißbahn vorgesehen.

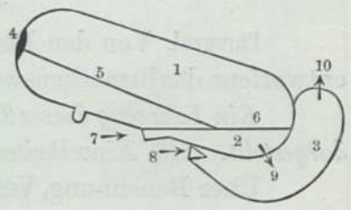


Fig. 1236. Schema der Drachenballonkonstruktion (1 Gasraum, 2 Luftballonet, 3 Steuersack, 4 Gasventil, 5 Leine vom Gasventil zur Ballonetwand, 6 Ballonetwand, 7 Einströmöffnung zum Ballonet, 8 Einströmöffnung zum Steuersack, 9 Durchtrittsöffnung für die Luft vom Ballonet zum Steuersack, 10 Austrittsöffnung für die Luft aus dem Steuersack).

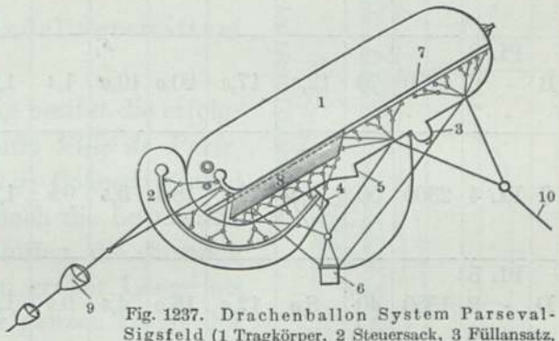


Fig. 1237. Drachenballon System Parseval-Sigsfeld (1 Tragkörper, 2 Steuersack, 3 Füllansatz, 4 Steuersackmaul, 5 Ballonetmaul, 6 Korb, 7 Ballongurt, 8 Segel, 9 Schwanz mit Windfang, 10 Haltekabel).

III. Ballone mit Motor (Luftschiffe).

1. Einteilung der Luftschiffe.

Die heute übliche Einteilung der Luftschiffe beruht, wie bereits erwähnt, auf den zur Erhaltung der Form des Tragkörpers angewendeten Mitteln. Man unterscheidet daher *Luftschiffe mit Ballonet* oder *Prallschiffe*, und *Luftschiffe ohne Ballonet* oder *Starrschiffe*. Die erste Gruppe läßt sich wieder unterteilen in *unstarre* Luftschiffe, das sind solche, deren Tragkörper keinerlei

Versteifungsträger besitzt, und *halbstarre*, d. h. solche, bei denen ein Teil des Tragkörpers als starres Gerüst ausgebildet ist. Einen Mitteltyp zwischen den unstarren und den halbstarren Luftschiffen bilden diejenigen, bei denen die Gondel als lang durchlaufender Versteifungsträger ausgebildet ist. Da jedoch auch hier der Tragkörper an sich unstarr ist und mit dem Versteifungsorgan nur in loser Verbindung steht, ist dieser Typ bei den unstarren Luftschiffen besprochen.

2. Luftschiffe mit Ballonet (Prallschiffe).

a) Unstarre Luftschiffe.

1. Gänzlich unstarre Luftschiffe.

Parseval. Von den Luftschiffen unstarrer Bauart ist das vom bayrischen Major von Parseval entworfene das bemerkenswerteste. Es ist geschaffen nach dem Grundsatz: „so unstarr wie möglich".

Ein Fahrzeug dieses Typs, der Parseval II der deutschen Militärverwaltung, ist im Klappmodell dargestellt. Alle Einzelheiten sind aus diesem Modell und der zugehörigen Beschreibung zu ersehen.

Über Benennung, Verwendung und Abmessungen der bisher erbauten Parseval-Luftschiffe gibt nachstehende Tabelle Aufschluß, die einem Prospekt der Luftfahrzeug-Gesellschaft m. b. H., Berlin, entnommen ist, welche die Lizenz für das Parseval-System erworben hat.

Typ	Bezeichnung des Luftschiffs	Raum-inhalt	Länge	Größt. Durch-messer	Größte Breite inkl. Dämpfungs-flächen	Gesamt-höhe	Gondelmaße			Motoren	Gewichte		Eigen-geschwin-digkeit	Fahrt-dauer	Steig-höhe	Besatzung und Passagiere	Bedienungs-personal erforderlich
							Länge	Breite	Höhe		Hülle mit kompl. Takelage	Gondel komplett mit Motor				total	
		ca. cbm	ca. m	ca. m	ca. m	ca. m	m	m	m		ca. kg	ca. kg	m pro sec.	Stunden	m		
A	PL 1 - 2	4000	60	10,4	16,0	17,3	6,0	1,3	1,2	1 Motor ca. 100 PS oder 2 Motoren von je 50 PS	1350	1480	13-14	15	2000	6	3
B	PL 3 - 6 - 7	6700	70	12,3	17,8	20,0	10,0	1,4	1,2	2 Motoren von je 110 PS	2220	3140	14-15	20 und mehr	2500	12-16	3 od. 4
C	PL 4	2300	50	8,6	12,6	18,0	5,5	0,8	1,1	1 Motor ca. 85 PS oder 2 Motoren von je 45 PS	940	800	12,5	8	1000	4 od. 5	2 od. 3
D	PL 5 - 9 - 10	1350	40	8,0	12,0	16,0	4,5	0,9	1,0	2 Motoren von je 33 PS	550	480	12	5	1000	3 od. 4	1 od. 2
E	PL 1	3200	60	9,4	15,0	16,6	7,0	1,3	1,3	1 Motor ca. 80 PS oder 2 Motoren von je 40 PS	1300	1400	12-13	10	1500	6-8	2 od. 3
F	—	1600	45	8,2	12,5	17,0	5,5	1,0	1,0	2 Motoren von je 33 PS	—	—	12	6	1000	4	1 od. 2
G	PL 8 - 11	5600	68	11,0	17,0	19,0	10,2	1,35	1,2	2 Motoren von je 150 PS	1600	1800	16-17	20 u. mehr	2000	7-12	4

Die Hauptvorzüge des Parseval-Luftschiffes sind Leichtigkeit, Billigkeit und die für die militärische Verwendung besonders wertvolle gute Transportfähigkeit. Da die Gondel kurz und überdies zerlegbar ist und sonstige starre und sperrige Teile vollkommen fehlen, läßt sich ein Parseval-Luftschiff größten Typs bequem auf zwei Lastwagen transportieren. Die Leichtigkeit bringt großen Auftrieb mit sich und ermöglicht so gegenüber gleichgroßen Fahrzeugen halbstarren und starren Typs den Einbau stärkerer Motoren und die Mitführung größerer Mengen Betriebsmaterial, wodurch sich wiederum Geschwindigkeit und Aktionsradius erhöhen. Auch ist die

Landung gefahrloser als z. B. bei einem Fahrzeug starren Systems, da bei starkem Sturm, wo die Verankerung eines Luftschiffes in gefülltem Zustand große Schwierigkeit bereitet (wie die Unfälle der Zeppelin-Luftschiffe und des französischen Ballons *La Patrie* beweisen), der Tragkörper des *Parseval* entleert werden kann, so daß dem Winde die Angriffsfläche entzogen wird. — Diesen Vorzügen stehen nur einige weniger schwerwiegende Nachteile gegenüber, und zwar zunächst der allen unstarren Fahrzeugen eigene, daß im Falle zu großen Gasverlustes, zu dessen Ausgleich die Ballonets nicht mehr ausreichen, der Tragkörper seine Form und das Luftschiff seine Steuerfähigkeit verliert. Des weiteren wirkt die Höhensteuerung langsamer als bei Fahrzeugen mit außen angebrachten Höhensteuern, da das Füllen und Entleeren der Ballonets natürlich langsamer geht als das Einstellen von Höhensteuern. Die Nachteile fallen jedoch den Vorzügen gegenüber wenig ins Gewicht, und der Parsevaltyp dürfte unter den Luftschiffen hinsichtlich seiner praktischen Verwendbarkeit heute an erster Stelle stehen. Dies beweist schon die verhältnismäßig große Zahl der bisher erbauten und im Betrieb stehenden Fahrzeuge.

Siemens-Schuckert. Ein in seiner Konstruktion dem Parsevalschen Typ ähnliches, jedoch in erheblich größeren Abmessungen gehaltenes Ballonetluftschiff (Fig. 1238) ist in Berlin bei den Siemens-Schuckert-Werken fertiggestellt und hat wohlgelungene Fahrten ausgeführt. Das Fahrzeug besitzt drei an Stoffbahnen aufgehängte Gondeln, von denen zwei die Maschinenanlage aufnehmen. Das Luftschiff hat einen Tragkörper von 118 m Länge, 13,2 m größtem Durchmesser und einem Inhalt von 13000 cbm. Der Körper wird durch drei hintereinander liegende Ballonets in Prallform erhalten.

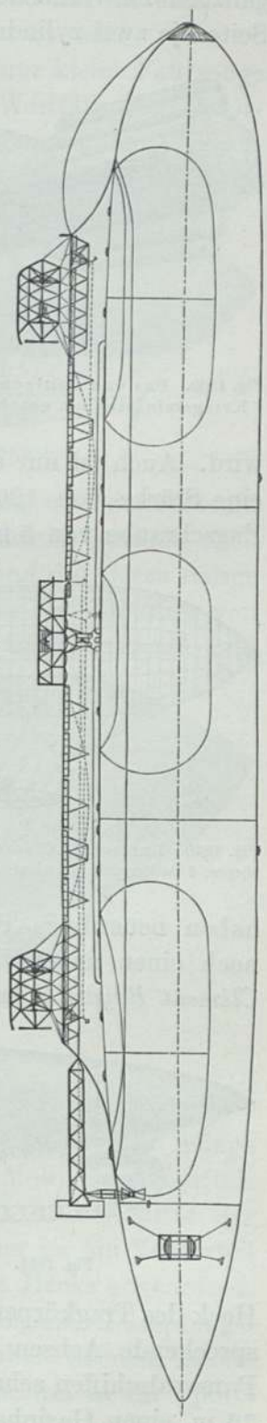


Fig. 1238. Siemens-Schuckert-Luftschiff (Längsschnitt).

2. Luftschiffe mit unstarrem, durch lange Gondel versteiftem Tragkörper (La France-Typ).

Frankreich. Die französische Militärverwaltung besitzt die erfolgreichsten Fahrzeuge dieser Art, nämlich die Luftschiffe *Ville de Paris*, *Clement Bayard I*, *Ville de Bordeaux*, *Ville de Nancy*, *Colonel Renard* und *Adjudant Réau*. In Privatbesitz befinden sich noch die Luftschiffe *Ville de Pau* und *Ville de Lucerne*. Bei diesen Luftschiffen, die sämtlich in den Astra-Werken erbaut sind, ist die Gondel in großer Länge als Träger ausgebildet und durch Tragseile fast mit der ganzen Länge des Tragkörpers verbunden, so daß diesem hierdurch eine gewisse Steifigkeit verliehen wird.

Das älteste der zurzeit noch vorhandenen Luftschiffe dieses Typs ist *Ville de Paris* (Fig. 1239). Dieses Luftschiff hat eine Länge von 61,5 m und einen größten Durchmesser von 10,5 m. Der zigarrenförmige Tragkörper hat einen Inhalt von 3200 cbm und wird durch ein Ballonet von 500 cbm Inhalt prall erhalten. Dieses Ballonet ist insofern eigenartig ausgebildet, als es durch Zwischenwände, die mit Öffnungen versehen sind, in einzelne Abteilungen unterteilt ist; diese Zwischenwände dienen dazu, das Hin- und Herfluten der Luftmassen im Ballonet und hierdurch eintretende plötzliche Schwerpunktsverschiebungen zu verhindern. Die Gondel hat eine Länge von etwa 32 m und hängt 5 m unterhalb des Tragkörpers, mit dem sie durch zwei an verschiedenen Gurten angreifende Systeme von Tragseilen verbunden ist. Die vorn an der Gondel angeordnete Zugschraube hat einen Durchmesser von 6,5 m, eine Steigung von 8 m und wird von dem 70 PS leistenden Motor unter Zwischenschaltung eines Übersetzungsgetriebes mit

ca. 200 Umdrehungen pro Minute angetrieben. Durch eine besondere Vorrichtung kann die Schraube, um beim Landen nicht beschädigt zu werden, horizontal gestellt werden. An der Gondel sitzen ferner vorn und hinten beiderseitig kastenartige Höhensteuer. — Der eigenartigste Teil bei diesem Luftschiff sind die Dämpfungsorgane. Um nämlich starre Teile am Tragkörper gänzlich zu vermeiden, sind hierfür am Hinterende des Fahrzeuges oben, unten und zu beiden Seiten je zwei zylindrische Hohlkörper vorgesehen, die mit dem Gasraum des Tragkörpers in Verbindung stehen und gleichzeitig mit diesem gefüllt und entleert werden. Diese zylindrischen Wülste geben dem Luftschiff ein unschönes Aussehen. Die *Ville de Paris* hat eine große Zahl erfolgreicher Fahrten ausgeführt und dabei eine Eigengeschwindigkeit von 14 m pro Sekunde erreicht. — Der *Clément Bayard I* (Fig. 1240) unterscheidet sich von der *Ville de Paris* im wesentlichen nur durch die Form der Dämpfungskörper, die kegelförmig ausgebildet sind, wodurch ein etwas eleganteres Aussehen erzielt wird. Auch ist nur ein mehr nach vorn verlegtes Höhensteuerpaar vorhanden. Der Motor hat eine Stärke von 120 PS und treibt unter Zwischenschaltung eines Übersetzungsgetriebes die Zugschraube von 5 m Durchmesser mit etwa 200 Umdrehungen pro Minute. Die Abmessungen des Ballons sind: Länge 56,25 m, größter Durchmesser 10,60 m, Tragkörperinhalt 3500 cbm, Gondellänge 28,5 m. Die erreichte Geschwindigkeit betrug ca. 14 m. — Die übrigen Luftschiffe entsprechen in ihrer Konstruktion im wesentlichen dem *Clément Bayard I*, von dem sie sich nur in den Abmessungen unterscheiden. Die Clément-Bayard-Werke haben neuerdings durch die Konstruktion des Luftschiffes *Clément Bayard II* (Fig. 1241) noch einen neuen Luftschifftyp geschaffen, der gewissermaßen die Mitte bildet zwischen dem *Clément Bayard I* und den neuen Parsevalschiffen. Von dem *Clément Bayard I* unterscheidet sich das neue Luftschiff durch den Fortfall der gasgefüllten Dämpfungskörper und die abgeänderte Konstruktion der Steuereinrichtungen. Die Dämpfungs- und Steuerungsorgane sind zu einem mehrflächigen kastenartigen Gebilde vereinigt, das zwischen dem Hinterende der Gondel und dem Heck des Tragkörpers liegt und aus drei horizontalen und zwei begrenzenden vertikalen, um entsprechende Achsen drehbaren Flächen besteht. Die Form des Tragkörpers ist den neueren Parsevalschiffen sehr ähnlich, ebenso die Propelleranordnung. Das Luftschiff hat eine Länge von 76 m, einen Gasinhalt von 7000 cbm und zwei Motoren von je 125 PS. Das neueste Luftschiff dieses Typs ist der *Adjudant Réau*. Es besitzt eine Länge von 94 m, einen Inhalt von 9000 cbm und drei Luftschrauben, von denen eine am Vorderende der Gondel, die anderen zu beiden Seiten der Gondelmitte angeordnet sind. Der Antrieb erfolgt durch zwei Motoren von je 120 PS.

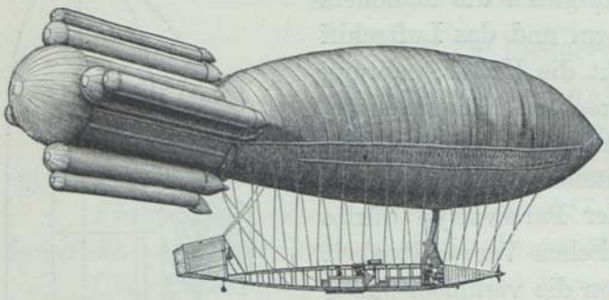


Fig. 1239. Das von Deutsch de la Meurthe dem französischen Kriegsministerium geschenkte Luftschiff Ville de Paris.

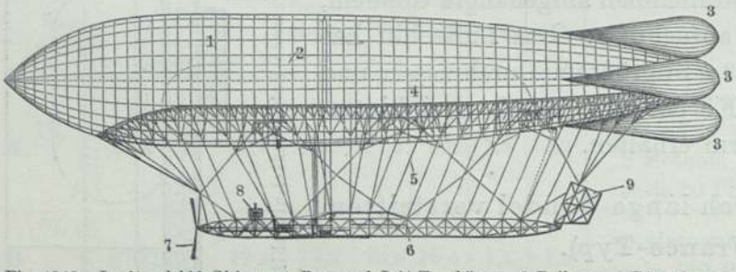


Fig. 1240. Luftschiff Clément Bayard I (1 Tragkörper, 2 Ballonet, 3 Dämpfungskörper, 4 Ballongurt, 5 Auslaufleinen, 6 Gondel, 7 Schraube, 8 Höhensteuer, 9 Seitensteuer).

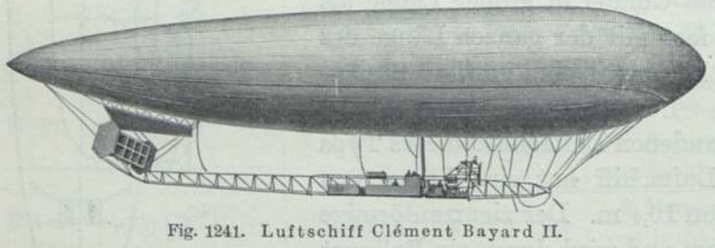


Fig. 1241. Luftschiff Clément Bayard II.

Von den französischen Luftschiffen mit unstarrem Tragkörper und als Versteifungsträger ausgebildeter Gondel sind noch die *Zodiac*-Luftschiffe erwähnenswert. Diese von dem Grafen

de la Vaulx konstruierten Fahrzeuge sind aus dem Bestreben entstanden, kleine, in Betrieb und Herstellung billige Lenkballons für Sport- und Reklamezwecke zu schaffen. Sie werden in der Regel mit Leuchtgas gefüllt und nach jeder Fahrt entleert. Die Hülle kann dann zusammengerollt und in der aus mehreren Teilen bestehenden zusammenlegbaren Gondel verpackt werden. Die Zodiac-Luftschiffe werden für 600—1200 cbm Tragkörperinhalt hergestellt und mit Motoren von 16—45 PS ausgerüstet. Die Geschwindigkeit beträgt nur bis 30 km in der Stunde.

Deutschland. Nach dem La France-Typ sind in Deutschland bisher nur kleine Fahrzeuge erbaut, und zwar die Luftschiffe *Erbslöh* und *Clouth*. Der der Rheinisch-Westfälischen Motorluftschiff-Gesellschaft gehörige *Erbslöh* (Fig. 1242) fiel am 13. Juli 1910 mitsamt dem Führer, dessen Namen er trug, einer Katastrophe zum Opfer und wurde vernichtet. Der Tragkörper des Luftschiffes hatte eine Länge von 53 m, einen größten Durchmesser von 10 m und einen Inhalt von 2900 cbm. Die Prallform wurde durch ein linsenförmiges Ballonet gewahrt. Die aus Eschenholz hergestellte Gondel hatte eine Länge von 27 m und trug an der Spitze einen hölzernen Schraubenpropeller von 4,5 m Durchmesser, der von einem 110 PS leistenden Benzmotor angetrieben wurde. Dämpfungsflächen und Seitensteuer waren vorhanden, dagegen fehlten besondere Höhensteuer. Die Höhensteuerung geschah nach Art der Parseval-Luftschiffe durch Schrägstellung des ganzen Tragkörpers, und die hierzu nötige Schwerpunktsverschiebung wurde durch Umpumpen von Wasser mittels einer Kreiselpumpe von einem an der Spitze der Gondel angeordneten Behälter nach einem solchen am Hinterende und umgekehrt erzielt. Neu war ferner noch die Einrichtung, daß die ins Ballonet zu pumpende Luft vorher durch den Kühler des Motors geschickt und dort erwärmt werden konnte. — Beim Luftschiff *Clouth* (Fig. 1243) ist der Tragkörper im Gebrauchszustand nicht völlig unstarr, sondern wird durch zwei elastische, am Gurt zu befestigende Holzstangen versteift. Von diesen Stangen führen die Tragseile zu der langen Gondel, so daß eine gleichmäßige Verteilung der Last auf den Tragkörper erzielt wird. Die Abmessungen sind: Länge 42 m, größter Durchmesser 8,4 m, Tragkörperinhalt 1700 cbm. Ein 50 PS-Motor treibt mittels Gummiseilübertragung zwei nebeneinander liegende Holzpropeller, die etwa in der Mitte der Gondel auf einem hohen Bock gelagert sind. Das kastenförmige Höhensteuer ist am Vorderteil des Tragkörpers, das Seitensteuer mit davorliegender Kielfläche unterhalb des Hecks angeordnet. Am Hinterende des Tragkörpers sind ferner beiderseitig zwei übereinanderliegende Dämpfungsflächen vorgesehen. Dieses Luftschiff ist billig, leicht zerlegbar und daher bequem transportabel. Die erreichbare Geschwindigkeit von ca. 35 km pro Stunde genügt, um es für Sportzwecke geeignet zu machen.

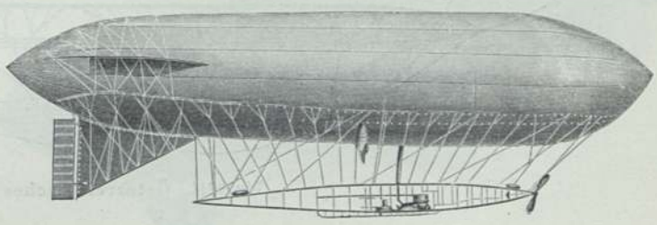


Fig. 1242. Luftschiff Erbslöh.

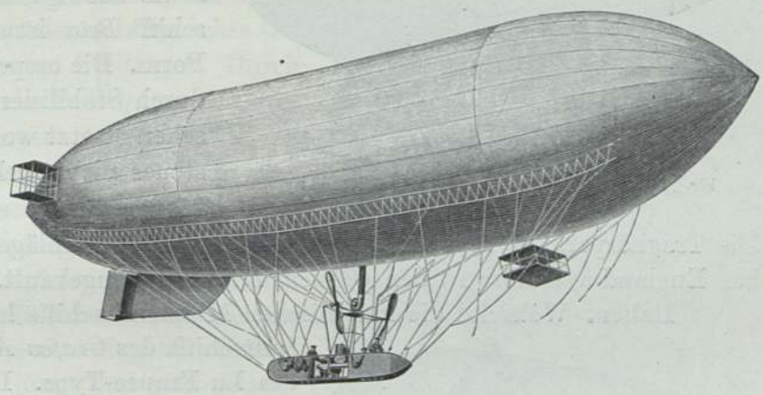


Fig. 1243. Ballonetluftschiff Clouth.

Österreich. In Österreich ist kürzlich ein neues Militärluftschiff *K. W. III* (Fig. 1244) fertiggestellt, das deswegen an diese Stelle gehört, weil die 7 m lange Gondel nach vorn und nach hinten je einen 9 m langen Auslegerarm trägt, so daß ein ca. 25 m langer Versteifungsträger entsteht. Der Tragkörper hat eine Länge von 68 m, einen größten Durchmesser von 10,5 m und einen Inhalt von 6300 cbm und wird durch zwei Ballonets von zusammen ca. 900 cbm Inhalt prall

erhalten. Zwei vierflügelige Holzpropeller von je 3 m Durchmesser sind, wie bei Parseval, zu beiden Seiten der Gondel auf hohen Böcken gelagert und werden durch zwei achtzylinderige Körting-Motoren von je 75 PS angetrieben. Die Höhensteuerung erfolgt durch Schrägstellung des Tragkörpers. Die hierzu nötige Schwerpunktsverschiebung erfolgt durch Umpumpen von Wasser oder, wie bei Parseval, durch die Ballonets.

England. In England sind die beiden Militärluftschiffe *Baby* und *Beta* nach dem

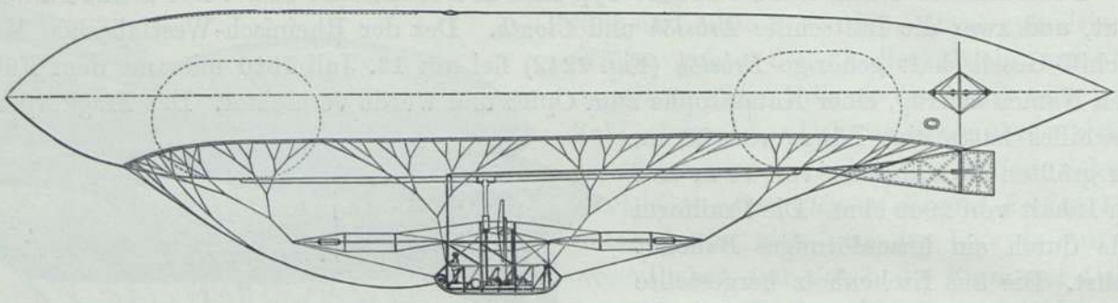


Fig. 1244. Österreichisches Militärluftschiff.

Clément-Bayard-Typ erbaut. Das Luftschiff *Baby* (Fig. 1245) hat ziemlich gedrungene Form; seine Länge beträgt nur 30 m, der größte Durchmesser 7 m. Zur Dämpfung dienen am Hinterende angebrachte flossenförmige Gaskörper. Die Gondel ist als langgestreckter Träger ausgebildet und trägt in der Mitte den Motor sowie die auf einem Gerüst gelagerte Schraube, am Hinterende das Höhensteuer, eine senkrechte Kielfläche sowie das Horizontalsteuer. Bei dem größeren Luftschiff *Beta* ist der Tragkörper von gestreckterer Form. Die ursprünglich vorhandenen Gasflossen sind durch Stabilisierungsflächen nach Art der Parsevalschen ersetzt worden. Auch befindet sich das Seitensteuer nicht mehr an der Gondel, sondern am Tragkörper hinter einer senkrechten Dämpfungsfläche. Die Tragkörperhülle besteht, wie bei *Baby*, aus Goldschlägerhaut. — Außer diesen Luftschiffen hat England vor kurzem den *Clément Bayard II* angekauft.

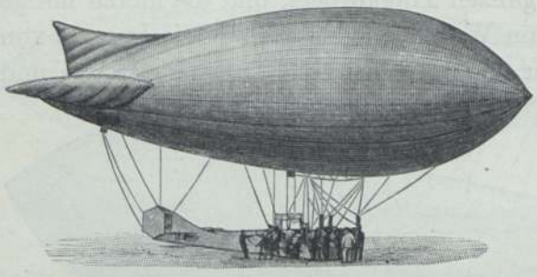


Fig. 1245. Englisches Militärluftschiff Baby.

Italien. Während die italienischen Militärluftschiffe halbstarrer Bauart sind, gehörten die Luftschiffe des *Grafen Almerico da Schio* zu den Fahrzeugen des La France-Typs. Diese Luftschiffe, von denen das erste im Jahre 1905 erbaut wurde, sind insofern eigenartig, als sie kein Ballonet besitzen. Statt dessen ist die Kielseite des Tragkörpers aus Kautschuk hergestellt und daher elastisch, so daß der Tragkörper selbst bei Ausdehnung des Gases sich vergrößert, bei Verringerung des Gasvolumens sich verkleinert.

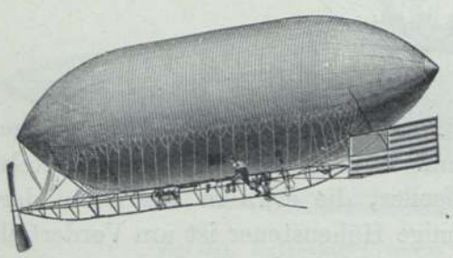


Fig. 1246. Luftschiff Baldwin.

Belgien. Das diesem Staate gehörige Luftschiff *Ville de Bruxelles* entspricht im wesentlichen dem französischen *Clément Bayard I.*

Spanien. Hier wäre nur zu nennen das nach dem Clément-Bayard-Typ erbaute Luftschiff *España*, das jedoch infolge einiger Konstruktionsfehler besondere Erfolge bisher nicht aufzuweisen hatte.

Amerika. Amerika besitzt nur ein kleines Luftschiff des La France-Typs, das Militärluftschiff *Baldwin* (Fig. 1246). Der ziemlich plumpe Tragkörper hat eine Länge von etwa 29 m und einen Durchmesser von 5,9 m. Seine Form wird durch ein im hinteren Teil des Tragkörpers liegendes Ballonet gewahrt, das durch einen Handventilator aufgeblasen wird. Die durch das Aufblasen und

Zusammenziehen des Ballonets sich ergebenden Schwerpunktsverschiebungen müssen durch die Höhensteuer ausgeglichen werden, von denen je eins im vorderen und hinteren Viertel der fast über die ganze Länge des Luftschiffes sich erstreckenden, am Tragkörper mittels eines dünnen Netzes aufgehängten Gondel angebracht ist. Die Dämpfungsflächen sind nicht am Tragkörper, sondern an der Gondel zu beiden Seiten des Horizontalsteuers angeordnet. Ein 25 PS-Motor treibt die am Vorderteil der Gondel gelagerte Zugschraube mit 250 Umdrehungen pro Minute, wodurch eine Geschwindigkeit von 30 km pro Stunde erreicht wird. Tragfähigkeit und Aktionsradius sind bei den kleinen Abmessungen natürlich sehr gering.

b) Halbstarre Luftschiffe.

Frankreich. Die halbstarre Bauart wurde in Frankreich zuerst angewandt, und zwar bei den Luftschiffen des Systems *Juillot-Lebaudy*. Nach diesem sind bisher vier französische Militärluftschiffe erbaut, und zwar *Le Jaune*, *La Patrie*, *La République* und *La Liberté*, von denen *La Patrie* (Fig. 1247) und *La République* durch Unglücksfälle vernichtet wurden.

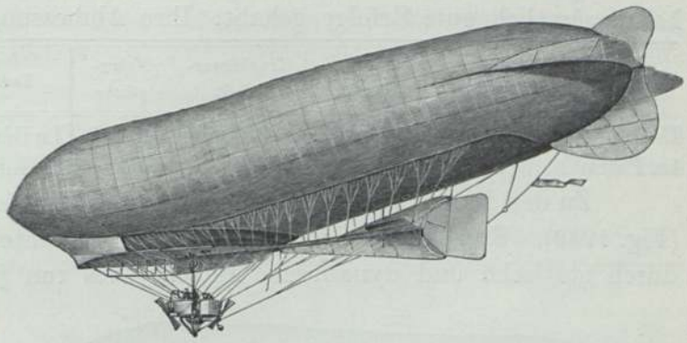


Fig. 1247. Der erste französische Kriegsballon La Patrie.

Das wesentlichste Merkmal dieser Fahrzeuge besteht darin, daß der Boden des Tragkörpers durch ein *Kielgerüst* versteift ist. Man nennt daher die Luftschiffe halbstarrer Bauart auch *Kielgerüstluftschiffe*. Das Kielgerüst der Juillot-Lebaudy-Luftschiffe (Fig. 1248) ist aus Stahlrohren hergestellt und besteht aus einer horizontalen ovalen Bodenfläche und einem hierzu senkrecht stehenden, in der mittleren Längsachse der Bodenfläche nach unten zu angeordneten Kielträger. Durch Streben und Spanndrähte sind beide Teile gegeneinander abgesteift. Nach hinten zu verlängert sich der Kiel zu einem kreuzförmigen Dämpfungsorgan, hinter dem das Seitensteuer angeordnet ist. Außerdem trägt der Tragkörper am Heck zwei seitliche Dämpfungsflächen und oben und unten eine Kielfläche. Der Tragkörper ist in seinem Mittelteil zylindrisch mit abgeflachter Bodenseite; das Vorderteil hat die Gestalt eines scharf zugespitzten Kegels, während das hintere Ende sich allmählich verjüngt und stumpf ausläuft. Die Prallform wird durch ein mittleres Ballonet erhalten, das durch Querwände, die mit Öffnungen versehen sind, unterteilt ist. Bei der *Liberté* ist auch der Gasraum durch gasdichte Querwände in einzelne Zellen unterteilt. Hierdurch soll das Luftschiff, auch wenn eine Abteilung durch Verletzung der Hülle gasleer geworden ist, nach Abwurf sämtlichen Ballastes und alles dann entbehrlichen Gewichtes (Benzin, Maschinenreserveteile usw.) noch als Freiballon schwebefähig bleiben. Lenkbarkeit und dynamische Höhensteuerung sind natürlich dann ausgeschlossen, da der Tragkörper seine Form verlieren und einknicken wird. Die bei allen Luftschiffen dieser Klasse verhältnismäßig kurze Gondel ist an Stahlseilen am Kielgerüst aufgehängt und läuft nach unten zu einer pyramidenförmigen Spitze aus, auf der sich die Schiffe leicht in eine gewünschte Richtung einstellen lassen. Auch diente diese Spitze bei den älteren Fahrzeugen dazu, die Flügel der in Gondelhöhe zu beiden Seiten angeordneten, durch Querwellen und Kegelräder angetriebenen Propeller bei der Landung zu schützen. Bei dem neuesten Luftschiff, der *Liberté*, fällt dieser Zweck fort, da hier die Propeller, ähnlich wie bei den Parseval-Luftschiffen, um die

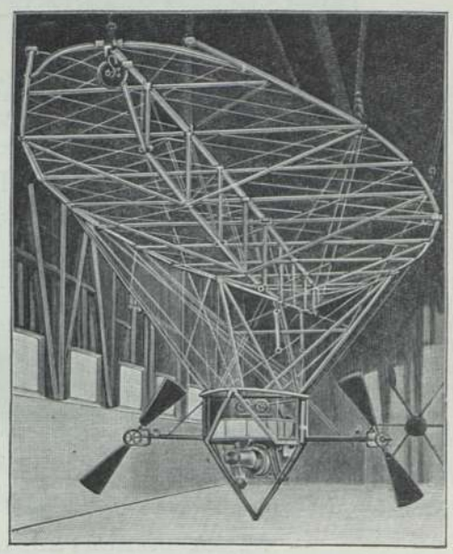


Fig. 1248. Kielgerüst der Juillot-Lebaudy-Luftschiffe.

bei den älteren Fahrzeugen stark auftretenden Kippmomente zu vermeiden, auf hohen, seitlich herausragenden Böcken gelagert sind. Auch hinsichtlich der Höhensteuerung besteht zwischen *Liberté* und den älteren Typen ein Unterschied. Bei den letzteren waren einfache Höhensteuerflächen am Vorderteil des Traggerüstes angebracht, die zu beiden Seiten über das Traggerüst herausragten; bei der *Liberté* dagegen sind doppelflächige kastenartige Höhensteuer vor der Gondel und zwischen dieser und dem Kielgerüst beiderseitig angeordnet. Bemerkenswert ist noch, daß der zum Aufblasen der Ballonets dienende Ventilator dicht unter dem Kielgerüst steht, um einen langen Luftschlauch zu vermeiden. — Die Luftschiffe des Systems Juillot-Lebaudy haben sämtlich gute Erfolge gehabt. Ihre Abmessungen zeigt nachstehende Tabelle:

Luftschiff	Länge	Größter Durchm.	Tragkörper-inhalt	Motor-stärke	Luftschiff	Länge	Größter Durchm.	Tragkörper-inhalt	Motor-stärke
Le Jaune . . .	58 m	9,3 m	ca. 2700 cbm	40 PS	La République	65 m	10,8 m	ca. 3900 cbm	80 PS
La Patrie . . .	60 -	10,3 -	- 3600 -	70 -	La Liberté . .	68 -	10,8 -	- 4200 -	135 -

Zu den französischen Luftschiffen mit Kielgerüst gehört noch der Lenkballon von *Malécot* (Fig. 1249). Er zählt zu dem sogenannten gemischten System, d. h. er bewirkt seinen Auftrieb durch statische und dynamische Mittel. Dies tun ja in gewissem Maße alle Motorluftschiffe, sobald sie sich mittels ihrer Höhensteuer oder durch Schrägstellung des Tragkörpers in Höhenlagen erheben, in denen ihr Gesamtgewicht größer ist als das Gewicht der verdrängten Luft. Beim Malécot soll jedoch die Ausnutzung der dynamischen Auftriebswirkung noch in höherem Maße erfolgen; es ist daher die starre Kielfläche mit Segeltuch bespannt und als Tragfläche ausgebildet. Hierdurch entsteht gewissermaßen eine entlastete Flugmaschine. Die Höhensteuerung geschieht durch Verschieben eines Laufgewichtes. Ein ausgeführtes Luftschiff dieses Typs von 34 m Länge, 7,4 m Durchmesser und 1000 cbm Inhalt des Tragkörpers hat, mit einer Tragfläche von 120 qm versehen, gute Erfolge gehabt. Die französische Militärverwaltung soll die Verwendung dieses Typs im Auge haben.

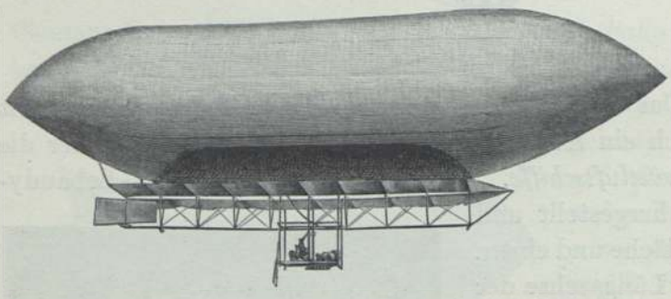


Fig. 1249. Malécots Luftschiff nach dem gemischten System (1909).

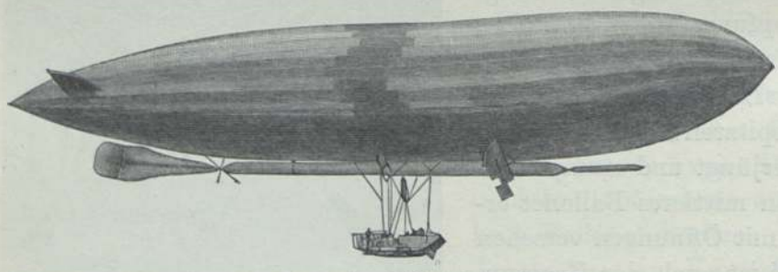


Fig. 1250. Deutsches Militärluftschiff M_2.

Deutschland. Für die deutsche Militärverwaltung sind bisher fünf halbstarre Luftschiffe erbaut worden, nämlich ein zurzeit nicht mehr im Dienst befindliches Versuchsluftschiff und die Militärluftschiffe M_1, M_2, M_3, M_4. Von den letzteren ist M_3 im Kaisermanöver 1911 verbrannt. Diese als Verbesserungen des Typs *Juillot-Lebaudy* anzusprechenden, von Major Groß und Oberingenieur Basenach konstruierten Luftschiffe (Fig. 1250) besitzen sämtlich ein Kielgerüst. Beim Versuchsluftschiff war dieses noch ziemlich breit und lehnte sich ziemlich eng an das französische Vorbild an. Bei den folgenden Neubauten wurde das Gerüst immer schmaler und leichter; bei den neuesten Fahrzeugen bildet es im Querschnitt ein gleichseitiges Dreieck und ist vollständig mit Stoff bespannt. Während bei M_1 und M_2 das Kielgerüst noch als durchlaufender Träger ausgebildet war, ist es bei M_3 in drei gelenkig miteinander verbundene Teile zerlegt, die jedoch durch Verspannung in ihrer Lage zueinander gesichert werden können. Bei M_1 und M_2 liegen hinter dem Kiel in Kreuzform zueinander stehende Dämpfungs- und Kielflächen, dahinter das Seitensteuer. Bei M_3 trägt das Kielgerüst selbst am Hinterende eine vertikale Kielfläche, hinter der das Seitensteuer liegt.

Alle Luftschiffe dieses Typs haben horizontale Dämpfungsflächen am Hinterende des Tragkörpers. Ein grundsätzlicher Unterschied besteht ferner zwischen M_1 und M_2 einerseits und M_3 und M_4 anderseits in der Anordnung der Propeller. Diese sind bei ersteren zu beiden Seiten des Kielgerüstes angeordnet, um ihren Angriffspunkt möglichst dicht an die Widerstandsmittellinie heranzulegen. Diese Anordnung hat jedoch den Nachteil, daß lange Übertragungsorgane erforderlich werden und diese infolge des Pendelns der an Drahtseilen aufgehängten Gondel leicht Zerrungen und Verschiebungen ausgesetzt sind. Infolgedessen sind bei M_3 und M_4 die Propeller wie bei Parseval an der Gondel selbst auf hohen Böcken gelagert. Die Höhensteuerung geschieht durch Schrägstellen des Tragkörpers, wobei die hierzu nötige Schwerpunktsverschiebung durch Umpumpen von Wasser zwischen zwei innerhalb des Kielgerüstes am Vorder- und Hinterende angeordneten Behältern bewirkt wird. Die älteren Luftschiffe haben außerdem noch besondere, am Vorderteil des Kielgerüstes angebrachte kastenförmige Höhensteuer. Der Ventilator zum Aufblasen der Ballonets ist ebenfalls im Kielgerüst eingebaut, wodurch sich eine sehr kurze Schlauchleitung ergibt.

Die Abmessungen der vier Luftschiffe M_1 bis M_4 ergeben sich aus folgender Tabelle:

	Länge	Größter Durchm.	Tragkörperinhalt	Motorstärke
M_1 (nach Umbau)	74 m	12 m	5200 cbm	2× 75=150 PS
M_2	74 -	12 -	5200 -	2× 75=150 -
M_3	83 -	12,4 -	6500 -	4× 75=300 -
M_4	94 -	13 -	7500 -	4×100=400 -

M_3 hat eine Eigengeschwindigkeit von 16,5 m pro Sekunde erlangt und war damit zurzeit eins der schnellsten Luftschiffe der Welt. M_4 wird es voraussichtlich noch übertreffen. Trotzdem scheint der ganze Typ aus irgendwelchen nicht bekanntgewordenen Gründen nicht mehr in Neubauten fortgeführt zu werden.

England. In England wurden die ersten Militärluftschiffe *Nulli Secundus* und *Dirigeable II* nach dem halbstarren System erbaut, und zwar hinsichtlich der Gondelkonstruktion

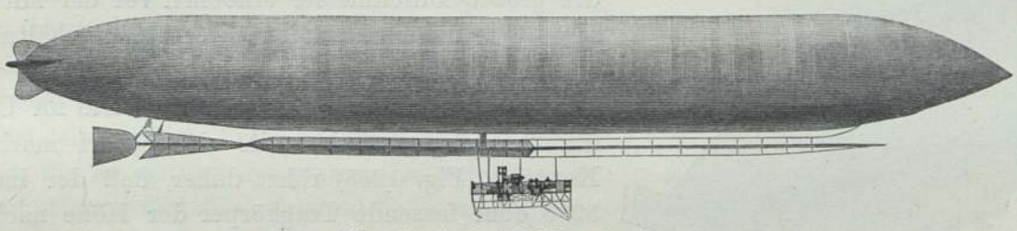


Fig. 1251. Luftschiff Morning Post.

und der Art des Antriebes in ziemlich enger Anlehnung an das System *Juillot-Lebaudy*. Beide Luftschiffe hatten jedoch wenig Erfolg, so daß die englische Militärverwaltung die halbstarre Bauart aufgegeben und sich dem unstarren Clément-Bayard-Typ zugewendet hat, außerdem aber auch Versuche mit dem starren System anstellt.

Außer dem kleinen in Privatbesitz befindlichen Sportluftschiff *Willows*, das durch seine von Unglücksfällen verfolgte, aber vom Eigner mit zäher Energie durchgeführte Fahrt von London nach Paris bekannt geworden ist, besaß England bis vor einiger Zeit noch ein großes, von den Lebaudy-Werken erbautes Kielgerüstluftschiff *Morning Post* (Fig. 1251). Der Tragkörper dieses bisher größten halbstarren Luftschiffes hatte eine Länge von 103 m, einen Durchmesser von 12 m; der Antrieb erfolgte durch zwei Motoren von je 110 PS. Die *Morning Post* fiel jedoch im Frühjahr 1911 einem Unfall zum Opfer.

Italien. Im Gegensatz zu England hat Italien mit der halbstarren Bauart seiner Militärluftschiffe durchaus gute Erfahrungen gemacht, und zwar bei beiden hier angewandten Systemen, dem von *Crocco-Ricaldoni*, dem die *Luftschiffe I* und *I bis* angehören, sowie dem von *Forlanini-Fabro*, nach welchem der *Leonardo da Vinci* erbaut ist. Beim *I bis* (Fig. 1252) hat der in der modernen Fischform mit verhältnismäßig stumpfer Spitze und schlank verlaufendem Hinterteil

ausgeführte Tragkörper eine Länge von 62 m, einen größten Durchmesser von 10,5 m und einen Inhalt von 3450 cbm. Die Prallform wird durch ein Ballonet von 900 cbm Fassungsvermögen gesichert, das durch mit Öffnungen versehene Zwischenwände unterteilt ist. Auch der Gasraum ist ähnlich wie bei dem französischen Luftschiff *Liberté* durch sechs gasdichte Zwischenwände in sieben Kammern eingeteilt. Als Kielgerüst dient ein im Innern der Hülle am Boden angeordneter, aus einzelnen gelenkig miteinander verbundenen Teilen bestehender Gitterträger aus Stahlrohr. An diesem ist außen noch ein 25 m langer, senkrecht stehender und mit Stoff bespannter Kielträger befestigt. Eine kurze bootähnliche Gondel ist am Gelenkträger aufgehängt und trägt die auf zwei seitlich hervorragenden hohen Böcken gelagerten Propeller.

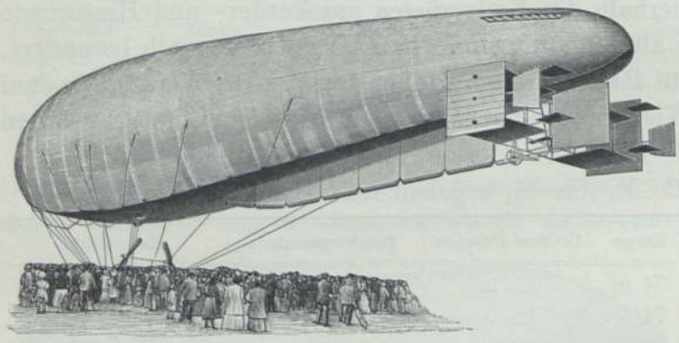


Fig. 1252. Italienisches Militärluftschiff I bis.

Eigenartig sind die Dämpfungs- und Steuerungsorgane, die zu einem kastenartigen, unter dem Heck des Tragkörpers liegenden Gebilde vereinigt sind. Dieses besteht auf jeder Seite aus zwei übereinander liegenden horizontalen Dämpfungsflächen und einer außen liegenden vertikalen Kielfläche. Hinter jeder festen Fläche befindet sich eine entsprechende kleinere biegsame Steuerfläche. Ein großes Seitensteuer liegt in der Mitte in der Verlängerung des Kiels. Der Motor von 120 PS verleiht dem Luftschiff eine Geschwindigkeit von 55 km in der Stunde. Die Tragfähigkeit beträgt 1100 kg Nutzlast. — Nach dem Typ des *I bis* befinden sich zwei weitere, größere Luftschiffe zurzeit im Bau.

Das Luftschiff *Leonardo da Vinci* (Fig. 1253) stellt einen ganz anderen Typ dar. Der Tragkörper hat eine Länge von nur 40 m bei einem größten Durchmesser von 14 m. Die Form entspricht jedoch insofern den neuesten Erfahrungen, als der größte Durchmesser erheblich vor der Mitte liegt, so daß trotz der gedrungenen Form ein verhältnismäßig schlanker Hinterkörper entsteht, der ebenso wie das Vorderteil in eine Spitze ausläuft. Die im Unterteil des Tragkörpers beiderseits sich scharf markierende Kante (s. Fig. 1253) rührt daher, daß der insgesamt 3265 cbm fassende Tragkörper der Höhe nach durch eine gasdichte Stoffbahn in zwei Räume eingeteilt ist, von denen nur der obere, 2950 cbm fassende als Gasraum dient, während der untere ein aus Stahlrohren hergestelltes breites Kielgerüst aufnimmt. Im Gasraum ist noch ein Ballonet von 350 cbm Fassungsvermögen vorgesehen. Auf der Unterseite ist das Gerüst nur mit einem einfachen, luftdurchlässigen Drellstoff bespannt. Die 12 m lange Gondel ist direkt an das Kielgerüst angebaut, völlig mit Segeltuch bespannt und in drei hintereinander liegende Räume (Führerstand, Maschinistenstand und Passagierraum) unterteilt. Nach hinten läuft die Gondel in einen schmalen, stoffbespannten Kiel aus, der zu den unterhalb des Hecks des Tragkörpers angeordneten Steuerungsorganen führt. Bei diesen sind die Höhen- und Seitensteuer ähnlich wie beim *I bis* zu einem rahmenartigen Gebilde vereinigt, und zwar besteht dieses auf jeder Seite aus drei senkrechten und fünf wagerechten Flächen, von denen erstere, um senkrechte Achsen drehbar, zur Seitensteuerung, letztere, um wagerechte Achsen drehbar, zur Höhensteuerung dienen. Am hintersten Ende des Tragkörpers sind ferner noch fünf senkrechte Kielflächen und drei wagerechte Dämpfungsflächen, ebenfalls in Kastenform, angeordnet. Zwei fünfflügelige Schrauben, deren Wellen im Kielgerüst gelagert sind und mittels Kettenübertragung von einem 40 PS leistenden Motor aus angetrieben werden, verleihen dem Luftschiff eine Eigengeschwindigkeit von 50 km in der Stunde.

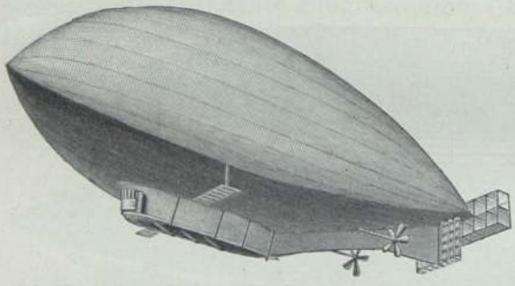


Fig. 1253. Italienisches Luftschiff Leonardo da Vinci.

Belgien. Das von Godard in Paris konstruierte Luftschiff *Belgique* gehört seinem Äußern nach eigentlich zum Clément-Bayard-Typ, von dem es sich nur dadurch unterscheidet, daß der Tragkörper mit einem Kielgerüst versehen ist. Das Luftschiff hatte ursprünglich eine Länge von 54 m, einen größten Durchmesser von 9,5 m und einen Gasraum von 2700 cbm; es wurde jedoch bald vergrößert, und zwar auf eine Länge von 64,5 m, einen größten Durchmesser von 10,75 m und einen Gasrauminhalt von 4000 cbm. Als Kielgerüst dient ein schmaler, etwa über zwei Drittel der Gesamtlänge sich erstreckender, stoffbespannter Holzträger. Die aus Stahlrohr hergestellte Gondel ist 25 m lang und trägt an ihrer Spitze den hölzernen Propeller von 5 m Durchmesser, der durch zwei hintereinander gekuppelte Motoren von je 60 PS unter Zwischenschaltung eines Vorgeleges mit 400 Touren pro Minute angetrieben wird. Bei der ersteren Ausführungsform war am Hinterende der Gondel noch eine zweite Schraube vorgesehen, die jedoch beim Umbau fortgelassen wurde. Das Seitensteuer ist hinter dem Kielgerüst angeordnet; das Höhensteuer, ein doppelflächiges Kastensteuer, am Vorderteil der Gondel an besonderen, weitausladenden Trägern. Bei der ersten Ausführungsform war das Höhensteuer höher, dicht unter dem Kielgerüst vorgesehen. Die Dämpfungsorgane bestehen aus einem um das Hinterende des Tragkörpers wagerecht herumgelegten gasgefüllten Wulst von kreisförmigem Querschnitt und aus einer oberen und einer unteren Kielfläche. Zur Erhaltung der Prallform dient ein Ballonet, das mit vorgewärmter Luft gespeist werden kann.

3. Luftschiffe ohne Ballonet (Starrschiffe).

Während bei den Ballonetluftschiffen die für die Lenkbarkeit nötige Erhaltung der Form des Tragkörpers durch das Aufblasen der Ballonets und Erzeugung eines inneren Überdruckes im Gasraum erzielt wird, ist bei den Starrschiffen die Tragkörperform vom Gasinhalt unabhängig. Der Tragkörper ist hier mittels eines Gerüstes als starrer, stoffüberzogener Hohlkörper ausgebildet, der in seinem Innern die einzelnen Gasbehälter aufnimmt. Den ersten Versuch mit einem starren Luftschiff machte 1897 der Deutsche David Schwarz, der ein aus einer Gitterträgerkonstruktion und einer Hülle aus Aluminiumblech bestehendes Luftschiff baute, das jedoch bereits bei seiner ersten Fahrt vernichtet wurde. Das Verdienst, die Bedeutung des starren Luftschiffes mit Sicherheit erkannt und diese Erkenntnis trotz aller Anfeindungen und allen Mißgeschickes in die Tat umgesetzt zu haben, gebührt dem Grafen Ferdinand von Zeppelin.

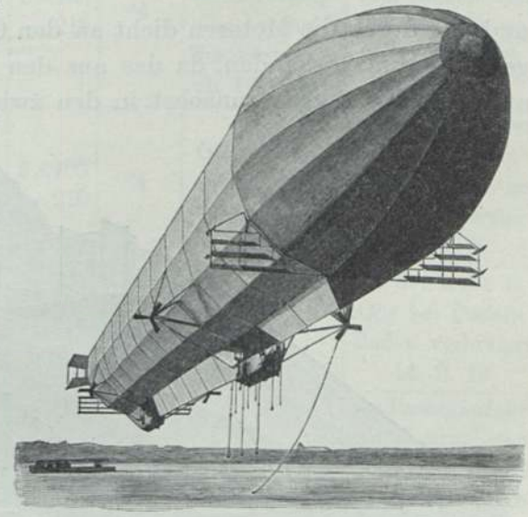


Fig. 1254. Zeppelins Luftschiff L. Z. III (Z. I; Ansicht von vorn).

a) Zeppelin-Luftschiffe. Nach dem Zeppelinschen System wurden bisher zehn Luftschiffe erbaut, die Fahrzeuge L. Z. I bis L. Z. X (vgl. Fig. 1254—1256). Bei allen diesen Luftschiffen hat der Tragkörper die Form eines vielseitigen Prismas mit eiförmig zugespitzten Enden. Das aus Aluminiumgitterträgern hergestellte Gerüst besteht aus einer Anzahl in gleichem Abstand hintereinander angeordneter, gewissermaßen die Spanten bildender Ringe oder Vielecke, deren einzelne Ecken mittels durchlaufender Längsträger, die an den Enden zu einer stumpfen Spitze zusammenlaufen, miteinander verbunden sind. Die Ringe werden in sich durch Drahtseile, die von der Mitte ausgehen und zu jeder Ecke laufen, verspannt, ähnlich wie die Laufräder eines Fahrrades durch die Speichen. Auch untereinander sind die Längs- und Querträger verspannt, und zwar in der äußeren Ebene der Prismenflächen durch Drahtseile, in der inneren durch Schnüre. So entsteht ein netzartiger Hohlkörper, der durch die Radialversteifungen der Querringe in einzelne hintereinander liegende Räume unterteilt ist. Jede Abteilung dient zur Aufnahme eines ihrer Form angepaßten Gasballons. Der ganze Tragkörper ist außen mit einer Stoffhülle überzogen. Da sich die Gasbehälter in gefülltem Zustande gegen die innere

Schnurverspannung der Prismenflächen legen, so verbleibt zwischen ihnen und der Außenhülle ein Luftraum; dieser bildet einen der Hauptvorzüge der Luftschiffe des Zeppelinschen Typs, denn er entzieht die Gasbehälter dem Einfluß der Sonnenbestrahlung und vermeidet so eine Hauptursache der Gasverluste. Zur weiteren Versteifung des Tragkörpers dient ein an die untere horizontale Prismenfläche angebautes Kielgerüst von dreieckigem Querschnitt, das sich über die ganze Länge des prismatischen Tragkörperteils erstreckt und nur bei den älteren Luftschiffen an zwei Stellen Lücken zur Aufnahme der Gondeln aufweist. Bei den neuesten Ausführungen L. Z. VII bis L. Z. X sind jedoch die Maschinengondeln unterhalb des Kielgerüstes angeordnet, so daß letzteres in ganzer Länge durchläuft und nur bei den Passagierluftschiffen in der Mitte durch die Passagierkabine unterbrochen wird. Die mit dem Tragkörper starr verbundenen und unter dem Auftriebsmittelpunkt je einer Luftschiffhälfte angeordneten Gondeln sind als Pontons aus Stahlrohr und Aluminium hergestellt und haben genügend Tragfähigkeit, um das Luftschiff beim Niedergehen auf Wasserflächen zu stützen. Obwohl die Gondeln bei den älteren Typen dicht unter dem Tragkörper eingebaut und hierdurch die Motoren dicht an den Gasraum herangerückt sind, ist doch eine Explosionsgefahr kaum vorhanden, da das aus den Gaszellen infolge von Diffusion oder Undichtigkeiten austretende Traggas zunächst in den zwischen Außenhülle und Gasballonen vorhandenen Luftraum gelangt und hier so stark mit Luft vermischt wird, daß es nicht mehr entzündbar ist. Da der Luftzwischenraum ständig von frischer Luft durchströmt wird, ist auch Knallgasbildung nicht zu befürchten. Im übrigen ist auch die Gasdiffusion bei Starrschiffen geringer als bei Ballonetluftschiffen, da das Gas nicht unter Überdruck steht. Das mit Stoff bespannte Kielgerüst dient als Laufsteg zur Verbindung der Gondeln. Die Schraubenpropeller sind bei den Zeppelin-Luftschiffen am Tragkörper selbst, an seitlich herausragenden Böcken gelagert und werden durch Kegelradgestänge oder Stahlbänder von den in die Gondeln eingebauten Motoren aus angetrieben. Diese Anordnung bietet den Vorteil, daß die Propeller ziemlich genau in Höhe der Luftwiderstandsmittellinie angebracht und schädliche Kippmomente vermieden werden können. Dafür bringen die langen Übertragungsorgane aber wieder Betriebsunsicherheit und Reibungsverluste mit sich. Die Dämpfungs- und Steuerungsorgane sind bei den einzelnen Fahrzeugen verschieden. Die Höhensteuerung erfolgt bei den älteren Fahrzeugen durch mehrflächige, jalousieartig übereinander zu beiden Seiten vorn und hinten angeordnete Höhensteuer und kann im Bedarfsfalle durch Gewichtsverschiebung unterstützt werden. Bei L. Z. IX und L. Z. X hat man auf die seitlichen Höhensteuer gänzlich

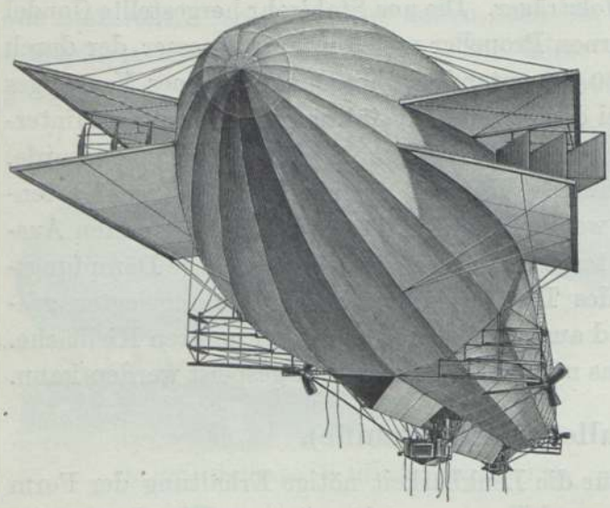


Fig. 1255. L. Z. III (Z. I; Ansicht von hinten).

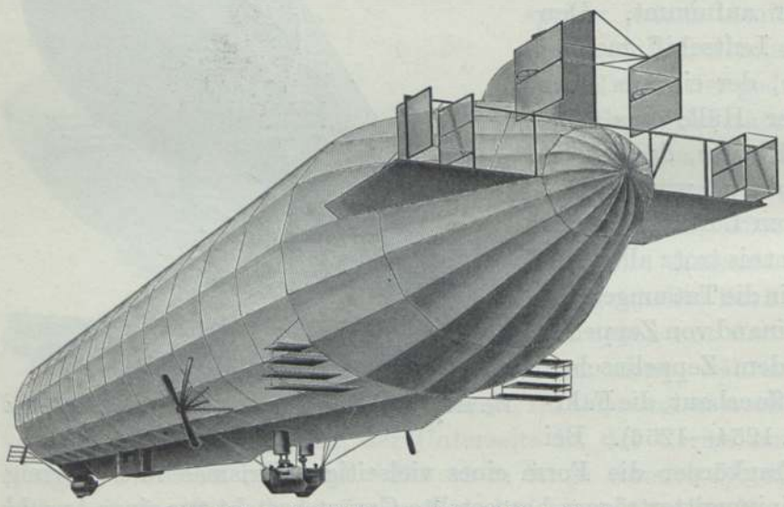


Fig. 1256. L. Z. VII (Passagierluftschiff Deutschland).

verzichtet und dieselben nur noch am Heck angeordnet. Die Seitensteuerung geschieht durch ein großes Hecksteuer oder durch mehrere kleinere Steuerflächen.

Zur Stabilisierung dienen radial verlaufende, am Heck angeordnete Dämpfungsflächen. Besondere Kielflächen sind bei einigen Fahrzeugen vorgesehen, bei anderen fehlen sie.

Über die Konstruktion und die Abmessungen der einzelnen Zeppelin-Schiffe (zu denen inzwischen noch das Passagierluftschiff „Viktoria Luise" und ein weiteres Kriegsluftschiff gekommen sind) gibt nachstehende Zusammenstellung Aufschluß.

	Baujahr	Länge m	Größt. Durchmesser m	Inhalt cbm	Querschnitt	Zahl d. Gasbehälter	Motorenzahl	PS	Propeller	Sonstiges	Verwendung bzw. Schicksal
L. Z. I	1900	128	11,66	11300	24-Eck	17	2	2×15 = 30			Zwecks Umbau demontiert
L. Z. II	1905	128	11,66	11300	16-Eck	17	2	2×85 = 170			Am 17./18. 1. 06 bei Kißlegg vom Sturme zerstört
L. Z. III (Z. I)	1906, umgebaut 1908	128, nach Umbau 136	11,66	11300, nach Umbau 12000	16-Eck	17	2	2×85 = 170	4		Deutsches Militärluftschiff Z. I
L. Z. IV	1908	136	13	15000	16-Eck	17	2	2×105 = 210	4	Wohnkabine im Kielgerüst; von dort Steigschacht durch Tragkörper zur ob. Plattform	Bei Echterdingen vom Sturme losgerissen und zerstört 5. 8. 08
L. Z. V (Z. II)	1909	136	13	15000	16-Eck	17	2	2×105 = 210	4	Ohne Wohnkabine und Steigschacht	Bei Weilburg vom Sturme gegen einen Hügel geworfen u. zerstört 25. 4. 10
L. Z. VI (Z. III)	1909	144	13	16500	16-Eck	18	3	1×140 2×110 = 360	2 zweiflügel., 2 vierflügel.		In der Halle in Oos bei Baden-Baden verbrannt 14. 9. 10
L. Z. VII (Deutschland)	1909	148	14	19000	16-Eck	18	3	3×140 = 420	2 zweiflügel., 2 vierflügel.	Mittlere Passagierkabine im Kielgerüst	Bei Passagierfahrt mit Journalisten v. Sturme auf die Bäume des Teutoburger Waldes herabgedrückt u. zerstört
L. Z. VIII (Ersatz Deutschland)	1910	148	14	19000	16-Eck	18	3	3×140 = 420	2 zweiflügel., 2 vierflügel.	Mittlere Passagierkabine im Kielgerüst	In Düsseldorf von einer Bö gegen die Halle geschleudert und zerbrochen 16. 5. 11
L. Z. IX	1911	132	14	—	16-Eck	16	3	3×150 = 450	2 zweiflügel., 2 vierflügel.	Keine Passagierkabine	Kriegsluftschiff
L. Z. X (Schwaben)	1911	140	14	—	16-Eck	17	3	3×150 = 450	2 zweiflügel., 2 vierflügel.	Mit Passagierkabine	In Düsseldorf durch Explosion zerstört 28. 6. 12

b) Sonstige Starrschiffe. *Schütte-Lanz.* Nach langer Bauzeit ist in Deutschland noch ein weiteres Gerüstluftschiff fertig geworden, das Luftschiff *Schütte-Lanz*, das in Rheinau bei Mannheim erbaut wurde. Dieses Luftschiff ist bemerkenswert, weil das Gerüst des Tragkörpers, der bei torpedoförmiger Gestalt eine Länge von 128 m und einen größten Durchmesser von 18,4 m hat, aus Holz hergestellt ist, und zwar nach dem System Huber. Das Gerippe besteht aus hochkant gestellten I-Trägern, die aus mehreren Lagen Furnierholz verleimt und in Wellenform gepreßt sind. Diese Träger laufen in der Längsrichtung des Tragkörpers und sind an den sich berührenden Wellenbergen miteinander verbunden. Durch Querträger und Verspannungen werden die einzelnen Längsträger in ihrer Lage zueinander gesichert. Der Tragkörper hat daher das Aussehen eines Netzes mit rautenartigen Maschen. Zum Schutz gegen Witterungseinflüsse ist das Holzgerüst mit einem wetterfesten Lack überzogen. Zur Aufnahme des Traggases dient eine Anzahl von Gaszellen, die durch eine Schlauchleitung mit Ventilen derart miteinander verbunden sind, daß ein beliebiges Umpumpen des Traggases aus einem Behälter in den anderen erfolgen kann. Der Gasinhalt des wie bei den Zeppelin-Luftschiffen mit einer Außenhülle überzogenen Tragkörpers beträgt 19500 cbm. Zwei hintereinander angeordnete Betriebsgondeln sind am Tragkörper nachgiebig an Seilen aufgehängt und tragen je einen 250 PS leistenden achtzylinderigen Daimlermotor mit direkt angetriebenem Propeller. Die ersten Fahrten des *Schütte-Lanz* sind befriedigend ausgefallen.

In Frankreich ist ein starres Luftschiff im Bau, und zwar nach dem Entwurf des Elsässers Spieß. Es ähnelt in seiner Konstruktion außerordentlich den Zeppelin-Luftschiffen, ist jedoch erheblich kleiner, da es nur eine Länge von 88 m, einen Durchmesser von 12 m und ein Fassungsvermögen von 8200 cbm Traggas besitzt. Es ist zweifelhaft, ob das Luftschiff bei diesen geringen Abmessungen noch genügend Nutzlast wird tragen können.

Ein Urteil über die Eigenschaften der Starrschiffe kann bisher nur auf Grund der Erfahrungen der Zeppelin-Luftschiffe gefällt werden. Die Hauptvorzüge liegen, wie erwähnt, in der sicheren Erhaltung der Tragkörperform, den geringen Gasverlusten, der exakt wirkenden Höhensteuerung und der durch die Größe des Tragkörpers bedingten starken dynamischen Wirkung. Diesen Vorzügen stehen erhebliche Nachteile gegenüber, so das große Gewicht des Gerüstes, dann das Mehrgewicht der Hülle infolge Verwendung einer größeren Zahl kleinerer Gasbehälter und der Notwendigkeit einer Außenhülle. Diese große Mehrbelastung geschieht natürlich auf Kosten der Nutzlast. Aus den Gewichtsverhältnissen ergibt sich ferner, daß Starrschiffe nur in großen Abmessungen gebaut werden können. Hieraus resultiert wieder gegenüber dem unstarren und halbstarren Typ für gleiche Geschwindigkeit und Nutzlast die Notwendigkeit stärkerer Maschinen und größerer Brennstoffmengen bei gleichem Aktionsradius. Auch beträgt der Preis eines Starrschiffes ein Vielfaches vom Preis eines unstarren oder halbstarren Schiffes gleicher Tragfähigkeit. Schließlich sind die Starrschiffe bei Sturm schwierig zu verankern. Während es bei Ballonetluftschiffen im Notfalle möglich ist, durch Ziehen der Reißbahn und Entleerung des Ballons die Angriffsfläche des Windes erheblich zu verringern, steht dem Starrschiff dieses Mittel nicht zu Gebote. Es bedarf daher einer außerordentlich festen Verankerung und sehr starker Konstruktion des Gerüstes, um außerhalb der schützenden Halle einen Sturm vor Anker sicher zu überstehen. Das Schicksal der Luftschiffe L. Z. IV und L. Z. VI beweist die Bedeutung dieses Nachteiles. Man kann nicht verkennen, daß das von Zeppelin mit hoher Genialität geschaffene starre Luftschiff noch weiterer Vervollkommnung bedarf, um auf die Dauer erfolgreich mit den Ballonetluftschiffen in Wettbewerb treten zu können. Ein großer Schritt vorwärts scheint durch die neuesten Luftschiffe L. Z. IX, L. Z. X und *Viktoria Luise* bereits vollbracht zu sein, da sie mit ihrer Eigengeschwindigkeit von 18—20 m/sec die unstarren und halbstarren Luftschiffe zurzeit erheblich übertreffen und, wie die über 200 glücklich ausgeführten Fahrten des Passagierluftschiffes *Schwaben* bewiesen hatten, auch an Betriebssicherheit immerhin schon erheblich zugenommen haben.

B. Flugtechnik.

I. Allgemeines.

1. Grundbegriffe der Flugtechnik.

Auftrieb, Vortrieb, Luftwiderstand. Bei den Flugzeugen schafft man die zum Schweben nötige Auftriebskraft auf dynamischem Wege, d. h. durch Bewegen geeigneter Trag- oder Hubflächen gegen die Luft. Die Art der Bewegung, die Größe und Anordnung der Flächen bilden den kennzeichnenden Unterschied für die Gruppen der Flugzeuge: *Drachenflugzeuge, Schraubenflugzeuge* und *Schwingenflugzeuge.* Zu den Drachenflugzeugen gehören auch die *Gleitflugzeuge,* die nichts anderes sind als Drachenflugzeuge ohne Motor. Bei den eigentlichen *Drachenflugzeugen* wird der zum Schweben nötige Auftrieb dadurch geschaffen, daß eine gegen die Horizontalebene um einen kleinen Winkel mit der Vorderkante aufwärts geneigte, ebene oder schwachgewölbte Tragfläche durch einen motorisch angetriebenen Propeller, in der Regel einen Schraubenpropeller, mit großer Geschwindigkeit annähernd horizontal vorwärts bewegt wird. Die Tragfläche erleidet hierbei einen Luftwiderstand, dessen Normaldruck sich nach dem Parallelogramm der Kräfte zerlegen läßt in eine horizontale und eine vertikale Komponente, von denen die letztere, größere den nützlichen Auftrieb, die erstere, kleinere einen schädlichen Rücktrieb erzeugt. Hieraus erhellt, daß das Drachenflugzeug, wenn es auch nach dem heutigen Stande der Technik das einzige praktisch brauchbare Flugzeug darstellt, dennoch unwirtschaftlich ist, da ein Teil der vom Motor geleisteten Arbeit zur Vernichtung einer neben der nützlichen Auftriebskraft erzeugten schädlichen Rücktriebskraft aufgewendet wird. Ein Drachenflugzeug muß also, um schwebefähig zu bleiben, stets eine solche mittlere Eigengeschwindigkeit haben, daß die aufwärts gerichtete Komponente des Luftwiderstandes der abwärts gerichteten Schwerkraft gleich ist. Ist die Geschwindigkeit größer, so steigt das Flugzeug; ist sie geringer, so sinkt es. Da hierfür nur die Relativgeschwindigkeit des Flugzeuges zur umgebenden Luft in Frage kommt, so ergibt sich, daß auch ein Flugzeug ohne Eigenantrieb, also ein Gleitflugzeug, zeitweilig schwebefähig sein kann, sofern der Abflug gegen den Wind erfolgt und dieser die nötige Stärke besitzt. Ist die Relativgeschwindigkeit jedoch nach erfolgtem Abschweben unter das zur Erzeugung einer der Schwerkraft gleichgroßen Auftriebskraft erforderliche Maß gesunken, so tritt ein allmähliches Fallen ein. Stellt der Fliegende während dieses Fallens die Vorderkante der Gleitfläche tiefer als die Hinterkante, so kann gleichzeitig eine Vorwärtsbewegung eintreten, sofern die nach vorn gerichtete Horizontalkomponente des durch die Fallbewegung auf der Unterseite der Tragfläche auftretenden Luftwiderstandes größer ist als die horizontale Kraftkomponente des rücktreibenden Windes. Durch Ausnutzung aufsteigender Luftströmungen, die z. B. fast immer vorhanden sein werden, wenn der Abflug von einem allmählich ansteigenden erhöhten Punkte erfolgt, kann die Vortriebswirkung noch erhöht werden. Das Flugzeug gleitet dann gleichsam auf einer schiefen Ebene abwärts. Auf diese Weise sind z. B. Lilienthal Flüge von 300 m Länge gegen den Wind gelungen.

Außer der rückwärts gerichteten horizontalen Kraftkomponente, die aus dem Luftwiderstand gegen die geneigte Tragfläche entsteht, ist bei der Vorwärtsbewegung des Drachenflugzeuges noch eine zweite rückwärts gerichtete Kraft zu überwinden, der sogenannte *Stirnwiderstand,* der von der Größe der quer zur Flugrichtung liegenden Teile abhängt und durch den Widerstand des Körpers des Fliegenden, des Motors, der Vorderkanten der Tragflächen, der Gestänge usw. hervorgerufen wird. Dieser schädliche Widerstand kann durch geeignete Zuschärfung der Querschnitte zwar verringert, doch nie völlig beseitigt werden. Zu diesen beiden Widerständen kommt als dritter der von der Größe der luftbestrichenen Oberflächen abhängige Reibungswiderstand hinzu, der jedoch bei Flugzeugen infolge der sehr viel geringeren Größe der Oberflächen lange nicht die Rolle spielt wie bei Luftschiffen. Die Summe dieser drei Widerstände muß durch den motorisch erzeugten Vortrieb, den *Schraubenzug,* überwunden werden. — Wie bereits erwähnt, erhalten die Tragflächen der Drachenfahrzeuge in der Regel eine schwache

Wölbung in der Flugrichtung. Lilienthal hat durch eingehende Versuche die erheblich günstigere Wirkung der gewölbten Fläche gegenüber der ebenen festgestellt. Sie hat ihren Grund darin, daß die Richtungsänderung des Luftstromes bei der gewölbten Fläche allmählich, bei der ebenen dagegen plötzlich erfolgt, und daß daher in letzterem Falle schädliche Wirbelungen erzeugt werden.

Während bei den Drachenflugzeugen der zum Schweben erforderliche Auftrieb durch Vorwärtsbewegung größerer geneigter Tragflächen erzielt wird, und die den Vortrieb bewirkenden Schraubenpropeller nur indirekt zur Erzeugung von Auftrieb dienen, sollen bei dem zweiten Flugzeugtyp, den *Schraubenflugzeugen*, die Propeller diesen Auftrieb direkt erzeugen, indem sie die Luftmassen nicht nach hinten, sondern nach unten beschleunigen und daher statt um horizontale Achsen um vertikale rotieren. In gewisser Hinsicht ist das Prinzip der Auftriebserzeugung dasselbe wie beim Drachenflugzeug. In beiden Fällen werden geneigte Flächen in der Horizontalebene gegen die Luft mit großer Geschwindigkeit bewegt, und die aus dem Luftwiderstand dieser Flächen sich ergebenden Auftriebskomponenten sollen der Schwerkraft entgegenwirken. Beim Schraubenflugzeug bilden die einzelnen Flügel der Hubschrauben diese Tragflächen, die, anstatt in einer Richtung wie beim Drachenflugzeug, im Kreise bewegt werden. Hierdurch ergibt sich der Vorteil, daß die entstehenden Horizontalkomponenten nicht, wie beim Drachenflugzeug, einen Rücktrieb erzeugen, sondern lediglich ein Drehmoment hervorrufen, das durch Anordnung zweier gegenläufiger Hubschrauben unschädlich gemacht werden kann, so daß ein Schraubenflugzeug ohne Vorwärtsbewegung schwebefähig ist. Daß es praktisch noch nicht gelungen ist, ein Schraubenflugzeug dauernd zum Schweben zu bringen, liegt an dem außerordentlich schlechten Wirkungsgrade kleinerer, und an der technischen Schwierigkeit der Herstellung größerer Hubschrauben.

Das theoretisch wirtschaftlichste Flugzeug ist entschieden das *Schwingenflugzeug*. Es erscheint hier durchaus möglich, die ganze aufgewendete Energie während des Arbeitsganges, d. h. während des Niederschlagens der Flügel, zur Erzeugung nutzbringenden Auftriebs oder Vortriebs auszunutzen. Die Schwierigkeit liegt dabei in der Bewegungsumkehr und der Rückführung der Schwingen in die Anfangsstellung des Arbeitsganges ohne Erzeugung schädlicher Nebenwirkungen. Die Bestrebungen der auf diesem Gebiete sich versuchenden Erfinder laufen darauf hinaus, die bei der Aufwärtsbewegung der Schwingen entstehenden abwärts gerichteten Kräfte durch Anordnung von selbsttätig sich öffnenden Jalousieklappen oder durch Zusammenfalten der Flügelfläche oder endlich durch Einstellung der Flügelfläche in die Richtung der Bewegungsresultante möglichst unschädlich zu machen. Theoretisch ist die Schaffung eines wirtschaftlich arbeitenden Schwingenflugzeuges sicher möglich, sofern motorischer Antrieb vorgesehen ist. Dagegen dürften die Bestrebungen vieler Laienerfinder, die danach trachten, ein Flugzeug zu schaffen, mittels dessen der Mensch durch eigene Muskelkraft bei ruhender Luft sich zu erheben vermag, kaum jemals Erfolg haben. Nach Lilienthals Versuchen würde hierzu eine Arbeitsleistung von mindestens 1,5 PS erforderlich sein, während der Mensch höchstens 0,25 bis 0,3 PS zu leisten vermag, und auch das nur auf ganz kurze Zeit. Praktische Erfolge haben aber auch die motorisch angetriebenen Schwingenflugzeuge infolge der großen konstruktiven Schwierigkeiten bisher nicht gehabt, ebenso auch nicht die Bestrebungen, durch umlaufende Schaufelräder oder durch Rückstoßwirkung verdichteter Luftmassen oder Gase den erforderlichen Auftrieb zu schaffen. Daher sind hier lediglich die Drachenflugzeuge zu berücksichtigen.

Stabilität. Außer einer genügenden Eigengeschwindigkeit und der hiervon in erster Linie abhängigen Tragfähigkeit ist das Haupterfordernis eines brauchbaren Drachenflugzeuges eine genügende Stabilität, d. h. die Fähigkeit, bei Lagenveränderung durch äußere Einflüsse (z. B. Windstöße) die Normallage schnell und sicher wiederzuerlangen bzw. dieser Lagenveränderung einen genügenden Widerstand entgegenzusetzen. Die Änderungen der Gleichgewichtslage können erfolgen durch Drehungen um eine vertikale Mittelachse, um eine horizontale Querachse und um eine horizontale Längsachse. Den ersten beiden Bewegungen wirkt die Längsstabilität, der letzten die Querstabilität entgegen. Zur annähernden Erhaltung der Normallage dienen feste

Dämpfungs- und *Kielflächen*, zur Zurückführung in dieselbe bewegliche Stabilisierungsorgane. Während eine genügende *Längsstabilität* durch Dämpfungs- und Kielflächen möglichst nach den Enden zu sich ziemlich sicher erreichen läßt, bildet die Sicherung einer genügenden *Querstabilität* eine der Hauptschwierigkeiten der Flugtechnik. Ist ein Flugzeug durch einen seitlichen Windstoß um seine horizontale Längsachse geneigt, so muß zur Wiedererlangung der Normallage ein entgegengesetztes Drehmoment künstlich geschaffen werden. Dies geschieht dadurch, daß an der tiefer liegenden Seite der Auftrieb verstärkt, an der höher liegenden dagegen verringert wird, und zwar entweder durch kleine, um horizontale Querachsen drehbare Hilfsflächen, die derart geneigt eingestellt werden, daß an der tieferen Seite die Vorderkante, an der höheren Seite die Hinterkante höher liegt, oder durch schraubenförmige *Verwindung* der Tragflächen selbst. Da hiermit in der Regel einseitige Veränderungen des Stirnwiderstandes verbunden sind, wird eine gleichzeitige Einstellung des Seitensteuers erforderlich. Das Verdienst der Gebrüder Wright ist es, diesen Zusammenhang als erste erkannt und eine diesen Forderungen Rechnung tragende Stabilisierungseinrichtung geschaffen zu haben. Die nähere Erläuterung folgt bei Besprechung des Wrightschen Flugzeuges. Die von Hand zu bewegenden Stabilisierungsvorrichtungen leiden jedoch alle an dem Mangel, daß sie bei sehr plötzlich eintretenden starken Neigungen nicht schnell genug wirken und ständige Aufmerksamkeit erfordern. Man strebt daher danach, automatische, von den Maßnahmen des Flugzeugführers unabhängige Stabilisierungsvorrichtungen zu schaffen. Vielfach vorgeschlagen ist z. B. der Einbau schnell rotierender Kreisel, deren stabilisierende Wirkung sich auf anderen Gebieten, z. B. zur Vermeidung von Schlingerbewegungen von Schiffen usw., bewährt hat. Andere Erfinder wollen durch Pendel, die bei Neigungen des Flugzeuges ihre Lage im Raume beibehalten, automatisch ausgleichende Flächen einstellen. Alle diese Bestrebungen haben bisher keine praktisch brauchbaren Ergebnisse gehabt.

Steuerung. Die Steuerungsorgane der Flugzeuge entsprechen im wesentlichen den bei Luftschiffen gebräuchlichen. Hier wie dort dienen zur Seitensteuerung vertikale, zur Höhensteuerung horizontale drehbare oder biegsame Flächen. Die Höhensteuerflächen wirken wie die horizontalen Dämpfungsflächen auch als zusätzliche Tragflächen.

2. Einteilung der Drachenflugzeuge.

Die gebräuchlichste Einteilung der Drachenflugzeuge ist die nach der Anzahl der übereinander angeordneten Tragflächen. Man unterscheidet danach *Eindecker, Zweidecker, Dreidecker* usw. Die Ein- und Zweidecker, zu denen die bei weitem größte Zahl der modernen Flugzeuge gehört, müssen nach dem heutigen Stande der Flugtechnik wohl als gleichwertig betrachtet werden. Dagegen konnten Flugzeuge mit drei und mehr Tragflächen übereinander bisher besondere Erfolge nicht aufweisen. Der Eindecker hat gegenüber dem Zweidecker den Vorteil, daß sein Stirn- und Reibungswiderstand erheblich geringer ist, und daß er infolgedessen bei gegebener Motorleistung eine höhere Geschwindigkeit erreicht. Dagegen hat er den Nachteil, daß die *spezifische Flächenbelastung*, d. h. die Belastung pro Flächeneinheit, in der Regel größer sein muß als beim Zweidecker. Während beim Zweidecker die spezifische Flächenbelastung gewöhnlich zwischen 10 und 15 kg pro Quadratmeter beträgt, steigt sie beim Eindecker bis über 40 kg pro Quadratmeter. Dies hat darin seinen Grund, daß es natürlich konstruktiv sehr viel leichter ist, ein bestimmtes Flächenmaß in zwei kleineren Tragflächen unterzubringen, die gegeneinander abgestützt und verspannt werden können, als in einer großen, welche die erforderliche Festigkeit in sich besitzen muß und höchstens mit dem Rumpf des Flugzeuges verspannt werden kann. Infolge der geringeren Tragflächengröße wird daher für den Eindecker die größere Geschwindigkeit, die wegen des kleineren Stirnwiderstandes erreichbar ist, auch durchaus erforderlich, um die zum Schweben nötige Auftriebskraft zu gewinnen. Der Zweidecker besitzt also die größere Tragfähigkeit, der Eindecker die größere Geschwindigkeit.

Die Stabilitätseigenschaften hängen weniger von der Anzahl der Tragdecke als von der besonderen Ausführung des Flugzeuges ab.

3. Allgemeine Konstruktionsprinzipien der Drachenflugzeuge.

Die Hauptteile eines Drachenflugzeuges sind: Rumpf, Tragflächen, Steuerungsorgane, Stabilisierungsorgane, Motor, Propeller, Fahrgestell.

Der **Rumpf** dient dazu, die Anbringung der Dämpfungs- und Steuerungsorgane in einer zur Sicherung der Längsstabilität nötigen größeren Entfernung vom Druckmittelpunkt (Luftwiderstandsmittelpunkt) zu ermöglichen. Er ist in der Regel als Fachwerkträger von rechteckigem oder dreieckigem, nach hinten zu sich verjüngendem Querschnitt aus Holz oder Stahlrohren hergestellt.

Die **Tragflächen** werden in ihrer Größe durch den Typ des Fahrzeuges, ob Eindecker oder Zweidecker, und durch die hiervon abhängige spezifische Flächenbelastung beeinflußt. Sie besitzen gewöhnlich in der Flugrichtung eine parabolische Wölbung, deren Pfeilhöhe $^1/_{12}$—$^1/_{20}$ der Flächenbreite beträgt. Das Verhältnis der Spannweite zur Tiefe liegt meist zwischen 5:1 bis 8:1, die Winkelstellung der Tragflächen zur Propellerachse zwischen 3° und 9°. Das Gerippe besteht gewöhnlich aus einer Anzahl längslaufender, nebeneinander liegender gewölbter Rippen, die durch mehrere querliegende, über die ganze Breite der Tragflächen durchlaufende Stangen oder Träger miteinander verbunden sind. Bei Doppeldeckern sind die übereinander liegenden Flächen durch senkrechte Stangen gegeneinander abgestützt. Zur Verspannung der einzelnen Teile gegeneinander dient Klaviersaitendraht; zur Bespannung der Tragflächen, die zur Vermeidung von schädlichen Luftwirbeln meist unten und oben geschieht, nimmt man fast stets gummierten Ballonstoff.

Die **Steuerungsorgane** sind Seitensteuer, Höhensteuer und bewegliche Stabilisierungsflächen. In ihrer Anordnung weichen die einzelnen Flugzeugtypen außerordentlich voneinander ab. Die Seiten- und Höhensteuer liegen, um ein wirksames Drehmoment zu schaffen, tunlichst weit von der Drehachse entfernt. Bei Zweideckern ist die gebräuchlichste Anordnung wohl die, daß das Seitensteuer hinten, das Höhensteuer vorn liegt. Bei Eindeckern liegt auch das Höhensteuer meist hinten. Bei Flugzeugen, die besondere bewegliche Stabilisierungssteuer besitzen, sind diese gewöhnlich an den Hinterkanten der Tragflächen angelenkt, bei manchen Doppeldeckern auch zwischen den Flächen angeordnet.

Die festen **Dämpfungsflächen** liegen meist am Hinterende des Rumpfes. Auf feste horizontale Dämpfungsflächen hat man bei vielen Flugzeugtypen ganz verzichtet, da hierfür die Tragflächen und Höhensteuer ausreichen; dagegen sind vertikale Kielflächen bei fast allen Flugzeugen vorhanden. Von dem Einbau senkrechter Längswände zwischen die Tragflächen der Doppeldecker ist man wieder abgekommen, da diese den seitlichen Windstößen zuviel Angriffsfläche bieten und das Flugzeug abtreiben.

Der **Motor** ist ein für die Anforderungen des dynamischen Flugzeuges besonders konstruierter Benzinmotor. Vgl. Abteilung „Verbrennungsmaschinen". Die an einen brauchbaren Flugmotor zu stellenden Anforderungen sind S. 572 erörtert. Bei Eindeckern ist der Motor im Rumpf eingebaut, bei Doppeldeckern meist auf die untere Tragfläche aufgesetzt.

Als **Propeller** dienen bei den Drachenflugzeugen wohl ausschließlich Luftschrauben, die um horizontale Längsachsen rotieren. Sie sind entweder vor den Tragflächen angeordnet als *Zugschrauben*, oder hinter den Tragflächen als *Druckschrauben*. Der Antrieb erfolgt entweder direkt, d. h. die Schraube sitzt auf der Motorwelle, oder indirekt mittels besonderer Übertragungsorgane (Ketten, Stirnräder, Kegelräder). Letzteres geschieht, unter Übersetzung ins Langsame, um größere, ökonomischer arbeitende Propeller verwenden zu können, doch gleichen die durch das Übersetzungsgetriebe geschaffenen Reibungsverluste diesen Vorteil wieder aus. Die meisten Flugzeugtypen haben nur eine in der mittleren Längsachse angeordnete Schraube; nur wenige benutzen zwei nebeneinander gegenläufig arbeitende Propeller. Auch in letzterem Falle ist in der Regel, um beiderseitig gleichen Schraubenzug zu erzielen, nur ein Motor vorhanden, der durch Übertragungsorgane beide Propeller antreibt. Die große Gefahr des Zweischraubensystems liegt darin, daß, sobald ein Propeller aussetzt, sei es durch Bruch der Übertragungsorgane, Flügelbruch od. dgl., sofort ein einseitiger Schraubenzug entsteht, der die Stabilität des Flugzeuges aufs äußerste gefährdet. Durch automatisch wirkende Vorrichtungen, die bei Aussetzen eines

Propellers den zweiten selbsttätig ausschalten, kann dieser Gefahr vorgebeugt werden. — Jeder Schraubenpropeller erzeugt ein seinem Drehsinn entgegengerichtetes Reaktionsmoment. Bei Anordnung zweier gegenläufiger Schrauben heben sich diese Reaktionsmomente auf; ist jedoch nur eine Schraube vorhanden, so bleibt ein freies Reaktionsmoment bestehen, das bestrebt ist, das Flugzeug dem Schrauben-Drehsinn entgegen um seine horizontale Längsachse zu neigen. Dieses Kippmoment muß durch geeignete Vorkehrungen wieder beseitigt werden. In der Regel geschieht dies dadurch, daß man der einen Tragflächenseite durch stärkere Neigung einen größeren Auftrieb verleiht, oder dadurch, daß man die andere Tragflächenseite durch ein Gewicht beschwert.

Das **Fahrgestell** vereinigt in sich die zum Abfliegen und Landen des Flugzeuges nötigen Organe. Der Abflug erfolgt meist in der Weise, daß das Flugzeug, das bis zur Erreichung der Höchstleistung des Motors festgehalten wird, nach dem Loslassen unter dem Einfluß des Schraubenzuges bei horizontal gestelltem Höhensteuer auf *Laufrädern* auf dem Erdboden anfährt. Ist die zum Schweben nötige Geschwindigkeit erreicht, so wird das Höhensteuer aufgerichtet, und das Flugzeug erhebt sich. Zur Aufnahme der Stöße beim Landen sind die Laufräder federnd gelagert; auch sind bei den modernen Flugzeugen noch *Gleitkufen* vorgesehen, die in Wirksamkeit treten, wenn die Radfedern bis zu einem gewissen Grade zusammengedrückt sind, und die Räder vor zu starken Stößen schützen, auch das Flugzeug infolge der stärkeren Reibung beim Landen schneller zum Stillstand bringen.

II. Drachenflugzeuge.

Die Zahl der praktisch brauchbaren Drachenflugzeugtypen ist bereits so groß, daß eine Besprechung aller hier unmöglich ist. Es sollen daher nur diejenigen Systeme Berücksichtigung finden, die für die Entwickelung der Flugtechnik am bedeutungsvollsten gewesen sind oder infolge ihrer konstruktiven Eigenart besondere Erfolge erwarten lassen.

1. Zweidecker (Doppeldecker).

a) **Amerika.** Wenn auch Amerika hinsichtlich seiner Bedeutung für die Entwickelung der Flugtechnik von Frankreich weitaus übertroffen wird, so betrachten wir doch die amerikanischen Flugzeuge an erster Stelle, da als Schöpfer des modernen Drachenflugzeuges die Brüder Orville und Wilbur Wright, zwei Amerikaner, wohl unumstritten zu gelten haben.

O. und W. Wright. Nicht einem glücklichen Zufall, sondern jahrelangen Versuchen verdanken die Brüder Wright ihren schließlichen großen Erfolg. Sie begannen 1900, angeregt durch die Erfolge Lilienthals, Chanutes und Herrings, mit Gleitflugversuchen, und zwar benutzten sie hierzu einen Doppeldecker, der bereits viele Merkmale des modernen Wright-Flugzeuges, z. B. vorn ein Höhensteuer, hinten ein Seitensteuer und Gleitkufen unter den Tragflächen zum Schutz bei der Landung, aufwies. Der Fliegende lag auf der unteren Tragfläche auf dem Bauch, und das Flugzeug wurde zur Einleitung des Abfluges von zwei Männern gegen den Wind geschleudert. Mit einem solchen Apparat, der in den Einzelheiten ständig verbessert wurde, führten die Gebrüder Wright 1900—1903 viele wohlgelungene Gleitflüge aus. Im Jahre 1903 taten sie dann den entscheidenden Schritt, indem sie durch Einbau von Motor und Propellern das Gleitflugzeug zum Drachenflugzeug umwandelten. Mit diesem gelangen ihnen dann 1904 Flüge bis zu einer Länge von 4,5 km. Es stellte sich jedoch heraus, daß die Querstabilität nicht genügte, und es bedurfte abermals jahrelanger Studien, bevor es gelang, dieses schwierigste Problem der Flugtechnik zu lösen, durch die geniale Erfindung der *Verwindung* der Tragflächen unter gleichzeitiger zwangläufiger Bewegung des Seitensteuers. Im Jahre 1908 begab sich dann Wilbur Wright mit seinem Flugzeug nach Frankreich und bewies dort durch seine erfolgreichen Flüge, daß das Problem des dynamischen Fluges gelöst sei. Der bei diesen Flügen verwendete Apparat muß noch heute als brauchbares Flugzeug gelten und ist für eine große Zahl späterer Konstruktionen vorbildlich gewesen; eine eingehendere Besprechung erscheint daher am Platze (Fig. 1257—1261).

Die beiden in einem Abstand von 1,80 m übereinander angeordneten Tragflächen haben eine Spannweite von 12,50 m, eine Tiefe von 2 m und einen Gesamtflächeninhalt von ca. 50 qm. Sie sind nur sehr leicht gewölbt, da die Pfeilhöhe nur $^1/_{25}$ der Flächentiefe beträgt, und durch 16 vertikale Streben in zwei Reihen zu je acht gegeneinander abgestützt. Die vordere Strebenreihe ist mit der Vorderkante der Tragflächen starr verbunden, während die hintere noch ca. $^1/_3$ der Tragfläche hinter sich freiläßt, so daß die Hinterkanten eine gewisse Elastizität erhalten. Von der hinteren Strebenreihe sind nur die beiden Mittelstreben starr mit den Tragflächenträgern verbunden, während die anderen gelenkig befestigt sind, um die Verwindung zu ermöglichen. Auf der unteren Tragfläche ist der Motor angeordnet, der durch einen offenen und einen gekreuzten Kettenantrieb unter Übersetzung ins Langsame zwei gegenläufige, hinter den Tragflächen nebeneinander angeordnete Holzpropeller von 2,80 m Durchmesser antreibt. Der gekreuzte Kettentrieb macht die Anordnung von Kettenführungsrohren erforderlich, die mit dem Traggerüst starr verbunden sind. In einer Entfernung von 2,50 m hinter der Hinterkante der Tragflächen sind an einem rahmenartigen Gestell zwei in einem Abstand von 0,5 m nebeneinander liegende Seitensteuerflächen von 1,80 m Höhe und 0,60 m Länge vorgesehen. Vorn in einer Entfernung von 3,50 m von der Vorderkante der Tragflächen liegt das eigenartig konstruierte Höhensteuer (s. Fig. 1261). Es besteht aus zwei in einem Abstand von 0,80 m übereinander angeordneten Flächen von 4,50 m Breite und 0,75 m Tiefe. Durch vier Vertikalstreben, von denen zwei an den Enden, zwei mehr nach der Mitte zu liegen, sind die beiden Höhensteuerflächen gegeneinander abgestützt. Die beiden Mittelstreben tragen halbmondförmige, in der Flugrichtung liegende Kielflächen. Beide Höhensteuerflächen sind um ihre Befestigungspunkte an den vertikalen Seitenstreben, die etwas vor der Flächenmitte liegen, drehbar. Der Höhe nach zwischen den beiden Steuerflächen sind dreiarmige Winkelhebel ebenfalls um horizontale Querachsen drehbar gelagert, deren beide in der Ruhelage annähernd horizontale Hebelenden verschieden lang sind. Das vordere, kürzere Hebelende ist mit der Vorderkante der Höhensteuerflächen, das hintere, längere mit der Hinterkante der Höhensteuerflächen verbunden, und zwar geschieht die Verbindung beider durch angelenkte Zugstangen. Am Vertikalarm der Winkelhebel greifen die vom Führersitz aus durch Vor- und Zurücklegen eines Handhebels zu bewegenden Hauptzugstangen an. Durch diese sinnreiche Einrichtung wird erreicht, daß die Höhensteuerflächen, die in der Normallage eine den Tragflächen gleiche Wölbung und Neigung besitzen und mithin als zusätzliche Tragflächen wirken, beim Zurücklegen des Handhebels infolge des größeren Ausschlages der Hinterkante eine stärkere Wölbung erfahren, mithin die gewollte Auftriebswirkung verstärken, beim Nachvornlegen des Hebels

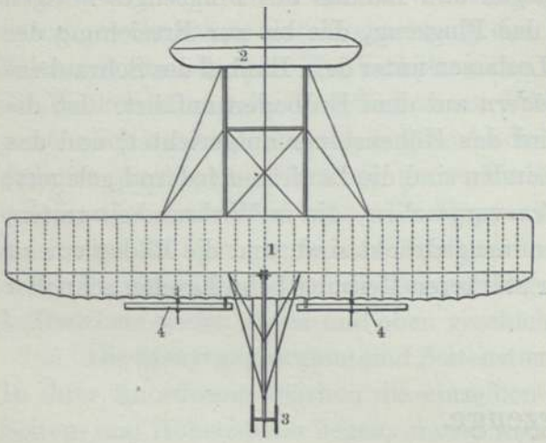


Fig. 1257. Aufsicht.

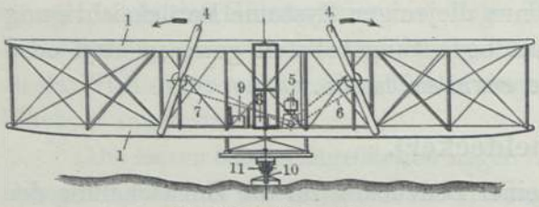


Fig. 1258. Rückansicht.

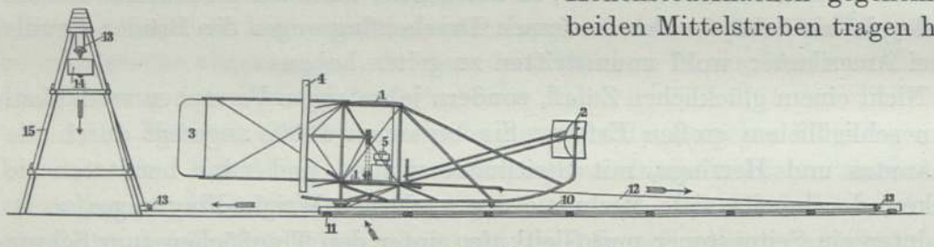


Fig. 1259. Seitenansicht und Startvorrichtung.

Fig. 1257—1259. Wrights Flugzeug (1 Tragflächen, 2 Höhensteuer, 3 Seitensteuer, 4 Schraubenpropeller, 5 Motor, 6 offene Kette, 7 gekreuzte Kette, 8 Führersitz, 9 Passagiersitz, 10 Startschiene, 11 Laufrolle, 12 Seil, 13 Führungsrollen, 14 Faligewicht, 15 Fallblock).

dagegen ihre Wölbung verringern, eventuell sogar umkehren und somit ebenfalls die gewünschte Abtriebswirkung vergrößern.

Eigenartig ist auch die (heute wohl kaum noch angewendete) Startmethode der Wrights. Das Original-Wright-Flugzeug besitzt nämlich keine Laufräder, sondern nur Schlittenkufen und wird zur Einleitung des Abfluges durch die Energie eines fallenden Gewichtes gewissermaßen abgeschossen. Hierzu wird eine besondere Vorrichtung benutzt, die in ihren Hauptteilen aus einer ca. 20 m langen Schiene (hochkant gestelltes Brett), einem ca. 8 m hohen Fallgerüst, einem Fallgewicht und einem langen Zugseil besteht. Das Flugzeug steht (Fig. 1259) mit seinen Kufen auf einem kleinen, mit zwei hintereinander angeordneten Laufrollen versehenen Wagen auf dem Hinterende der Schiene. Das Zugseil greift mit einer Öse über einen am Vorderende des Flugzeuges angebrachten Winkelhaken, läuft von dort zum Vorderende der Schiene und über Führungsrollen an der Schiene zurück zur Spitze des hinter dem Flugzeug stehenden Fallblockes, wo sein anderes Ende mit dem Fallgewicht verbunden ist. Bis zum Augenblick des Abfluges wird das Flugzeug mittels eines Halteseils mit ausklinkbarem, vom Führer auszulösendem Haken festgehalten. Ist der Motor angedreht und hat seine erforderliche Tourenzahl erreicht, so wird das Höhensteuer abwärts gerichtet und das Halteseil ausgeklinkt. Unter dem Einfluß der Zugkraft des Fallgewichtes schnellt der Apparat dann vorwärts, wobei er durch das abwärts gerichtete Höhensteuer zunächst auf die Startschiene niedergedrückt wird. Kurz vor Verlassen der Startschienen wird das Höhensteuer dann mit plötzlichem Ruck aufwärts gestellt, und das Flugzeug steigt auf. — Diese Startmethode bietet den Vorteil, daß jedes Gelände zum Aufstieg benutzt werden kann, während auf Rädern anfahrende Flugzeuge ein ebenes und festes Terrain benötigen, um die zum Schweben erforderliche Geschwindigkeit zu erlangen. Sie hat jedoch den Nachteil, daß das Flugzeug stets nur dort aufsteigen kann, wo sich seine Startvorrichtung befindet.

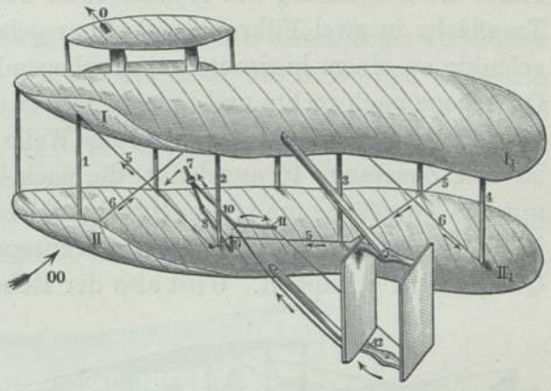


Fig. 1260. Verwindung und Steuerung beim Wrightschen Flugzeug (00 Richtung des Windstoßes, 0 Fahrtrichtung, I/II aufwärtsgebogene linke Tragflächenenden, I_1/II_1 abwärtsgebogene rechte Tragflächenenden, 1, 2, 3, 4 hintere Verbindungsstreben, 5, 6 Drahtzüge zur Verwindung, 7 Handhebel für Seitensteuerung und Verwindung, 8 längslaufende Welle für Verwindung, 9 Hebel für Drahtzüge zur Verwindung, 10 Zugstange zur Seitensteuerung, 11, 12 Steuerjoche zur Seitensteuerung).

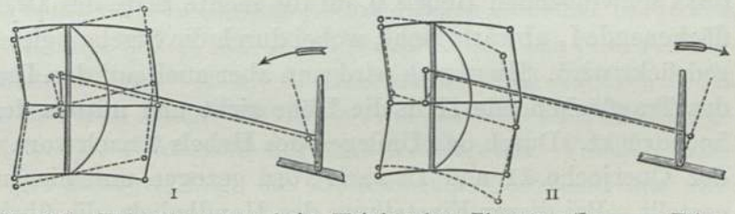


Fig. 1261. Höhensteuerung beim Wrightschen Flugzeug (I ——— Höhensteuer normal, -------- Höhensteuer abwärts gerichtet, Wölbung verringert; II ——— Höhensteuer normal, -------- Höhensteuer aufwärts gerichtet, Wölbung verstärkt).

Das Hauptverdienst der Brüder Wright liegt in der genialen Lösung des Problems der Seitenstabilität. Die ihnen in allen Kulturstaaten patentierte *Verwindung* der Tragflächen unter gleichzeitiger zwangläufiger Einstellung des Seitensteuers dürfte noch heute die vollkommenste von Hand zu bewegende Stabilisierungsvorrichtung darstellen. Die Wirkung dieser Einrichtung läßt sich an der schematischen Darstellung Fig. 1260 erläutern. Der Deutlichkeit halber ist dort nur jede zweite Vertikalstrebe eingezeichnet; auch ist die Flächenverwindung, die in Wirklichkeit nur sehr gering ist, übertrieben dargestellt. Das in Richtung des Pfeiles 0 vorwärts fliegende Flugzeug möge von einem seitlichen Windstoß aus der Richtung des Pfeiles 00 getroffen werden. Dieser wird den Flugapparat um seine horizontale Längsachse nach rechts überneigen. Um die Normallage wiederzugewinnen, muß also der Auftrieb auf der rechten Tragflächenseite verstärkt, auf der linken verringert werden. Zu diesem Zwecke werden die Tragflächen derart schraubenförmig verwunden, daß die Hinterkanten I_1 und II_1 der rechten Tragflächenhälften nach abwärts, die Hinterkanten I und II der linken Tragflächenhälften nach aufwärts gezogen werden. Die ausgleichende Auftriebsänderung ist

hiermit geschaffen. Mit dieser Auftriebsänderung wird aber gleichzeitig eine Änderung des Stirnwiderstandes eintreten. Die abwärts gezogenen Enden I_1 und II_1 werden stärkeren, die im Windschatten der vorderen Tragflächenseite liegenden aufwärts gezogenen Enden I und II geringeren Widerstand erfahren. Infolgedessen wird die linke Flugzeughälfte sich beschleunigt, die rechte verzögert vorwärts bewegen, d. h. der Apparat wird bestrebt sein, eine Wendung nach rechts zu machen. Dem muß durch Einstellung des Horizontalsteuers nach links entgegengewirkt werden, was durch eine einzige Hebelbewegung gleichzeitig mit der Verwindung geschieht, nämlich durch Hebel 7, der von der rechten Hand des Flugzeugführers bedient wird, während der linken Hand die Einstellung des Höhensteuers obliegt. Hebel 7 ist am Vorderende der auf der unteren Tragfläche in zwei Führungen drehbar gelagerten Welle 8 befestigt, jedoch nicht starr, sondern gelenkig an einem horizontalen, querliegenden Drehzapfen, so daß er außer einer Drehung in der Querebene nach rechts und links, wobei er die Welle 8 dreht, auch eine Bewegung nach vorn und hinten auszuführen vermag, ohne die Welle 8 zu beeinflussen. Ungefähr in der Mitte des Hebels 7 ist eine Zugstange 10 angelenkt, die nach hinten schräg abwärts zum linken Ende eines auf der unteren Tragfläche um seinen Mittelpunkt horizontal drehbaren Querjoches 11 führt. Dieses Querjoch 11 ist durch Zugorgane mit einem entsprechenden, die beiden Seitensteuerflächen verbindenden Querjoch 12 gekuppelt. Wird also der Hebel 7 ohne Drehung in der Querebene nach vorn gelegt, so wird auf die linken Hebelarme der Querjoche 11 und 12 ein Zug ausgeübt, und die Seitensteuer werden nach links gestellt. Am Hinterende der Welle 8 ist ein dem Hebel 7 paralleler, nach oben gerichteter Hebel 9 starr befestigt. Vom freien Ende dieses Hebels 9 läuft nun ein Stahldraht nach beiden Seiten zunächst über Rollen am Fuße der Vertikalstreben 2 und 3 und von dort zu den oberen Enden der Vertikalstreben 1 und 4. Vom Fußende der Strebe 1 führt ein zweiter Stahldraht 6 über Rollen an den Kopfenden der Streben 2 und 3 zum Fußende der Strebe 4. Wird nun der Handhebel 7 nach links und gleichzeitig nach vorn gelegt, so wird mittels des gleichfalls nach links schwingenden Hebels 9 auf die rechte Seite des Drahtes 5 ein Zug ausgeübt, der das Tragflächenende I_1 abwärts zieht, wobei durch die Strebe 4 gleichzeitig das Tragflächenende II_1 abwärts gedrückt wird. Hierdurch wird nun aber auch auf den Draht 6 ein Zug nach rechts ausgeübt, der das Tragflächenende II in die Höhe zieht und mittels der Strebe 1 auch das Tragflächenende I hochdrückt. Durch das Umlegen des Hebels 7 nach vorn werden aber auch die linken Hebelarme der Querjoche 11 und 12 nach vorn gezogen und hierdurch die Seitensteuerflächen nach links gestellt. Bei dieser Einstellung des Handhebels, die übrigens durchaus im Sinne der unwillkürlichen Körperbewegung liegt, wird also das nach rechts geneigte Flugzeug unter Beibehaltung seiner Seitenrichtung die Normallage alsbald wieder einnehmen. — Die Längsstabilität des Wright-Flugzeuges wird lediglich durch das vorn liegende Höhensteuer (Fig. 1261) erhalten. Da hierdurch die Aufmerksamkeit des Führers außerordentlich in Anspruch genommen wird, erhalten die in Deutschland erbauten Wright-Flugzeuge neuerdings hinter den Steuerflächen noch horizontale Dämpfungsflächen, wodurch die Längsstabilität wesentlich erhöht wird. Bei den neuesten Ausführungen des Wright-Flugzeuges ist das vordere Höhensteuer gänzlich beseitigt und statt dessen ein hinteres am Ende des Rumpfes angeordnet. Auch werden die deutschen Apparate jetzt mit Laufrädern zwischen den Kufen versehen, da die stärkeren Motoren ein Auffliegen durch Anfahren auf dem Boden mit verhältnismäßig kurzer Anlaufstrecke gestatten. Das Flugzeug ist infolgedessen nicht mehr auf eine besondere Startvorrichtung angewiesen.

Fig. 1262. Zweidecker Herring-Curtiß (1909).

Herring-Curtiß. Nächst dem Wrightschen ist wohl das Flugzeug von Herring-Curtiß (Fig. 1262) unter den amerikanischen das bedeutungsvollste. Die beiden Tragflächen sind starr und durch Vertikalstreben gegeneinander abgestützt. Zur Erhaltung der Querstabilität dienen Hilfsflächen,

die, um horizontale Querachsen schwingend, zu beiden Seiten zwischen den Tragflächen angeordnet sind und durch die Oberkörperbewegungen des Führers mittels einer beweglichen Lehne verstellt werden. Ähnlich wie bei Wright ist das weit nach vorn liegende Höhensteuer doppelflächig und trägt zwischen den Horizontalflächen eine kleine vertikale Kielfläche. Die Krümmung der Horizontalflächen ist jedoch nicht veränderlich. In größerem Abstande hinter den Tragflächen sitzt an Auslegerarmen eine horizontale Starrfläche und senkrecht dazu das Seitensteuer. Der Motor ist Curtißscher Konstruktion und treibt direkt eine hinter den Tragflächen arbeitende Holzschraube. Das Flugzeug ruht auf drei federnden Laufrädern, zwischen denen eine Kufe zur Aufnahme stärkerer Landungsstöße vorgesehen ist.

b) Frankreich. Santos Dumont. Der Brasilier Santos Dumont, der durch seine vielen Versuche in der Luftschiffahrt und Flugtechnik bekannt ist, war der erste, der in Europa mit einem Drachenflugzeug einen öffentlichen Flug ausführte. Mit einem Doppeldecker gelang es ihm 1906, eine Strecke von ca. 220 m fliegend zurückzulegen. Für die technische Weiterentwickelung des Flugwesens ist dieser Versuch jedoch bedeutungslos geblieben.

Voisin. Das Drachenflugzeug der Gebr. Voisin, die in Frankreich nächst Santos Dumont als die ersten sich mit der Flugtechnik befaßten, besteht in seiner Urform aus zwei in einem Abstand von 4 m hintereinander angeordneten, durch einen versteiften Träger miteinander verbundenen, kastendrachenartigen Tragzellen (Fig. 1263). Die vordere, größere Tragzelle besitzt zwei in einem Höhenabstand von 1,5 m übereinander angeordnete Tragflächen von 10 m Breite und 2 m Länge und ist in der Urform und auch noch bei einigen späteren Ausführungen durch vier vertikale Längswände, zwei seitliche und zwei mehr nach der Mitte zu liegende, in drei Einzelzellen unterteilt. Bei der Mehrzahl der später, besonders für die berühmten Flugzeugführer Henri Farman und Delagrange, gebauten Apparate wurden die vertikalen Längswände der Vorderzelle wieder fortgelassen, da das Flugzeug bei Seitenwind hierdurch zu sehr abgetrieben wurde. Auch sonst wurden einzelne Abänderungen getroffen, die jedoch den Typ, der 1908 und 1909 bedeutende Erfolge erzielt hat, nicht beeinflußten. Die hintere Tragzelle besteht aus zwei, ebenfalls in einem Abstand von 1,5 m übereinander angeordneten, horizontalen Tragflächen von 2,50 m Breite und 2 m Länge, die durch zwei seitliche vertikale Längswände verbunden sind. In der Mittelebene der Hinterzelle liegt das Seitensteuer. Vor den Tragflächen, an einem obeliskenartigen Träger gelagert, liegt das Höhensteuer, bestehend aus zwei nebeneinanderliegenden, durch die Drehachse starr verbundenen Flächen. Sämtliche Steuervorrichtungen regiert ein einziges Organ, nämlich ein Automobilsteuerrad, das auf einer in einer Seiltrommel verschiebbar gelagerten Vierkantstange sitzt. Durch Vor- und Zurückschieben des Rades wird das Höhensteuer verstellt, durch Drehen des Rades die Seiltrommel gedreht, und mittels dieser durch sich auf- und abwickelnde Seile das Seitensteuer verstellt. Zwischen die Steuerradwelle und die zum Höhensteuer führende Zugstange ist ein Kardangelenk geschaltet, um die Drehung zu ermöglichen. Der auf der unteren Tragfläche angeordnete Motor treibt direkt eine Schraube von 2,3 m Durchmesser, die in einem Ausschnitt der unteren Tragfläche arbeitet. Das Fahrgestell besteht aus vier Laufrädern, zwei kleineren unter der Hinterzelle und zwei größeren unter der Vorderzelle, die um senkrechte Achsen drehbar sind, um beim Landen bei Seitenwind sich in die tatsächliche Bewegungsrichtung einstellen zu können. Die vordere Laufradkonstruktion ist höchst elastisch, da durch Anordnung von 1,5 m langen Schraubenfedern ein Durchfedern um 60 cm möglich ist; sie ist jedoch auch sehr schwer. Wenn das Flugzeug auf allen vier Rädern steht, bilden die Tragflächen einen Winkel von 10° gegen die Horizontale. Beim Anlauf hebt sich das leichte Hinterteil zunächst vom Boden ab, worauf das Flugzeug infolge der verringerten

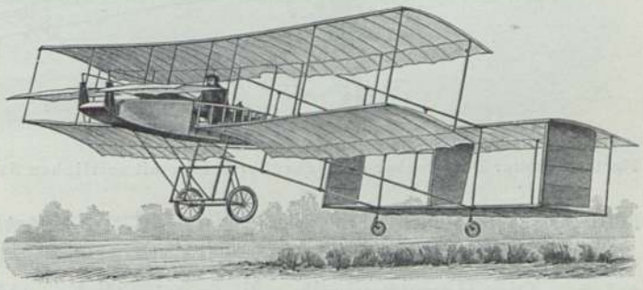


Fig. 1263. Voisin-Zweidecker (älterer Typ, 1908/09).

Tragflächenneigung und des hierdurch geringeren Luftwiderstandes eine größere Geschwindigkeit erlangt und dann durch Aufrichten des Höhensteuers zum Schweben gebracht wird.

Die Gebr. Voisin haben außer diesem älteren Typ jetzt einen neuen, *Renntyp* (Fig. 1264) genannt, auf den Markt gebracht, der in vieler Hinsicht dem Herring-Curtißschen Flugzeug ähnelt. Die vertikalen Längswände sind hier fortgelassen; der Steuerschwanz trägt nur eine Horizontalfläche, darunter ein Seitensteuer. Zur Querstabilisierung dienen bei diesem Voisinschen Renntyp zwei zu beiden Seiten zwischen den Tragflächen angeordnete, um horizontale Querachsen schwingende Hilfsflächen. Auch das Fahrgestell ist gegenüber dem alten Typ erheblich einfacher und leichter geworden. Unter dem Träger für das Höhensteuer ist zur Vermeidung des Vornüberkippens noch ein weiteres Laufrad angeordnet.

Fig. 1264. Neuer Zweidecker der Gebrüder Voisin mit seitlichen Stabilisierungsflächen (Renntyp).

Völlig abweichend vom Normalen ist jedoch das allerneueste, im Frühjahr 1911 herausgekommene Voisin-Flugzeug, der sogenannte *Canard*-Typ (d. h. *Ententyp*). Hier liegen die Haupttragflächen am Hinterende eines langen, obeliskenartigen Trägers, dessen Vorderende Höhen- und Seitensteuer trägt. Die Haupttragzelle, die mit seitlichen Abschlußwänden und an den Tragflächen angelenkten Stabilisierungsklappen versehen ist, bildet also den hinteren Abschluß des Flugzeuges. Infolgedessen erweckt dieses Flugzeug in der Luft den Eindruck, als ob es mit dem Schwanze voran fliegt. Es erscheint zweifelhaft, ob diese eigenartige Anordnung Nachahmung finden wird.

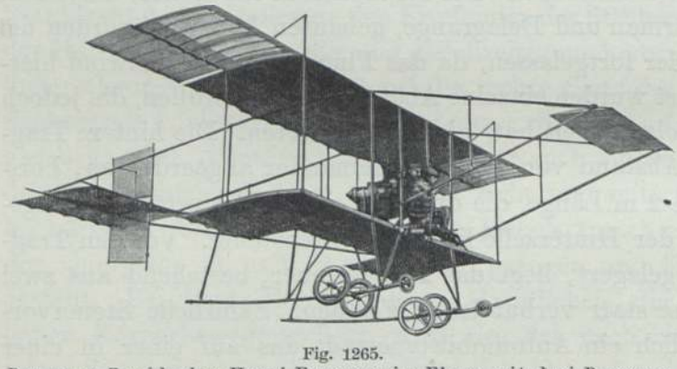


Fig. 1265.
Der neue Zweidecker Henri Farmans im Fluge mit drei Personen.

Henri Farman. Von allen Doppeldeckern ist der in Anlehnung an das Voisin-Flugzeug entstandene Typ Henri Farman heute der verbreitetste. Statt der aufgegebenen vertikalen Zwischenwände zwischen den Haupttragflächen wendet Farman als Ausgleich für die hierdurch verringerte Stabilität besondere Stabilisierungsvorrichtungen an, bestehend aus zu beiden Seiten an den Hinterkanten der Tragflächen angeordneten, um ihre Vorderkante drehbaren Hilfsflächen (ailerons). Die kastenförmige hintere Steuerzelle wurde längere Zeit beibehalten; dann wurden auch hier die vertikalen Seitenwände entfernt und anstatt eines Seitensteuers zwei nebeneinanderliegende verwendet. Bei der neuesten Ausführungsform des Flugzeuges (Fig. 1265) ist nur noch eine horizontale Schwanzfläche und ein diese Fläche kreuzendes, mit entsprechendem Schlitz versehenes Seitensteuer beibehalten. Die obere Tragfläche besitzt eine erheblich größere Spannweite als die untere und trägt allein noch die Hilfsflächen zur Stabilisierung, während die untere Tragfläche starr ist. Die Hilfsflächen können vom Steuerhebel aus nach oben oder unten verstellt werden. Das Fahrgestell besteht aus zwei längslaufenden Schlittenkufen, deren jede unterhalb der Tragflächen zwei seitliche Laufräder trägt, so daß also vorn vier Laufräder nebeneinander liegen. Die Kufen hängen mittels starker Kautschukbänder an den Radachsen, so daß die Räder bei starkem

Landungsstoß nachgeben und die Kufen zur Wirkung kommen können. Vor den Laufrädern tragen die Schlittenkufen noch kleine Laufrollen. Unter dem Steuerschwanz ist kein Laufrad, sondern nur eine nachgiebige Stütze vorgesehen. Der Farman-Doppeldecker wird in Frankreich in den eigenen Werkstätten des Konstrukteurs, in Deutschland von der „Aviatik", G. m. b. H. in Mühlhausen, und von den „Albatros-Werken" in Johannisthal erbaut. Farman verwendet zum Antrieb fast ausschließlich den *Gnôme-Rotationsmotor* (vgl. Abteilung „Verbrennungsmaschinen", Fig. 264 u. 265, S. 130), die Aviatik G. m. b. H. den deutschen *Argus-Motor;* die Albatros-Werke liefern das Flugzeug sowohl mit Argus- wie mit Gnôme-Motor.

Maurice Farman. Auch der Bruder Henri Farmans, Maurice Farman, hat einen Zweidecker konstruiert (Fig. 1266). An Voisin erinnern die zwischen den Haupttragflächen vorgesehenen vertikalen Längswände sowie die Steuereinrichtung mittels Handrad, an Henri Farman die an der unteren Tragfläche angeordneten Hilfsflächen zur Stabilisierung sowie der Steuerschwanz, der aus zwei übereinanderliegenden Tragflächen sowie zwei dahinter liegenden, nebeneinander angeordneten Seitensteuern besteht. Die Träger für das vorn liegende einflächige Höhensteuer sind als Gleitkufen ausgebildet; das Fahrgestell besteht aus zwei vorderen größeren und zwei hinteren kleineren Laufrädern. Mit diesem Flugzeug sind bereits eine Reihe erfolgreicher Flüge ausgeführt worden.

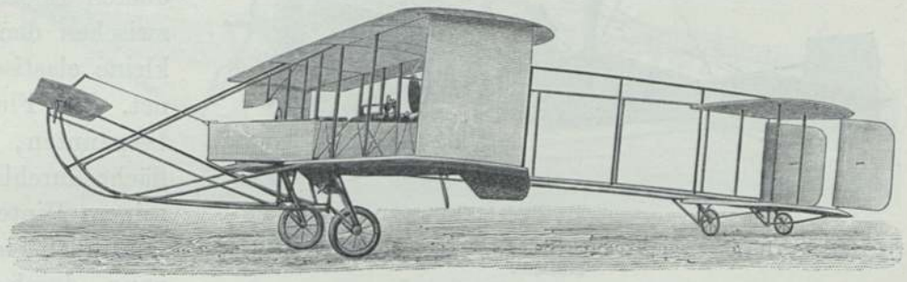


Fig. 1266. Zweidecker von Maurice Farman.

Sommer. Ein weiterer erfolgreicher französischer Doppeldecker ist der von Roger-Sommer (Fig. 1267), der auch in Deutschland von den Albatros-Werken gebaut wird. Er ähnelt in vieler Beziehung dem Typ Henri Farman. Das Flugzeug besteht aus zwei übereinander angeordneten Haupttragflächen, von denen die obere an der Hinterkante beiderseitig mit Hilfsflächen zur Stabilisierung versehen ist, und einer hinteren, mit den Haupttragflächen durch einen obeliskenartigen versteiften Träger verbundenen Schwanzfläche. Die Neigung der Schwanzfläche ist vom Führersitz aus durch ein selbstsperrendes Handrad mittels Kettenübertragung während der Fahrt einstellbar. Das Seitensteuer, das die Schwanzfläche entweder überkreuzt oder vor ihr liegt, wird durch Fußhebel bewegt, das Höhensteuer durch einen Handhebel, der gleichzeitig zur Einstellung der Stabilisierungsflächen dient. Die Träger für das vorn liegende Höhensteuer sind wie bei Maurice Farman als Gleitkufen ausgebildet. Außer diesen Kufen sind unter den Haupttragflächen abgefederte Laufräder und unter der Schwanzfläche kleine Laufräder oder leichte Schlittenkufen vorgesehen.

Fig. 1267. Zweidecker von Roger-Sommer.

Bréguet. Ein durch seine Erfolge und seine eigenartige Konstruktion bemerkenswerter neuer französischer Doppeldecker ist der von Bréguet (Fig. 1268). Die beiden übereinander angeordneten Tragflächen, von denen die obere eine größere Spannweite besitzt als die untere, sind in der Mitte unterteilt. Auch sind die Tragflächen nicht, wie sonst üblich, durch zwei vertikale Strebenreihen an der Vorder- und Hinterkante starr verbunden, sondern es ist nur eine, auf etwa ein Viertel der Tragflächentiefe von vorn angeordnete Strebenreihe vorgesehen. Die Tragflächen sind also in der Längsrichtung sehr elastisch und können sich unter dem Einfluß des Luftwiderstandes

durchbiegen. Die Teilung der Tragflächen in zwei Hälften hat der Konstrukteur deswegen vorgenommen, um beim Kurvenfahren, wobei sonst die äußere Tragflächenseite infolge der höheren Geschwindigkeit größeren Luftwiderstand erfährt als die innere, den Widerstand auf beiden Seiten gleichzumachen. Zu diesem Zweck sind beide Tragflächenseiten durch ein Hebelgestänge zwangläufig verbunden, so daß, wenn unter dem Einfluß größeren Luftwiderstandes die eine Tragflächenseite sich aufwärts biegt, die andere abwärts gebogen wird, wodurch der Widerstand auf beiden Seiten ausgeglichen wird. Am oberen Ende der Verbindungsstreben zwischen den beiden Tragflächen sind kleine elastische Kielflächen angeordnet. Das Flugzeug besitzt einen stoffbespannten, über der unteren Tragfläche durchlaufenden Rumpf; die an seinem Hinterende sitzende elastische Schwanzfläche kann zur Höhensteuerung durch Zugorgane aufgebogen werden. Hinter dieser Schwanzfläche liegt ein normales Seitensteuer. Sämtliche Steuerbewegungen können durch einen allseitig beweglichen Hebel ausgeführt werden. Die Schraube liegt vor den Tragflächen, wirkt also ziehend.

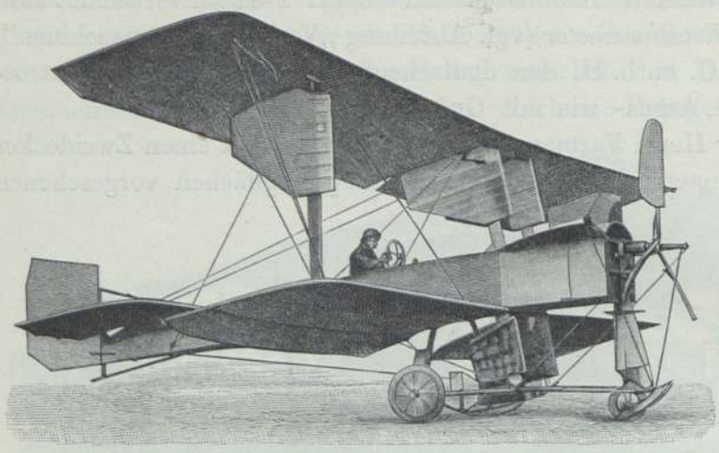


Fig. 1268. Zweidecker von Bréguet (vom Konstrukteur doppelter Eindecker genannt).

Goupy. Ein anderer erfolgreicher französischer Zweidecker ist der von Goupy (Fig. 1269). Bei diesem Flugzeug liegen die beiden Tragflächen nicht senkrecht übereinander, sondern die obere ist mehr nach vorn gelegt, so daß die Verbindungsstreben schräg nach vorn stehen. Ein obeliskenartiger, nach hinten sich verjüngender Rumpf besitzt am Hinterende zwei übereinanderliegende horizontale Schwanzflächen, von denen die untere zu beiden Seiten Höhensteuerflächen trägt. Zur Stabilisierung ist von den seitlichen Enden beider Tragflächen gewissermaßen ein Streifen abgeschnitten und um horizontale Querachsen drehbar gemacht. Die Schraube liegt auch bei diesem Flugzeug vorn und wirkt ziehend.

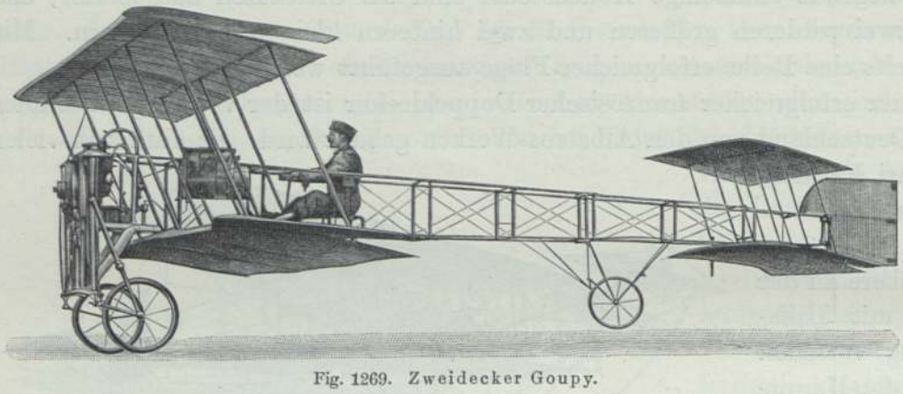


Fig. 1269. Zweidecker Goupy.

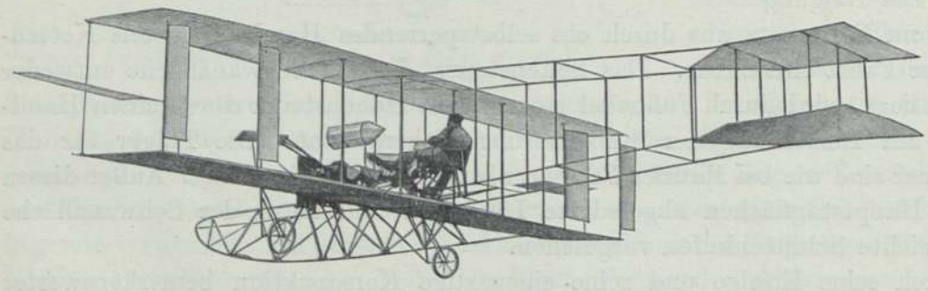


Fig. 1270. Zweidecker Savary.

Savary. Von französischen Zweideckern sei schließlich noch der Apparat von Savary (Fig. 1270) erwähnt. Er besitzt zwei vor den Tragflächen nebeneinander liegende Propeller, die wie bei Wright durch eine offene und eine gekreuzte Kette vom Motor aus angetrieben werden. Auch die Seitensteuerung ist eigenartig, da sie durch vier nebeneinander an den hinteren

Tragflächenstreben angeordnete schmale Flächen bewirkt wird. Zur Stabilisierung dienen wie bei Herring-Curtiß zwei an den vorderen Tragflächenstreben angeordnete, um ihre Vorderkante drehbare Hilfsflächen. Unterhalb der Tragflächen ist ein starkes, nach vorn weit vorspringendes Traggerüst von dreieckigem Querschnitt zur Versteifung des Motors vorgesehen; der untere Längsträger dieses Gerüstes dient gleichzeitig als Landungskufe.

c) **Deutschland.** Auch in Deutschland gibt es eine Reihe leistungsfähiger Flugzeugfabriken; sie sind jedoch zum großen Teil auf den Bau der bewährten französischen und amerikanischen Flugzeugtypen angewiesen; nur wenige unter den deutschen Originalkonstruktionen von Zweideckern sind über das Versuchsstadium hinausgekommen.

Fig. 1271. Euler-Zweidecker.

Euler. Einer der ersten, der in Deutschland Drachenflugzeuge baute, ist August Euler. Der von ihm konstruierte Doppeldecker (Fig. 1271) ist in Anlehnung an den Voisin-Typ entstanden, weist ihm gegenüber jedoch viele Verbesserungen auf. Die vertikalen Längswände sind bei der neuesten Ausführungsform sowohl in der Hauptzelle wie in der Schwanzzelle fortgelassen. Zur Stabilisierung dienen Klappen zu beiden Seiten an der Hinterkante der oberen Haupttragfläche. Zwischen den Tragflächen der Schwanzzelle sitzen zwei nebeneinanderliegende Seitensteuer. Die Höhensteuerung ist dieselbe wie bei Voisin und Farman. Dagegen ist das Fahrgestell gegenüber Voisin erheblich vereinfacht. Außer Laufrädern, an deren Achsen das Flugzeug in Kautschukbändern hängt, sind noch zwischen den Rädern liegende abgefederte Bremskufen vorgesehen.

Fig. 1272. Doppeldecker von Dr. Huth.

Huth. Der Doppeldecker von Dr. Huth (Fig. 1272) stimmt mit dem Sommerschen Flugzeug hinsichtlich der Anordnung der Tragflächen, Stabilisierungsflächen, Höhen- und Seitensteuer im wesentlichen überein. Dagegen unterscheidet er sich erheblich im Unterbau. Die sehr stark ausgeführten Gleitkufen laufen nämlich ununterbrochen vom vorderen Höhensteuer bis zur hinteren Dämpfungsfläche durch. Letztere kann auf dem Unterbau montiert werden und bedarf keiner weiteren Verbindung mit den vorderen Tragflächen, wodurch natürlich an Gewicht gespart wird. Auch vermag das Flugzeug auf sehr unebenem Terrain gefahrlos zu landen.

Siemens-Schuckert. Der Doppeldecker der Siemens-Schuckert-Werke (Fig. 1273) ist eins der größten bisher konstruierten Flugzeuge. Die beiden in einem Abstand von 2,4 m übereinander angeordneten, in der Längsrichtung sehr elastischen Tragflächen haben eine Spannweite von 16,5 m und eine Tiefe von 2,1 m. Vorn liegt ein zweiflächiges Höhensteuer, hinten eine einfache horizontale Schwanzfläche und das Seitensteuer. Ein 50 PS Argus-Motor treibt mittels

Kettenübertragung zwei hinter den Tragflächen liegende Propeller. Um ein Kreuzen der einen Kette zu vermeiden und trotzdem Gegenläufigkeit der Propeller zu erzielen, ist in die eine Übertragung ein Zahnrad-Umkehrgetriebe eingeschaltet. Das Flugzeug läuft auf drei abgefederten Rädern, vor denen gewölbte Bremskufen liegen, die bei stärkeren Stößen zur Wirkung kommen.

Sonstige deutsche Zweidecker. Gute Erfolge verzeichnen die Flugzeuge der Sächsischen Flugzeugwerke. Im Versuchsstadium befinden sich noch die Flugzeuge des Münchener Otto, des Majors von Parseval und des Jachtkonstrukteurs Oertz in Hamburg. — Die von den deutschen Flugzeugfabriken Aviatik, G. m. b. H., Mühlhausen, Albatros-Werke, Johannisthal, und Flugmaschine Wright, G. m. b. H., Berlin, erbauten und recht erfolgreichen Zweidecker lehnen sich in ihrer Konstruktion eng an ihre französischen bzw. amerikanischen Vorbilder Henri Farman, Sommer und Wright an, so daß eine besondere Besprechung sich hier erübrigt.

d) Österreich. Der von dem österreichischen Ingenieur Warschalowski konstruierte Doppeldecker, der in seiner Gesamtanordnung dem Typ Henri Farman entspricht, ist insofern eigenartig, als die obere Tragfläche nicht einfach in der Flugrichtung, sondern in Nachbildung des Flugsamens der Pflanze Zanonia doppelt gewölbt ist. Die nähere Beschreibung der Eigenart dieser Fläche

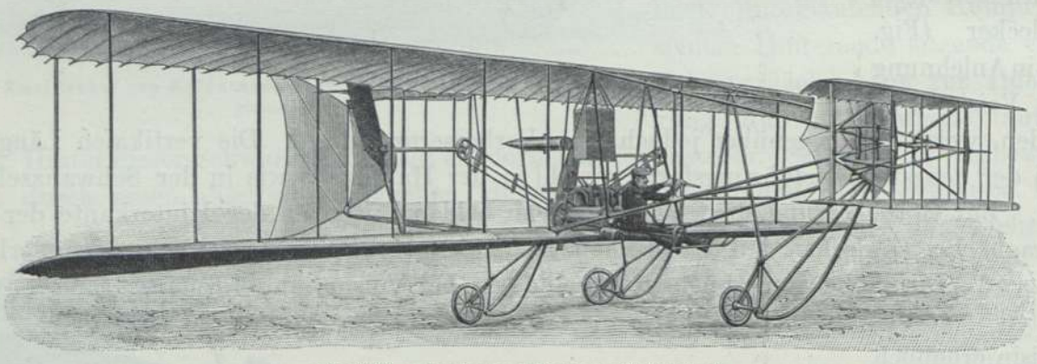


Fig. 1273. Zweidecker Siemens-Schuckert.

mag bei Besprechung des Eindeckerflugzeuges von Etrich, der dieselbe zum erstenmal anwandte und dem sie patentiert ist, erfolgen.

e) England. In England hat Oberst Cody im Auftrage der Armeeverwaltung einen Zweidecker konstruiert, der in sehr großen Abmessungen ausgeführt ist. Die Haupttragflächen haben eine Spannweite von 15,8 m und eine Tiefe von 2,3 m. Vorn liegt ein einflächiges Höhensteuer, darüber eine vertikale Kielfläche, hinten in der Mittelebene an einem Auslegerarm ein einfaches Seitensteuer. Horizontale Dämpfungsflächen sind nicht vorhanden, so daß die Längsstabilität wie bei Wright lediglich durch das vordere Höhensteuer erhalten werden muß. Zur Querstabilisierung dienen ähnlich wie bei Curtiß horizontale, seitlich zwischen den Tragflächen angeordnete Hilfsflächen, die um ihre mittlere horizontale Querachse schwingen. Der Antrieb erfolgt durch zwei nebeneinanderliegende, durch Kettenübertragung angetriebene gegenläufige Propeller, die jedoch nicht vor oder hinter den Tragflächen, sondern zwischen diesen arbeiten. Die Tragflächen haben daher einen erheblich größeren Höhenabstand, als sonst üblich ist.

2. Eindecker.

a) Frankreich. Blériot. Bedeutend später als die Doppeldecker sind die Eindecker zu Erfolgen gekommen. Einer der ersten, die sich diesem Typ zuwandten, war Louis Blériot. Der von ihm konstruierte Eindecker gehört heute zu den erfolgreichsten und leistungsfähigsten Flugzeugen. Begründet wurde sein Ruf durch den ersten Flug über den Kanal, den Blériot am 25. Juli 1909 von Calais nach Dover ausführte. Der hierbei benutzte Apparat trug die Bezeichnung „Blériot XI". Das Flugzeug (Fig. 1274—1276), dessen Gesamtlänge 8,6 m beträgt, hat einen durchlaufenden, nur in seinem Vorderteil bespannten Rumpf 1, der als Fachwerkträger von rechteckigem, nach hinten zu sich verjüngendem Querschnitt aus Eschenholzstäben hergestellt ist.

Der Rumpf trägt vorn zwei gewölbte Tragflügel 2 von 7,80 m Gesamtspannweite, deren Wölbungssehne gegen die Horizontale um ca. 7° geneigt ist. Unter dem Hinterende des Rumpfes liegt eine gewölbte horizontale, feste Schwanzfläche 3, zu deren beiden Seiten zwei kleinere, durch eine gemeinsame Welle starr miteinander verbundene Höhensteuerflächen 4 liegen. Ein gewöhnliches, einflächiges Hecksteuer 5 dient zur Seitensteuerung. Zur Erhaltung der Querstabilität werden die Tragflächen verwunden. Die am Kopf des Flugzeuges angeordnete, also ziehend wirkende Holzschraube 9 von 2,08 m Durchmesser wird von dem dahinterliegenden 25 PS Anzani-Motor 8 direkt angetrieben. Hinter dem Motor liegt der Führersitz 10. Das Einstellen des Höhensteuers und die Verwindung der Tragflächen geschieht durch einen allseitig beweglichen Handhebel 11, ersteres durch Neigen in der Längsebene, letzteres durch Neigen in der Querebene. Das Seitensteuer wird durch Fußhebel 12 verstellt. Das Fahrgestell besteht aus zwei unter den Hauptflächen nebeneinanderliegenden, sehr gut abgefederten und sich selbsttätig in die Fahrtrichtung einstellenden vorderen Laufrädern 6, und einem kleineren Laufrad 7 unter dem Hinterteil des Rumpfes. 13 ist der Rahmen zur Verspannung der Tragflächen, 14 sind die Spanndrähte. Das Gesamtgewicht des Flugzeuges einschließlich Führer und Betriebsmaterial für zwei Stunden beträgt 300 kg. Da die Gesamttragfläche 14 qm groß ist, ergibt sich eine spezifische Flächenbelastung von ca. 22 kg/qm.

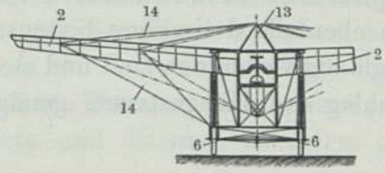


Fig. 1274. Vorderansicht.

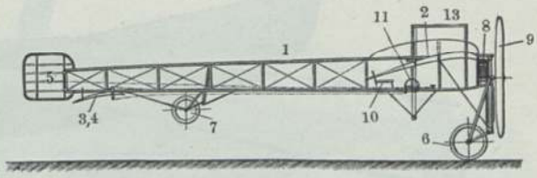


Fig. 1275. Seitenansicht.

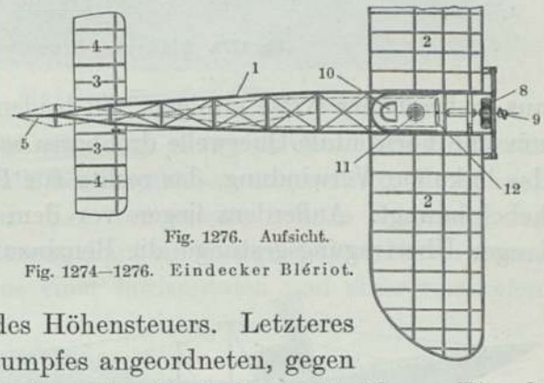


Fig. 1276. Aufsicht.

Fig. 1274—1276. Eindecker Blériot.

Das Blériot-Flugzeug Typ 1910 unterscheidet sich von dem besprochenen sogenannten *Kanaltyp* durch die andere Anordnung der Schwanzfläche und des Höhensteuers. Letzteres besteht aus zwei direkt neben dem Hinterende des Rumpfes angeordneten, gegen die frühere Ausführungsform erheblich verbreiterten und um ihre Vorderkante drehbaren Einzelklappen. Die Schwanzfläche liegt nicht mehr zwischen den Höhensteuerflächen, sondern vor diesen, und zwar läuft sie von der Vorderkante der Höhensteuerflächen, wo sie ihre größte Breite besitzt, nach vorn zu allmählich schmaler werdend, am Rumpf entlang bis zur Hinterkante der Tragflächen. Die neueren Blériot-Flugzeuge sind fast alle mit einem Gnôme-Rotationsmotor versehen, der bei den schnelleren Typen 100 PS leistet.

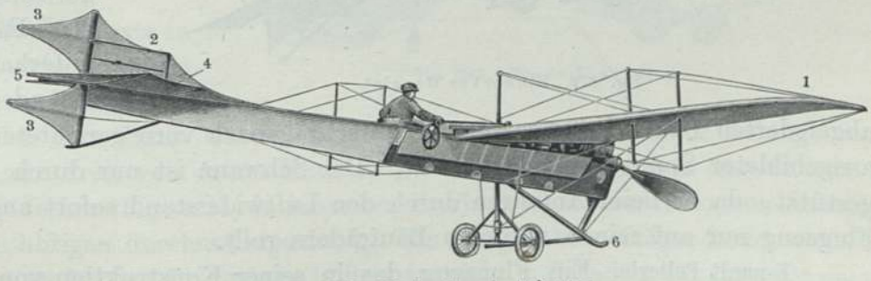


Fig. 1277. Eindecker Antoinette.

Antoinette. Zu den erfolgreichsten französischen Eindeckern gehört neben dem Blériot-Flugzeug der Typ *Antoinette* (Fig. 1277). Das Flugzeug, das durch seine schlanke, elegante Form auffällt, besitzt einen langgestreckten, vorn zugeschärften, nach hinten zu allmählich sich verjüngenden Rumpf von dreieckigem Querschnitt. Dieser trägt an der Spitze den von dem dahinterliegenden Motor direkt angetriebenen Schraubenpropeller. Hinter dem Motor setzen in Höhe der Oberkante des Rumpfes die Flügel der Tragfläche 1 an. Diese Flügel haben trapezförmigen Grundriß und sind in Form eines stumpfwinkeligen V zueinander angeordnet, wobei jeder Flügel um ca. 5° gegen die Horizontale geneigt ist. Die Konstruktion des Flügelgerippes ist sehr sorgfältig

durchgearbeitet; sowohl die Längsrippen wie die Querrippen sind als parabolisch gewölbte, fachwerkartig gebaute Eschenholzträger hergestellt. Zwischen den Hauptrippen liegen noch dünne Hilfsrippen, um die richtige Wölbung der Bespannung zu sichern. Die Flügel werden nach unten mit dem Fahrgestell und nach oben mit einem aus dem Rumpf hervorragenden Mast fest verspannt. Hinter den Tragflächen liegt im Rumpf ein bequemer Sitz für den Führer. Eigenartig ist die Ausbildung der Steuerungsorgane. Am Hinterende des Flugzeuges, in Höhe der Oberkante des Rumpfes, liegt ein Höhensteuer 5 von dreieckiger Grundrißform, oberhalb und unterhalb desselben je ein ebenfalls dreieckiges Seitensteuer 3. Die Dreiecksform dieser Seitensteuer, die miteinander zwangläufig verbunden sind und stets in gleichem Sinne verstellt werden, hat den Zweck, für den Ausschlag des Höhensteuers genügend Platz zu schaffen. Vor dem oberen Seitensteuer liegt eine Kielfläche 2, vor dem Höhensteuer eine horizontale Dämpfungsfläche 4. Zur Erhaltung der Querstabilität werden die Haupttragflächen verwunden. Die Bewegung sämtlicher Steuerorgane sowie die Bedienung des Motors kann vom Steuersitz aus in bequemer Weise erfolgen. Zu beiden Seiten des Sitzes, außerhalb des Rumpfes, ist je ein um eine horizontale Querwelle drehbares selbstsperrendes Steuerrad vorgesehen, und zwar dient das linke zur Verwindung, das rechte zur Höhensteuerung; die Seitensteuer werden durch Fußhebel bewegt. Außerdem liegen vor dem Führersitz noch zwei kleine Handräder, die mittels langer Übertragungsgestänge die Benzinzufuhr und Zündung des Motors regeln. Hinter dem Sitz ist der Rumpf auf seiner ganzen Länge mit Stoff bespannt, vor dem Sitz dagegen werden die Seitenwände des Rumpfes durch den Kühler gebildet, der aus einer Reihe von dicht übereinanderliegenden horizontalen Rohren hergestellt ist. Das Fahrgestell besteht aus zwei unterhalb der Tragflächen nebeneinander angeordneten, pneumatisch abgefederten Laufrädern, vor denen ein schräg nach vorn gerichteter, an der Spitze kufenartig ausgebildeter Sporn 6 vorgesehen ist. Der Schwanz ist nur durch ein kurzes Kufenstückchen gestützt, da er beim Anfahren durch den Luftwiderstand sofort angehoben wird, so daß das Flugzeug nur auf seinen vorderen Laufrädern rollt.

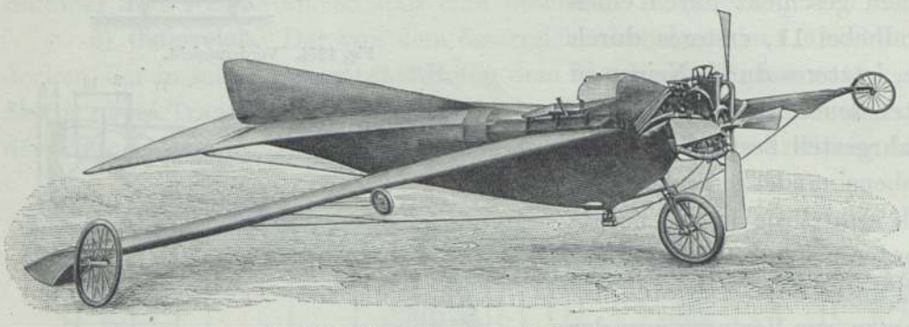


Fig. 1278. Eindecker Esnault Pelterie.

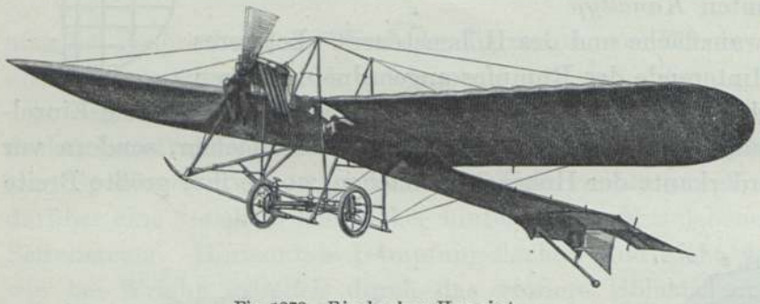


Fig. 1279. Eindecker Hanriot.

Esnault Pelterie. Ein Flugzeug, das in seiner Konstruktion von dem Normaltyp erheblich abweicht, ist der Eindecker von Robert Esnault Pelterie, nach den Anfangsbuchstaben des Namens seines Konstrukteurs *R. E. P.* genannt (Fig. 1278). Bei diesem sind die Tragflächen nicht, wie sonst üblich, starr mit dem Rumpfe verbunden, sondern mittels einer Hebelkonstruktion gelenkig am Gerüst befestigt, und zwar werden die Tragflächen gleichzeitig mit der Verwindung auch in bezug auf die Mittelebene seitlich verschoben. Die Verwindung erfolgt dadurch, daß die vorderen und hinteren Querstreben in entgegengesetztem Sinne um die Längsachse geneigt werden. Durch diese Anordnung will der Konstrukteur eine erhöhte Sicherung der Seitenstabilität erzielen. Propeller und Motor, letzterer eigener Konstruktion, liegen in üblicher Weise am Vorderende des ganz aus Stahlrohr hergestellten Rumpfes. Am Hinterende des Rumpfes sitzt eine als Höhensteuer

dienende Schwanzfläche, darunter (bei manchen Ausführungsformen auch darüber) das Seitensteuer. Das Fahrgestell besteht nur aus zwei tandemartig hintereinander angeordneten Laufrädern, von denen das vordere, das mit einem hydropneumatischen Stoßdämpfer versehen ist, unter der Vorderkante der Tragflächen liegt, während das zweite, kleinere mit dem Seitensteuer auf einer Achse sitzt, so daß das Flugzeug beim Fahren auf dem Lande auch gesteuert werden kann. In der Ruhelage stützt sich der Apparat, da er auf den beiden mittleren Laufrädern natürlich nicht im Gleichgewicht ist, noch auf einen der Flügel, die deshalb an ihren Enden ebenfalls mit kleinen Laufrädern versehen sind. Beim Anfahren fährt das Flugzeug jedoch bereits bei geringer Geschwindigkeit frei auf seinen beiden Mittelrädern.

Hanriot. Beim Hanriot-Eindecker (Fig. 1279) sind bewährte Einzelorgane der drei erfolgreichsten französischen Flugzeugtypen von Blériot, Antoinette und Farman zu einem guten Ganzen vereinigt. Die Flügelkonstruktion ist im wesentlichen von Blériot, der Steuerschwanz mit Dämpfungsflächen von Antoinette, und das Fahrgestell von Henri Farman entlehnt, wobei natürlich konstruktive Abänderungen vorgenommen sind. Diese Vereinigung hat ein Flugzeug ergeben, das hervorragende Erfolge errungen hat.

Fig. 1280. Eindecker Demoiselle Santos Dumonts.

Santos Dumont. Das neueste Flugzeug Santos Dumonts, der kleine Eindecker *Demoiselle* (Fig. 1280), verdient aus konstruktiven Gründen Erwähnung. Der Führersitz ist unterhalb der Tragflächen angeordnet; Motor und Propeller liegen sehr hoch, noch über den Tragflächen. Letztere werden zwecks Erhaltung der Querstabilität verwunden. Zur Höhen- und Seitensteuerung dient ein einziges Organ, ein an einem Kardangelenk sitzendes Universalsteuer, bestehend aus einer horizontalen und einer vertikalen Fläche, die kreuzförmig angeordnet sind und gleichzeitig als Dämpfungsflächen dienen. Der Kühler liegt hart am Rumpf dicht unterhalb der Tragflächen. Das Flugzeug ist sehr leicht, aber auch nur für eine Person bestimmt und wenig tragfähig.

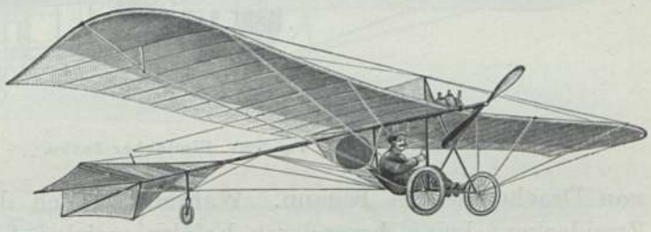


Fig. 1281. Grade-Eindecker.

b) Deutschland. Grade. Das erste in Konstruktion und Material rein deutsche Flugzeug, das bemerkenswerte Erfolge errungen hat, ist der Eindecker von Hans Grade, mit dem es dem Konstrukteur gelang, im Oktober 1909 den großen Lanz-Preis von 40000 Mark zu gewinnen. Hinsichtlich der Gesamtanordnung ist der Grade-Eindecker (Fig. 1281) in manchen Punkten dem Eindecker von Santos Dumont ähnlich, ist aber im übrigen durchaus eigenartig. Ein als gebauter Träger konstruierter durchlaufender Rumpf, wie sonst bei den Eindeckern üblich, ist nicht vorhanden, sondern nur eine starke durchlaufende Bambusstange, die vorn die Haupttragflächen und hinten die Dämpfungs- und Steuerflächen trägt. Die Haupttragflächen sind in ihrem Gerippe ebenfalls aus Bambus hergestellt und in den vorderen drei Vierteln der Tiefe beiderseitig, im hinteren Viertel dagegen nur oben bespannt. Hierdurch sind die Hinterkanten sehr elastisch, was eine leichte Verwindung zur Erhaltung der Seitenstabilität ermöglicht. Am Hinterende des durchlaufenden Längsträgers liegen zwei senkrecht zueinander stehende Dämpfungsflächen, eine horizontale und eine vertikale, die, da sie elastisch sind und durch Seilzüge aus ihrer Richtung gebogen werden können, gleichzeitig als Höhen- und Seitensteuer dienen, wobei die Horizontalfläche, um genügende Bewegungsfreiheit für die Seitensteuerung zu gewähren, am Hinterende dreieckig ausgeschnitten ist. Der Motor, ein

von Grade selbst konstruierter luftgekühlter vierzylinderiger Zweitaktmotor von 24 PS, liegt wie bei Santos Dumont über den Tragflächen, davor ein direkt angetriebener Stahlpropeller. Der Führersitz ist unterhalb der Haupttragflächen angeordnet und elastisch aufgehängt, während das Fahrgestell, bestehend aus zwei vorderen und einem hinteren Laufrad, keine Abfederung besitzt. Hinter dem Führersitz und über der Haupttragfläche liegt noch je eine Kielfläche. Ein allseitig beweglicher Handhebel bewirkt durch Schwingen in der Längsebene die Höhensteuerung, in der Querebene die Verwindung der Tragflächen und durch Drehen um seine eigene Achse die Seitensteuerung. Auch können vom Führersitz aus durch Fußhebel die Laufräder gebremst werden. Die Haupttragflächen des Grade-Flugzeuges haben eine Spannweite von 10,2 m und eine Tiefe von 2,5 m. Die Gesamttragfläche, einschließlich Schwanzfläche, beträgt 29 qm, das Gesamtgewicht einschließlich Führer und 35 kg Betriebsmaterial 235 kg, die Flächenbelastung pro Quadratmeter mithin nur 8,1 kg, was für einen Eindecker sehr niedrig ist.

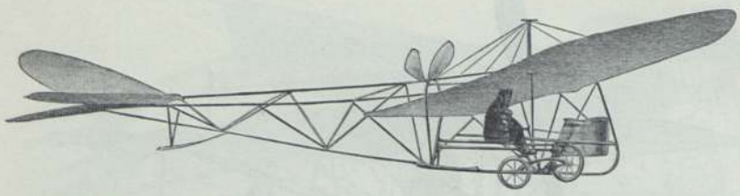


Fig. 1282. Eindecker Dorner im Fluge.

Dorner. Der Eindecker von Dorner (Fig. 1282) ist dadurch bemerkenswert, daß die Schraube nicht vor der Tragfläche, sondern hinter ihr liegt und von dem ziemlich tief unter der Tragfläche angeordneten Motor durch Kettenübersetzung angetrieben wird. Der Führersitz befindet sich wie bei Santos Dumont und Grade unterhalb der Tragflächen. Der Rumpf ist ein Fachwerkträger von dreieckigem Querschnitt, wobei die untere Längsstrebe vorn zur Schlittenkufe ausgebildet ist. Zu beiden Seiten dieser Kufe liegen zwei an einer stark federnden Achse angebrachte Laufräder. Der nach hinten spitz zulaufende Rumpf ist nur durch eine kleine Kufe abgestützt und trägt an seinem Hinterende in üblicher Weise die Steuer- und Dämpfungsflächen. Die Seitenstabilität wird durch Verwinden der Tragflächen gesichert.

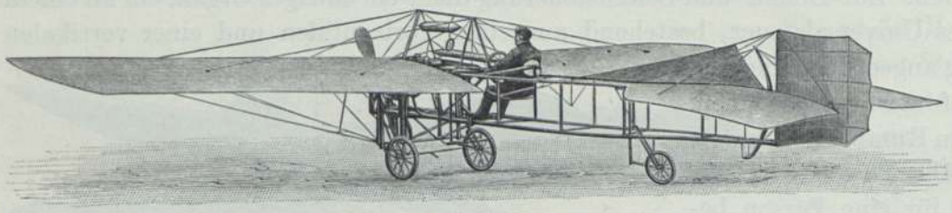


Fig. 1283. Eindecker Jatho.

Jatho. Zum Eindecker ist neuerdings auch Karl Jatho übergegangen, der bereits 1899 selbständig mit dem Bau von Drachenfliegern begann. Während jedoch die ersten Apparate, ein Dreidecker und ein Zweidecker, keine besonderen Erfolge erzielen konnten, hat der neue Eindecker (Fig. 1283) bereits gute Flugleistungen gezeigt. Der als Fachwerkträger von rechteckigem Querschnitt hergestellte Rumpf trägt vorn die Haupttragflächen, am Hinterende eine elastische horizontale Dämpfungsfläche, die durch Verbiegen der Enden gleichzeitig als Höhensteuer wirkt, ferner in einem Ausschnitt der letzteren das Seitensteuer mit davorliegender dreieckiger Kielfläche. Die Seitenstabilität wird durch Verwinden der Tragflächen gesichert. Der Motor, ein 36 PS wassergekühlter Körting-Flugmotor, liegt in üblicher Weise vorn im Rumpf vor dem Führersitz und treibt direkt den am Kopf des Rumpfes angeordneten Propeller. Das Fahrgestell besteht aus drei Laufrädern, zwei vorderen und einem hinteren, die abgefedert sind und um ihre Vertikalachsen schwingen können.

Schultze-Herfort. Ein weiterer erfolgreicher deutscher Eindecker ist der von Schultze-Herfort. In der Konstruktion der Tragflächen und des Rumpfes erinnert das Flugzeug stark an Blériot, im Fahrgestell an Henri Farman. Am Ende des Rumpfes liegt das dreieckige Seitensteuer und über letzterem eine dreieckige langgestreckte Kielfläche. Mit diesem Flugzeug wurde 1910 der zweite Lanz-Preis errungen.

Harlan. Der für zwei Personen konstruierte Eindecker (Fig. 1284 und 1285) hat eine

Spannweite von 13,5 m und eine Gesamtlänge von 11 m. Die Tiefe der Flügel beträgt 2,5 m, ihre Fläche 34 qm. Der Rumpf ist als fischförmiger Träger aus amerikanischem Spezialholz hergestellt und trägt an seinem Hinterende das Höhensteuer, davor eine feste horizontale Dämpfungsfläche; diese wird von dem ausgeschnittenen dreieckigen Seitensteuer gekreuzt, vor dessen Oberteil eine dreieckige Kielfläche liegt. Das Fahrgestell besteht aus zwei nebeneinander liegenden, längslaufenden und abgefederten Kufen, die elastisch an der Achse der außerhalb der Kufen liegenden Laufräder aufgehängt sind. Der Führersitz liegt im Rumpf hinter dem Passagiersitz. Die Stabilisierung geschieht durch Verwindung mittels Fußhebel, die Höhensteuerung durch einen Handhebel, der mit einem Handrad zur Seitensteuerung ausgerüstet ist. Ein Argusmotor von 50 PS treibt die in üblicher Weise vorn angeordnete Schraube.

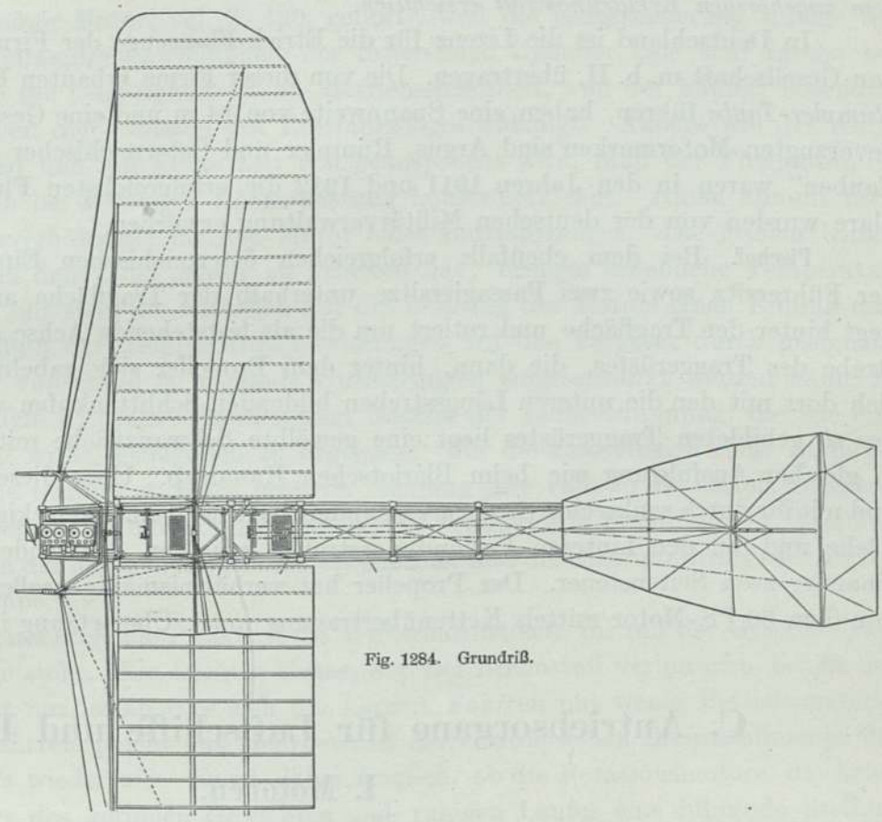


Fig. 1284. Grundriß.

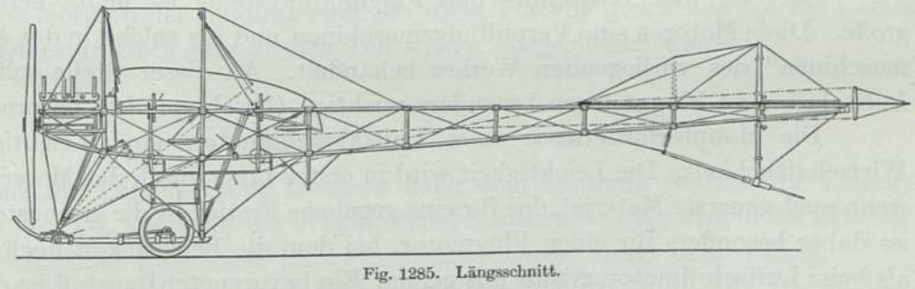


Fig. 1285. Längsschnitt.

Fig. 1284 und 1285. Harlan-Eindecker.

Sonstige deutsche Eindecker. Im Versuchsstadium befindet sich in Deutschland noch eine große Zahl von Eindeckern. Erwähnt seien die Typen von *Goedecker*, *Haefelin*, *Hanuschke*, *Heidenreich*, *Heitmann*, *Otto*, *Schulze-Magdeburg*, *Schröder* und *Strack*. Von diesen haben einige bereits recht gute Flugleistungen vollbracht.

b) Österreich. Etrich. Ein Flugzeug, das sowohl seiner eigenartig durchdachten Konstruktion wie seiner Flugleistungen und vor allem seiner hervorragenden Stabilität wegen ganz besonderer Erwähnung wert ist, ist der österreichische Eindecker von Etrich. Dieses Flugzeug ist hervorgegangen aus dem Gleitflieger, den der Ingenieur Wels unter Unterstützung von Etrich konstruiert hatte und mit dem bereits 1907 hervorragende Gleitflüge ausgeführt wurden. Durch Einbau eines Motors wurde der Gleitflieger in einen Drachenflieger umgewandelt, der dann von Etrich allein weiter vervollkommnet wurde. Das Eigenartigste an dem Etrich-Eindecker ist die Form der Tragfläche, die dem Flugsamen der *Zanonia*, eines javanischen Baumes, nachgebildet ist. Die Tragflächen sind in der Längsrichtung nicht nur einfach, sondern doppelt gewölbt, und zwar vorn konkav, hinten konvex. Von der Mitte nach den Enden zu nimmt die konkave Wölbung in ihrer Längenausdehnung ab, die konvexe zu. An den Enden, die im Grundriß nach hinten zurückgeholt sind

und gewissermaßen Hörner bilden, wodurch die Tragflächen einem Vogelflügel sehr ähnlich werden, ist die Wölbung nur konvex, d. h. die Enden sind nach oben aufgebogen. Außerdem sind diese Enden dadurch außerordentlich elastisch, daß die Längsrippen, die hier strahlenförmig verlaufen, aus zwei Teilen, einem vorderen stärkeren und einem hinteren schwächeren, hergestellt sind. Durch diese Tragflächenform besitzt das Flugzeug eine hervorragende automatische Stabilität, die erforderlichenfalls durch Verwinden der Tragflächen unterstützt werden kann.

Die sonstigen Einrichtungen des Etrich-Flugzeuges sind aus dem aufklappbaren Modell und dem zugehörigen Erklärungsblatt ersichtlich.

In Deutschland ist die Lizenz für die Etrich-Flugzeuge der Firma Rumpler-Luftfahrzeugbau-Gesellschaft m. b. H. übertragen. Die von dieser Firma erbauten Flugzeuge, die den Namen *Rumpler-Taube* führen, haben eine Spannweite von 14 m und eine Gesamtlänge von 10,3 m. Die bevorzugten Motormarken sind Argus, Rumpler und Österreichischer Daimler. Die „Rumpler-Tauben" waren in den Jahren 1911 und 1912 die erfolgreichsten Flugzeuge. Mehrere Exemplare wurden von der deutschen Militärverwaltung erworben.

Pischof. Bei dem ebenfalls erfolgreichen österreichischen Eindecker von Pischof sind der Führersitz sowie zwei Passagiersitze unterhalb der Tragfläche angeordnet. Der Propeller liegt hinter der Tragfläche und rotiert um die als feststehende Achse ausgebildete obere Längsstrebe des Traggerüstes, die dann, hinter dem Propeller sich gabelnd, nach unten führt und sich dort mit den die unteren Längsstreben bildenden Schlittenkufen vereinigt. Am Hinterende des so gebildeten Traggerüstes liegt eine gewölbte Schwanzfläche mit seitlichen Höhensteuern, in gleicher Ausführung wie beim Blériotschen Kanaltyp. Über dieser unteren Schwanzfläche, und mit ihr durch senkrechte Streben verbunden, liegt noch eine dreieckige, horizontale Dämpfungsfläche und an den hinteren Verbindungsstreben zwischen den beiden Schwanzflächen nebeneinander zwei Seitensteuer. Der Propeller hat verhältnismäßig großen Durchmesser und wird von dem 50 PS-Motor mittels Kettenübertragung unter Übersetzung ins Langsame angetrieben.

C. Antriebsorgane für Luftschiffe und Flugzeuge.

I. Motoren.

Die Zahl der Luftschiff- und Flugmotorsysteme ist heute bereits eine außerordentlich große. Diese Motoren sind Verpuffungsmaschinen und als solche in der Abteilung „Verbrennungsmaschinen" des vorliegenden Werkes behandelt. An dieser Stelle sollen daher nur einige für Luftschiff- und Flugmotoren besonders wichtige Gesichtspunkte besprochen werden.

Die Haupterfordernisse eines Luftfahrzeugmotors sind Leichtigkeit, Betriebssicherheit, Wirtschaftlichkeit. Die Leichtigkeit wird in erster Linie durch das Material beeinflußt. Das beste, wenn auch teuerste Material, das für eine gegebene Festigkeit die geringsten Materialstärken ergibt, ist daher besonders für einen Flugmotor, bei dem die Leichtigkeit noch eine größere Rolle spielt als beim Luftschiffmotor, gerade gut genug. Ein bevorzugter Baustoff ist deshalb Chromnickelstahl. Ein weiteres Mittel zur Verringerung des Gewichtes ist die Verkleinerung des Hubes unter Erhöhung der Tourenzahl. Bei gegebener Leistung fallen kurzhubige, schnellaufende Motoren leichter aus als langhubige, langsamlaufende. Zur Gewichtsverminderung dient ferner eine Vermehrung der auf einen Kurbelzapfen wirkenden Kolben. Man stellt deswegen zwei Zylinder in V-Form oder mehrere Zylinder in Sternform zueinander. Dann werden vielfach, unter Versetzung der Kurbelzapfen zwecks Erzielung eines guten Massenausgleiches, mehrere solcher V- oder Fächer-Elemente hintereinander gereiht. Da bei geeigneter Stellung der Zylinder zueinander die Zündungen in regelmäßigen Abständen und in rascher Zeitfolge eintreten, kann man auf ein Schwungrad verzichten. Auch ist trotz der größeren Zylinderzahl meist nur ein Vergaser erforderlich, sofern die Zuleitungen zu den Zylindern möglichst gleichlang gehalten werden. Manche Flugmotoren besitzen überhaupt keinen Vergaser; die Benzinzufuhr erfolgt dann direkt zu den Zylindern

mittels einer besonderen, in ihrer Leistung regulierbaren Pumpe. Durch gemeinsame Steuerung des Einlaß- und Auslaßventiles, die in der Regel durch einen Doppelnocken geschieht, oder durch Vereinigung der beiden Ventile kann weiter an Gewicht gespart werden. Schließlich kann das Gewicht der Motoranlage herabgesetzt werden durch Verzicht auf die bei Luftschiffmotoren wohl allgemein, bei Flugmotoren noch vielfach verwendete Wasserkühlung der Zylinder. Bei Luftschiffmotoren und feststehenden größeren Flugmotoren dürfte die Wasserkühlung eher am Platze sein, da sie intensiver wirkt. Dagegen wirkt die Luftkühlung hervorragend gut bei *Rotationsmotoren* (zu denen der Gnôme-Motor, vgl. S. 130, gehört), weil die Lufterneuerung infolge der außerordentlich hohen Umfangsgeschwindigkeit der rotierenden Zylinder eine sehr rasche ist.

Noch wichtiger als die Leichtigkeit ist die Betriebssicherheit, von der häufig, besonders beim Flugmotor, das Leben der Insassen des Luftfahrzeuges abhängt. Anders wie der Automobilmotor, der nur selten und auf kurze Zeit voll beansprucht wird, muß der Flugmotor für zuverlässigen Dauerbetrieb bei ständiger Höchstleistung konstruiert sein. Hinzu kommt noch die Eigenart der Betriebsverhältnisse für den Motor eines Luftfahrzeuges. Die großen Unterschiede in den Höhen, in denen der Motor zu arbeiten hat, bringen erhebliche Temperatur- und Luftdruckdifferenzen mit sich, die natürlich auf die Leistung des Motors einen Einfluß ausüben. Während der Einfluß der Temperaturschwankungen auf den Vergaser durch geeignete, selbsttätig wirkende oder von Hand zu regelnde Vorkehrungen eingeschränkt werden kann, ist es noch nicht gelungen, dem leistungsvermindernden Einfluß der Luftverdünnung, die wie eine Drosselung der Luftzufuhr wirkt, erfolgreich zu begegnen. Für die Betriebssicherheit ist ferner erforderlich, daß sämtliche Organe auch bei größerer Neigung ihre volle Wirksamkeit behalten, was besonders für die geregelte Zufuhr von Brennstoff und Schmieröl in Frage kommt. Der Vergaser liegt deshalb meist in der Mitte und oberhalb des Motors, und die Ölzufuhr erfolgt selbsttätig durch eine besondere Pumpe.

Der dritte zu berücksichtigende Punkt ist die Wirtschaftlichkeit, die mit der Gewichtsfrage in engem Zusammenhange steht. Ein leichter Motor, der viel Brennstoff verbraucht, behält den Vorzug seiner Leichtigkeit nur, solange es sich um kürzere Fahrten mit wenig Betriebsmaterial handelt. Bei längeren Fahrten gleicht das Mehrgewicht der erforderlichen Brennstoffmenge das Mindergewicht des Motors wieder aus. Es ist daher fraglich, ob die Rotationsmotore, die heute in der Flugtechnik infolge des geringen Gewichtes und ruhigen Laufes eine führende Stellung einnehmen, tatsächlich die Motoren der Zukunft sind, da diese Vorteile durch den Nachteil eines großen Brennstoff- und Ölverbrauches zum großen Teil wieder ausgeglichen werden.

II. Propeller.

Als Vortriebsorgane für Luftfahrzeuge kommen nach dem heutigen Stande der Technik allein *Luftschrauben* in Frage. Die Versuche mit Schaufelrädern, mit ruderartig wirkenden Flächen, mit dem Rückstoß komprimierter Luft- oder Gasmengen usw. waren bisher ohne Erfolg.

Eine gewöhnliche Schraubenfläche entsteht bekanntlich dadurch, daß eine Gerade, die sogenannte *Erzeugende*, die senkrecht auf einer Rotationsachse steht, gleichförmig um diese Achse gedreht und gleichzeitig gleichförmig auf ihr verschoben wird. Bei ungleichförmiger Geschwindigkeit in der einen oder der anderen Richtung, bei anderer Form oder anderer Winkelstellung der Erzeugenden entsteht eine Schraubenfläche höherer Ordnung. Jeder Flügel eines Schraubenpropellers stellt nun auf der Druckseite einen Teil einer solchen Schraubenfläche dar, und zwar gehört die Druckfläche eines jeden Flügels einer besonderen, der Schraubenfläche der anderen Flügel parallelen Schraubenfläche an. Eine zweiflügelige Schraube ist somit zweigängig, eine dreiflügelige dreigängig usw. Die *Steigung* der Schraube ist die Länge der Strecke, um welche die Erzeugende während einer Umdrehung auf der Rotationsachse vorgeschritten ist. Bei der Rotation eines Schraubenflügels um die Schraubenachse treten drei verschiedene Kräfte auf: eine axial gerichtete, die den Vortrieb erzeugt, eine tangential gerichtete, die ein dem Drehsinn der

Schraube entgegengesetztes Drehmoment (dessen Einfluß bereits früher erwähnt ist) hervorruft, und die radial nach außen gerichtete Fliehkraft. Infolgedessen wird ein Schraubenflügel auf Biegung, Verdrehung und Zug beansprucht. Letztere Beanspruchung ist bei den außerordentlich großen Umfangsgeschwindigkeiten der Luftschrauben bei weitem die größte und muß daher der Berechnung der Flügelquerschnitte zugrunde gelegt werden. Die Resultierende aus den Axialkomponenten sämtlicher Schraubenflügel ergibt den *Schraubenzug*. Wenn die Luftschraube sich in einem unnachgiebigen Medium oder in einer festen Mutter bewegen würde, so würde sie mit jeder Drehung einen Weg in der Achsenrichtung von der Größe ihrer Steigung zurücklegen. Tatsächlich ist die pro Umdrehung axial zurückgelegte Strecke erheblich kleiner, da die Luft außerordentlich nachgiebig ist und von dem Propeller zurückgeschleudert wird. Die Differenz zwischen der ideellen und der wirklichen Axialgeschwindigkeit der Schraube nennt man *Slip*. Der *Wirkungsgrad* eines Schraubenpropellers ist das Verhältnis der von ihm geleisteten Arbeit zu der von der Antriebsmaschine an ihn abgegebenen. Eine exakte Bestimmung dieses Wirkungsgrades ist schwierig, da man hierzu den Wirkungsgrad des Luftfahrzeuges kennen muß. Man behilft sich daher bei der Erprobung von Schraubenpropellern damit, daß man an einem ortfesten Versuchsstand den spezifischen Schraubenzug mißt.

Nach ihrer Beschaffenheit teilt man die Luftschrauben ein in *starre*, *elastische* und *unstarre Luftschrauben*. Letztere sind natürlich nur im Ruhezustand unstarr und nehmen im Betrieb starre Form an, wie z. B. die frühere Luftschiffschraube des Parseval-Luftschiffs. Die starre Schraube ist heute fast allgemein gebräuchlich. Das Material ist entweder Metall oder Holz, selten Stoff. Die Holzschrauben werden meist aus mehreren, durch wasserfesten Leim miteinander verbundenen, in der Faserrichtung sich kreuzenden Schichten hergestellt, um ein Werfen und Ziehen zu verhindern. Sie haben vor den Metallschrauben den Vorteil, daß ihre Druckseiten als exakte Schraubenflächen hergestellt werden können, während die Metallschrauben, bei denen in der Regel Naben und Flügelschäfte aus Stahl, die Flügelflächen dagegen aus Stahl- oder Aluminiumblech hergestellt werden, an den Verbindungsstellen der Flügelschäfte und Flügelflächen und besonders in der Nähe der Nabe schädliche Wirbelungen erzeugen, da die Flügelflächen meist nicht bis an die Nabe heranreichen.

Der Wirkungsgrad der Luftschrauben ist noch verbesserungsbedürftig, so daß auf diesem Gebiet noch viel gearbeitet werden kann. Mit der Schaffung eines gut wirkenden Schraubenpropellers, dessen Verwendung dann auch für direkten Hub (Schraubenflieger) möglich wäre, dürften Luftschiffahrt und Flugtechnik einen bedeutenden Schritt vorwärts tun.

Telegraphie, Telephonie und Radiotelegraphie.

Von Postrat **E. Schewe**, Braunschweig.

A. Telegraph.

1. Allgemeines.

Zu den wichtigsten Nachrichtenmitteln zählen der Telegraph und der Fernsprecher. Sie sind in ihrer heutigen Form zwar noch jungen Datums, trotzdem aber die ältesten Vertreter der angewandten Elektrizität. Ihre Entwickelung ist den Forschungen hervorragender Gelehrter und der Erfindungsgabe geschickter Techniker zu verdanken; unter diesen Forschern sind zu nennen: der Münchener von Sömmering, der russische Staatsrat Baron Schilling von Canstatt, die Göttinger Professoren Gauß und Weber, der Münchener Professor Steinheil, die Engländer Cook und Wheatstone, der Amerikaner Morse und der englische Professor Hughes. Sömmering erbaute, angeregt durch das Studium der von Galvani und Volta Ende des 18. Jahrhunderts entdeckten galvanischen Elektrizität, 1809 seinen auf chemischer Wirkung beruhenden Apparat. Er benutzte die Eigenschaft des elektrischen Stromes, beim Durchgang durch schwach angesäuertes Wasser dieses in Wasserstoff und Sauerstoff zu zerlegen. Diese Reaktion ging an 27 Metallstiften vor sich; die Metallstifte des Gebers und Empfängers waren durch 27 isolierte Drähte miteinander verbunden. Dabei entsprach jeder Metallstift einem Zeichen, und die Art des telegraphierten Zeichens ließ sich an dem Stift erkennen, der beim Empfänger eine Gasentwickelung zeigte, wenn das Leitungsende am Geber mit der Batterie verbunden wurde. Die große Anzahl von Drähten zwischen Sende- und Empfangsstation sowie die Umständlichkeit der Bedienung des Apparates waren wohl das Hindernis, an dem die praktische Verwertung scheiterte.

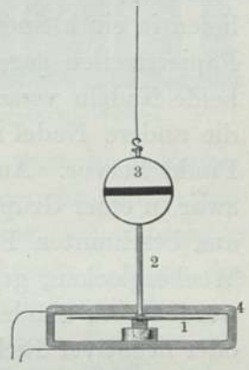


Fig. 1286. Nadeltelegraph von Schilling v. Canstatt.

Eine erheblich einfachere Gestalt zeigte bereits der 1832—35 erbaute *Nadeltelegraph* des russischen Staatsrats Schilling von Canstatt, der sich die Entdeckung des dänischen Forschers Oerstedt zunutze machte, nämlich die Ablenkung einer Magnetnadel durch den galvanischen Strom. Schilling verwendete einen sogenannten Multiplikator, d. h. einen Holzrahmen mit daraufgewickelten zahlreichen Windungen isolierten Drahtes, und eine innerhalb des Multiplikators schwingende Magnetnadel. Letztere (1 der Fig. 1286) hing an einem Seidenfaden und war durch ein Holzstäbchen 2 mit der Pappscheibe 3 verbunden, so daß diese die Ausschläge der Nadel anzeigte, sobald Strom durch die Multiplikatorwindungen 4 floß. Nur in diesem Falle zeigte die Pappscheibe dem Beschauer die weiße Fläche, die mit einem senkrechten oder wagerechten Strich markiert war. Schilling verwendete bei seinem Apparat fünf Nadeln, wozu er fünf Drähte und einen gemeinsamen Rückleitungsdraht — im ganzen also sechs Drähte — benötigte, und bildete ein Zeichensystem mit Hilfe von Kombinationen der aufeinanderfolgenden Ablenkungen verschiedener Nadeln. Er erhielt 1837 den Auftrag, eine Telegraphenanlage zwischen Kronstadt und Peterhof

zu bauen, starb aber vor der Ausführung. Das Original des Apparates befindet sich in der Akademie der Wissenschaften zu St. Petersburg.

Den ersten praktischen Erfolg errang der elektrische Telegraph im Dienste der Wissenschaft (1833—38). Die Göttinger Professoren Gauß und Weber verbanden ihre Laboratorien im physikalischen Kabinett der Universität und in der Sternwarte durch eine doppeldrähtige Leitung, um Beobachtungen auszutauschen. Als Empfänger wurde ein schwerer, innerhalb eines Multiplikatorrahmens horizontal schwebender, kräftiger Stahlmagnet benutzt, der durch die in den Multiplikatorwindungen fließenden elektrischen Ströme je nach deren Richtung nach der einen oder anderen Seite abgelenkt wurde. Einzelne Ablenkungen nach rechts und links oder Gruppen solcher Ablenkungen übermittelten nach bestimmten Verabredungen Buchstaben und Zahlen. Den zur Hervorbringung der Ablenkung nach verschiedenen Seiten erforderlichen Wechsel der Stromrichtung erzielten sie durch einen von Gauß erdachten Stromwender (Kommutator), mit dem man die Pole des benutzten galvanischen Instrumentes umwechseln konnte. Zum Senden dienten auch die Induktionsströme eines magnetelektrischen Apparates aus einem Rahmen mit Drahtumwindungen, in die ein Eisenstab schnell hinein- und wieder herausgeführt wurde.

Auf Veranlassung von Gauß und Weber beschäftigte sich Professor Steinheil in München mit der weiteren Vervollkommnung des Apparates. Es gelang ihm bereits 1836, einen betriebsfähigen Telegraphen herzustellen, der sowohl hörbare als auch sichtbar bleibende Zeichen lieferte. Der Empfänger dieses Apparates war ein Multiplikator, in dessen kreisförmigen Rahmen sich zwei kleine, drehbar gelagerte und mit entgegengesetztem Pol einander zugekehrte Magnetnadeln befanden, von denen je ein Pol mit einem hakenförmigen Ansatz versehen war. Beide Ansätze liefen in ein kleines Farbgefäß mit offener Spitze aus. Diese Spitzen standen einem bandförmigen Papierstreifen gegenüber, den ein Uhrwerk fortbewegte. Durch einen elektrischen Strom wurden beide Nadeln verschieden abgelenkt; je nach der Richtung des Stromes berührte die eine oder die andere Nadel mit ihrem Schreibansatz den Papierstreifen und brachte dort einen farbigen Punkt hervor. Auf dem Papierstreifen erschienen so in zwei verschiedenen Reihen Punkte, und zwar in einer Gruppierung, die der Richtung der Sendeströme entsprach. Die Buchstaben wurden aus bestimmten Punktgruppen gebildet. Bei Anwendung von zwei verschieden klingenden Weckerglocken, gegen welche die Magnetnadeln anschlugen, konnten die Zeichen auch abgehört werden. Als Sender diente ein magnetelektrischer Apparat, mit dem Induktionsströme positiver oder negativer Richtung abgegeben wurden. Unter Verwendung dieses Apparates erbaute Steinheil 1837 eine Telegraphenanlage zwischen München und Bogenhausen mit zwei Drähten für Hin- und Rückleitung; später fand er, daß eine Rückleitung nicht erforderlich sei, sondern die Erde zum Ausgleich des Stromes benutzt werden konnte. Diese Entdeckung, daß für Telegraphenleitungen ein Draht genügt, wurde für die weitere Entwickelung der Telegraphie von großer Bedeutung.

Der oben beschriebene Nadeltelegraph von Schilling wurde das Vorbild verschiedener Nadeltelegraphen, die die Engländer Cook und Wheatstone erbauten. 1837 entstand der *Fünfnadeltelegraph;* er besaß fünf senkrecht schwingende Magnetnadeln und benötigte zu seinem Betriebe fünf Hinleitungen und eine Rückleitung. Als Stromerzeuger dienten galvanische Elemente; zur Schließung des Stromes wurde ein Tastenapparat mit sechs Tasten verwendet, von denen immer zwei zusammen gedrückt wurden, um zwei Nadeln des Empfängers gleichzeitig abzulenken. Der Schnittpunkt der beiden gleichzeitig abgelenkten Nadeln bezeichnete den übermittelten Buchstaben.

Eine große Verbreitung fanden die von Wheatstone erbauten Ein- und Zweinadel-Telegraphen, bei denen aus nacheinander folgenden Ausschlägen nach rechts und links die Buchstaben und Zahlen kombiniert wurden. Einnadel-Telegraphen waren bis in die Neuzeit hinein im Gebrauch; sie arbeiteten rasch und zuverlässig.

Wheatstone konstruierte 1839 auch den ersten *Zeigertelegraphen*, bei dem der elektrische Strom zum ersten Male in der Telegraphie zur Erregung eines Elektromagnets benutzt wurde. Am Empfänger befand sich ein feststehender Ring, auf dem die Buchstaben und Zahlen in

bestimmter Anordnung geschrieben waren; vor dem Ringe kreiste ein Zeiger, der auf dem Buchstaben festgehalten wurde, der übermittelt werden sollte. Bewerkstelligt wurde dies dadurch, daß ein mit dem Anker des Empfangselektromagnets verbundener doppelseitiger Sperrhaken den durch Gewichtsantrieb gedrehten Zeiger so weit schrittweise fortschalten ließ, bis der betreffende Buchstabe erreicht war. Am Sender befand sich ein gleiches Buchstabenrad, das mit der Batterie verbunden war. Zur Zeichensendung wurde es so weit gedreht, bis ein vor ihm angebrachter feststehender Zeiger auf den zu übermittelnden Buchstaben wies. Dabei traten die am Radumfang angebrachten Ansätze mit zwei Federn, die mit den Leitungen verbunden waren, in Berührung und verursachten so viele Stromstöße, wie zur Fortschaltung des Zeigers des Empfängers nötig waren. Ähnliche Zeigertelegraphen wurden im fünften Jahrzehnt des vergangenen Jahrhunderts von verschiedenen Erfindern erbaut; sie wurden von dem heute am meisten verbreiteten Telegraphenapparat, dem *Morseapparat*, verdrängt.

2. Morseapparat.

Samuel Morse trat mit der Erfindung des nach ihm benannten elektromagnetischen Telegraphen 1837 in die Öffentlichkeit. Jedoch gelang es dem Erfinder erst nach mehrjähriger mühevoller Arbeit, seinen Apparat praktisch brauchbar zu machen. Im Jahre 1844 begannen die Eisenbahnverwaltungen in Amerika und England den Morsetelegraphen einzuführen; um 1848 trat er seinen Siegeszug auf dem europäischen Festland an. Die erste Form war die eines *Reliefschreibers*, wobei ein Metallstift die Zeichen reliefartig in einen Papierstreifen eindrückte; sie ist verlassen und durch den *Farbschreiber* ersetzt. Fig. 1287 zeigt diesen in einer weit verbreiteten Bauart. Die Hauptteile sind der elektromagnetische Teil, der Schreibhebel und die Papierführung mit dem Laufwerk. Durchläuft ein aus der Leitung kommender elektrischer Strom die beiden Elektromagnete 1, so wird der zylinderförmige Anker 2, der mit dem freien Ende des Schreibhebels 3 fest verbunden ist, durch Anziehung nach unten bewegt. Regulierschrauben begrenzen die Ankerbewegung; bei stromloser Leitung legt eine in dem hohlen Zylinder 14 befindliche Spiralfeder den Ansatz 3 gegen die obere Regulierschraube. Der Schreibhebel setzt sich im Innern des Messinggehäuses fort; er trägt am anderen Ende das in einen Farbkasten 12 eintauchende Schreibrädchen 4. Der aus den Teilen 5, 6 und 3 zusammengesetzte Schreibhebel kann durch eine im Innern des Gehäuses befindliche Stellvorrichtung 13 als ein zweiarmiger Hebel eingestellt oder in zwei zweiarmige Hebel zerlegt werden. Im ersten Fall wird das Schreibrädchen nach oben gegen den über Walzen 7, 8, 9 und 10 geführten Papierstreifen bewegt, wenn der Anker 2 von den Elektromagneten angezogen wird; im zweiten Fall erfolgt die Aufwärtsbewegung des Schreibrädchens, wenn der Anker von den Elektromagneten losgelassen und durch die erwähnte Spiralfeder nach oben gezogen wird. Diese Form wird bei *Ruhestromschaltung*, d. h. beim Telegraphieren durch Unterbrechen des im Ruhezustande die Leitung durchlaufenden Stromes, jene bei *Arbeitsstromschaltung*, d. h. beim Telegraphieren durch Schließen des Stromkreises, verwendet. Der Papierstreifen befindet sich auf einer drehbaren Rolle im Untersatzkasten des Apparates und wird durch ein Laufwerk abgewickelt. Beim Aufwärtsschnellen des Schreibrädchens 4, das vom Laufwerk in drehende Bewegung versetzt wird, entsteht, je nach der Länge des Telegraphierzeichens, ein farbiger Punkt oder ein Strich. Das Laufwerk besteht aus einer im Trommelgehäuse 11 befindlichen Triebfeder und einem im Gehäuse sitzenden Räderwerk, das den Antrieb auf die Papierwalzen überträgt. Durch einen Hebel kann das Laufwerk abgestellt oder angelassen werden, und zwar meistens mit der Hand, in besonderen Fällen aber auch automatisch durch Hebelübertragung vom Anker des Elektromagnets aus *(Selbstauslösung)*. Das Räderwerk ist in Fig. 1288 dargestellt; das windmühlenartige Regulierwerk 1 mit den Flügeln 2 und der

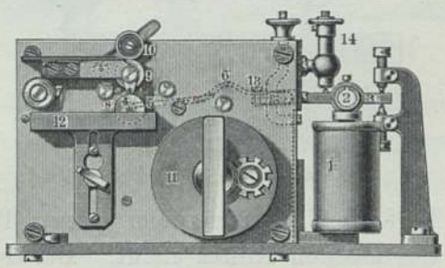


Fig. 1287. Morsefarbschreiber.

Spannfeder 3 sichert eine gleichförmige Bewegung. Die Zeichen des Morseapparates sind aus Punkten und Strichen zusammengesetzt, z. B. bedeutet · — a, — — m, · e, · · · s, — — · · z, — — — · · 8, · — · — · — , (Komma).

Zum Schließen und Öffnen des Stromkreises dient die aus drei Schienen und einem darüber gelagerten drehbaren Hebel bestehende *Morsetaste* (Fig. 1289).

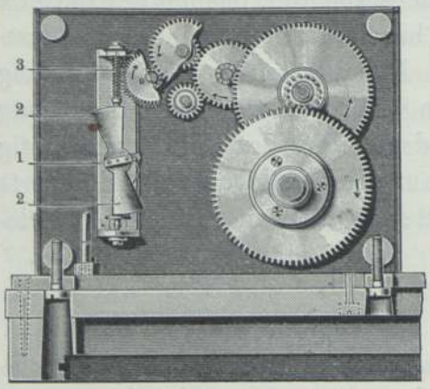


Fig. 1288. Räderwerk des Morseapparates.

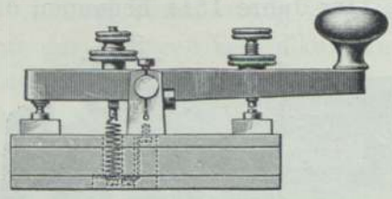


Fig. 1289. Morsetaste.

Den Unterschied zwischen der Ruhe- und Arbeitsstromschaltung zeigen die Stromlaufskizzen in Fig. 1290 u. 1291. Bei der Arbeitstromschaltung ist die Batterie 5 mit einem Pol über die Klemmen 3 und 1 mit der Erde 11 verbunden, mit dem anderen Pol über Klemme 4 an die vordere Schiene (Arbeitsschiene) der Taste 6 geführt. Erst wenn deren Hebel nach vorn niedergedrückt wird, fließt Strom aus der Batterie über die vordere Tastenschiene von 6, den Tastenhebel, den Stromanzeiger (Galvanoskop) 7, linke Schiene des Blitzableiters 8 und Klemme 2 in die Leitung 9 zum fernen Amt. Der aus der Leitung 9 ankommende Strom des fernen Amtes nimmt den Weg über die Klemme 2, linke Platte des zur Ableitung atmosphärischer Elektrizität dienenden Blitzableiters 8, den Stromanzeiger 7, die Mittelschiene, den Tastenhebel und die Hinterschiene der Taste 6, die Elektromagnetrollen des Morseapparates 10, rechte Blitzableiterschiene und Klemme 1 zur Erde; der Anker wird angezogen und das am anderen Ende des Schreibhebels befestigte Schreibrädchen gegen den ablaufenden Papierstreifen gelegt. Der abgehende Telegraphierstrom durchläuft also den Apparat des eigenen Amtes nicht. Bei der Ruhestromschaltung (Fig. 1291) liegt die Batterie dauernd mit dem Apparat an der Leitung; der Stromverlauf ist im Ruhezustande: Leitung 9, Klemme 2, rechte Platte des Blitzableiters, Batterie 5, Klemme 3, Galvanoskop 7, Mittelschiene, Hebel und hintere Schiene der Taste 6, Elektromagnete des Apparates 10, linke Blitzableiterplatte, Erde 11. Wird der Tastenhebel niedergedrückt, so löst sich der Kontakt zwischen ihm und der hinteren Schiene; die Leitung wird stromlos, der Anker losgelassen und, da der Schreibhebel bei Ruhestromschaltung in zwei zweiarmige Hebel zerlegt ist, das Schreibrädchen gegen den Papierstreifen gehoben. Die Ruhestromschaltung wird für Leitungen mit zahlreichen Zwischenanstalten benutzt, die mit ihren Apparaten ohne weiteres in der gezeichneten Weise in die Leitung eingeschaltet werden; nur tritt an Stelle der Erdleitung 11 der zweite Leitungszweig. Die für Verbindungen zwischen größeren Anstalten meist benutzte Arbeitsstromschaltung bedingt, daß bei Zwischenanstalten mittels besonderer Hilfsapparate *(Umschalter)* Trennstellen eingerichtet werden. Derartige Umschalter, teils *Stöpsel-*, teils *Kurbelumschalter*, sind in Fig. 1292 und 1293 abgebildet.

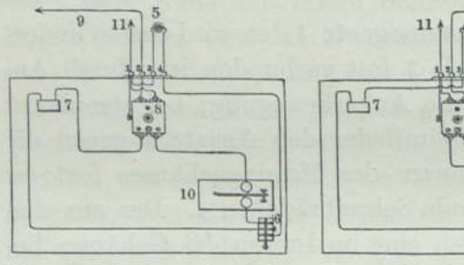


Fig. 1290. Endamt einer Arbeitsstromleitung.

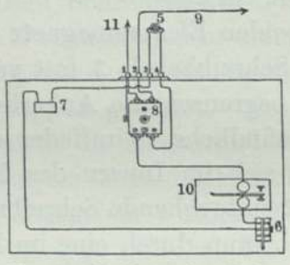


Fig. 1291. Endamt einer Ruhestromleitung.

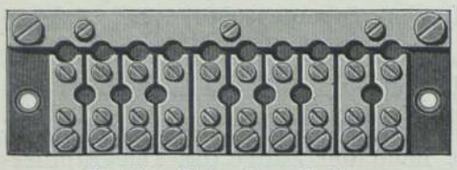


Fig. 1292. Stöpselumschalter.

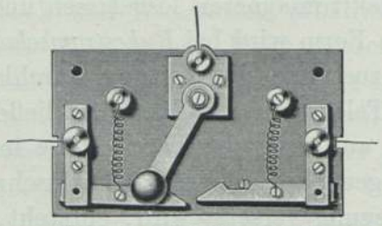


Fig. 1293. Kurbelumschalter.

Um die Betriebsapparate vor der Zerstörung durch Entladungen atmosphärischer Elektrizität zu schützen und das Bedienungspersonal vor Gefahren zu behüten, werden *Blitzableiter*

mannigfaltiger Art in die Leitungen eingeschaltet. Fig. 1294 zeigt einen *Plattenblitzableiter*. Die Leitung wird nach dem Stromlaufschema in den Fig. 1290 und 1291 mit den Leitungsplatten 1 und 2 verbunden. Die Oberflächen dieser Platten sind geriffelt; ihnen gegenüber steht die auf ihrer unteren Seite ebenfalls mit Riffeln versehene Deckplatte 3, die auf dem mit Erde verbundenen Rahmen 4 aufliegt. Die Riffeln der Deckplatte und der Leitungsplatten laufen senkrecht zueinander; zwischen beiden befindet sich nur ein schmaler Luftzwischenraum. Die Wirkung beruht auf der Erscheinung, daß die hochgespannte atmosphärische Elektrizität leicht kleine Luftzwischenräume durchschlägt, wenn ihr dadurch ein kürzerer Weg zur Erde geboten wird; das Durchschlagen findet besonders an einander gegenüberstehenden Spitzen statt. Zur Ausführung von Erdverbindungen und Direktschaltungen beider Leitungszweige sind Stöpsellöcher und der auf dem Knopf der Deckplatte sitzende Stöpsel vorgesehen. Eine andere Form des Blitzableiters stellt Fig. 1295 dar, den sogenannten *Luftleerblitzableiter:* eine luftleer gepumpte Glaspatrone mit zwei seitlichen Metallkappen und zwei im Innern befindlichen, einander gegenüberstehenden, geriffelten Kohlenplatten, von denen die eine durch den Metallsteg mit der Erde verbunden, die andere im Nebenschluß an die Leitung angelegt wird. Die Patrone wird mit den Metallkappen zwischen zwei auf einem Porzellansockel stehende Metallfedern eingeklemmt. Die Wirkung des Luftleerblitzableiters ist besonders gut, weil hochgespannte Elektrizität im luftverdünnten Raum als Funke sehr leicht überschlägt. Die Luftleerblitzableiter verdrängen mehr und mehr die früheren Formen.

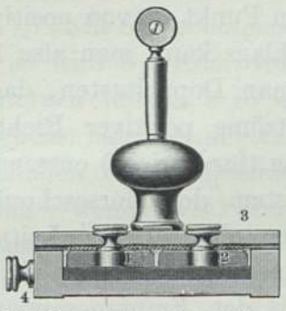


Fig. 1294. Plattenblitzableiter.

Fig. 1295. Luftleerblitzableiter.

Fig. 1296. Galvanoskop.

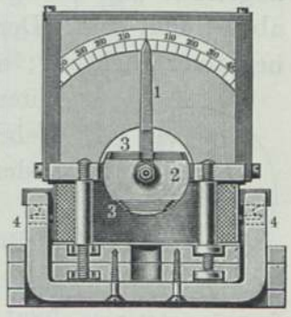


Fig. 1297. Galvanoskop.

Die als Stromanzeiger dienenden *Galvanoskope* sind aus den Nadeltelegraphen hervorgegangen. Sie bestehen, wie diese, aus einem kleinen, mit einem Zeiger verbundenen Magnet, der sich innerhalb eines mit zahlreichen Windungen aus feinem isolierten Draht bewickelten Rahmens in senkrechter oder wagerechter Ebene drehen kann und je nach der Richtung der Telegraphierströme nach der einen oder anderen Seite abgelenkt wird. Der Zeiger schwingt über einer Gradeinteilung, so daß auch ungefähr die Stärke der Ströme zu erkennen ist. Fig. 1296 und 1297 zeigen zwei verschiedene Arten von Galvanoskopen. Bei dem letzteren Modell ist der Magnet durch ein kleines Solenoid aus feinen isolierten Drahtwindungen 3 ersetzt worden, die auf ein leichtes Aluminiumplättchen 2 aufgeklebt sind. Ihnen ist durch den kräftigen Stahlmagnet 4 eine bestimmte magnetische Kraft erteilt; sie werden mit dem Aluminiumplättchen, wenn der Telegraphierstrom die im Querschnitt sichtbare Wickelung des Rahmens durchläuft, wie ein Magnet so abgelenkt, daß der Zeiger 1 nach rechts oder links ausschlägt.

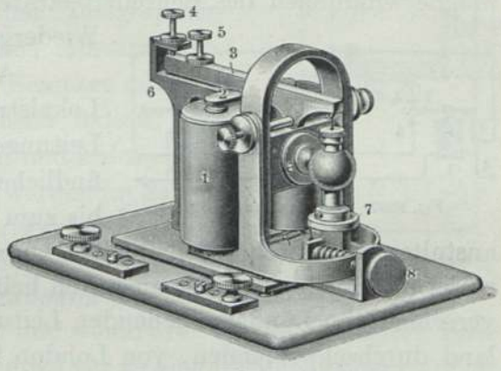


Fig. 1298. Klopferapparat.

An Stelle des oben beschriebenen Morsefarbschreibers findet in neuer Zeit vielfach auch der *Morseklopfer* Anwendung; bei diesem werden die Punkte und Striche an dem Anschlag des Ankers gegen die Kontaktschrauben abgehört. In Fig. 1298 bedeuten 1 die Elektromagnete, 2 den Anker, 3 den mit ihm verbundenen und in einem Joch drehbar gelagerten Ankerhebel, 4 eine Kontaktschraube zur Begrenzung der Hubhöhe, 5 die Anschlagschraube, die durch den Hebel hindurchragt und beim Anziehen des Ankers auf den Träger 6 klopfend aufschlägt. Im

Hohlzylinder 7 befindet sich eine Abreißfeder, die durch die Regulierschraube 8 angespannt wird und den Anker in der Ruhe gegen die obere Schraube legt. Der Klopfer wird meist in einer Schallkammer untergebracht, damit nur der bedienende Beamte die Zeichen hört, andere Beamte aber nicht gestört werden. Mit dem Klopfer läßt sich erheblich schneller arbeiten als mit dem Farbschreiber. Zur Abgabe der Zeichen in Klopferleitungen werden besonders leicht gebaute Tasten benutzt, die eine schnellere Handbewegung als die gewöhnlichen Morsetasten gestatten.

Eine besondere Form des Klopfers bildet der aus dem Einnadeltelegraphen hervorgegangene, namentlich in England gebräuchliche *Tin sounder*. Die in Fig. 1299 in der Mitte sichtbare Magnetnadel wird je nach der Richtung der Telegraphierströme nach rechts oder links abgelenkt und schlägt dabei gegen Ansätze zweier Blechröhrchen, die auf verschiedene Töne abgestimmt sind. Der Telegraphierstrom für einen Punkt ist von positiver, der für einen Strich negativer Richtung; nach dem Klange des Anschlags kann man also Punkte und Striche abhören. Zum Senden benutzt man Doppeltasten, das sind Tasten mit zwei Hebeln, von denen die eine Ströme positiver Richtung (für Punkte), die andere solche negativer Richtung (für Striche) entsendet.

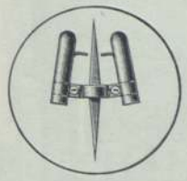


Fig. 1299. Besondere Art von Klopfer (Tin sounder).

Da das Elektromagnetsystem des Morseschreibers etwas schwerfällig bleibt und den über sehr langen oberirdischen Leitungen oder über unterirdischen Kabelleitungen ankommenden schwachen Strömen nicht mehr sicher folgt, so schaltet man bisweilen den Empfangsapparat nicht direkt in den Leitungsstromkreis ein, sondern anstatt dessen ein sogenanntes *Relais*, das feiner und leichter gebaut ist und auch auf schwächere Ströme sicher anspricht. Ein solcher Apparat besteht (Fig. 1300) aus dem Elektromagnet 1, dem Anker 2, der Abreißfeder 3 und den Kontakten 4 und 5. Der in der Leitung 6 ankommende Strom bewirkt, daß der Anker 2 angezogen und mit dem freien Ende seiner Zunge gegen den unteren Kontakt 5 gelegt wird. Dadurch schließt sich der Ortsstromkreis einer besonderen Ortsbatterie 7 über 3, 2, 5 und die Elektromagnetwindungen des Schreibapparates 8; dieser wird betätigt und liefert so die schriftliche Wiedergabe der Telegraphierzeichen.

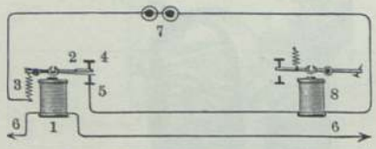


Fig. 1300. Relaisschaltung.

Aber nicht nur zum Schließen und Unterbrechen eines Lokalstromkreises dienen die Relais, sondern auch dazu, lange Leitungen, bei denen die Ströme der auf dem einen Ende befindlichen Sendebatterie überhaupt nicht in genügender Stärke bis zum anderen Ende gelangen können, an geeigneten Zwischenanstalten in einzelne Teilstrecken zu zerlegen und dort eine neue Stromquelle an die Leitung zu legen. Solche Zwischenanstalten heißen *Übertragungsämter*. Die dem großen Verkehr zwischen verschiedenen Ländern dienenden Leitungen haben fast immer Übertragungen, so z. B. die Rußland durchschneidenden, von London bis nach Ostindien reichenden Leitungen der Indo-Europäischen Telegraphengesellschaft an zehn bis zwölf Orten. Die zu diesem Zweck dienenden Relais sind sehr feine Apparate. Das oben gezeichnete einfache Elektromagnetsystem genügt für solche Fälle nicht; empfindlichere Apparate erhält man dadurch, daß den Elektromagnetkernen ein bestimmter Magnetismus durch eingebaute Stahlmagnete erteilt wird *(polarisierte Relais)*. Es bedarf in solchem Falle nur einer geringen Verstärkung des vorhandenen Magnetismus durch den Telegraphierstrom, um den Anker anzuziehen. Einzelne Relaisarten sind auf Abstoßung des Ankers konstruiert: dem Telegraphierstrom wird eine solche Richtung gegeben, daß er den Magnetismus der Elektromagnete schwächt; der für gewöhnlich angezogene Anker wird dann losgelassen. Bei anderen Relais werden Elektromagnetkerne und Anker verschieden polarisiert.

Das Prinzip solcher sehr schnell arbeitenden Relais zeigt Fig. 1301. Der Dauermagnet 1, 2 ist T-förmig ausgebildet; auf dem Nordpol 1 sitzen zwei Elektromagnete mit den einander zugekehrten Polschuhen 3 und 4; zwischen ihnen befindet sich der durch eine Zunge verlängerte Anker 5, der im gabelförmigen Ausschnitt des Südpols 2 des Dauermagnets drehbar gelagert und deshalb selbst südmagnetisch ist. In der Ruhelage ziehen 3 und 4 den Anker 5 mit gleicher Stärke

an. Steht er nun genau in der Mitte zwischen beiden, so behält er seine Lage bei; ist er aber beispielsweise 3 näher, so überwiegt dessen Anziehung, so daß sich die Zunge gegen den Kontakt 6 legt, der mit dem Kontakt 7 von einem verstellbaren Schlitten 8 getragen wird. Fließt nun Strom einer bestimmten Richtung aus der Leitung 9 durch die Elektromagnetwindungen zur Erde 10, so ist dieser bestrebt, in dem einen Schenkel Nordmagnetismus (z. B. in 4), in dem anderen (3) Südmagnetismus zu erzeugen. Dadurch wird die Anziehung von 4 auf 5 verstärkt, die von 3 auf 5 aber geschwächt oder bei genügender Stromstärke sogar in Abstoßung umgewandelt. Daher zieht nun 4 den Anker 5 zu sich herüber und legt die Zunge gegen 7. Trifft Strom entgegengesetzter Richtung ein, so wird 5 wieder von 3 angezogen. 6 und 7 werden mittels 8 so eingestellt, daß sie sich möglichst nahe der neutralen Stellung des Ankers 5 befinden und der Spielraum zwischen ihnen ganz gering — weniger als 1 mm — ist. Schließen und Öffnen des Ortsstromkreises erfolgt wie bei Fig. 1300. Derartig eingestellte Relais werden namentlich beim Telegraphieren mit Strömen wechselnder Richtung *(Doppelstrom)* mit Vorteil verwendet.

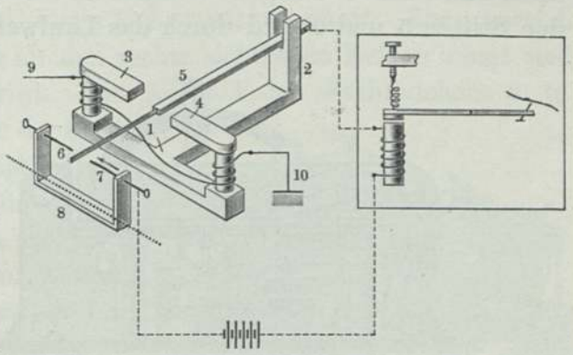


Fig. 1301. Prinzip eines polarisierten Relais.

3. Wheatstonescher Maschinentelegraph.

Zur wirtschaftlichen Ausnutzung langer Leitungen genügen weder der Morseschreiber noch der Klopfer; es sind deshalb schon frühzeitig Apparate erbaut worden, die schneller arbeiten. Einer der verbreitetsten ist der auf dem Morsesystem beruhende *Maschinentelegraph* von *Wheatstone*. Bei diesem übernimmt statt der Hand ein durch Gewichtsmotor angetriebener Apparat die Entsendung der Telegraphierströme; auf dem Papierstreifen des Empfängers erscheinen Morsezeichen. Da der Streifen mit großer Schnelligkeit abläuft, kann ein Beamter mit dem Übersetzen in die gewöhnliche Schriftsprache nicht Schritt halten; der Streifen wird deshalb beim Ablaufen stückweise abgetrennt und auf mehrere Beamte zum Übersetzen verteilt. Die Telegraphierzeichen werden im Sender mit Hilfe eines *Lochstreifens* hervorgebracht, indem die Löchergruppe ⁘ einen Morsepunkt, die Gruppe ⁘ einen Morsestrich und ◦ einen Zwischenraum zwischen zwei solchen Zeichen bedeutet. Den *Stanzapparat* zur Herstellung der Löchergruppen zeigen Fig. 1302 und 1303; 6, 7 und 8 sind drei Tasten, die durch zwei in Händen des Beamten befindliche, mit Gummi belegte Stempel zur Erzeugung der Löchergruppen niedergedrückt werden; sie sind so mit den in Fig. 1303 angedeuteten Lochstempeln 1 bis 5 verbunden, daß 6 die Stempel 1, 2 und 3; 8 die Stempel 1, 2, 4 und 5; 7 den Stempel 2 allein durch einen vor ihnen liegenden Papierstreifen treibt, wobei die entsprechenden Löchergruppen entstehen. Die kleinen Löcher in der Mitte sind Führungslöcher; in diese greift beim Hochgehen der niedergedrückten Tasten ein Sternrad ein, um den Streifen nach dem Stanzen eines Punktes um die Breite eines Zwischenraumes, nach dem Stanzen eines Striches um die Breite von zwei Zwischenräumen vorwärts zu bewegen und für die folgenden Zeichen einzustellen. Zwischen zwei Buchstaben wird die Zwischenraumtaste 7 einmal, zwischen zwei Worten dreimal besonders niedergedrückt; die Führungslöcher erhalten so genau gleichen Abstand voneinander. Der gelochte Papierstreifen wird durch den in Fig. 1304 dargestellten *Sender* geschickt; ein durch Gewicht angetriebenes und mittels einer Reguliervorrichtung auf bestimmte Geschwindigkeiten einstellbares Räderwerk zieht den Streifen

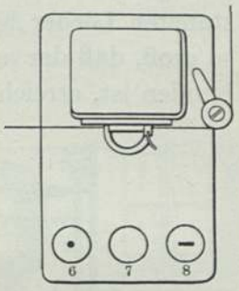


Fig. 1302. Wheatstone-Stanzer.

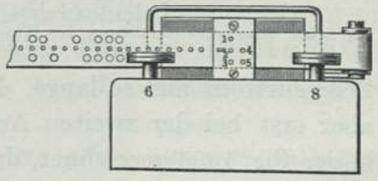


Fig. 1303. Inneres des Wheatstone-Stanzers.

mittels eines kleinen Sternrades an zwei auf und ab gehenden Kontaktstiften vorüber. Diese Vorrichtung ist in Fig. 1305 besonders dargestellt. Oben befindet sich das Sternrad 1 (auch in Fig. 1304 halb sichtbar), das in die Führungslöcher des Streifens mit den Spitzen eingreift und ihn fortbewegt. Unterhalb des Streifens sind die Stößer 2 und 3 so angeordnet, daß 2 durch die obere, 3 durch die untere Löchergruppe des Papierstreifens (vgl. Fig. 1303) hindurchstoßen kann und 3 um den halben Abstand zweier Führungslöcher vor 2 steht. Das Metalljoch 4 mit den Stiften 5 und 6 wird durch das Laufwerk in schwingende Bewegung um seine Achse 7 versetzt; geht die linke Seite nach unten, so drückt der Stift 6 den Winkelhebel 9 und den damit verbundenen Stößer 3 nach unten, dagegen geht der Hebel 8 und mit ihm der Stößer 2 infolge des Zuges der Feder 10 nach oben. Geht umgekehrt die rechte Seite von 4 nach unten, so bewegt sich infolge des Druckes von 5 auf 8 der Stößer 2 nach unten und der Hebel 9 mit dem Stößer 3 unter der Wirkung der Feder 11 nach oben. Diese ununterbrochene, hin und her gehende Bewegung übt einen Einfluß auf die Stellung der im rechten Teil der Figur gezeichneten Kontaktvorrichtung nicht aus, wenn die beiden Stößer auf volles Papier des von 1 fortbewegten Streifens treffen. Erst wenn einer der beiden Stößer, z. B. 2, durch eines der gestanzten Löcher hindurchtreten kann, wird die durch 10 bewirkte Drehung des Winkelhebels 8 so groß, daß der an ihm befestigte Ansatz 12 eine Schubstange 13, die mit einer Mutter 14 verbunden ist, erreicht und durch ihre Vermittelung den Kontakthebel 15 zur Seite in eine Stellung schiebt, bei der der untere Teil von 15 die Kontaktschraube 16 berührt. 15 ist mit der Leitung 27 verbunden, 16 mit dem positiven Pol der Batterie 17. Es fließt somit ein positiver, zur Hervorbringung der Zeichen am Empfangsamt benutzter Strom in die Leitung, da der negative Pol der Batterie gleichzeitig infolge der Berührung von 18 mit dem isoliert von 15 angebrachten Ansatzstück 19 an die Erde 28 gelegt wird. Diese Stellung behält der Kontakthebel 15 so lange bei, bis der Stößer 3 durch ein Loch des Papierstreifens treten kann. Geschieht dies sofort bei der nächsten Aufwärtsbewegung, so dauert der Zeichenstrom nur so lange, daß auf dem Empfangsamt ein Punkt entsteht; trifft der Stößer 3 aber erst bei der zweiten Aufwärtsbewegung ein Loch, so entsteht ein Strich. Wenn 3, wie in der Fig. 1305 gezeichnet, durch ein Loch des Streifens hindurchtritt, so wird die Bewegung des Winkelhebels 9 groß genug, um mit dem Ansatz 20, der Schubstange 21 und der Mutter 22 das untere Ende des Kontakthebels 15 zu treffen und ihn so umzulegen, daß er nun die mit dem negativen Pol der Batterie verbundene Schraube 23 berührt und der positive Pol über 19 und 24 geerdet wird. Es fließt dann negativer Strom in die Leitung. Dieser wird als Trennstrom benutzt, d. h. er führt den Anker des polarisierten Empfangsapparates wieder in die Ruhelage zurück. Das Hin- und Herschwingen des Metalljoches und die Vorwärtsbewegung des Papierstreifens müssen natürlich in bestimmtem und genau gleichbleibendem Verhältnis zueinander stehen; während der Streifen sich von einem Führungsloch zum nächsten bewegt, gehen beide Stößer

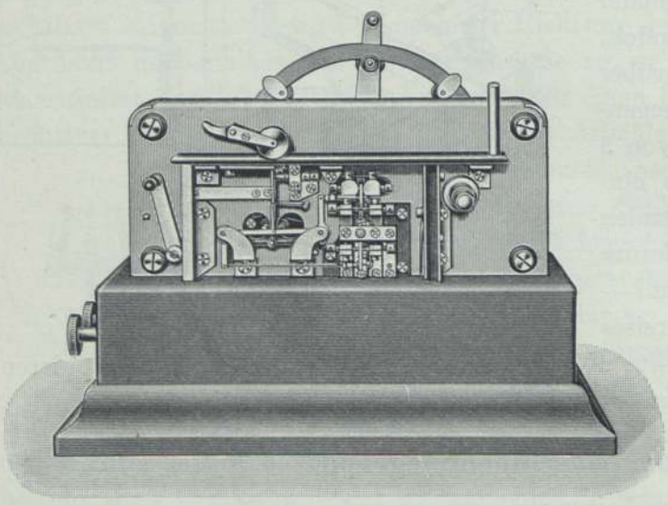


Fig. 1304. Wheatstone-Sender.

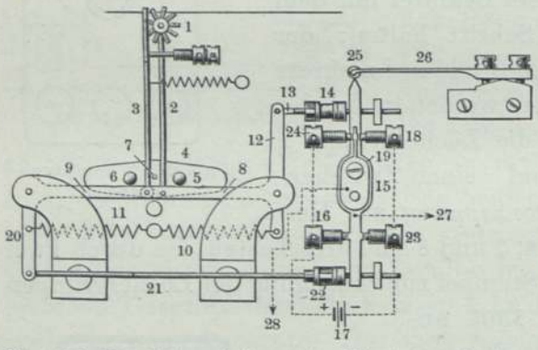


Fig. 1305. Kontaktvorrichtung des Wheatstone-Senders.

einmal herauf und herunter. Damit der Kontakthebel 15 stets eine der beiden beschriebenen Stellungen einnimmt und sich fest gegen 16 oder 23 anlegt, ist oben ein Reiterröllchen 25 an der Feder 26 angebracht.

Der *Wheatstone-Empfänger* (Fig. 1306) ist ein polarisierter Farbschreiber, der in seinen Grundzügen mit dem Morseschreiber übereinstimmt. In dem Untersatzkasten 1 befindet sich die Papierrolle; der Streifen wird über den Stift 2 zwischen den Rollen 3 und 4 an einem im Farbgefäß 5 befindlichen, um seine Achse sich drehenden Farbrädchen vorbeigeführt. Zum Antrieb dient ein mit Räderwerk verbundenes Gewicht, das an den rechts sichtbaren Ketten hängt und mit dem vorn sichtbaren Handgriff aufgezogen wird. Die Achse 1 des Farbrädchens 2 (s. Fig. 1307) ist durch ein gebogenes Metallstück 3 mit der drehbaren Achse 4 verbunden; an dieser sitzen zwei Zungen 6 und 7 aus weichem Eisen, denen der Stahlmagnet 5 dauernden Magnetismus erteilt, und zwar so, daß 6 durch den Südpol 8 südmagnetisch und 7 durch den Nordpol 9 nordmagnetisch wird. 6 und 7 befinden sich, wie aus Fig. 1308 zu ersehen ist, zwischen zwei voneinander getrennten Elektromagneten 1 und 2 mit den Polschuhen 3. Die Schaltung der Elektromagnetwindungen ist derart, daß die einander gegenüberstehenden Polschuhe 3 unter der Wirkung eines ankommenden Telegraphierstromes immer umgekehrt magnetisch werden. Ist letzterer negativ — *Trennstrom* —, so ziehen die Polschuhe von 1 die Zungen 6 und 7 an; 7 legt sich gegen den Ruhekontakt, das Schreibrädchen bleibt in seiner Ruhelage. Kommt vom Sender positiver Strom, d. h. *Zeichenstrom*, an, so stößt 1 die beiden Zungen 6 und 7 ab, während 2 sie anzieht; infolgedessen dreht sich die Achse 4, bis 7 sich gegen den Kontakt 5 legt, und bewegt das an der Klaue 3 der Fig. 1307 befindliche Schreibrädchen 2 gegen den ablaufenden Papierstreifen. Dabei entsteht je nach der Dauer des Zeichenstromes ein farbiger Punkt oder ein Strich. Das Elektromagnetsystem ist höchst empfindlich; die Schnelligkeit der Streifenbewegung kann am Laufwerk durch den Hebel 6 (in Fig. 1306) geregelt werden. Mit dem Wheatstone-Apparat läßt sich selbst über sehr lange Leitungen außerordentlich rasch arbeiten; es müssen dann mehrere Beamte gleichzeitig die Morseschrift des Streifens in die gewöhnliche Schriftsprache übertragen.

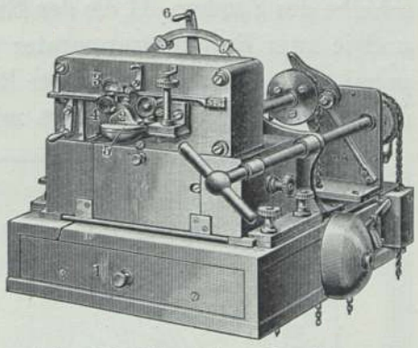


Fig. 1306. Wheatstone-Empfänger.

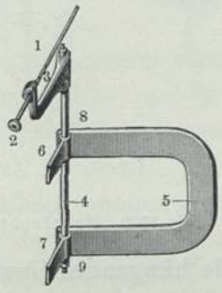


Fig. 1307.

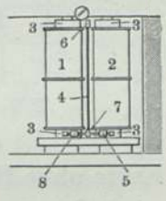


Fig. 1308.

Fig. 1307. Ankersystem mit Schreibrädchen des Wheatstone-Empfängers.
Fig. 1308. Elektromagnetsystem des Wheatstone-Empfängers.

4. Hughes-Typendrucker.

Eine große Rolle auf wichtigen Telegraphenleitungen spielen die *Typendruckapparate*, die auf dem Empfangsamt fertige Druckschrift liefern, so daß ein Übersetzen der Telegraphierschrift wegfällt. Am verbreitetsten unter ihnen ist der Hughes-Apparat; er ist schon 1855 erfunden, aber erst nach und nach auf die jetzige hohe Stufe der Vollkommenheit gebracht worden.

Die Einrichtung und Wirkungsweise des Hughes-Typendruckers gehen aus dem aufklappbaren Modell mit Beschreibung hervor.

5. Vielfachtelegraphen.

Das Bestreben, die Telegrammübermittelung zu beschleunigen, hat ferner zur Konstruktion von sogenannten *Vielfachtelegraphen* geführt. Den Ausgangspunkt hierfür bildete die Überlegung, daß zur Bildung eines Telegraphierzeichens nur eine verhältnismäßig kurze Zeit erforderlich ist, die Leitung aber in dem Zeitraum zwischen zwei Zeichen unbenutzt bleibt. Zur Ausnutzung dieser Zwischenzeiten verbindet man mehrere Apparatsysteme mit der Leitung in der Weise, daß jedes

System nur auf ganz kurze Zeit, die zur Bildung des Telegraphierzeichens gerade ausreicht, angeschaltet wird. Die Anschaltung besorgt eine Scheibe, die mit Kontaktstücken für jedes Apparatsystem versehen ist; über diesen Kontakten rotiert ein mit der Leitung verbundener Metallarm; er berührt eins der Kontaktstücke nach dem anderen in kurzer Zeitfolge. Jedem Sendeapparat an dem einen Leitungsende entspricht ein Empfangsapparat an dem anderen. Ein auf dieser Grundlage erbauter Apparat ist der Vielfachtelegraph von Baudot.

Baudots Vielfachtelegraph. Das bei ihm angewendete Schaltungsprinzip ergibt Fig. 1309. Angenommen ist hierbei der in der Praxis am häufigsten vorkommende *Quadruplexapparat;* der Baudot wird auch in Dreifach-, Sechsfach- und Achtfachschaltung benutzt. I ist die Verteilerscheibe des Senders, II die des Empfängers. An jedem Leitungsende befinden sich je zwei Sende- und je zwei Empfangsapparate; es können gleichzeitig vier Telegramme — zwei in der Richtung von I nach II und zwei in der Richtung von II nach I — befördert werden. Dargestellt ist nur die Verbindung eines Senders mit der Scheibe I und die eines Empfängers mit der Scheibe II; beide Scheiben sind bei jedem Amt an einem besonderen Apparat, dem Verteiler, vereinigt. Die Arme 9 und 10 rotieren schnell über den mit Kontaktstücken besetzten Scheiben; die Umdrehungsgeschwindigkeit muß beim Sende- und Empfangsamt gleich sein, so daß sich die an den Armen befindlichen, schwarz gezeichneten Kontaktbürsten zur gleichen Zeit immer auf entsprechenden Metallstücken der Verteilerscheiben befinden. Angetrieben werden die Verteilerarme durch ein an einer Kette ohne Ende hängendes Gewicht, das von einem Elektromotor selbsttätig wieder aufgezogen wird, bevor es vollständig abgelaufen ist. Man läßt den Verteiler des Amtes II um ein klein wenig schneller laufen als den des Amtes I; ein bei jeder Umdrehung entsandter *Korrektionsstrom* bewirkt, daß eine Hemmung bei dem Arm der Scheibe II eintritt, die beide Kontaktarme wieder in die absolut gleiche Stellung bringt.

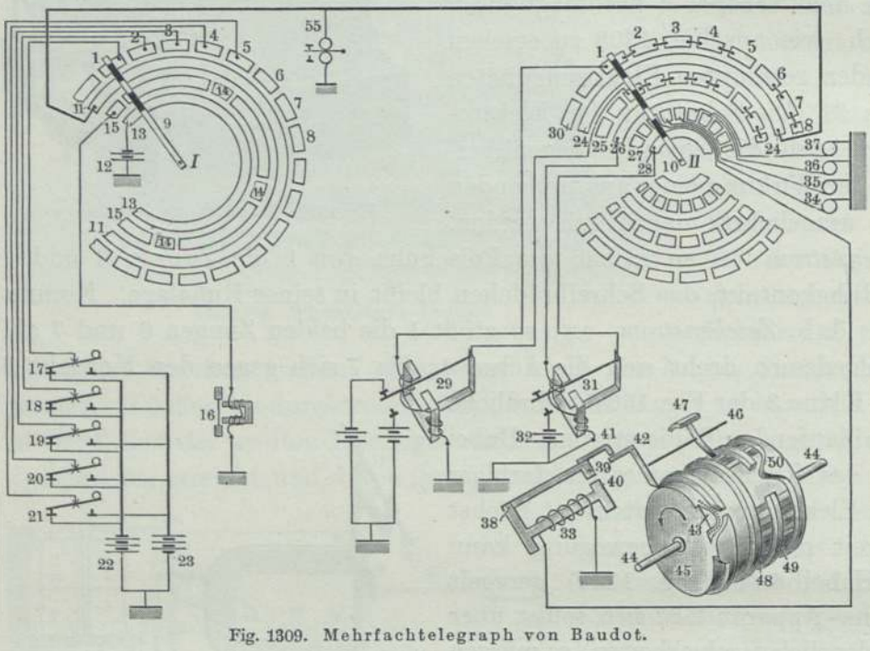


Fig. 1309. Mehrfachtelegraph von Baudot.

Mit den ringförmig angeordneten Kontaktstücken 1, 2, 3, 4 und 5 sind die fünf Tasten des Tastenwerkes des ersten Senders verbunden (ebenso gehören die zweiten fünf Kontaktstücke 6, 7, 8 usw. zum zweiten Sender); die Telegraphierzeichen werden nicht durch Niederdrücken einer Taste, sondern durch gleichzeitiges Niederdrücken mehrerer der fünf Tasten nach dem *Baudot-Alphabet* hervorgebracht. Die von den verschiedenen Tasten ausgehenden Ströme gelangen trotzdem nacheinander in die Leitung, da die obere Kontaktbürste des Armes 9 die Kontaktstücke nacheinander berührt und über den zweiten Messingring 11 mit der Leitung in Verbindung setzt. Die zweite Kontaktbürste von 9 verbindet die Batterie 12 über den Ring 13 und über die Kontaktstücke 14 des Ringes 15 mit dem Taktschläger 16 (einem Telephon), bevor das erste Kontaktstück eines Senders mit der Leitung durch die obere Bürste verbunden wird. Der Beamte erkennt hieran, wann er bei jeder Umdrehung die Tasten seines Apparates niederzudrücken hat. Der sich hieraus ergebende Takt des Arbeitens lernt sich bald. Sind die Tasten 17 bis 21 in der Ruhelage, wie in Fig. 1309, so fließen über die Kontaktstücke 1 bis 5 und den Ring 11 fünf

Stromstöße der Batterie 22, also positiver Richtung, in die Leitung; werden z. B. die Tasten 18 und 20 niedergedrückt, so geht erst ein positiver, dann ein negativer (aus der Batterie 23), dann ein positiver, wiederum ein negativer und endlich ein positiver Strom in die Leitung. Diese Ströme gelangen am Verteiler II des Empfangsamtes über den Ring 24, die obere Kontaktbürste von 10, die für jeden Apparatsatz miteinander verbundenen Kontaktstücke 1 bis 5 des Ringes 30 zum polarisierten Linienrelais 29 und von da zur Erde. Von den beiden Kontakten des Linienrelais ist der eine mit einer positiven, der andere mit einer negativen Ortsbatterie verbunden. Eine positive Stromsendung des Senders legt die Ankerzunge des Linienrelais gegen den positiven, eine negative Stromsendung gegen den negativen Kontakt, so daß positiver oder negativer Strom über die Ankerzunge nach den ebenso wie beim Ring 30 angeordneten Kontaktstücken des Ringes 25, von da über die zweite Kontaktbürste von 10 und den Ring 26 durch das gleichfalls polarisierte Ortsrelais 31 zur Erde fließt. Bei einer positiven Stromsendung verbleibt der Anker von 31 am linken Kontakt, der frei ist; bei einer negativen Stromsendung wird er an den mit der Batterie 32 verbundenen Kontakt gelegt, und 32 sendet einen Strom über die Ankerzunge von 31, den Ring 28, die dritte Bürste von 10, das von dieser im gegebenen Moment berührte Kontaktstück des Ringes 27, durch einen damit verbundenen Elektromagnet 33 bis 37 (bei der in der Figur gezeichneten Stellung von 10 durch 33) zur Erde. Infolge dieses Stromes wird der in 38 drehbare Anker 39 von dem Polschuh 40 angezogen; dabei drückt er mit dem Ansatz 41 auf den Winkelhebel 42, dessen unterer Schenkel sich infolgedessen nach hinten bewegt. In dieser Stellung gerät 42 in den Bereich des Daumens 43 der um 44 rotierenden Walze 45. 43 führt die untere Spitze von 42 weiter nach hinten, und zwar auf dem punktiert gezeichneten Wege. Die Rückwärtsbewegung von 42 geht dann so weit, daß er gegen die Stange 46 des Suchers 47 drückt und letzteren, der für gewöhnlich mit seinem Fuß in der Nute 48 der rotierenden Walze schleift, bei 50 in die Nute 49 verschiebt; dort verbleibt der Sucherfuß während einer Umdrehung, bei Beendigung derselben wird er von der Nase 50 wieder in die Nute 48 zurückgeführt. Solcher Sucher gibt es ebensoviele wie Elektromagnete und Tasten, nämlich fünf. So viele negative Zeichenströme vom Sender durch Niederdrücken der Tasten abgegeben werden, so viele Sucher werden durch die zugehörigen Elektromagnete 33 bis 37, die alle die gleiche Bauart haben, bei einer Umdrehung der Walze aus der Nute 48 in die Nute 49 geleitet. Wie Fig. 1310 zeigt, sitzen die Köpfe der Sucher I bis V bogenförmig dicht nebeneinander; sie können sich einzeln zwar von vorn nach hinten, also aus der Nute 48 in die Nute 49 bewegen, allein nach unten nur alle zusammen. Die Bewegung nach unten ist bei jeder Walzenumdrehung nur in einer bestimmten Stellung möglich, nämlich nur dann, wenn alle Sucherfüße in den unregelmäßig gebildeten Oberflächen beider Nuten gleichzeitig Vertiefungen vorfinden. In diesem Moment bewegt sich das ganze System mit einem kurzen Ruck nach unten und wird sogleich wieder in die Ruhestellung zurückgeworfen. Der mit I verbundene Hebel 51 schnellt infolgedessen die Druckrolle 52 nach oben und drückt den ablaufenden Papierstreifen 53 gegen den mit Buchstaben- und Zahlentypen versehenen Rand eines rotierenden Typenrades 54; der Buchstabe, der sich gerade gegenüber dem Papierstreifen befand, wird gewissermaßen fliegend (also wie beim Hughes) abgedruckt. Für jeden Buchstaben, jede Zahl und jedes Zeichen gibt es eine bestimmte Kombination der positiven und negativen Stromsendungen — im ganzen 31 — und dementsprechend ebensoviele Stellungen der Sucher; die Vertiefungen in den Nuten 48 und 49 sind so angeordnet, daß die fünf Sucherfüße bei jeder Kombination einmal während jeder Umdrehung zusammen einfallen können und dadurch den Abdruck des der Kombination entsprechenden Zeichens veranlassen. Am Sender befindet sich noch das Kontrollrelais 55 (in Fig. 1309); es ist an den Anfangspunkt der Leitung so geschaltet, daß es von einem Zweigstrom der abgehenden Sendeströme durchflossen wird. Es vermittelt dann den Abdruck der Zeichen in der

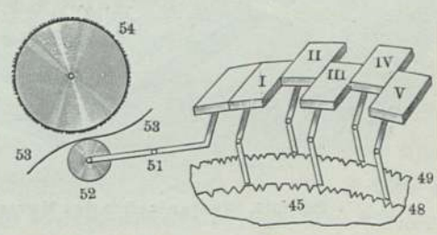


Fig. 1310. Druckvorrichtung des Baudottelegraphen.

gleichen Weise wie das Linienrelais am Empfänger; die abgegebenen Telegramme können so am Sender mitgelesen werden.

Die Einrichtung der Dreifach-, Sechsfach- und Achtfach-Baudots ist ähnlich wie die beschriebene; nur ist entsprechend der Zahl der Apparatsätze die Zahl der auf den verschiedenen Kreisen angeordneten Bogenstücke eine andere, z. B. auf dem äußeren Kreis bei dem Dreifach-Baudot 3×5, bei dem Sechsfach-Baudot 6×5, bei dem Achtfach-Baudot 8×5. Der Baudotapparat ist auf einer großen Zahl internationaler Leitungen in Anwendung.

6. Schnelltelegraphen.

Während beim Hughes und Baudot die vom Telegraphenbeamten veranlaßten Stromsendungen unmittelbar in die Leitungen gehen, erfolgt bei anderen Typendrucktelegraphen die Stromsendung automatisch mit Hilfe eines durch einen Apparat gesandten Lochstreifens, der ähnlich wie bei dem beschriebenen Wheatstoneapparat mittels eines Stanzapparates vorbereitet wird. Erbaut sind solche *Schnelltelegraphen* von Buckingham, Creed, Murray, Siemens & Halske, Pollak-Virág und anderen. Bei dem letztgenannten wird keine Typendruckschrift, sondern eine besondere Schriftart, ähnlich der Rundschrift, erzeugt, und zwar durch die photographierende Wirkung eines Lichtstrahls: ein mit einem Magnetsystem verbundener kleiner Spiegel erfährt je nach der Stärke der ankommenden Ströme Ablenkungen nach verschiedenen Richtungen und läßt den auf ihn fallenden Lichtstrahl einen Weg beschreiben, der der Form der zu übermittelnden Buchstaben entspricht. Auch der Apparat von Siemens & Halske ist auf einem photographischen Verfahren aufgebaut: vor einer sich schnell drehenden Scheibe, in der die Buchstabentypen ausgeschnitten sind, blitzt ein elektrischer Funke in dem Augenblick auf, in dem der Ausschnitt des zu übermittelnden Buchstabens sich gerade vor dem aus lichtempfindlichen Papier bestehenden Empfangsstreifen befindet, und gibt so auf dem Streifen die Form der Buchstabentype wieder. Die praktische Anwendung beider Apparate ist vereinzelt geblieben; dagegen ist der *Schnelltelegraph von Murray* von mehreren Telegraphenverwaltungen, z. B. der deutschen und russischen, eingeführt worden.

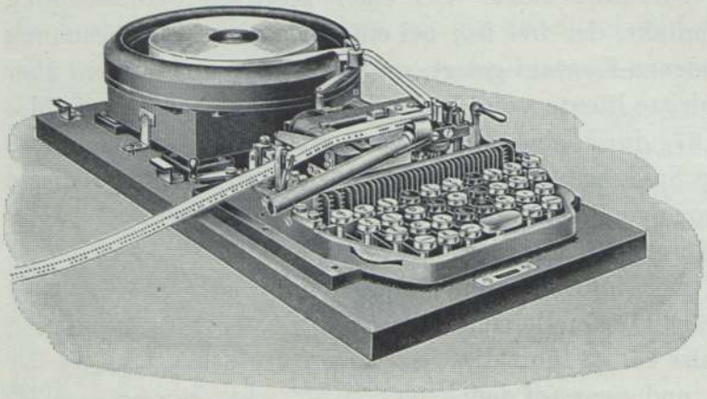


Fig. 1311. Tastenlocher des Murray-Telegraphen.

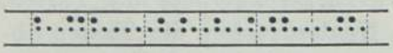


Fig. 1312. Lochstreifen des Murray-Telegraphen.

Fig. 1313. Verlauf der Sendeströme.

Murray-Schnelltelegraph. Er besteht aus dem Tastenlocher, dem Sender, dem Empfänger-Unterbrecher, dem Empfänger-Locher und dem Übersetzer. Der *Sender* ist im Prinzip dem Wheatstonesender (Fig. 1304) ähnlich. Der mit Löchergruppen versehene Sendestreifen wird durch ein Sternrad vor einer sich schnell auf und ab bewegenden Stange vorbeigezogen; letztere wirkt auf die Kontaktstellung. Der Streifen wird mit einem in Fig. 1311 dargestellten Tastenlocher gestanzt, nachdem er zuvor mit den in der Mitte sichtbaren Führungslöchern versehen ist. Die Zeichen bestehen, wie Fig. 1311 und 1312 zeigen, aus je einer Löchergruppe, die sich auf die Länge eines Raumes von fünf Führungslöchern erstreckt. Die Kombinationen für die einzelnen Buchstaben, Zahlen usw. ergeben sich aus der Stellung, die die Löcher innerhalb dieses Raumes haben, und aus der Zahl der darin gestanzten Löcher. In Fig. 1313 ist der durch die Löcher beeinflußte Verlauf der Telegraphierströme dargestellt. Trifft der Stößer ein Loch im Papierstreifen, so wird die Kontaktvorrichtung so gesteuert, daß ein positiver Zeichenstrom in die Leitung geht; trifft der Stößer bei seiner nächsten Aufwärtsbewegung kein Loch, sondern volles Papier, so

wird die Kontaktvorrichtung umgesteuert, so daß negativer Trennstrom abgeht, wie bei Beginn des ersten Buchstabens. Findet der Stößer zwei oder mehr Löcher hintereinander, so dauert der Zeichenstrom so lange an, bis der Stößer wieder auf volles Papier trifft. — Die Löchergruppe für einen Buchstaben, eine Zahl usw. wird mit einem Male durch Niederdrücken der damit bezeichneten Taste gestanzt, indem dabei die Stanzstempel, die der Löchergruppe des betreffenden Zeichens entsprechen, eingestellt und von dem Anker eines Elektromagnets durch den Streifen hindurchgetrieben werden. Das Zurückschnellen des Ankers nach dem Stanzen wird dazu benutzt, den Streifen um eine Zeichenbreite, also um fünf Führungslöcher, vorzuschieben. Zum Antrieb des Senders, d. h. des den Streifen fortbewegenden Sternrades und des auf- und abwärts bewegten Stößers, dient nicht ein Gewicht, wie beim Wheatstonesender, sondern eine Vorrichtung nach Art des phonischen Rades von Lacour, Fig. 1314. Der eine Pol der Batterie 10 ist über den Metallblock 2 mit einer in diesen eingeklemmten federnden Zunge 12 verbunden; der andere steht über die Umwindungen der Elektromagnete 5 und 3 mit dem Kontakt 9 sowie über die Windungen von 6 und 4 mit dem Kontakt 8 in Verbindung. Wird die Zunge 12 nach links bewegt, bis ihr Ansatz den Kontakt 8 berührt, so wird der Stromkreis der Batterie über 4 geschlossen; infolgedessen zieht 4 die Zunge an, 12 verläßt deshalb den Kontakt 8 sogleich wieder und bewegt sich nach rechts zum Kontakt 9. Bei Berührung von 12 mit 9 wird 3 erregt und 12 darauf wieder nach links gelegt. Es entsteht so ein Hin- und Herschwingen der Zunge; die Schwingungszahl wird durch das am freien Ende von 12 verschiebbar angebrachte Metallstück 7 geregelt. Je weiter 7 an das freie Ende geschoben wird, desto langsamer werden die Schwingungen. Ebenso wie nun 3 und 4 werden auch die Elektromagnete 5 und 6 abwechselnd von dem Batteriestrom erregt; sie wirken auf das um die Achse 1 drehbare Rad 11 ein, so daß es in schnelle, gleichförmige Bewegung gerät. Das Rad besteht aus weichem Eisen, mit Ausnahme der schraffiert gezeichneten sieben Ausschnitte; diese sind mit schwerem Metall (Blei) ausgefüllt. Die Polschuhe der Elektromagnete 5 und 6 sind der Rundung des Rades angepaßt, so daß sie möglichst kräftig anziehend auf die Eisenteile wirken. Legt sich bei der gezeichneten Radstellung die Zunge 12 gegen 9, so zieht 5, dem zwei Bleifüllungen gegenüberstehen, die Eisenteile des Rades an, d. h. das Rad wird weiterbewegt, bis Eisenteile vor den Polschuhen von 5 und zwei Bleifüllungen von 6 stehen. In diesem Augenblick wird infolge Umschwingens der Ankerzunge der Elektromagnet 6 erregt und das Rad durch diesen Magnet weiterbewegt; darauf zieht 5 wieder das Rad weiter und so fort. 12 wird durch 7 so einreguliert, daß mit sieben Hin- und Herschwingungen und den dabei abwechselnd eintretenden Magnetisierungen von 5 und 6 das Rad eine Umdrehung vollführt. Die Achse 1 des Rades 11 wird mit dem Räderwerk des Senders gekuppelt. Die mit dieser Vorrichtung erzielte Bewegung ist sehr gleichmäßig, so daß die durch den Lochstreifen gesteuerte Kontaktvorrichtung außerordentlich genau arbeitet.

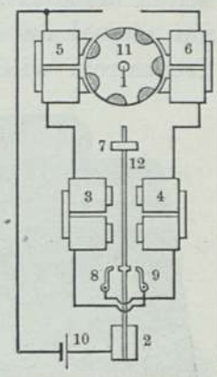


Fig. 1314. Motor des Murray-Senders.

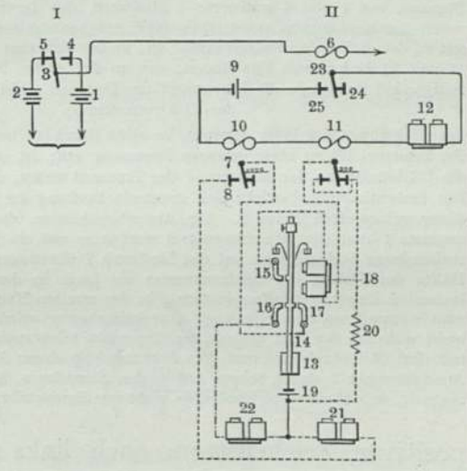


Fig. 1315. Schaltungsschema für den Murray-Empfänger.

Die Empfängerschaltung zeigt Fig. 1315. 1 und 2 sind die Batterien des Sendeamtes I, 3 der Kontakthebel, 4 und 5 die Batteriekontakte des Senders. Die abwechselnd abgehenden positiven und negativen Telegraphierströme durchlaufen am Empfangsamt II ein polarisiertes Linienrelais 6, das derart eingestellt ist, daß ein negativer Trennstrom der Batterie 2 die Ankerzunge 23 gegen den Kontakt 24, ein positiver Strom der Batterie 1 sie aber gegen den Kontakt 25 legt; in letzterem Falle wird der Stromkreis einer Ortsbatterie 9 geschlossen, in dem das Stanzrelais 10,

das Gleichlaufrelais 11 und der Auslösemagnet 12 liegen. Für den Zeichenempfang kommen zunächst 10 und 11 in Betracht; ihre Anker werden bei Eingang positiver Stromsendungen nach links umgelegt, während sie bei negativen Strömen am rechten Kontakt, dem Ruhekontakt, liegen. Wie aus Fig. 1313 ersichtlich ist, haben die Zeichenströme die Dauer von so vielen Einheiten, wie die Zahl der Löcher beträgt; um im Empfangsstreifen ebensoviele Löcher und an gleicher Stelle hervorzubringen, muß der Stanzmagnet während der Dauer eines aus mehreren Einheiten bestehenden Zeichenstromes so oft in Tätigkeit treten, wie der Zeichenstrom Einheiten besitzt. Da der Anker 7 durch die Zeichenströme von der Dauer mehrerer Einheiten nur einmal an den Arbeitskontakt 8 gelegt wird und dort liegen bleibt, bis er durch den Trennstrom wieder an den Ruhekontakt geführt wird, müssen die längeren Zeichenströme wieder in die Zahl der ihnen zukommenden Einheiten zerlegt werden. Diesem Zweck dient ein Stromunterbrecher, der gleichzeitig auch die Aufgabe erfüllt, die Einheit der Stromdauer noch in zwei Hälften zu zerlegen, damit in der einen das Lochstanzen erfolgt, während der Streifen in Ruhe ist, in der zweiten aber der Streifen um eine Lochbreite weiterbewegt wird. Den Stromunterbrecher bildet die in einem Metallblock 13 eingeklemmte Zunge 14, an deren freiem Ende ein verschiebbares Metallstückchen befestigt ist. Die Schwingungszahl läßt sich durch Verschieben des Metallstückchens ähnlich wie bei der oben beschriebenen Antriebsvorrichtung des Senders regeln. Berührt 14 beim Schwingen den Kontakt 15, so wird der Unterbrecher-Elektromagnet 18 erregt, da der Stromkreis der Ortsbatterie 19 über den Widerstand 20, den einen oder anderen Kontakt des Gleichlaufrelais 11, über 18, den Kontakt 15, 14 und 13 geschlossen wird. 18 zieht daher die Zunge 14 an; diese schwingt nach rechts und berührt 17; infolgedessen schließt sich der Kreis der Batterie 19 über 13, 14, 17, 8 — vorausgesetzt, daß der Anker 7 von 10 durch einen positiven Zeichenstrom nach links gelegt ist — und den Stanzmagnet 21, der daraufhin ein Loch in den Streifen stanzt. Da 18 wieder stromlos geworden ist, weil 14 den Kontakt 15 verlassen hatte, schwingt 14 sogleich wieder zurück nach links und berührt 15 von neuem und gleichzeitig auch 16; damit ist für die Batterie 19 ein neuer Stromweg gegeben, nämlich über 13, 14, 16 und den Bewegungselektromagnet 22. Dieser zieht seinen Anker an und bewirkt dadurch, daß der Empfangsstreifen um eine Lochbreite nach vorn gerückt wird. Das Spiel wiederholt sich so ununterbrochen weiter; gestanzt wird nur, wenn 7 an 8 liegt und so der Stanzmagnet 21 unter Strom gesetzt wird; die Streifenbewegung durch den Bewegungselektromagnet 22 erfolgt dagegen unabhängig davon bei jeder Schwingung der Zunge. Wird nun die Zunge durch das am freien Ende befindliche Gewicht so eingestellt, daß die Dauer der Schwingung von 17 nach 15 und 16 gleich der Einheitsdauer eines Zeichenstromes ist, so wird der Stanzmagnet 21 so oft unter Strom gesetzt, wie der Zeichenstrom Einheiten dauert, und zwar jedesmal während der ersten Hälfte der Schwingung von 14. Während der zweiten Hälfte jeder Einheit, gleichgültig, ob in der

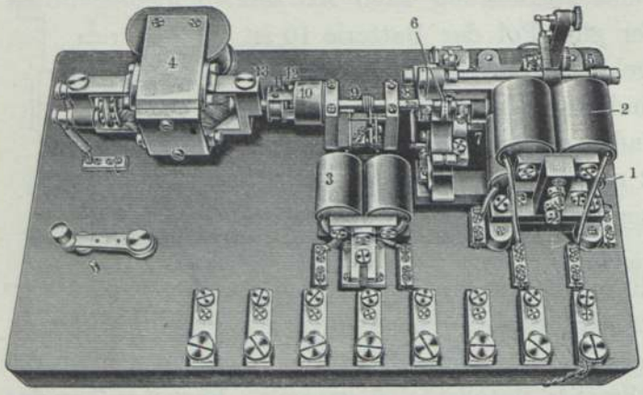


Fig. 1316. Empfänger des Murray-Telegraphen (1 Bewegungselektromagnet; 2 Stanzelektromagnet; 3 Auslöseelektromagnet; 4 durch 1 eingeschalteter Elektromotor zum Vorwärtsbewegen des Empfangsstreifens; 5 Achse des Ankers des Stanzmagnets, der einen Lochstempel durch den Papierstreifen treibt; 6 Sternrad zum Vorwärtsbewegen des Papierstreifens nach dem Stanzen, von 1 und 4 gesteuert; 7 Stoßwerk, das durch den Anker des Bewegungselektromagnets angetrieben wird; 8 Achse des Sternrades 6, gekuppelt mit 9, der Achse der Federtrommel 10, in der sich eine Spiralfeder befindet; 11 und 12 Federn mit Filzbürsten, die an der Achse des Elektromotors befestigt sind und gegen die Innenwand der Trommel schleifen; 13 ist die Achse des Elektromotors 4).

Der Elektromotor 4 läuft dauernd, er zieht durch 11 und 12 die Spiralfeder der Trommel bis zu einer gewissen Spannung auf; ist diese erreicht, gleiten die Filzbürsten an der Innenwand der Trommel weiter, ohne diese zu drehen. Die Federspannung bewirkt eine dauernde Drehung der Achse 9 und der mit dieser gekuppelten Achse 8. Die Ankerbewegungen des Bewegungselektromagnets 1 und des Stanzmagnets 2 werden so auf ein mit dem Sternrad 6 verbundenes Steigrad und auf das Stoßwerk 7 übertragen, daß in der ersten Hälfte der Einheit des Zeichenstromes ein Loch in den über das Sternrad laufenden Empfangsstreifen gestanzt, in der zweiten Hälfte der Papierstreifen vom Sternrad um zwei Führungslöcher weiterbewegt wird. Damit der Streifen nicht während der Zeit abläuft, in der nicht telegraphiert wird, öffnet der mit dem Gleichlaufrelais und dem Stanzrelais in einem Stromkreis geschaltete Auslösemagnet 3 durch seinen Anker den Stromkreis des Bewegungselektromagnets, sobald das Gleichlaufrelais nicht von Sendeströmen durchflossen wird.

ersten Hälfte ein Zeichen gestanzt wird oder nicht, schiebt sich der Empfangsstreifen um eine Lochbreite nach vorwärts. Auf diese Weise entstehen die Löcher in der gleichen Zahl und in der gleichen Stellung wie im Streifen des Senders. Die Streifen im Sender und Empfänger müssen natürlich mit der gleichen Geschwindigkeit laufen; zu diesem Zwecke wird die Ankerzunge 14 des Empfängers auf eine etwas schnellere Schwingung eingestellt als die Kontaktvorrichtung des Senders; das Gleichlaufrelais hat die Aufgabe, eine ganz genaue Übereinstimmung der Bewegung herbeizuführen: sein Anker wird ebenso wie der des Stanzrelais bei jedem Wechsel zwischen Zeichen- und Trennstrom umgelegt; während des Umlegens ist der Anker eine kurze Zeit in der Schwebelage. Erfolgt dieses Umlegen nicht genau gleichzeitig mit dem Schwingen der Zunge 14, so wird die Unterstromsetzung des Elektromagnets 18 etwas verzögert, da der Anker von 11 in der Schwebelage keinen der beiden Kontakte berührt. Daraus ergibt sich eine minder kräftige Anziehung von 14 durch 18 und infolgedessen wieder eine Verlangsamung der Schwingungen von 14. Empfänger und Sender stellen sich unter Wirkung dieser immer wieder wirkenden Korrektur genau auf die gleiche Geschwindigkeit ein. Der Auslösemagnet 12 hat nur den Zweck, bei Beginn des Telegraphierens den Apparat selbsttätig einzuschalten. Fig. 1316 zeigt den vollständigen Empfänger.

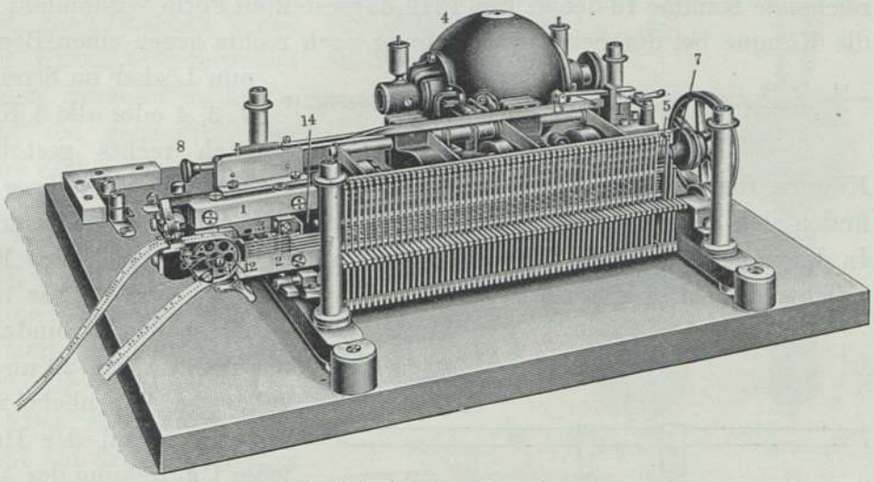


Fig. 1317. Murray-Übersetzer.

Der Empfängerstreifen gibt auf die geschilderte Weise die abgesandten Telegraphierzeichen wieder, aber in einer Form, die weder für die Beamten noch für das Publikum ohne weiteres zu entziffern ist. Die Zeichen werden daher noch automatisch in gewöhnliche Druckschrift übertragen, indem der Lochstreifen durch einen vom übrigen Apparatsystem getrennt aufgestellten *Übersetzer* geschickt wird, der aus einer Setzmaschine und einer Schreibmaschine besteht. Erstere zeigt Fig. 1317. Links ist der vom Empfänger hergestellte Lochstreifen sichtbar, der ähnlich wie beim Sender von einem Sternrad fortbewegt wird, und zwar ruckweise, jedesmal um die auf einen Buchstaben oder Zahl entfallende Streifenlänge von fünf Löchern, nachdem der Abdruck eines solchen Zeichens erfolgt ist. Das Setzen und Abdrucken eines Zeichens geht in folgender Weise vor sich. Die Achse des Sternrades sitzt auf einem zwischen den Schienen 1 und 2 in einem Kugellager sich von links nach rechts und wieder zurück bewegenden Schlitten 3, der mit Zubehör in der Fig. 1318 nochmals schematisch dargestellt ist. Die Schlittenbewegung geht von einer durch den Elektromotor 4 (Fig. 1317) angetriebenen Welle 5 aus. Diese Welle trägt verschiedene Walzen, darunter die in Fig. 1318 mit 6 bezeichnete. In den Ausschnitt von 6 greift ein Ansatz 8 des Schlittens ein. Infolge der gezeichneten Form des Ausschnittes bewegt sich 8 mit dem Schlitten, während 6 mit der Welle 5 eine Umdrehung vollführt, einmal nach rechts und wieder zurück. An dieser Bewegung nimmt auch der über das Sternrad 9 geführte Papierstreifen 10 teil, der an der linken Innenkante eines Ausschnittes des Ansatzstückes 11 liegt. In eine Öffnung von 11 greift der stabförmige Ansatz 12 eines kammartig ausgeschnittenen Metallsteges 13 ein. Wenn

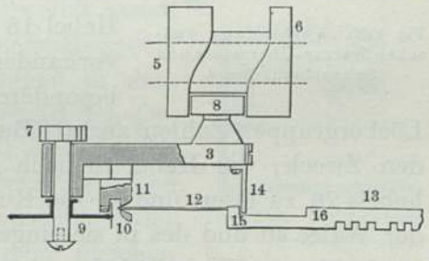


Fig. 1318. Schlitten des Murray-Übersetzers.

der Streifen 10 mit dem Schlitten und dem durchlochten Metallstück 11 nach rechts bewegt wird, trifft er auf den Ansatz 12. Befindet sich an der der Öffnung in 11 gerade gegenüberliegenden Stelle eines der gestanzten Löcher, so geht der Ansatz 12 durch dieses hindurch, und der Kamm 13 bleibt in seiner Ruhelage; befindet sich an der bezeichneten Stelle volles Papier, so schiebt der Streifen den Ansatz 12 mit dem Kamm 13 um ein geringes nach rechts. Bei der Rückwärtsbewegung nimmt die Nase 14, indem sie auf die Kante 15 des Kammes stößt, letzteren wieder mit zurück in die Ruhelage. Um die Ruhelage fest zu begrenzen, ist ein weiteres, in der Figur nicht gezeichnetes Metallstück vorhanden, gegen das sich die Kante 16 des Kammes legt. Der Löchergruppe für ein Zeichen entsprechend sind fünf Löcher in dem Stück 11 untereinander und fünf in diese hineinreichende Kämme 13 der in Fig. 1319 dargestellten Form vorhanden; mit der Kante 17 legen sich die Kämme bei der Seitwärtsbewegung nach rechts gegen einen Begrenzungssteg. Je nachdem nun Löcher im Streifen gestanzt sind, werden 1, 2, 3, 4 oder alle 5 Kämme für einen Augenblick nach rechts gestoßen. Hierbei erhalten die Kämme für jede Gruppierung der Löcher eine bestimmte Stellung zueinander; in dieser befinden sich an einer Stelle dann Ausschnitte aller fünf Kämme in einer Geraden untereinander. In die so gebildete Rille fällt dann ein an dieser Stelle durch eine Feder gegen die Kämme gedrückter Hebel 18 ein (vgl. Fig. 1320). Der Hebel ist um die Achse 19 drehbar; sein oberes Ende ist durch das Verbindungsstück 20, den Haken 21, das Ansatzstück 22 und die Feder 23 mit dem zugehörigen Typenhebel 24 der Schreibmaschine verbunden. Wird der Haken bei 25 von dem bei jeder Umdrehung der Achse einmal niedergehenden Schlaghebel 26 getroffen, so wird der Typenhebel bei 22 niedergezogen und das mit der Zeichentype 27 versehene Ende gegen das Papier der Schreibmaschine zum Abdruck des Zeichens geworfen. Der Haken kann von dem Schlagarm 26 nur getroffen werden, wenn 18 in die durch Ausschnitte der sechs Kämme gebildete Rille hineingezogen wird; ist er das nicht, so kann das betreffende Zeichen nicht abgedruckt werden. Für jeden Buchstaben und jede Zahl ist ein Hebel 18 (im ganzen ebensoviele Hebel wie Tasten am Tastenlocher) vorhanden. Der zuletzt erwähnte sechste Kammhebel wird durch eine besondere Löchergruppierung mit eingestellt, damit durch die folgenden Löchergruppen Zahlen anstatt Buchstaben gedruckt werden. Der Stoßhebel 28 (Fig. 1320) hat den Zweck, die Hebel 18 nach Abdruck der Zeichen sogleich wieder vom Ansatz des Schlaghebels 26 zu lösen und in die Ruhelage zurückzuführen. Die Welle 5 bewirkt auch hier mittels der Walze 30 und des in sie eingeschnittenen Schneckengangs 31 sowie des mit 26 zu einem um 32 drehbaren Winkelhebel verbundenen Armes 33 die auf und nieder gehende Bewegung des Schlagarmes 26. Durch ein Sperrad und eine in dieses eingreifende Sperrklinke wird bei jeder Rückkehr des Schlittens von rechts nach links der Streifen um eine Zeichenbreite, also um fünf Löcher, nach vorwärts geschoben, damit nun das Setzen und Abdrucken des folgenden Zeichens bei der anschließenden Bewegung nach rechts vor sich gehen kann. Außer den Löchergruppen für Buchstaben, Zahlen und Satzzeichen ist auch eine Gruppe von Löchern vorgesehen, bei denen der Papierschlitten der Schreibmaschine selbsttätig auf den Anfang einer neuen Zeile eingestellt wird. Das Telegramm erscheint so in fertiger Form auf einem zur Aushändigung an den Empfänger bestimmten Blatt.

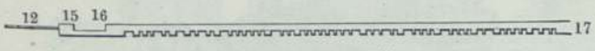


Fig. 1319. Kamm des Murray-Übersetzers.

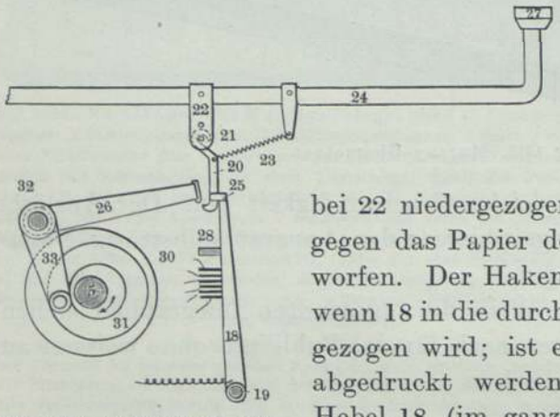


Fig. 1320. Verbindung zwischen Murray-Übersetzer und Schreibmaschine.

B. Fernsprecher.

I. Apparate.

Die große Verbreitung, die der Fernsprecher heute erlangt hat, wurde mit der Erfindung des Telephons durch den Amerikaner Graham Bell (1877) eingeleitet. Dieser amerikanische Erfinder fußte auf den Arbeiten des deutschen Lehrers Reiß, der bereits 1862 einen ähnlichen Apparat erbaut und „Telephon" genannt hatte. Mittels dieses Apparates wandelte er die Schallschwingungen der menschlichen Sprache in Veränderungen des elektrischen Stromes um und führte letzteren einem elektromagnetischen Empfangsapparat zu, der die Stromveränderungen wieder in Schallschwingungen umzusetzen hatte. Seine Erfindung fand nicht die genügende Beachtung und geriet für längere Zeit in Vergessenheit.

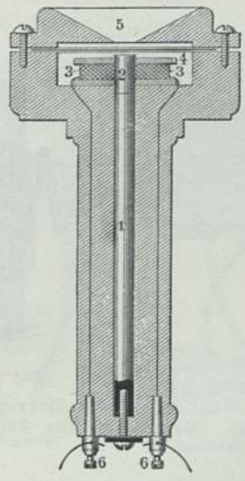


Fig. 1321.

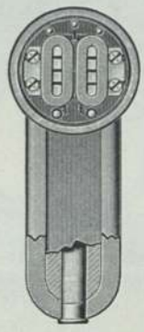


Fig. 1322.

Fig. 1323.

Fig. 1321. Querschnitt des Telephons von Bell.
Fig. 1322. Fernhörer in Hufeisenform.
Fig. 1323. Fernhörer mit Ringmagneten.

1. Telephon.

Das *Telephon* von Bell ist in Fig. 1321 dargestellt. 1 ist ein stabförmiger Dauermagnet aus Stahl; auf dem einen Pol sitzt der aus weichem Eisen bestehende Polschuh 2, der von einer Wickelung aus zahlreichen isolierten Kupferdrahtwindungen 3 umgeben ist. Dicht vor dem Polschuh 2 — nur durch einen geringen Luftzwischenraum von ihm getrennt — befindet sich eine sehr dünne Membran 4, eine Scheibe aus verzinntem Eisenblech. Alle Teile sind von einem Holzgefäß umschlossen, das mit dem Ausschnitt 5 versehen ist. Die beiden Enden der Drahtwickelung sind mit den Klemmen 6 verbunden; an diese wird die Leitung zur Empfangsstation herangeführt, sofern eine Doppelleitung benutzt wird. Bei Anwendung eines einzelnen Drahtes ist die eine der Klemmen 6 mit Erde zu verbinden. Wird in die Schallöffnung 5 hineingesprochen, so gerät die Metallmembran 4 in Schwingungen, die den Schallwellen genau entsprechen. Da die Membran sich bei den Schwingungen dem Magnet 1 abwechselnd nähert und wieder von ihm entfernt, so entstehen in dem magnetischen Feld entsprechende Änderungen. Diese rufen gemäß den Gesetzen über die Wechselwirkung zwischen magnetischen und elektrischen Kräften elektrische Ströme in den Drahtwindungen 3 hervor, deren jeweilige Stärke sich genau im Verhältnis zu den Änderungen der Schwingungen der Membran und somit der Schallwellen regelt. An der mit dem gleichen Apparat ausgerüsteten Empfangsstelle gelangen die elektrischen Ströme über 6 zu den Windungen 3, durchfließen diese und verändern ihrer wechselnden Stärke entsprechend die magnetische Anziehungskraft des Polschuhes 2 auf die Metallplatte 4. Diese gerät in Schwingungen und stößt die umgebende Luftschicht zu gleichartigen Schwingungen an. Ein an 5 angelegtes Ohr empfängt so die in den Apparat der Sendestation hineingesprochenen Laute. In neuerer Zeit wird das Telephon nur noch als Empfangsapparat *(Fernhörer)* benutzt; alle Veränderungen für diesen Zweck betreffen nur die äußere Konstruktion. Fig. 1322 zeigt einen Fernhörer mit hufeisenförmigen Magneten, bei dem beide Pole mit ihren Polschuhen der Membran gegenüberstehen; Fig. 1323 einen Fernhörer mit zwei halbkreisförmigen Ringmagneten.

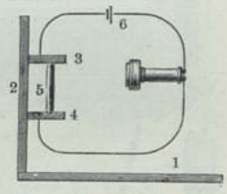


Fig. 1324. Mikrophon von Hughes.

2. Mikrophon.

Als Sender für die Übermittelung der Sprache dient jetzt das kräftiger als das Telephon wirkende *Mikrophon*, dessen Grundform von Professor Hughes angegeben und in Fig. 1324

dargestellt ist. Mit einer Schallmembran 1, 2 sind zwei prismatische Kohlenstücke 3 und 4 verbunden; zwischen ihnen befindet sich das walzenförmige Kohlenstück 5, das mit seinen Zapfen lose in zwei Ausschnitten von 3 und 4 gelagert ist. Wenn gegen 2 gesprochen wird, gerät 2 mit den Kohlenstücken 3, 4 und 5 in leichte Schwingungen, die den Schallwellen gleichen. Entsprechend diesen Bewegungen werden die lockeren Kontakte zwischen 5 einerseits und 3 sowie 4 anderseits geändert und infolgedessen auch der Übergangswiderstand für den Strom einer elektrischen Batterie 6. Die Schwankungen des Widerstandes veranlassen wieder Änderungen der Stromstärke, und diese wirken wieder auf einen in den Stromkreis eingeschalteten Fernhörer in der vorher beim Telephon beschriebenen Weise ein, so daß an diesem die gesprochenen Laute vernehmbar sind.

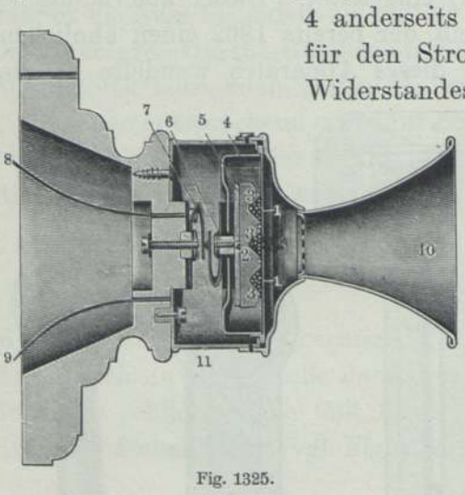


Fig. 1325.

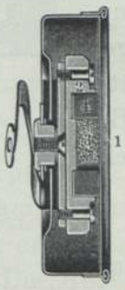


Fig. 1326.

Fig. 1325. Längsdurchschnitt eines modernen Mikrophons für eigene Batterie. Fig. 1326. Mikrophon für Zentralbatteriebetrieb.

Ein modernes Mikrophon ist in Fig. 1325 dargestellt; es besteht aus einer in einen Preßring eingespannten, runden Membran aus Kohle 1, gegen die gesprochen wird, sowie einem ebenfalls als runde Scheibe ausgebildeten Kohlenstück 2, in das runde Vertiefungen zur Aufnahme kleiner Kohlenkügelchen 3 eingelassen sind; die letzteren bilden zwischen der Membran 1 und dem hinteren festen Kohlenstück 2 den veränderlichen Kontakt. Alle drei Teile sind in eine Kapsel 4 eingeschlossen. Das Kohlenstück 2 ist auf einer Metallplatte 5 angebracht, die ihrerseits von einer am Boden der Kapsel befestigten und von diesem durch Gummizwischenlagen isolierten Schraube 6 getragen wird. Durch die Schneckenfedern 7 wird das Kohlenstück 2 mit dem einen Pol der Mikrophonbatterie über den Zuführungsdraht 8 verbunden. Der andere Batteriepol liegt über die Zuführung 9 und die Metallwand 11 des alle Teile umfassenden Gehäuses an der beweglichen Membran 1. Der als Träger von 1 dienende Preßring kann mittels eines Gewindes verstellt werden, um den Druck zwischen 1 und 3 und somit den Übergangswiderstand zu regeln. Gesprochen wird in den Schalltrichter 10, der die Schallwellen auf die Kohlenmembran 1 richtet. Das beschriebene Mikrophon hat in der Ruhe einen elektrischen Widerstand von etwa 40 Ohm und wird da verwendet, wo für jeden Apparat eine besondere Mikrophonbatterie aufgestellt wird. Eine andere Form zeigt Fig. 1326. Hier bildet die Verbindung zwischen der beweglichen Kohlenmembran 1 und dem festen Kohlenstück 2 eine Schicht aus sehr feinen Kohlenkörnern, die von einem Filzring 4 eingeschlossen ist. Dieses Mikrophon hat 100—200 Ohm und wird bei der später beschriebenen Schaltung für Zentralbatterie verwendet. Es gibt noch eine ganze Anzahl anderer Arten von Mikrophonen; im Prinzip besteht kein Unterschied zwischen ihnen.

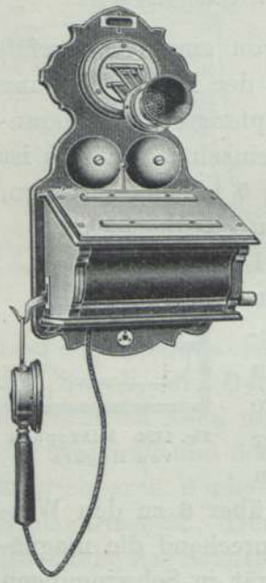


Fig. 1327. Fernsprecher, Wandgehäuse, geschlossen.

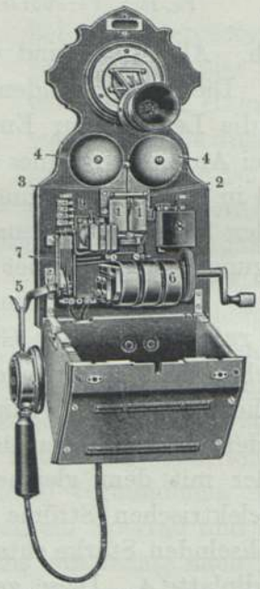


Fig. 1328. Fernsprecher, Wandgehäuse, geöffnet.

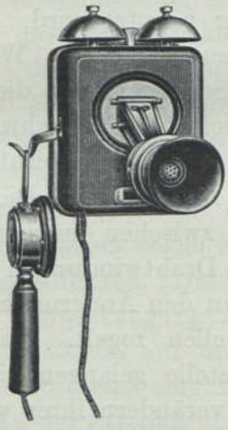


Fig. 1329. Fernsprecher, Wandgehäuse für Zentralbatteriebetrieb.

3. Fernsprechgehäuse.

Fernhörer, Mikrophon und die sonst noch erforderlichen Hilfsapparate werden für den praktischen Gebrauch in Fernsprechgehäusen vereinigt, die so gebaut sind, daß sie entweder an der Wand aufgehängt oder auf Tischen aufgestellt werden können. Fig. 1327—1331 zeigen einige der gebräuchlichsten Arten. Die Ausführung der Zubehörteile richtet sich danach, ob einzelne Mikrophonbatterien für jeden Apparat vorhanden sind oder eine einzige Batterie, eine sogenannte Zentralbatterie, die alle an ein Umschalteramt angeschlossenen Sprechstellen mit Strom versieht. Der Unterschied der beiden Betriebsarten ergibt sich aus den in Fig. 1332 und 1333 dargestellten Schaltungsskizzen. In Fig. 1332 bedeutet 1 die bei einem Amt aufgestellte Zentralbatterie, 2 ist das Mikrophon einer Sprechstelle, 3 der Hörer einer anderen Sprechstelle. Der Stromkreis der Zentralbatterie verläuft also über das Mikrophon 2 und den Hörer 3. Die beim Sprechen gegen 2 entstehenden Stromschwankungen wirken mithin auf die Membran des Fernhörers 3, in dem so die gesprochenen Laute vernehmbar sind. Nähere Einzelheiten über das Zentralbatteriesystem, das nur für Telephonämter mit einer großen Anzahl von Sprechstellen Verwendung findet, folgen S. 599. Sonst erhalten die Sprechstellen selbst Stromquellen, meist Trockenelemente, die den Mikrophonstrom hergeben *(Ortsbatterie)*. Die dabei anzuwendende Schaltungsweise zeigt Fig. 1333. Der Stromkreis der Mikrophonbatterie steht nicht unmittelbar mit der Leitung in Verbindung, sondern ist in sich über 1, 2 und die primäre Wickelung eines Induktionsübertragers 4 geschlossen. Die in dieser Wickelung verlaufenden Mikrophonströme rufen in der sekundären Wickelung durch Induktion wiederum elektrische Ströme hervor, deren Stärke sich genau in dem Maße ändert wie die der Sprechströme in den primären Windungen. Die sekundäre Wickelung ist an die Leitung geschaltet, so daß die induzierten Ströme über diese zu dem Empfangsapparat 3 gelangen. Die verwendeten Induktionsspulen enthalten einen Kern aus geglühten Eisendrähten und darüber zwei Wickelungen aus dünnem isolierten Kupferdraht; die innere hat weniger Windungen mit geringem elektrischen Widerstand, die äußere zahlreiche Windungen mit höherem Widerstand.

Fig. 1330. Fernsprecher, Tischgehäuse.

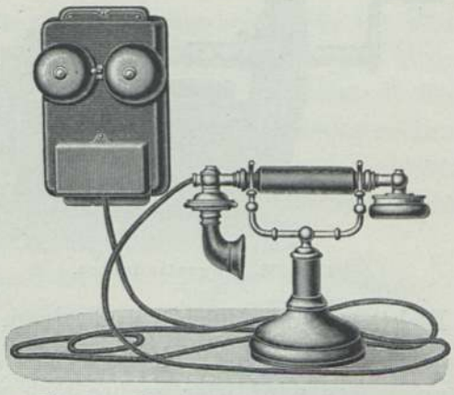


Fig. 1331. Fernsprecher, Tischgehäuse.

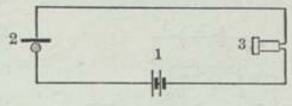


Fig. 1332. Mikrophonschaltung für Zentralbatterie.

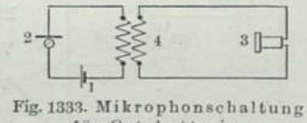


Fig. 1333. Mikrophonschaltung für Ortsbatterie.

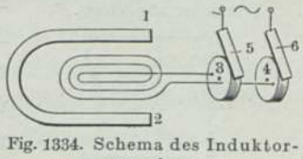


Fig. 1334. Schema des Induktoranrufers.

Erfolgt die Stromversorgung nicht von einer Zentrale aus, so ist für das Sprechgehäuse ein Zusatzapparat erforderlich, mit dem das Vermittelungsamt oder eine andere Sprechstelle angerufen werden kann. Dazu dient der Induktor, der beim Drehen der in Fig. 1328 rechts sichtbaren Kurbel Weckströme in Form von Wechselstrom entsendet. Die Wirkungsweise eines solchen Induktors erklärt die schematische Skizze in Fig. 1334. Zwischen den beiden Polen 1 (Nordpol) und 2 (Südpol) eines hufeisenförmigen Dauermagnets wird eine aus zahlreichen isolierten Windungen bestehende Drahtspirale in drehende Bewegung versetzt. Da die Drahtwindungen hierbei die Kraftlinien des magnetischen Feldes schneiden, entsteht in ihnen ein Wechselstrom, der von den Ringen 3 und 4 durch zwei auf ihnen schleifenden Kontaktfedern 5 und 6 der Leitung zugeführt wird. Zur Verstärkung der Wirkung wird die Drahtspirale auf einen Kern aus weichem Eisen, den Anker, aufgewickelt. Meist verwendet man drei oder vier Dauermagnete, die nebeneinander angebracht sind, wie Fig. 1335

veranschaulicht. Um dem Anker eine ausreichende Umdrehungsgeschwindigkeit zu geben, wird die Handkurbel nicht unmittelbar, sondern durch Zahnradübersetzung an dem Anker befestigt. Der Anker ist in Fig. 1335 durch das Magnetgestell verdeckt. Die Induktorwickelung darf für gewöhnlich nicht in der Leitung liegen, weil der hohe Widerstand und die Selbstinduktion die Sprechströme schädigen würden. Sie wird deshalb nur beim Rufen an die Leitung geschaltet, indem die Kurbelachse beim Drehen eine seitliche Verschiebung erhält und dabei die rechts sichtbare, aus Federkontakten bestehende Umschaltevorrichtung betätigt. An diese sind die Drahtverbindungen so herangeführt, daß an Stelle des Sprechstromkreises beide Enden der Ankerwickelung mit der Leitung in Verbindung treten.

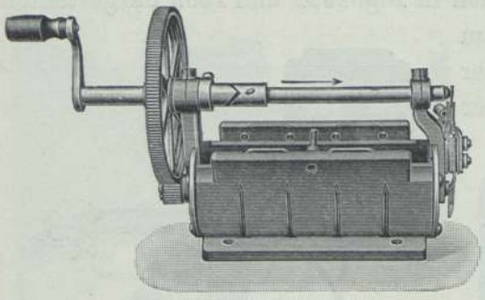


Fig. 1335. Magnetinduktor.

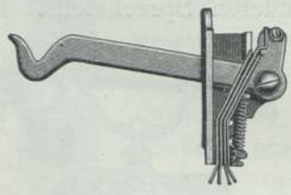


Fig. 1336. Hakenumschalter.

Die Induktorströme durchlaufen an der Empfangstelle einen Wechselstromwecker und bringen diesen zum Anschlagen. Er besteht, wie an dem geöffneten Wandgehäuse in Fig. 1328 (S. 592) erkennbar ist, aus zwei Elektromagnetrollen 1 und einem Anker 2 aus weichem Eisen, der um eine feste Mittelachse drehbar gelagert ist, so daß, wenn ein Arm, z. B. der linke, vom linken Elektromagnet angezogen wird, der rechte sich vom rechten Elektromagnet entfernt. 2 trägt die Klöppelstange 3 mit einer Klöppelkugel, die beim Hin- und Hergehen des Ankers abwechselnd gegen die beiden Glockenschalen 4 schlägt. Den Eisenkernen beider Elektromagnete 1 und dem Anker 2 wird durch einen an der Gehäusewand befestigten Dauermagnet (in Fig. 1328 nicht sichtbar) ein bestimmter Magnetismus derart erteilt, daß beispielsweise die oberen Enden der Elektromagnetkerne mit ihren Polschuhen nordmagnetisch sind, während die ihnen zugekehrte untere Fläche des Ankers 2 südmagnetisch ist. In der Ruhelage ist die Anziehung beider Kerne auf 2 gleich stark. Ein eingehender Weckstrom hat zunächst eine solche Richtung, daß er den Nordmagnetismus des linken Kernes verstärkt, den des rechten aber aufhebt oder in Südmagnetismus umgekehrt. Infolgedessen wird der linke Arm von 2 kräftig vom linken Elektromagnet angezogen, vom rechten aber, da sich hier gleichartig magnetisierte Teile gegenüberstehen, abgestoßen; daher kippt 2 nach links hinüber. Im nächsten Augenblick wechselt der Weckstrom seine Richtung; links erfolgt nun die Abstoßung und rechts die Anziehung des Ankers. Die Klöppelkugel wird so abwechselnd gegen beide Glockenschalen geworfen. Durch eine Einstellvorrichtung kann der Anker 2 den Polschuhen der beiden Elektromagnete mehr oder weniger genähert werden. Auch der Abstand der beiden Glockenschalen von der Klöppelkugel ist regulierbar.

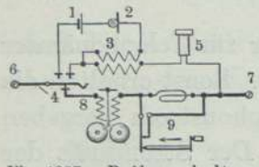


Fig. 1337. Reihenschaltung bei Lokalmikrophonbatterie.

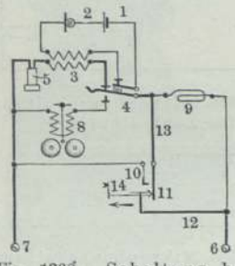


Fig. 1338. Schaltung bei Lokalmikrophonbatterie (Fernhörer abgehängt).

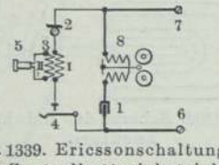


Fig. 1339. Ericssonschaltung für Zentralbatteriebetrieb.

Der Wecker bleibt zur Entgegennahme des Anrufs nur so lange eingeschaltet, wie der Fernhörer an dem in Fig. 1328 links sichtbaren, beweglichen Haken 5 hängt. Mit diesem Haken ist nämlich eine aus Kontaktfedern bestehende Umschaltvorrichtung 7 verbunden. 6 ist der bereits beschriebene Induktor; 8 ist ein *Kondensator* zu 2 Mikrofarad, dessen Zweck weiter unten erläutert wird; bei 9 befindet sich die mit zwei Wickelungen versehene Induktionsspule, deren Schaltung in Fig. 1333 dargestellt und deren Wirkungsweise oben beschrieben ist. Den erwähnten *Hakenumschalter* zeigt Fig. 1336 in größerem Maßstabe.

Die genannten Apparate werden je nach dem zur Anwendung gelangenden System in verschiedener Weise untereinander verbunden. Fig. 1337 zeigt eine sogenannte Reihenschaltung bei eigener Mikrophonbatterie. 1 bedeutet die mit dem Mikrophon 2 und der primären Wickelung

des Induktionsübertragers 3 in einen Stromkreis geschaltete Batterie. Dieser Stromkreis wird erst geschlossen, wenn der Schalter 4 nach Abnahme des Fernhörers aus der gezeichneten Stellung nach oben schnellt und infolgedessen eine Verbindung zwischen den oberhalb befindlichen Kontakten herstellt. Gleichzeitig werden auch Fernhörer 5 und die sekundäre Wickelung der Induktionsspule an die aus den Zweigen 6 und 7 bestehende Leitung gelegt. Der Apparat befindet sich dann in der Sprechstellung. In der gezeichneten Ruhestellung liegt der Wecker 8 dauernd zwischen den beiden Leitungszweigen. Der Induktor 9, mit dem die Rufströme zu entsenden sind, ist für gewöhnlich durch den gezeichneten Federkontakt kurzgeschlossen, so daß ihn die ankommenden Weckströme nicht durchlaufen. Will die Sprechstelle selbst Rufströme entsenden, so wird die Induktorkurbel gedreht; dabei verschiebt sich die Achse seitlich in der Pfeilrichtung und hebt so die lange Feder von der kurzen ab, so daß die Ankerwindungen in den Leitungsstromkreis eingeschaltet werden. Es darf nur bei angehängtem Fernhörer gerufen werden, damit der Induktor nicht über den Fernhörer und die sekundäre Wickelung des Übertragers kurzgeschlossen wird. Während des Rufens bleibt der eigene Wecker der Sprechstelle im Leitungsstromkreis, er gibt daher die abgehenden Rufzeichen mit wieder. Will man dies vermeiden, so hat man an dem Hakenumschalter einen dritten Kontakt anzubringen, wie in Fig. 1338 ersichtlich ist. Gerufen wird bei abgehängtem Fernhörer; der Wecker 8 ist dann, wie gezeichnet, von der Leitung abgeschaltet; beim Drehen der Induktorkurbel schließt sich der Federkontakt bei 10, so daß über diesen die Ankerwickelung von 9 in den Leitungsstromkreis geschaltet wird. Die ankommenden Ströme nehmen folgenden Verlauf: Leitungszweig 7, Fernhörer 5, sekundäre Wickelung des Induktionsübertragers 3, linker unterer Kontakt des Hakenumschalters 4, Draht 13, Kontakt 11, Induktorachse 14, Draht 12, Leitungszweig 6. Die abgehenden Sprechströme werden in dem Mikrophonstromkreis (1, 2, oberer Kontakt des Hakenumschalters 4, primäre Wickelung des Induktionsübertragers 3) erzeugt und gelangen durch die Induktionswirkung der primären auf die sekundäre Übertragerwickelung in den bei den ankommenden Sprechströmen bereits bezeichneten Weg. Bei angehängtem Hörer liegt der Hakenumschalter am rechten Kontakt, so daß an Stelle der Sekundärspule und des Fernhörers der Wecker 8 an der Leitung liegt.

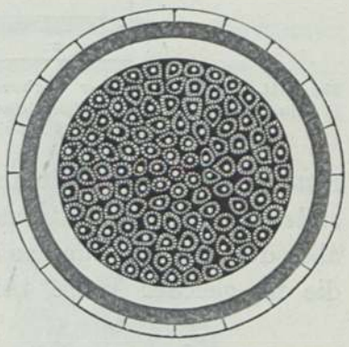


Fig. 1340. Durchschnitt eines Fernsprechkabels.

Bei der Lieferung des Mikrophonstromes von einer Zentralbatterie aus (vgl. Fig. 1332) vereinfacht sich der Stromlauf bei den Sprechstellapparaten sehr wesentlich. Eine dieser Schaltungen, die sogenannte *Ericsson-Schaltung*, zeigt Fig. 1339; der Wecker 8 liegt mit dem zur Verriegelung des Gleichstromes der Zentralbatterie dienenden Kondensator 1 dauernd zwischen den beiden Leitungszweigen 6 und 7; beim Abnehmen des Fernhörers vom Haken 4 schließt letzterer den Stromkreis der Zentralbatterie über das Mikrophon 2 und die Spule I des Induktionsübertragers 3; an der Spule II des letzteren liegt der Fernhörer 5, der so mit den zugehörigen Leitungsschnüren aus dem Stromkreis der Zentralbatterie entfernt ist. Dies hat den Vorteil, daß der Fernhörer nicht vom Gleichstrom der Zentralbatterie beeinflußt wird.

II. Fernsprechzentralen.

Die Sprechstellen werden an eine Zentrale angeschlossen, welche die Verbindungen zwischen den einzelnen Sprechstellen herzustellen hat. Zur Verbindung der Sprechstellen mit der Zentrale dienen Leitungen aus Kupfer- oder Bronzedraht, die oberirdisch an Holzstangen längs der Straßen und an eisernen, auf Dächern aufzustellenden Gestängen geführt oder unterirdisch in Kabeln verlegt werden. In den Kabeln werden meist eine ganze Anzahl von Leitungen vereinigt, wie es der in Fig. 1340 dargestellte Durchschnitt eines Fernsprechkabels zeigt. Die einzelnen Leiter sind von einem isolierenden Papierstreifen so umgeben, daß in dem Hohlraum

zwischen Papier und Kupferleiter eine freie Luftschicht verbleibt; die zu einer Leitung gehörigen beiden Adern sind miteinander verseilt, die Aderpaare wieder mit den anderen Paaren. Die Kabelseele ist mit einem Nesselband umwickelt; darüber befindet sich ein geschlossener Bleimantel, der wiederum durch eine Armatur aus stählernen Fassondrähten geschützt wird, sofern das Kabel zur freien Verlegung in die Erde bestimmt ist. Man verwendet Kabel mit 50, 100, 200 usw. bis 500 Doppeladern. In die Vermittelungsstellen werden die Leitungen, gleichgültig, ob sie unterirdisch oder oberirdisch verlegt sind, durchweg mit Kabeln eingeführt. In Fig. 1341 ist der Verlauf einer teils unterirdisch, teils oberirdisch verlaufenden Anschlußleitung angedeutet; darin sind auch die Sicherungsvorrichtungen angegeben, die das Eindringen von atmosphärischer Elektrizität und von Strömen aus elektrischen Starkstromanlagen, z. B. elektrischen Bahnen, Licht- und Kraftanlagen, in die Sprechstellen, Vermittelungsämter und Kabel verhüten sollen. Die mit 7 bezeichneten Apparate bedeuten Blitzableiter mit gezackten, einander gegenüberstehenden Metallplatten, an denen die hochgespannte atmosphärische Elektrizität überspringt und zur Erde abgeleitet wird. 8 sind kleine, ebenfalls dicht einander gegenüberstehende Kohlenplatten, die demselben Zwecke dienen, aber noch empfindlicher wirken; durch sie werden Spannungsreste, die trotz der Blitzableiter 7 noch eingedrungen sind, zur Erde abgeleitet. 9 sind *Grobsicherungen*, die eine Stromstärke von etwa 3 Ampere aushalten, bei Überschreitung dieser Grenze aber durchbrennen und so die äußere Leitung von der inneren trennen; 10 sind *Feinsicherungen*, die in gleicher Weise bei einer weit geringeren Stromstärke, etwa 0,2—0,3 Ampere, den Stromweg unterbrechen. 11 in Fig. 1341 bedeutet ein Klemmenpaar; an der einen Klemme endigt die Außenleitung, an der anderen die Zuführung zum Apparatsystem des Vermittelungsamtes, beide Klemmen sind durch einen Schaltdraht verbunden. Die Klemmenpaare sämtlicher eingeführter Leitungen sind an einem sogenannten *Umschaltegestell* oder *Hauptverteiler* vereinigt. Mittels der Schaltdrähte können die Innenleitungen beliebig an die Außenleitungen angeschlossen werden.

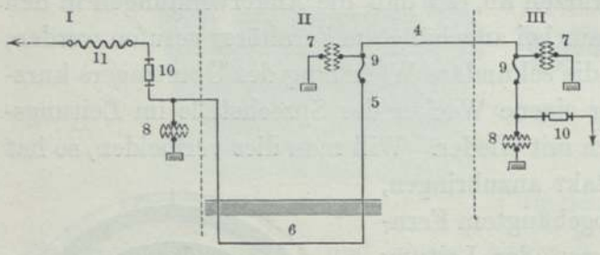


Fig. 1341. Verteilung der Sicherungen (I Vermittelungsamt, II Leitungsverlauf, III Sprechstelle; 4 oberirdische Leitung, 5 Kabelaufführungspunkt, 6 unterirdisches Kabel).

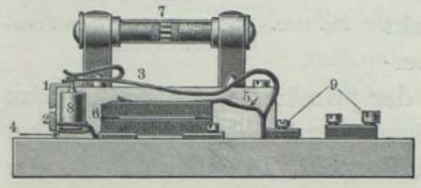


Fig. 1342. Sicherungen für eine Anschlußleitung (in einem Kästchen vereinigt; 1, 2 Grobblitzableiter, 3, 4, 5 Blattfedern, 6 Feinblitzableiter, 7 Grobsicherungspatrone, 8 Feinsicherungspatrone, 9 Klemmen für die Leitungszuführungen).

Fig. 1342 zeigt eine Vorrichtung, an der oben die Grobsicherungspatrone 7 mit dem seitlich befindlichen Grobblitzableiter 1, 2 sichtbar ist; die kleine Feinsicherungspatrone 8 ist zwischen den Federn 3 und 4 eingespannt, von der 4 durch 5 mit dem Feinblitzableiter 6, der aus zwei Kohlenplatten besteht, verbunden ist. Die Feinsicherung enthält im Innern eine kleine Wickelung aus feinem isolierten Draht, die um eine Lötstelle aus leicht schmelzbarem Woodschem Metall herumgeführt ist. Wird die Lötstelle durch einen in die Leitung eingedrungenen Fremdstrom erwärmt, so wird der oben aus der Patrone herausragende Stift gelockert und durch die infolgedessen nach oben schnellende Feder 3 von der Patrone getrennt.

Die Blitzableiter (Spannungssicherungen) und Schmelzsicherungen (Stromsicherungen) werden bei den Sprechstellen in kleinen besonderen Kasten angebracht.

1. Umschalteapparate.

Um die Leitungen der Sprechstelleninhaber beim Vermittelungsamt bedienen zu können, bedarf man besonderer Umschalteapparate. Diese enthalten in ihrer einfachsten Form die in Fig. 1343 gezeichneten Teile. Beide Zweige einer Anschlußleitung, z. B. 1 und 2 von I, sind über eine Klinke 5, aus zwei Kontaktfedern und einer metallischen Hülse bestehend, zu einem Elektromagnet 6 geführt, dessen Anker an einem wagerechten Arm einen hakenförmigen Ansatz trägt

und mit diesem eine Klappenscheibe festhält. Schickt die Sprechstelle über 1 und 2 Rufstrom mittels ihres Induktors, so wird der Anker (rechts) angezogen; der Arm mit Ansatz geht in die Höhe und gibt die Klappe frei, die nun abfällt. Zur Beantwortung des Anrufs hat das Amt den zweiteiligen Stöpsel 9 einer zweiaderigen Leitungsschnur 3, 4 in die Klinke 5 und gleichzeitig den Stöpsel 10 in die Klinke 11 einzuführen; an letztere ist der *Abfrageapparat* 12 des Amtes angeschaltet. Die voneinander isolierten Teile der Stöpsel 9 und 10 sind mit den gleichen Teilen der Stöpselschnur verbunden. Die beiden Adern der Schnur bestehen aus je einer Kupferlitze und einer isolierenden gesponnenen Hülle aus Seide oder Baumwolle; beide Adern sind durch eine weitere Umspinnung zu einer Schnur vereinigt. Fig. 1344 zeigt eine Klinke mit eingeführtem Stöpsel. Wenn in Fig. 1343 die Sprechstelle I eine Verbindung mit der Sprechstelle II verlangt, so wird der Stöpsel 10 aus der Klinke 11 entfernt und in die Klinke 7 eingeführt. Beide Teilnehmer sind nun über die Stöpselschnur unmittelbar miteinander verbunden. Da die langen Federn beider Klinken von den kurzen durch die Stöpsel abgehoben werden, sind die Klappenelektromagnete 6 und 8 abgeschaltet; zwischen den Schnuradern 3 und 4 liegt aber die Schlußzeichenklappe 13 „in Brücke". Der anrufende Teilnehmer soll nämlich, wenn die Unterhaltung zwischen beiden Sprechstellen beendet ist, nochmals seine Induktorkurbel drehen. Durch diesen Strom wird dann der Anker der Klappe 13 angezogen; die niederfallende Klappe zeigt dem Amt den Schluß des Gespräches an, worauf die Stöpsel aus den Klinken 5 und 7 herausgezogen und in die Ruhelage gebracht werden. Einen *Umschalteschrank* mit derartigen Klinken und Klappen zeigt Fig. 1345. Zu jeder Leitung gehören zwei dicht nebeneinander sichtbare Klinken, die eine für den 1-Zweig, die andere für den 2-Zweig der doppeldrähtigen Anschlußleitung. Der Abfrageapparat ist mit einer Schnur verbunden, deren Stöpsel in die Klinke einer rufenden oder anzurufenden Leitung eingeführt wird. Zwischen dem Klinken- und dem Klappenfeld befinden sich besondere Klinken und Klappen für die Fernleitungen, die dem Fernverkehr — zwischen verschiedenen Städten — dienen. Um die Dauer der Gespräche im Fernverkehr kontrollieren zu können, sind oben am Schrank Sanduhren angebracht, die beim Beginn eines Ferngespräches in Gang gesetzt werden. Zum Anrufen der Teilnehmer dient der rechts gezeichnete Induktor; der links gezeichnete Wecker wird nicht von den Teilnehmerleitungen aus unmittelbar betätigt, er liegt vielmehr in einem Ortsstromkreis, der durch eine niederfallende Klappe geschlossen wird. Der Wecker kann durch einen Umschalter außer Tätigkeit gesetzt werden. Schränke mit dieser oder ähnlichen Anordnungen werden hauptsächlich bei Ämtern mit geringer Teilnehmerzahl verwendet. Bei großen Ämtern benutzt man Umschalteschränke mit *Vielfachschaltung*. Ein solcher Schrank faßt 100—300 Anrufzeichen und Abfrageklinken für Teilnehmerleitungen. Damit aber jede Leitung an jedem Umschalter für eine auszuführende Verbindung erreichbar ist, sind alle Leitungen über die an jedem Umschalter angebrachten Vielfachklinken geführt. Fig. 1346 zeigt das Prinzip der Vielfachschaltung;

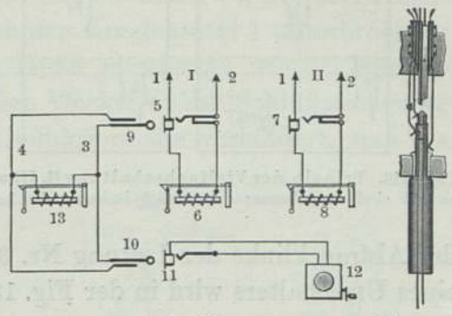


Fig. 1343. Fig. 1344.

Fig. 1343. Einfache Schaltung für Klappenschränke. Fig. 1344. Klinke mit Stöpsel.

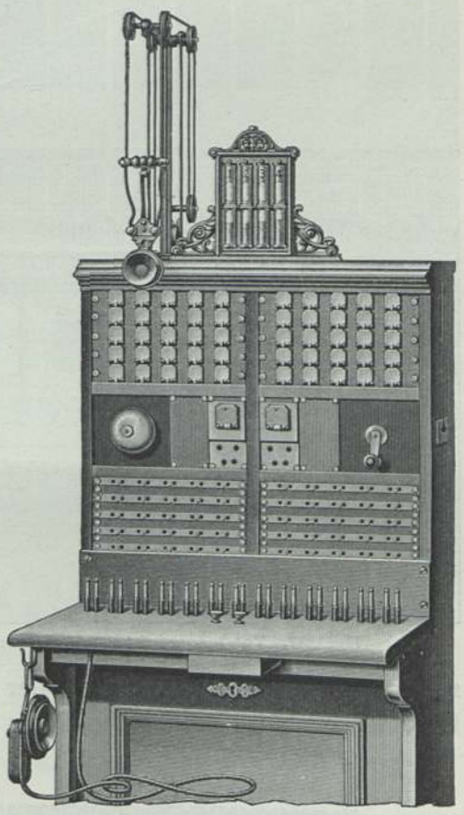


Fig. 1345. Klappenschrank für 50 Doppelleitungen mit eingebauten Fernleitungssystemen.

gezeichnet sind nur Teilnehmerleitung 30, die am Schrank I ihre Abfrageklinke 4 (dahinter auch das Anrufzeichen) hat, außerdem in den Klinken 3 über das Vielfachfeld aller Schränke geführt ist, und die Teilnehmerleitung 2100, die im Vielfachfeld an die Klinke 1 herangeführt ist und an dem Schrank V an der Abfrageklinke 2 und dem dahinter liegenden Anrufzeichen endigt. An Schrank I ist mittels einer Stöpselschnur eine Verbindung zwischen den Teilnehmern Nr. 30 und 2100 hergestellt, und zwar unter Benutzung der Abfrageklinke der Leitung Nr. 30 und der Vielfachklinke der Leitung 2100. Das Vielfachfeld eines Umschalters wird in der Fig. 1347 durch die hell schraffierten Teile dargestellt. Fig. 1348 zeigt einen Klinkenstreifen mit Vielfachklinken. Die in Fig. 1347 unter den Vielfachklinken befindlichen Felder nehmen die Abfrageklinken und die als kleine helle Kreise erscheinenden Anrufzeichen auf. Als solche dienen kleine Glühlampen, die von den in die Teilnehmerleitungen eingeschalteten Anrufrelais unter Strom gesetzt und so zum Aufleuchten gebracht werden. Die Anordnung der Glühlampen mit den Abfrageklinken geht aus Fig. 1349 hervor. In die Schnüre der aus dem tischförmigen Ansatz herausragenden Stöpsel (Fig. 1347) sind die vor den Stöpseln sichtbaren Sprechumschalter eingeschaltet. Sie haben drei Stellungen und dienen dazu, eine Teilnehmerleitung an den Abfrageapparat anzuschalten *(Abfragestellung)* oder die zur Verbindung mit einer anderen Leitung erforderliche Schaltung herzustellen *(Durchsprechstellung)*, oder endlich Rufstrom nach der angerufenen Teilnehmerstelle zu entsenden. Zur Erzeugung der Rufströme werden meist kleine Wechselstromgeneratoren benutzt, die aus dem Leitungsnetz vorhandener Starkstromanlagen angetrieben werden.

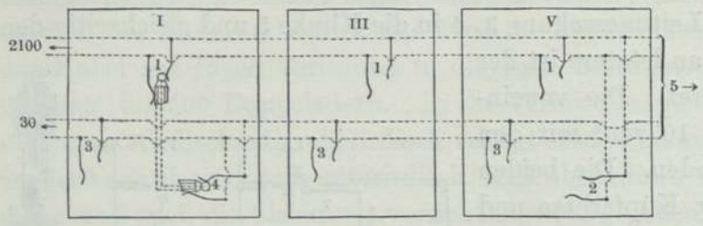


Fig. 1346. Prinzip der Vielfachschaltung (I, III und V sind Schränke; Schrank II und IV sind weggelassen; der Pfeil 5 bedeutet die Leitung zu weiteren Schränken).

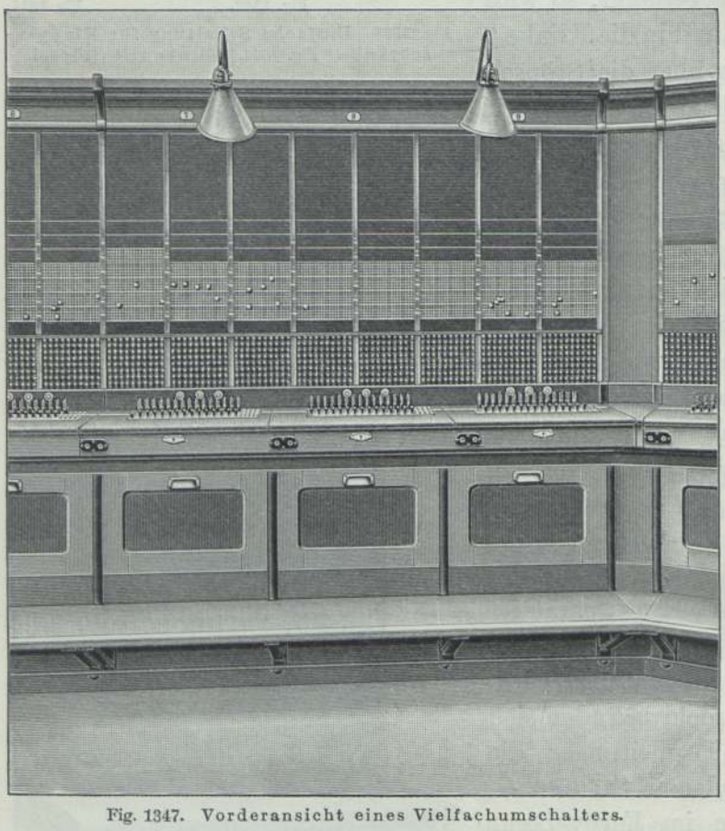


Fig. 1347. Vorderansicht eines Vielfachumschalters.

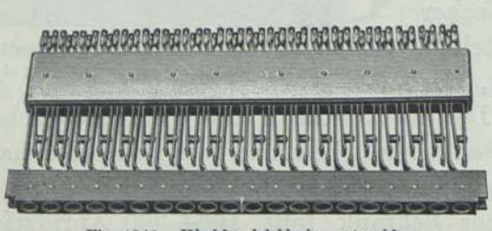


Fig. 1348. Vielfachklinkenstreifen.

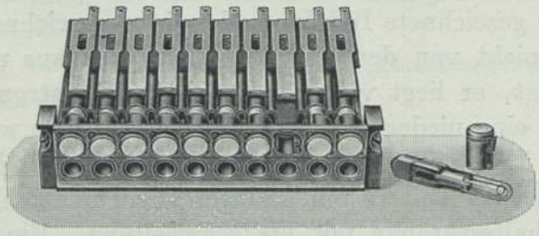


Fig. 1349. Abfrageklinken mit Glühlampen.

Auch bei dem Vielfachsystem wird teilweise noch jede Sprechstelle durch eine eigene Batterie mit Mikrophonstrom versehen; in diesem Falle stellt man aber auf dem Vermittelungsamt eine

besondere Batterie auf, die an alle zur Verbindung zwischen den Teilnehmern dienenden Stöpselschnüre gelegt wird. Diese hat den Zweck, an besonders eingebauten Schlußzeichen (Galvanoskopen) anzuzeigen, daß die Teilnehmer nach Beendigung des Gespräches wieder den Fernhörer an den Haken ihres Apparates angehängt haben und die Leitungen wieder frei sind. Die dabei benutzte Schaltung zeigt Fig. 1350. Wenn der Sprechstellenhörer abgenommen ist, wie bei Sprechstelle I, so wird der Stromkreis der Schlußzeichenbatterie durch den Kondensator 1 unterbrochen; das Schauzeichen 11 kann dann nicht erscheinen. Wird der Hörer angehängt, wie bei Sprechstelle II, so findet der Strom der Batterie 5 einen Weg über den Wecker 4; das Schlußzeichen 12 wird somit betätigt. 6 ist eine Drosselspule mit hoher Selbstinduktion, die verhindert, daß die Sprechströme ihren Weg über die durch 5 und die Schauzeichen gebildete Brücke nehmen. Zwischen den beiden zu einer Verbindung benutzten Stöpselschnüren muß ein Kondensator eingeschaltet werden, damit die Stromkreise beider Schauzeichen voneinander getrennt bleiben.

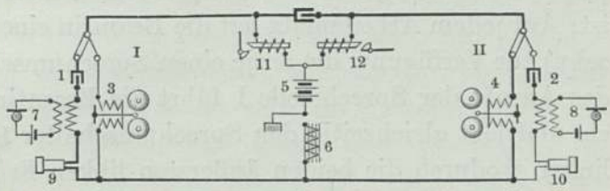


Fig. 1350. Selbsttätige Schlußzeichengebung, Kondensator im Sprechstromkreis (1 und 2 Kondensatoren zur Verriegelung des Sprechstromkreises gegen die Schlußzeichenbatterie; 3 und 4 Wecker; 5 Schlußzeichenbatterie; 6 Drosselspule; 7 und 8 Mikrophone; 9 und 10 Telephone [davon 9 abgehängt, 10 angehängt]; 11 und 12 Schlußzeichen).

2. Zentralbatteriesystem.

Bei den modernen Ämtern mit Vielfachbetrieb wird aber fast durchweg das System der Zentralbatterie benutzt. Letztere liefert nicht nur den Strom für die Schlußzeichen, sondern auch den Strom für die Mikrophone der Sprechstellen und für die Anrufrelais sowie für die Signallampen des Vermittelungsamtes. Die mannigfachen Schaltungen dabei verfolgen alle den Zweck, die Bedienung beim Vermittelungsamt möglichst einfach und sicher zu gestalten und eine Beeinflussung zwischen verschiedenen Leitungen fernzuhalten. Der Stromlauf eines modernen Amtes, das in Anlehnung an das Ericsson-System eingerichtet ist, geht aus Fig. 1351 hervor. Von den bisher noch nicht erwähnten Hilfsapparaten findet sich darin ein Gesprächszähler (19 und 20), der ebenfalls von der Zentralbatterie betätigt wird und den Zweck hat, für jede Teilnehmerleitung die Zahl der von ihr verlangten Gespräche aufzuzeichnen, um danach die Gebühren zu berechnen. Er kann erst in Tätigkeit treten, wenn die Zählertaste 21 niedergedrückt wird. Im übrigen ist die Schaltung folgende.

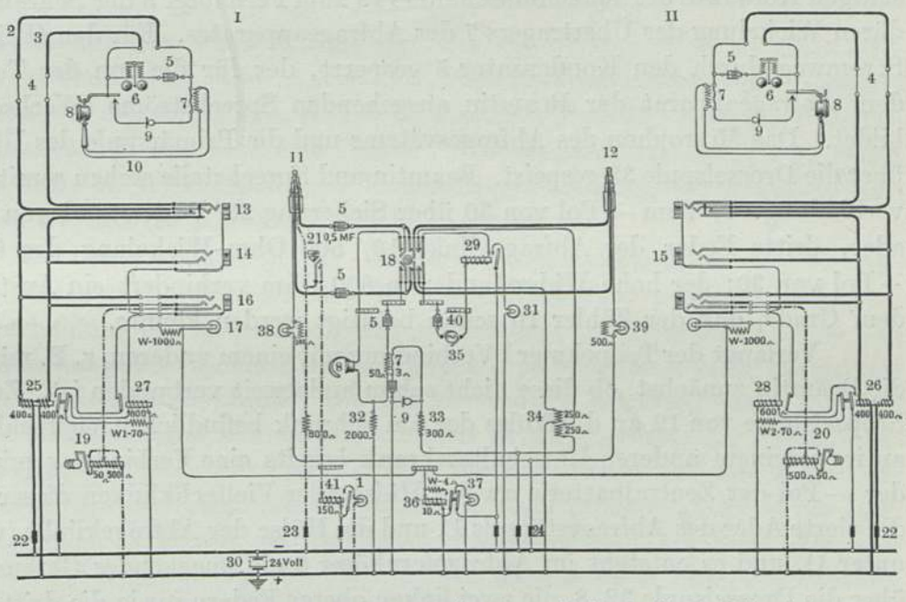


Fig. 1351. Stromlauf eines Fernsprechamtes mit Zentralbatteriebetrieb.

Die von der Sprechstelle I kommende Doppelleitung 2, 3 führt über einen Hauptverteiler 4, ferner über die mit doppelten Unterbrechungskontakten versehene Klinke 13 eines Vorschalteschrankes, über zwei getrennte Wickelungen des Anrufrelais 25 zu den Polen der Zentralbatterie 30; im Zweig 2 liegt die Sicherung 22. Nach den auf dem Vielfachklinkenfeld sich wiederholenden Klinken 14 und der nur einmal vorhandenen, mit der Anruflampe 17 auf einem bestimmten Schrank befindlichen Anrufklinke 16 zweigen sich von der Hauptleitung Drahtverbindungen in

Parallelschaltung ab. Der Stromkreis der Zentralbatterie ist bei der Sprechstelle durch den in einer Reihe mit dem Wecker 6 liegenden Kondensator 5 unterbrochen. Hebt der Teilnehmer seinen Fernhörer 8 (durch die Leitungsschnur 10 mit der sekundären Wickelung des Übertragers 7 verbunden) von dem beweglichen Haken ab, so legt sich dieser gegen den unteren Kontakt und schließt den Kreis der Zentralbatterie über das Mikrophon 9 und die primäre Wickelung des Übertragers 7. Infolgedessen zieht auf dem Amt das Anrufrelais 25 seinen Anker an und setzt mittels seines Ankerkontakts und über den Ruhekontakt eines zweiten Relais 27, des sogenannten *Trennrelais*, die Anruflampe 17 und das Kontrollrelais 36 unter Strom: 17 leuchtet auf und gleichzeitig unter Wirkung von 36 auch die Kontrollampe 37, von der sich an jedem Arbeitsplatz eine befindet, und die anzeigen soll, daß an dem betreffenden Schrank ein Anruf eingegangen ist. Auf jedem Arbeitsplatz hat die Beamtin eine Anzahl von Schnurpaaren 11 und 12 (meist vierzehn) zur Verfügung, die an je einen Sprechumschalter 18 angeschlossen sind. Zur Beantwortung des Anrufs der Sprechstelle I führt die Beamtin den Abfragestöpsel 11 in die Abfrageklinke 16 ein und legt gleichzeitig den Sprechumschalter 18 in die Abfragestellung (in der Zeichnung nach links), wodurch die beiden äußersten linken Federn mit den ihnen benachbarten in Berührung kommen. Damit eröffnen sich drei neue Stromwege: 1) vom — Pol der Zentralbatterie über die Sicherung 24, Schlußzeichenlampe 38, vierte Ader der Abfragestöpselschnur, Hülse der Abfrageklinke 16, Wickelung des Trennrelais 27 zum + Pol von 30; die Schlußzeichenlampe 38 leuchtet indes nicht auf, da die Stromstärke wegen des hohen Widerstandes von 27 dazu nicht ausreicht. Dagegen zieht 27 seinen Anker an und unterbricht den Stromkreis der Anruflampe 17, die somit erlischt; 2) von den Leitungszweigen 2 und 3 der Anschlußleitung über die beiden oberen Federn der Abfrageklinke 16, die beiden ersten Adern der Stöpselschnur 11, über die linksseitigen Kontakte des Sprechumschalters 18 zum Fernhörer 8 der Schrankbeamtin und zur sekundären Wickelung des Übertragers 7 des Abfrageapparates. Für den Gleichstrom von 30 ist dieser Stromweg durch den Kondensator 5 gesperrt, der für die von der Teilnehmersprechstelle und dem Abfrageapparat der Beamtin ausgehenden Sprechströme (Wechselströme) kein Hindernis bildet. Das Mikrophon des Abfragesystems und die Primärspule des Übertragers werden von 30 über die Drosselspule 33 gespeist. Beamtin und Sprechstelle stehen somit in unmittelbarer Sprechverbindung. 3) Vom — Pol von 30 über Sicherung 23, Widerstand von 800 Ohm, dritte Schnurader, dritte Feder der Abfrageklinke 16, 500 Ohm-Wickelung des Gesprächszählers 19 zum + Pol von 30; der hohe Widerstand von 800 Ohm verhindert ein Ansteigen des Stromes bis zu dem Grade, daß der Zähler 19 schon betätigt werden könnte.

Verlangt der Teilnehmer I Verbindung mit einem anderen, z. B. mit Sprechstelle II, so prüft die Beamtin zunächst, ob diese nicht schon anderweit verbunden ist. Zu diesem Zwecke wird die Stöpselspitze von 12 an die Hülse der am Schrank befindlichen Vielfachklinke 15 gelegt. Besteht an irgendeinem anderen Umschalteschrank bereits eine Verbindung mit dieser Leitung, so liegt der — Pol der Zentralbatterie an der Hülse aller Vielfachklinken dieser Leitung, und zwar über die vierte Ader des Abfragestöpsels 11 und die Hülse der Abfrageklinke (vgl. den obigen Stromweg unter 1), und es entsteht im Abfragefernhörer 8 ein knackendes Geräusch, da der + Pol von 30 über die Drosselspule 32, 8, die zwei linken oberen Federn sowie die dritte und vierte Feder von 18 (bei Stellung nach links) und die erste Schnurader mit der Stöpselspitze von 12 verbunden ist. Bleibt das Prüfgeräusch aus, so ist die Leitung frei: der Stöpsel 12 wird dann vollständig in die Klinke 15 hineingesteckt. Zum Wecken des Teilnehmers II wird hiernach der Sprechumschalter 18 nach rechts hinübergelegt; dadurch erhalten die beiden ersten Schnuradern von 12 und damit die Anschlußleitung über die oberen und unteren drei rechten Federn von 18 Verbindung mit der *Rufmaschine* 35, die Wechselströme von etwa 60 Volt und 15 Perioden absendet und den Wecker der Sprechstelle II betätigt. Zur Abflachung der Wechselströme ist der Rufmaschine ein Kondensator 40 von 10 Mikrofarad vorgeschaltet; der Rufstrom durchfließt ein Relais 29, das seinen Anker anzieht und die Lampe 31 aufleuchten läßt, so daß an dieser erkannt werden kann, ob der Rufstrom wirklich abgeht. Gleichzeitig mit der Rufstrommaschine wird über

die geteilte Drosselspule 34 auch die Gleichstromquelle 30 an die Schnuradern gelegt, so daß das Anrufrelais seinen Anker dauernd festhält und der Anker nicht infolge des abgesandten Wechselstromes in vibrierende Schwingungen gerät. Der über die 600 Ohm-Wickelung des Trennrelais fließende Strom erlangt daher nicht die genügende Stärke, um die Schlußzeichenlampe 39 aufleuchten zu lassen. Nach Beendigung des Rufens fällt der Anker von 26 wieder ab und stellt für den bisher 28 durchlaufenden Strom einen anderen Weg über den kleineren Widerstand von 70 Ohm her; die Stromstärke wächst in diesem Kreise dadurch so weit an, daß die Schlußzeichenlampe 39 aufleuchtet. Sie erlischt erst wieder, wenn der gerufene Teilnehmer zum Melden seinen Fernhörer abhebt und dadurch das Anrufrelais zum Anziehen seines Ankers veranlaßt. Aus der Rufstellung kehrt der Sprechumschalter selbsttätig in die Durchsprechstellung (die in der Figur gezeichnete) zurück. Beide Sprechstellen sind dann über die Stöpselschnüre 12 und 11 und die mittleren Federn von 18 in Verbindung; die Kondensatoren 5 lassen die Sprechströme ungehindert durch. Die Sprechstellenmikrophone werden von 30 über die Anrufrelais, die ihre Anker angezogen halten, gespeist. Hängen die Teilnehmer ihre Hörer nach Beendigung des Gespräches wieder an, so werden die Anrufrelais stromlos und lassen ihre Anker fallen. Wie vorher angegeben, werden dann die Trennrelais durch geringere Widerstände (70 Ohm) überbrückt, und die Schlußzeichenlampen 38 und 39 leuchten auf, wonach die Beamtin die Verbindung trennt. Die Zählung des Gesprächs erfolgt nach Ausführung der Verbindung, indem die Beamtin die Zähltaste 21 niederdrückt und dabei den Widerstand von 800 Ohm durch das Zählerkontrollrelais 41 mit nur 150 Ohm Widerstand überbrückt. Der Strom im obigen Weg unter 3) erhält dann genügende Stärke, um den Zähler 19 zum Anziehen seines Ankers zu veranlassen, der nach erfolgter Anziehung von der Haltewickelung mit 50 Ohm festgehalten wird. Die Kontrollampe 1 zeigt die erfolgte Zählung an.

Die Zentralbatterie ist mit dem einen Pol geerdet, um ein Übersprechen zwischen verschiedenen Verbindungen zu vermeiden. Den Anruf- und Schlußzeichenlampen sind passende Widerstände parallel geschaltet, die verhindern, daß beim etwaigen Durchbrennen einer Signallampe der Stromkreis unterbrochen und dann das Prüfen auf Besetztsein unmöglich wird; auch wird dadurch in solchem Falle die Wirksamkeit der Kontrollampe erhalten, die erkennen läßt, daß ein Anruf eingegangen ist, den die Anruflampe nicht angezeigt hat.

Nebenanschlüsse. Mit dem Anwachsen der Ortsfernsprecheinrichtungen hat die Anschaltung von Nebenanschlüssen an die Sprechstellen der Hauptanschlüsse mehr und mehr Verbreitung gefunden. Zur Verbindung der Nebenanschlüsse mit anderen Teilnehmern dient die von der Hauptstelle zum Vermittelungsamt führende Amtsleitung, die so bedeutend mehr ausgenutzt werden kann als bei einem einfachen Anschluß. Die zur Verbindung der Hauptstelle mit den Nebenstellen anzuwendenden Schaltungen richten sich nach der Schaltungsweise der Fernsprechzentrale. Wenn nur eine Nebenstelle vorhanden ist, die über die Hauptstelle mit dem Amte verkehren soll, so wird ein Zwischenstellenumschalter benutzt; bei einer größeren Zahl ist ein Umschalteschrank erforderlich, oder es wird von der Reihenschaltung Gebrauch gemacht. Bei Verwendung von Umschalteschränken bei der Hauptstelle, die entweder mit gewöhnlichen Klappen, Rückstellklappen, Schauzeichen oder Lampensignalen ausgerüstet werden, vollzieht sich der Verkehr zwischen Haupt- und Nebenstellen in gleicher Weise wie zwischen dem Amt und den Teilnehmern. Der Verkehr zwischen Nebenstellen und Amt erfordert indessen ziemlich verwickelte Schaltungen.

Die Bedienung der Apparate bei der Hauptstelle gestaltet sich einfacher, wenn statt der bisher beschriebenen Schaltungsweise eine sogenannte Reihenschaltung verwendet wird. Diese ist mit Vorteil anwendbar, wenn die zwischen den Haupt- und Nebenstellen verlaufenden Leitungen von nicht zu großer Länge sind. Die Amtsleitung durchläuft dann außer der Hauptstelle nacheinander alle Nebenstellen; jede Nebenstelle kann sich, ohne daß erst die Hauptstelle angerufen wird, in die Amtsleitung einschalten. Hauptstelle und Nebenstellen sind außerdem durch so viele Leitungen verbunden, wie Stellen vorhanden sind; je eine Leitung endigt auf der

ihr zugeteilten Nebenstelle, ist aber auch bei allen anderen Nebenstellen über einen sogenannten *Linienwähler* geführt, an dem jede Stelle sich in die Leitung einschalten kann, um mit der zu dieser Leitung gehörigen Nebenstelle unmittelbar in Verkehr zu treten. Eine Vermittelung der Hauptstelle ist auch hierbei nicht nötig. Die Amtsleitung ist auf allen Nebenstellen mit einem Schauzeichen versehen, an dem zu erkennen ist, ob die Leitung etwa auf einer anderen Stelle bereits besetzt ist. Wenn eine Nebenstelle vom Amt aus gewünscht wird, so muß allerdings erst die Hauptstelle angerufen werden, um den Anruf weiterzugeben.

Zur besseren Ausnutzung der Amtsleitungen wird neuerdings auch die Parallelschaltung mehrerer Teilnehmeranschlüsse zu einer Amtsleitung angewendet, besonders bei solchen Stellen, die allein eine Amtsleitung nicht hinreichend ausnutzen. Die in Abzweigung zur Amtsleitung befindlichen Sprechstellen heißen *Zweig-* oder auch *Gruppen-* oder *Gesellschaftsanschlüsse.*

Beim Betriebe mehrerer Fernsprechämter in einem Orte dienen zum Verkehr dieser untereinander besonders geschaltete Verbindungs- und Dienstleitungen; auf den letzteren tauschen die Beamtinnen ihren dienstlichen Verkehr aus, mit den ersteren werden die Verbindungen zwischen den an verschiedene Ämter angeschlossenen Teilnehmern hergestellt. Beim *Dienstleitungsbetrieb* verlangt die Beamtin des ersten Amtes von der Beamtin des zweiten Amtes den anzurufenden Teilnehmer in einer Verbindungsleitung, ruft ihn selbst an und überwacht die Verbindung. —

Während man in großen Städten allgemein eine Dezentralisation der Fernsprechvermittelung durch Einrichtung mehrerer Teilämter anstrebt, hat man in Hamburg beim Bau der neuen Fernsprechzentrale umgekehrt den Betrieb acht einzelner Ämter zu einem zusammengefaßt. Das Zentralamt umfaßte im ersten Ausbau 40 000 Teilnehmer, ist aber schon um weitere 20 000 erweitert worden. Grundlegend für die Gestaltung der technischen Einrichtung ist die von dem schwedischen Ingenieur Arven angegebene Verteileranordnung, die es ermöglicht, den Anruf eines Teilnehmers immer sogleich zu beantworten und die gewünschte Verbindung von einer nicht beschäftigten Beamtin herstellen zu lassen. Zu diesem Zweck ist das Amt in drei Abteilungen A, B und C unterteilt. Die Beamtinnen im A-Amt beobachten die Anrufe; sobald ein Anrufzeichen aufleuchtet, schalten sie an die Teilnehmerleitung mittels einer sogenannten Verteilerleitung einen zurzeit nicht beschäftigten Arbeitsplatz des B-Amtes an. Die B-Beamtin fragt den Teilnehmer nur, zu welcher Gruppe der von ihm verlangte Anschluß gehört, und benachrichtigt dann sofort auf einer Dienstleitung einen freien Arbeitsplatz der genannten Gruppe des C-Amtes. Die C-Beamtin schaltet sich wiederum sogleich in die ihr bezeichnete Verteilerleitung ein, fragt den Teilnehmer nach der gewünschten Anschlußnummer und stellt die Verbindung her. Es bestehen beim C-Amt vier Gruppen (I—IV) zu je 10 000 Teilnehmerleitungen. Die Gruppenbildung ist dadurch veranlaßt, daß in den Klinkenfeldern der Vielfachumschalter nicht mehr als 10 000 Klinken vereinigt werden können, ohne die Übersichtlichkeit und das sichere Arbeiten zu gefährden. Es sind also an der Herstellung jeder Verbindung drei Beamtinnen beschäftigt, und dennoch wird eine Schnelligkeit in der Bedienung der Teilnehmer erreicht, die bisher nicht bekannt war. Dieses Ergebnis ist der vorzüglichen Wirkungsweise der technischen Einrichtungen und dem ohne alle Reibungen erfolgenden Ineinandergreifen der verschiedenen Teile zu verdanken. Die Einzelheiten der Anordnung ergeben sich aus folgendem. Das Verteiler-(A-)Amt enthält für 40 000 Teilnehmerleitungen 50 tischförmige Umschalter mit je 800 Anruflampen und je 90 Verteilerleitungen. Die Verteilerleitungen endigen in Stöpseln; neben jedem Stöpsel befindet sich eine Freimeldelampe, die so lange leuchtet, wie der B-Arbeitsplatz, an dem sie auf Anrufzeichen liegt (vgl. das Stromlaufschema Fig. 1352, S. 603), unbeschäftigt ist und die Verteilerleitung nicht etwa im C-Amt besetzt gehalten wird. Ruft ein Teilnehmer an, was durch einfaches Abheben seines Fernhörers geschieht, so zeigt sich bei der Anruflampe, z. B. des in Fig. 1352 als zur Gruppe II gehörig bezeichneten Teilnehmers, ein flackerndes Aufleuchten; die A-Beamtin nimmt auf dieses Zeichen den Stöpsel einer Verteilerleitung, deren B-Platz durch die Freimeldelampe als unbeschäftigt gekennzeichnet ist, und führt ihn in die Klinke der rufenden Leitung ein. Dadurch erlischt das Anrufzeichen im A-Amt, und die Anrufübertragungslampe im Abfrage-(B-)Amt leuchtet auf; vgl. Fig. 1352. Im Abfrageamt sind

die Anrufübertragungslampen auf tischförmigen Umschaltern zu je 30 vereinigt; zu jeder Verteilerleitung gehört eine Abfragetaste. Außer den genannten Rufzeichen und Tasten enthält jeder Tisch noch Dienstleitungen, die zum C-Amt führen, und zwar je 18 für jede der vier C-Gruppen, im ganzen also 72. Diese Dienstleitungen endigen an sogenannten Dienstleitungstasten. An den zugehörigen Freimeldelampen ist zu erkennen, ob der C-Arbeitsplatz, zu dem die Leitung führt, frei oder beschäftigt ist. Wenn das Anrufzeichen einer Verteilerleitung am B-Platz infolge der oben beschriebenen Stöpselung des A-Amtes aufleuchtet, drückt die B-Beamtin die Abfragetaste nieder, schaltet dadurch ihren Apparat an und fragt den Teilnehmer nach der Gruppe des gewünschten Anschlusses. Gehört dieser beispielsweise zur Gruppe I, so drückt die B-Beamtin die Dienstleitungstaste einer Dienstleitung zu einem freien Arbeitsplatz der Gruppe I des Verbindungs-(C-)Amtes, schaltet sich damit in diese eine und nennt der C-Beamtin die Nummer der zu bedienenden Verteilerleitung. Der Hörapparat der C-Beamtin ist, solange sie nicht beschäftigt ist, dauernd mit den Dienstleitungen verbunden. Nach Empfang der Nummer der Verteilerleitung stöpselt sie an ihrem Vielfachschrank die Klinke dieser Leitung, fragt nach der gewünschten Nummer, legt den zur Verbindungsschnur gehörigen Sprechumschalter in die Verbindungsstellung und führt den zweiten Stöpsel in die Klinke der verlangten Leitung, beispielsweise in die Klinke der in Fig. 1352 gezeichneten Leitung der Teilnehmergruppe I. Das Anrufen dieses Teilnehmers erfolgt automatisch, indem eine Rufmaschine alle 6 Sekunden einen Strom von je 1 Sekunde Dauer in die Leitung schickt, bis der gerufene Teilnehmer seinen Hörer zur Beantwortung des Rufes abgenommen hat. Sobald beide Teilnehmer nach Beendigung des Gespräches ihren Hörer wieder anhängen,

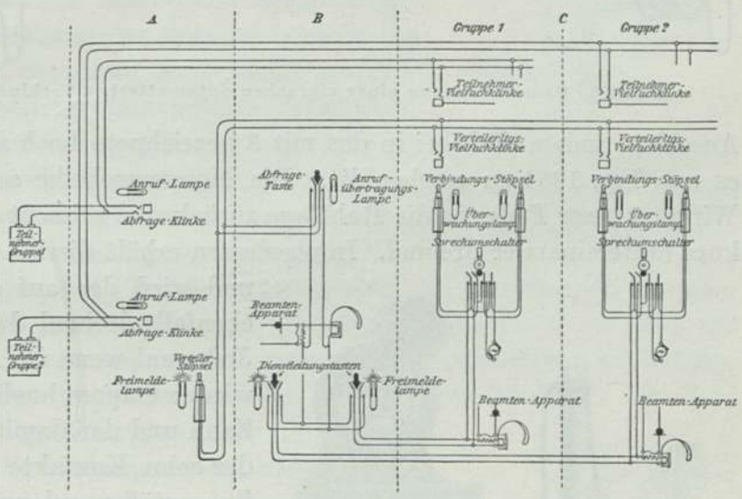


Fig. 1352. Schaltung der Umschalteschränke im Ortsfernsprechamt Hamburg.

leuchten an dem C-Platz die jeder Verbindungsschnur beigegebenen Überwachungslampen auf; die C-Beamtin trennt die Verbindung, was gleichzeitig bewirkt, daß am A-Platz die Anruflampe, die vorher beim Anruf Flackerzeichen abgab, jetzt ruhig aufleuchtet. Auf dieses Zeichen hin trennt auch die A-Beamtin die Verbindung zwischen der Teilnehmer- und der Verteilerleitung. Die B-Beamtin war nach Benachrichtigung der C-Beamtin bereits ausgeschieden und hatte mit der Verbindung nichts mehr zu tun. Wie in Fig. 1352 angedeutet, durchlaufen die Verteilerleitungen die Vielfachumschalter aller C-Gruppen, so daß sie an jedem C-Platz auf vorherige Benachrichtigung des B-Amtes erreichbar sind. Damit die Arbeitskraft der B-Beamtinnen, deren Tätigkeit bei der Ausführung der Verbindungen nach obigen Ausführungen nur kurze Zeit in Anspruch nimmt, genügend ausgenutzt werden kann, sind die Freimeldelampen der Verteilerleitungen an den A-Plätzen so geschaltet, daß sie einen B-Platz erst dann als beschäftigt kennzeichnen, wenn die betreffende Beamtin zwei Verbindungen zu erledigen hat.

Die Verteilerleitungen sind auch in Vielfachschaltung über besondere Schränke, die sogenannten *Meldeverteiler*, geführt. An diesen werden Verbindungen der Teilnehmer mit dem Fernamt, den noch vorhandenen kleinen Vermittelungsanstalten in einzelnen Vororten, der Aufsichts- und Störungsstelle usw. vermittelt. Die Arbeitsplätze des Meldeverteilers sind mit den B- und C-Plätzen sowie den sonst genannten Stellen durch Dienst- und Verbindungsleitungen verbunden; die Bedienung der Teilnehmerleitungen erfolgt in der gleichen Weise wie im C-Amt. Der Dienstbetrieb an den Abfrage- und Verbindungsplätzen wird von zwei in besonderen Räumen untergebrachten Kontrollstellen überwacht.

3. Selbstanschlußämter.

In neuerer Zeit werden auch Selbstanschlußämter errichtet, bei denen eine Bedienung durch Beamte nicht erforderlich ist, sondern die von einer Teilnehmerstelle aus gewünschte Verbindung automatisch hergestellt wird. Solche *automatische Fernsprechämter* bestehen in Deutschland schon in München, Hildesheim und Altenburg. Das dabei verwendete System ist von Siemens & Halske nach dem amerikanischen System Strowger ausgebildet worden. Das, allerdings nur auf den einfachsten Fall, nämlich auf ein Amt mit zehn Teilnehmern, zutreffende Prinzip der Schaltung ist aus Fig. 1353 ersichtlich. Dargestellt sind nur die Teilnehmeranschlüsse 1 und 3. Wünscht der Teilnehmer 1 mit dem Teilnehmer 3 zu sprechen, so führt er die an seinem Apparat befindliche drehbare *Nummerscheibe* von der Zahl 3 ab bis zu einem Anschlag, indem er dabei in das mit 3 bezeichnete Loch seinen Finger einführt, in der Art, wie es aus Fig. 1354 zu ersehen ist. Die Nummerscheibe schnellt nach dem Loslassen unter der Wirkung einer Feder in die Ruhelage zurück und schließt dabei den Kontakt bei 1 (in Fig. 1353) kurz hintereinander dreimal. Infolgedessen erhält die b-Leitung des Anschlusses ebensooft Erde und wird der auf dem Amt befindliche Elektromagnet ebenfalls dreimal durch die angeschaltete Batterie erregt. Jedesmal, wenn der Anker des Magnets nach dem Anziehen wieder emporschnellt, stößt er das Zahnrad 2 um einen Zahn und den damit verbundenen Kontakthebel um einen der zehn Kontakte weiter. Bei den angenommenen drei Stromstößen gelangt der Hebel auf den Kontakt 3 und stellt so die Verbindung mit dem an diesen angelegten Teilnehmeranschluß Nr. 3 her. Teilnehmer 1 kann nun mit dem Teilnehmer 3 in der gewöhnlichen Weise in Verkehr treten. Würde man die beschriebene einfache Vorrichtung auf ein Amt mit mehr als zehn Teilnehmern, beispielsweise mit 100, anwenden, so müßte der Kontaktarm auf dem Magnet unter Umständen 100mal fortgeschaltet werden, was natürlich zu lange dauern würde. Deshalb verwendet man für solche Zwecke einen sogenannten *Leitungswähler*, dessen Hauptteile schematisch in Fig. 1355 dargestellt sind. Anstatt des einen Magnets der Fig. 1353 verwendet man hier deren zwei. Der erste, der sogenannte *Hub-* oder *Hebemagnet*, hebt mit dem Haken seines Ankers die Schaltwelle jedesmal, wenn er erregt wird, um eine Ringbreite nach oben, während der zweite, der *Drehmagnet*, sie um ihre Achse schrittweise dreht, so daß sich die beiden unten gezeichneten Kontaktarme auf einen bestimmten der angedeuteten, aus Metallfedern bestehenden und kreissegmentförmig angeordneten Kontakte einstellen und mit diesem verbinden. Wünscht z. B. ein Teilnehmer den Anschluß Nr. 57, so dreht er seine Nummer bis zur Zahl 5 an den Anschlag, worauf beim Rücklauf der Scheibe der Hebemagnet fünfmal erregt und die Schaltwelle somit um fünf Schritt emporgehoben wird. Der Kontaktarm steht dann vor der fünften Reihe der Kontakte. Danach wird die Scheibe bis zur Zahl 7 gedreht, was veranlaßt, daß nun der Drehmagnet in Tätigkeit tritt und die Schaltwelle um sieben Schritt um ihre Achse dreht. Der Kontaktarm bleibt dann

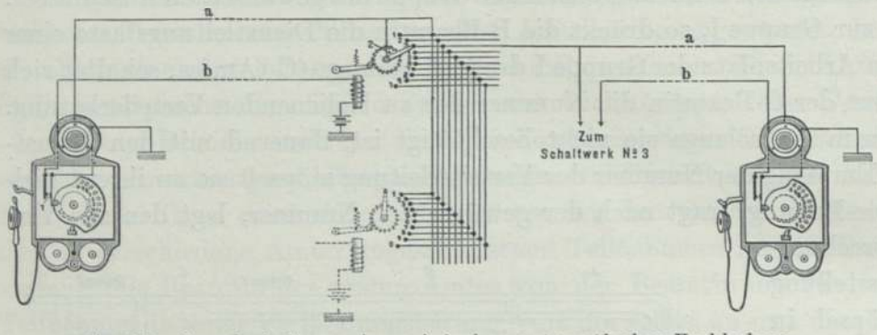


Fig. 1353. Grundschaltung einer einfachen automatischen Verbindung.

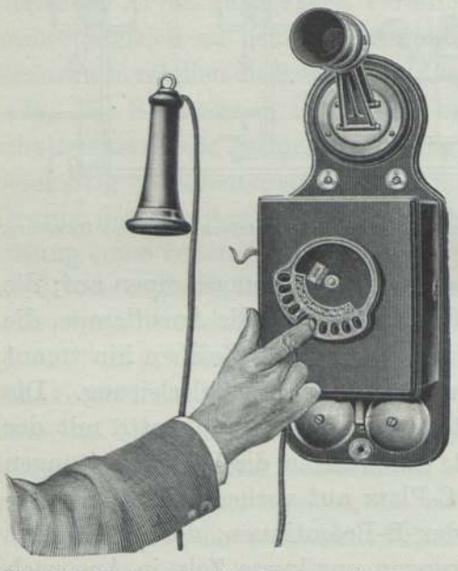


Fig. 1354. Wandstation für Selbstanschlußämter.

auf dem siebenten Kontakt der Reihe „fünf" stehen, d. h. auf dem Kontakt 57, der mit dem Teilnehmer gleicher Nummer verbunden ist. Für Ämter mit mehr als 100 Teilnehmern reicht der vorher beschriebene Leitungswähler nicht aus. Es werden dann außerdem noch *Vorwähler* und *Gruppenwähler* verwendet. Die Einrichtungen eines solchen Amtes, das ebenso wie die modernen Handämter mit einer Zentralbatterie für die Teilnehmermikrophone usw. ausgerüstet ist, und die Wirkungsweise der verschiedenen Apparate ergeben sich aus folgendem.

Die Teilnehmerapparate haben im wesentlichen die gleiche Form wie die in Netzen mit Handbetrieb verwendeten; es sind schrankförmige Stationen zum Befestigen an der Wand (Fig. 1354) oder Tischapparate. Ihr besonderes äußeres Merkmal bildet nur die drehbare Nummerscheibe. Die Schaltungsweise der Apparate, die aus Fig. 1356 ersichtlich ist, unterscheidet sich von der normalen Zentralbatterieschaltung dadurch, daß ein besonderer Umschalter hinzutritt, der beim Aufziehen der Nummerscheibe beide Zweige der Anschlußleitung mit Erde verbindet und beim Ablaufen der Scheibe diese Verbindung für die a-Leitung in gleichmäßigen Intervallen so oft unterbricht, wie die Nummer, an der die Drehung der Scheibe bewirkt ist, angibt. Die Anschlußleitung endet auf dem Amt an zwei für gewöhnlich isolierten Federn eines für jede Leitung vorhandenen Vorwählers. Die Verwendung und Bauart eines Vorwählers gründen sich auf die Tatsache, daß immer nur ein Teil der Verbindungsmöglichkeiten gleichzeitig benutzt wird; die Vorwähler ersetzen gewissermaßen die Hand der Beamtin, die im Handbetrieb zur Herstellung der verlangten Verbindung ein freies Schnurpaar auszusuchen hat. Wie jeder Arbeitsplatz bei Handbetrieb nur eine beschränkte Zahl von Schnurpaaren zur Ausführung von Verbindungen besitzt, so ist auch für die automatischen Ämter nur eine gewisse Anzahl von Gruppen- und Leitungswählern notwendig, welche die Herstellung der Verbindungen übernehmen. Man rechnet etwa 10 Proz. Die Vorwähler haben nun die Aufgabe, unter der Zahl dieser Apparate solche auszusuchen, die frei, also für andere Verbindungen noch nicht in Anspruch genommen sind. Sobald am Teilnehmerapparat der Hörer abgenommen wird, schaltet sich der Vorwähler selbsttätig ein und stellt eine Verbindung mit einem in seiner Bauart dem oben beschriebenen Leitungswähler ähnlichen Gruppenwähler der Abteilung I her. Bei diesem gehen nun die durch die erste Drehung der Teilnehmer-Nummerscheibe veranlaßten Stromstöße ein, also fünf Stromstöße, wenn beispielsweise der Anschluß 5432 gerufen werden soll. Daraufhin stellt dieser Gruppenwähler infolge Hebens und Drehens seiner Schaltwelle mit den Kontaktarmen eine Verbindung mit einem freien Gruppenwähler der Abteilung II her, und zwar mit demjenigen, der die Verbindungen mit der Teilnehmergruppe 5000—5999 zu vermitteln hat. Der Gruppenwähler II empfängt nun die der Hundertgruppe entsprechenden vier Stromstöße, die bewirken, daß seine Kontaktarme diejenigen Kontakte anschalten, an denen die Zuführungen zu einem Leitungswähler endigen, der die Teilnehmergruppe von 400—499 enthält. Der Leitungswähler wird darauf durch die Stromstöße für die Zehner und Einer so betätigt, wie es oben bereits beschrieben ist. Bei Ämtern mit 10 000—100 000 Teilnehmern würde noch eine dritte Abteilung von Gruppenwählern zur Auswahl der 10 000-Gruppe nötig sein. Im Prinzip aber treten gegenüber der angedeuteten Schaltungsweise keine Änderungen ein.

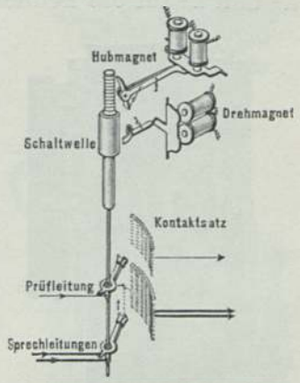


Fig. 1355. Grundschaltung eines Leitungswählers beim automatischen System.

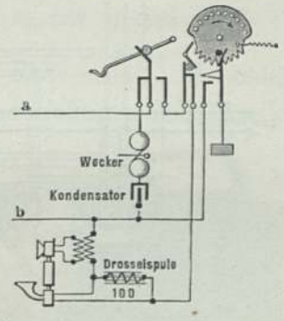


Fig. 1356. Stromlauf eines Sprechstellenapparats beim automatischen System.

Der in jeder Leitung befindliche *Vorwähler* ist ein Drehschalter; die äußere Ansicht zeigt Fig. 1357, die Schaltungsweise ergibt das Stromlaufschema Fig. 1358. Wenn der Teilnehmer seinen Hörer abnimmt und dadurch statt des durch den Kondensator für Gleichstrom verriegelten Weckerstromkreises den Mikrophonstromkreis einschaltet, so fließt aus der Zentralbatterie G

Strom vom Amt zur Teilnehmerstelle über das in diese Verbindung eingeschaltete Anrufrelais R. Infolgedessen zieht R seinen Anker an und schließt den Kontakt bei 5. Dadurch wird der Drehelektromagnet D von G über 5 und den Unterbrecher U unter Strom gesetzt. U, ein sogenannter *Relaisunterbrecher*, schließt und öffnet abwechselnd den Strom und veranlaßt D, seinen Anker anzuziehen und wieder loszulassen. Bei jedem Anziehen des Ankers wird das gezeichnete Zahnrad um einen Zahn fortgeschaltet; gleichzeitig schleifen die drei Kontaktfedern a′, b′ und c′ mit der einen Seite über die links befindlichen drei Metallringe und mit dem anderen Ende über die rechts sichtbaren, ebenfalls dreiteiligen Kontaktgruppen, von denen jede durch Zuleitungen, a^1 und b^1 für die Teilnehmerleitung und c^1 für eine Prüfleitung, mit je einem Gruppenwähler der Abteilung I verbunden ist. Sobald die drei Kontaktfedern die Zuführungen zu einem unbesetzten Gruppenwähler erreicht haben, hört die Fortschaltung auf. Dann fließt nämlich aus der Batterie G über Kontakt 6 Strom durch das Trennrelais T und die Kontaktfeder c′ in die Prüfleitung c^1. Infolgedessen zieht T seinen Anker an und unterbricht dabei den obigen Stromkreis für das Anrufrelais und den Drehelektromagnet D. Gleichzeitig werden durch den Druck des nach unten verlängerten Ankers von T gegen die lang gezeichneten Kontaktfedern die Leitungszweige a und b der Teilnehmerleitung mit den Zuleitungen zu den zugehörigen Schleifringen und weiter über a′ und b′ mit den Zuführungen a^1 und b^1 zum Gruppenwähler I verbunden. Ferner wird am Kontakt 7 die untere hochohmige Wickelung des Relais T kurzgeschlossen, was veranlaßt, daß die erreichte Kontaktgruppe für andere Verbindungen gesperrt wird. Der Anker von T bleibt trotzdem angezogen, weil von G über Kontakt 8 (oben), Kontakt 7 und die obere, niederohmige Wickelung Strom über c′ in die Prüfleitung c^1 fließt. Der Kontakt 8 schließt sich, sobald der Kontaktarm mit den Federn a′, b′, c′ aus seiner Ruhelage fortgeschaltet wird. Bei dem gleichen Anlaß öffnet sich der Kontakt 10, wodurch die Zuleitung des Teilnehmers zu den mit seiner Leitung verbundenen Leitungswählern gesperrt wird, so daß er nicht durch Anrufe anderer unterbrochen werden kann. Hängt der Teilnehmer seinen Hörer wieder an, so wird der Strom in T unterbrochen, und der Drehmagnet D empfängt aus der Batterie G wieder Strom, und zwar mittels der über die Kontakte 8 und 9 führenden Drahtverbindungen. Die Fortschaltung des Kontaktarmes erfolgt nun so weit, bis er die Nullstellung erreicht; hier unterbricht er selbst den Kontakt 8 und bleibt infolgedessen in der Ruhelage. Der Vorwähler tritt nur dann in Tätigkeit, wenn der Teilnehmer selbst der Anrufende ist. Wird er von anderer Seite angerufen, so erfolgt die Herstellung der Verbindung von einem der Leitungswähler aus, an den die in der Figur mit a, b und c bezeichneten, nach oben abgehenden Drähte führen. In diesem Falle wird das Trennrelais von c aus über Kontakt 10, T, Kontakt 11, G und Erde unter Strom gesetzt. Das Anrufrelais R liegt dann überhaupt nicht im Stromkreis, kann mithin weder ansprechen noch den Vorwähler betätigen, auch wenn der Hörer abgenommen wird.

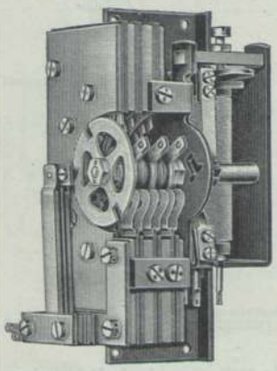


Fig. 1357. Vorwähler.

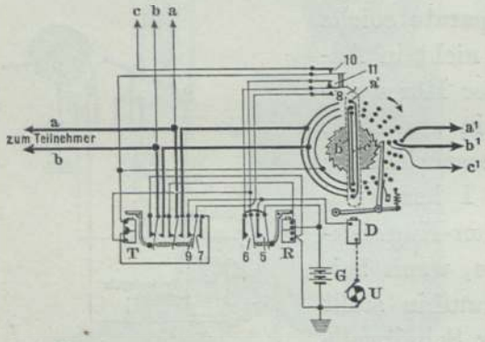


Fig. 1358. Schaltung eines Vorwählers.

Wie bereits erwähnt ist, führt der Vorwähler die oben beschriebene Anschaltung eines freien Gruppenwählers der Abteilung I selbsttätig in ganz kurzer Zeit aus, nachdem der eine Verbindung fordernde Teilnehmer seinen Hörer abgenommen hat. Wenn er beginnt, seine Nummerscheibe zu drehen, ist die Durchschaltung zum Gruppenwähler bereits beendet. Die bei der Abgabe der ersten Zahl entstehenden Stromstöße werden daher vom *I. Gruppenwähler* empfangen. Dieser (Fig. 1359) besteht aus der Schaltwelle, die durch einen Hebemagnet und durch einen Drehmagnet je zehn Schritt gehoben und gedreht werden kann, den an der Welle sitzenden drei Kontaktarmen

und den von diesen bestrichenen drei Kontaktgruppen, die in Form eines Kreissegments in zehn Reihen zu je zehn übereinander angeordnet sind. Die Kontakte der oberen Gruppe sind mit den a-Leitungen, die der mittleren mit den b-Leitungen und die der unteren mit den c-(Prüf-)Leitungen verbunden. Außerdem gehört zu einem solchen Wähler ein *Relaissatz*, der je drei Linienrelais (davon eins mit differential geschalteter Wickelung), ein Prüfrelais, ferner einen Hebemagnet, einen Drehmagnet, einen Auslösemagnet und einen Steuerschalter umfaßt. Die Montierung dieser Teile ist aus Fig. 1360 ersichtlich. Der Steuerschalter besteht aus einer Anzahl Hebel, die an einer durchgehenden Stange befestigt sind und von dieser auf bestimmte Kontakte eingestellt werden. Die Stange wird von einem Schalt- und einem Auslösemagnet gesteuert.

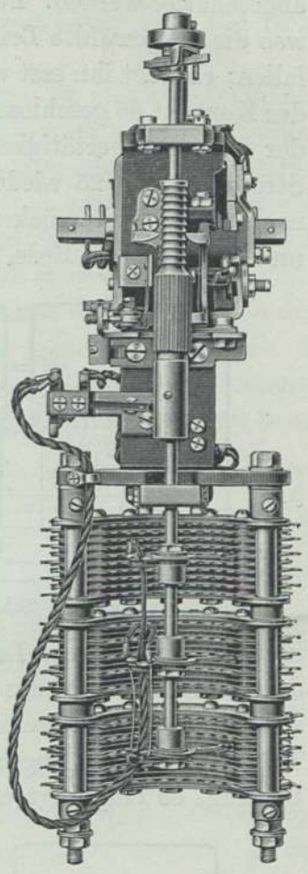


Fig. 1359. Gruppenwähler.

Das Stromlaufschema eines I. Gruppenwählers zeigt Fig. 1361. Die Schaltvorgänge sind folgende. Beim Andrehen der Nummerscheibe des Teilnehmerapparats werden, wie oben gesagt, beide Zweige der Teilnehmerleitung an Erde gelegt; daher empfängt das differential gewickelte Linienrelais X^1 Strom aus der gleichfalls geerdeten Batterie G^1 über beide Wickelungen auf dem Wege über die Relais A^1 und B^1 sowie die Kontakte 12 und 13. X^1 zieht daraufhin die an beiden Seiten befindlichen Anker an und schließt dadurch die Kontakte 14 und 18. Über den Kontakt 14 und einen Widerstand 15 wird bei 16 die Spannung der Batterie G^1 an die linke Wickelungshälfte von X^1 gelegt, so daß dieses Relais seinen Anker angezogen hält, auch wenn beim Ablaufen der Nummerscheibe die a-Leitung, der gedrehten Nummerzahl entsprechend oft, unterbrochen wird. Durch diese Unterbrechungen wird aber das Relais A^1 jedesmal stromlos, also einmal bei der Zahl 1, zweimal bei der Zahl 2 usw. Ebensooft läßt es dann seinen Anker los und erregt durch das Schließen des Kontaktes 17 den Hebemagnet H^1, der Strom auf dem Wege Erde, Batterie G^1, Kontakt 18, Kontakt 17, H^1 Erde erhält. H^1 zieht darauf seinen Anker an, der mit seinem hakenförmigen Ende die rechts gezeichnete Schaltwelle um so viele Schritte hebt, wie Stromstöße eingehen. Ist die Nummerscheibe beim Teilnehmer abgelaufen, so löst sich die Erdverbindung der a- und b-Leitung; Relais X^1 läßt seine Anker abfallen und unterbricht dabei folgenden, vorher geschlossenen Stromkreis: Erde, Batterie G^1, Kontakt 18, 19, Schaltmagnet S^1, Erde. Infolgedessen fällt der unterhalb von S^1 gezeichnete Anker ab und dreht unter Federkraft das Zahnrad des Steuerschalters einen Zahn weiter. Die an dem Zahnrad befestigte Stange legt die Hebel des Steuerschalters auf die folgenden Kontakte um, von denen die in Wirksamkeit tretenden mit Zahlen benannt sind. Damit wird der Drehmagnet D^1 unter Strom gesetzt, nämlich auf dem Wege Erde, Batterie G^1, Unterbrecher U^1, Wickelung von D^1, Kontakt 20, Erde. Die Schaltwelle wird daher, da D^1 infolge der Tätigkeit des Unterbrechers U^1 seinen Anker anzieht und wieder losläßt, schrittweise gedreht, und zwar so lange, bis der Kontaktarm c^2 den Kontakt einer unbesetzten Leitung berührt (vgl. Fig. 1359). Ist ein solcher Kontakt gefunden, so wird das Prüfrelais P^1 unter Strom gesetzt; es zieht seinen Anker an und unterbricht einen Stromkreis, der bei Beginn des Drehens geschlossen wurde, nämlich Erde, G^1, Kontakt 22, 21, S^1, Erde. Deshalb läßt S^1 wieder seinen Anker los und steuert die mit der Stange verbundenen Hebel um noch einen Kontakt weiter nach rechts. Damit wird der Stromkreis von D^1 bei 20 unterbrochen, die Drehung der Schaltwelle hört also auf. Gleichzeitig werden die

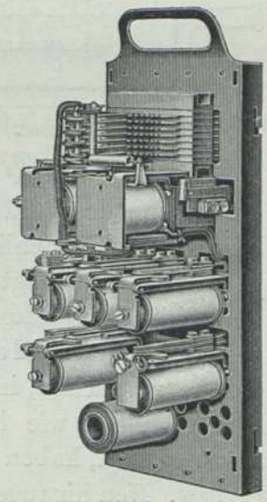


Fig. 1360. Relaissatz für einen Wähler mit Steuerschalter.

Leitungszweige a^1 und b^1 bei den Kontakten 22 und 23 des Steuerschalters mit den über a^2 und b^2 zu den II. Gruppenwählern führenden Zuleitungen durchverbunden, während die Relais X^1, A^1 und B^1 abgeschaltet werden. Ferner wird die linke hochohmige Wickelung von P^1 bei 24 kurzgeschlossen, was die ausgewählte Leitung für andere Verbindungen sperrt. P^1 läßt infolgedessen seinen Anker fallen; es zieht ihn erst wieder an, wenn der rufende Teilnehmer seinen Hörer anhängt. Dann wird der Kontakt 65 geschlossen, und S^1 wird von G^1 betätigt über U^1, 65, 25, S^1, Erde. Wenn S^1 infolge der Unterbrechertätigkeit von U^1 einmal seinen Anker anzieht und wieder losläßt, so wird dieser Stromkreis bei 25 wieder getrennt, da die Hebel des Steuerschalters alle wieder einen Kontakt nach rechts weiterrücken. Gleichzeitig schließen sich die Stromkreise der Auslösemagnete M^1 und N^1, nämlich: Erde, G^1, 28, 27 (Ankerkontakt von B^1), N^1 und M^1, Kontakt 26 am Kopf der Schaltwelle, Erde. N^1 und M^1 ziehen ihre Anker an; die durch Sperrklinken bis dahin in ihrer Stellung festgehaltene Schaltwelle und das Zahnrad des Steuerschalters kehren durch Wirkung des Eigengewichtes bzw. einer Feder in ihre Ruhelage zurück. Zugleich wird durch Unterbrechung des Kontaktes 30 (Ankerkontakt von N^1) die Leitung c^1 unterbrochen, die, wie oben erörtert, über die Kontaktfeder c′ des Vorwählers und des Trennrelais T zur Batterie G führt (vgl. Fig. 1358). Daraufhin schaltet sich der Vorwähler weiter in die Ruhestellung und hebt ebenfalls die Verbindung auf. Geht die Trennung von der angerufenen Stelle aus, oder trifft der rufende Teilnehmer auf eine besetzte Leitung, so empfängt er ein Summerzeichen. Mit der letzten Weiterschaltung der Hebel des Steuerschalters werden nämlich die Relais X^1, A^1 und B^1 bei den Kontakten 29 und 30 wieder an die Leitung geschaltet und der Kontakt bei 27 geschlossen, so daß die Auslösestromkreise dort noch geöffnet bleiben. In dieser Stellung wird, wie in Fig. 1361 ersichtlich, ein *Summer* durch einen Übertrager über die kurzen Wickelungen von A^1 und B^1 an die Leitung geschaltet; er verursacht im Hörer des Teilnehmers ein summendes Geräusch. Daraufhin hängt der Teilnehmer den Hörer an, und nun erfolgt, wie beschrieben, die Schließung der Stromkreise für die Auslösemagnete bei 27.

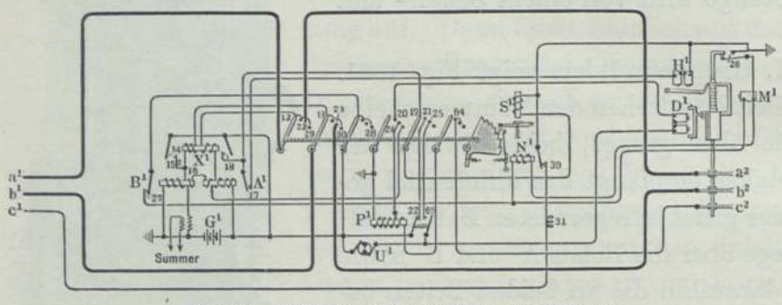


Fig. 1361. Schaltung des I. Gruppenwählers.

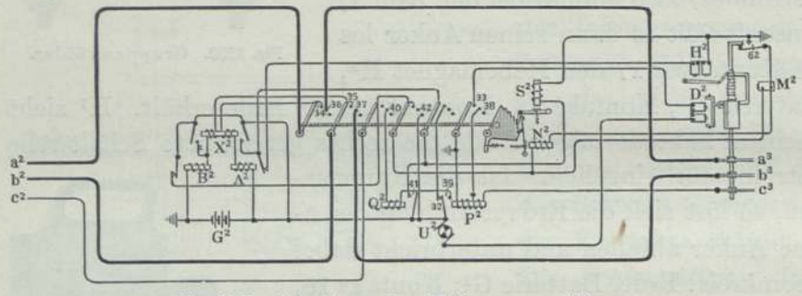


Fig. 1362. Schaltung des II. Gruppenwählers.

Fig. 1362 zeigt die Schaltung eines Gruppenwählers der Abteilung II, der in seinem Äußern und seiner Einrichtung dem I. Gruppenwähler gleicht. Er empfängt die vom rufenden Teilnehmer bei der zweiten Zahl abgegebenen Stromstöße und soll den Leitungswähler mit derjenigen Hundertgruppe aussuchen, in der sich die gewünschte Teilnehmernummer befindet. Die Schaltvorgänge sind dieselben wie beim Gruppenwähler I. Die wiederkehrenden Teile, Relais, Hebe-, Drehmagnete usw., haben die gleichen Bezeichnungen wie in Fig. 1361, nur mit dem Index 2, also X^2, A^2, B^2 usw. Neu hinzugetreten ist nur das Auslöserelais Q^2. Die Durchschaltung der vom I. Gruppenwähler ankommenden Verbindungen erfolgt bei den Kontakten 36 und 37 nach den zu den Leitungswählern führenden Verbindungen a^3 und b^3. Beim Trennen der Verbindung erhält das Prüfrelais P^2 über c^3 Strom, der Anker wird angezogen und folgender Stromweg geschlossen: Erde, G^2, 39, Q^2, 40, c^2, Kontakt 64 in Fig. 1361, Prüfrelais P^1, Erde. P^1 leitet dann, wie vorher beschrieben, die Schaltung des Gruppenwählers I und des Vorwählers in die Ruhestellung ein. Beim

Gruppenwähler II übernimmt das Relais Q^2 diese Tätigkeit, indem es die Batterie G^2 zunächst über 41 an S^2 anschließt und diesen Kreis sogleich wieder unterbricht, wenn der Gruppenschalter I sich abschaltet. S^2 gibt dann seinen Anker frei, der die Hebel des Steuerschalters in die letzte Kontaktstellung überführt, wonach die Auslösewerke in Wirksamkeit treten und alle Teile in die Ruhelage zurückkehren.

In Fig. 1363 ist die Schaltung eines *Leitungswählers* wiedergegeben. Er gleicht im wesentlichen auch dem Gruppenwähler I. Die Linienrelais (X^4, A^4, B^4) sind abweichend geschaltet. Von der Zentralbatterie G^4 wird nämlich das Mikrophon des rufenden Teilnehmers mit Strom gespeist, indem die beiden Pole von G^4 über je eine Wickelung von X^4 und A^4 bzw. B^4 über die Verbindungen a^4 und b^4, a^3 und b^3 (Fig. 1362), a^2 und b^2 (Fig. 1361), a^1 und b^1 (Fig. 1358), a und b (Fig. 1356) an beide Zweige der Doppelleitung gelegt werden. Nach rechts zu dem gerufenen Teilnehmer ist dieser Weg durch zwei Kondensatoren verschlossen; die Speisung des Mikrophons des angerufenen Teilnehmers erfolgt über eine Drosselspule Dr auf der a-Seite und über das Relais Y auf der b-Seite. Während A^4 und B^4 sogleich ansprechen, wenn der Gruppenwähler II die Leitungen a^4, b^4, c^4 ausgesucht hat, bleibt X^4 infolge der differentialen Wickelung zunächst untätig; erst beim Andrehen der Nummerscheibe des Teilnehmers zieht X^4 die beiderseitigen Anker an und hält sie bis zum Ablaufen der Scheibe fest. So werden die zur Kennzeichnung der Zehnerzahl abgegebenen Stromstöße vom Hebemagnet H^4 empfangen, indem dieser über den rechten Ankerkontakt von X^4 Strom aus der Batterie G^4 erhält; Stromweg: Erde, G^4, H^4, Kontakt 43, Erde. Die Schaltwelle wird daher durch den Anker von H^4 bis vor die horizontale zehnteilige Kontaktreihe gehoben, in der sich die verlangte Teilnehmernummer befindet. Nach dem Ablaufen der Teilnehmerscheibe läßt S^4 seinen vorher angezogenen Anker los und steuert so die mit der Stange verbundenen Hebel sämtlich aus der Ruhelage auf den zweiten der bei jedem vorhandenen acht Kontakte. Hierbei wird der Hebemagnet bei 43 ab- und der Drehmagnet D^4 bei 44 angeschaltet. Infolgedessen erhält nun der letztere die durch Drehung der Nummerscheibe abgegebenen Stromstöße für die Einer. D^4 dreht die Schaltwelle daher bis zu dem Kontakt des verlangten Teilnehmers; a^5 und b^5 schaltet dessen Leitung an. Nach dem Ablaufen der Nummerscheibe treibt S^4 durch Loslassen seines Ankers die Hebel des Steuerschalters auf den dritten Kontakt. Trifft nun c^5 auf einen *freien* Prüfkontakt (unterste Gruppe des Wählers), so liegt an diesem über den Kontakt 10 des Vorwählers (Fig. 1358) die Spannung der Batterie G. Daher fließt von dieser über c^5 (Fig. 1363), Kontakt 45 Strom durch das Relais Y zur Erde; es zieht seine beiden Anker an. Gleichzeitig schaltet S^4 die Steuerhebel auf den vierten Kontakt, da G^4 über U^4 und Kontakt 46 einen Stromstoß über S^4 zur Erde schickt. Y hält seine Anker angezogen, da ein Strom von G^4 über Dr, Kontakt 49, 48 (Ankerkontakt von Y), 47, Y zurück zu G^4 fließt. Nun erhält S^4 von G^4 über U^4, 51, 50, S^4, Erde einen weiteren Stromstoß und befördert die Steuerhebel auf den fünften Kontakt. Damit wird Y abgeschaltet und die Rufmaschine 63 über die Kontakte 52 und 53 und die zugehörigen Kontakthebel an die Zuleitungen zum angerufenen Tielnehmer über a^5 und b^5 gelegt. Bei diesem ertönt nun der Wecker 10 Sekunden lang, da der langsam sich drehende Unterbrecher U^5 so lange einen Strom durch S^4 sendet. Nach Aufhören dieses Stromes führt der Anker von S^4 die Steuerhebel zum sechsten Kontakt. Meldet sich darauf der Teilnehmer durch Abnehmen seines Hörers, so empfängt das in der Speisebrücke liegende Relais Y wieder Strom; es zieht seine Anker an und führt über den Kontakt 51 dem Schaltmagnet S^4 über U^4, 51, Kontakte 50 und 54 (verbunden), Kontakthebel wiederum einen

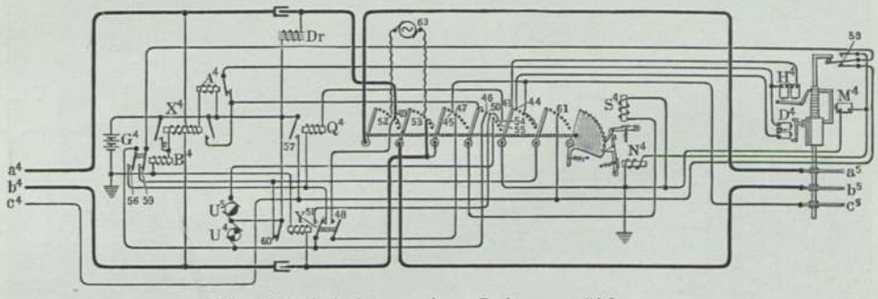


Fig. 1363. Schaltung eines Leitungswählers.

Stromstoß zu, worauf die Steuerhebel auf den siebenten Kontakt weiterrücken. Damit ist die Durchsprechschaltung endgültig erreicht, die Teilnehmer sind in Sprechverbindung. Hängt nach Beendigung des Gespräches der rufende Teilnehmer seinen Hörer wieder an, so wird der Strom von G^4 infolge Einschaltung des Sprechstellenkondensators unterbrochen; A^4 und B^4 lassen ihre Anker fallen, und G^4 sendet einen letzten Stromstoß über U^4, 56 (Ankerkontakt von B^4), Relais Q^4, 55, S^4, Erde. Die Kontakthebel rücken nun in die achte, die Schlußstellung. Gleichzeitig sendet G^4 über 57 (Ankerkontakt von Q^4) einen Strom über c^4 durch das Prüfrelais P^2 (Fig. 1362), was die vorher beschriebene Auslösung des Gruppenwählers I und des Vorwählers bewirkt. Der Leitungswähler kehrt in die Ruhelage zurück, wenn der angerufene Teilnehmer seinen Hörer anhängt; dann wird nämlich das Relais Y stromlos, was bewirkt, daß G^4 einen Strom über 60 (Ankerkontakt von Y), 59, 58 (Kopfkontakt der Schaltwelle) durch die Auslösemagnete M^4 und N^4 schickt. Hat c^5 bei der vorher erörterten Prüfung, die bei der dritten Kontaktstellung der Steuerhebel stattfand, eine besetzte Leitung angetroffen, so kann das Relais Y nicht erregt werden, da entweder die Batterie G am Vorwähler (Fig. 1358) abgeschaltet ist oder da sie über einen anderen Leitungswähler an Erde liegt. Bei dem Übergang der Steuerhebel in die vierte Stellung sendet daher die Batterie G^4 (Fig. 1363) einen Strom über 60 (Ankerkontakt von Y), 61, c^4 durch das Prüfrelais P^2 zur Abschaltung des Gruppenwählers II, was gleichzeitig das Summergeräusch als Besetztzeichen am Gruppenwähler I auslöst. Da auch A^4 und B^4 am Leitungswähler stromlos werden, so lassen beide ihre Anker fallen, und G^4 sendet über 60, 59, 58 (nach oben umgelegt) einen Strom durch die Auslösemagnete M^4 und N^4, womit der Leitungswähler in seine Ruhelage zurückkehrt, bevor er den Kontakt des in einem anderen Gespräch begriffenen Teilnehmers erreichen kann.

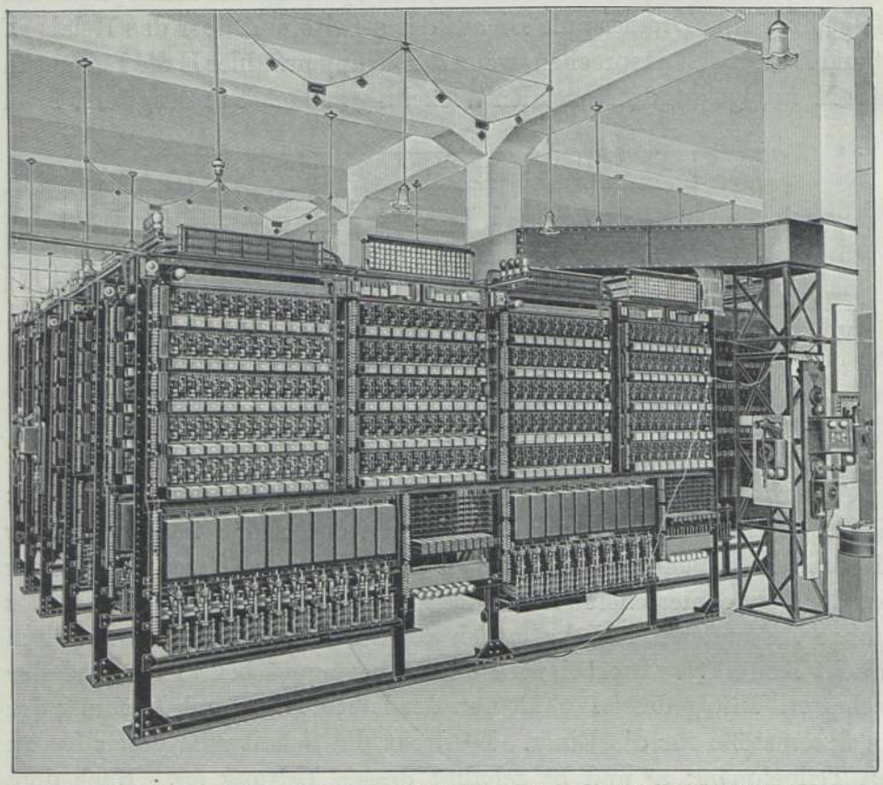


Fig. 1364. Betriebssaal eines Selbstanschlußamtes mit den Wählern und Schaltwerken.

Fig. 1364 zeigt den Betriebssaal eines größeren Selbstanschlußamtes mit den an eisernen Gestellen befestigten Wählern und Schaltwerken. Das Arbeiten der einzelnen Apparate wird an eingeschalteten Glühlampen überwacht, die anzeigen, wenn Störungen auftreten. Die Überwachung nehmen Mechaniker wahr, die etwaige Fehler sogleich beseitigen.

C. Radiotelegraphie.

1. Allgemeines.

Die *Radio-* oder *Funkentelegraphie (Strahlen-, Wellen-, drahtlose Telegraphie)* hat sich in der kurzen Zeit ihres Bestehens bereits einen beträchtlichen Wirkungskreis verschafft. Im Jahre 1897 machte Marconi die ersten Versuche mit seinen drahtlosen Stationen in England noch über

verhältnismäßig kurze Entfernungen und mit noch wenig durchgebildeten Apparaten, und jetzt sind bereits die Küsten aller am Meer gelegenen Kulturstaaten mit radiotelegraphischen Stationen besetzt, tragen fast alle den Ozean durchquerenden Dampfer großer Schiffahrtslinien sowie sämtliche Fahrzeuge der Kriegsmarinen solche Stationen, und werden über Wasser und Land drahtlose telegraphische Verbindungen über weite Entfernungen hergestellt. Großstationen an der Küste von Irland und Kanada vermitteln einen regelrechten drahtlosen Verkehr zwischen Europa und Nordamerika; fast auf der ganzen Reise zwischen beiden Kontinenten unterhalten die Schiffe Verkehr mit Stationen auf der einen oder anderen Seite des Ozeans. Mühelos können die für große Reichweiten ausgerüsteten Stationen in Nauen bei Berlin, in Petersburg, in Norddeich an der deutschen Nordseeküste, in Paris auf dem Eiffelturm, in Pola an der Küste des Adriatischen Meeres Mitteilungen untereinander austauschen. In den Heeren gehören fahrbare oder tragbare Stationen zu den unentbehrlichen Bestandteilen, und selbst die modernen Luftschiffe erhalten bereits radiotelegraphische Einrichtungen. Trotz dieser hohen Stufe der Entwickelung vermag die Radiotelegraphie noch nicht, der gewöhnlichen Telegraphie über Drahtleitungen ernstlichen Abbruch zu tun. Sie hat sich eben ihr eigenes Anwendungsgebiet geschaffen und dient auf diesem als willkommene Ergänzung der Drahttelegraphie.

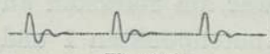


Fig. 1365.

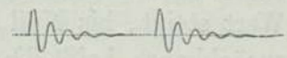


Fig. 1366.

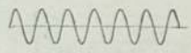


Fig. 1367.

Verlauf stark gedämpfter (Fig. 1365), schwach gedämpfter (Fig. 1366) und ungedämpfter (Fig. 1367) Schwingungen.

Die Radiotelegraphie baut sich auf der Erkenntnis auf, daß die Elektrizität sich auch außerhalb der metallischen Leiter durch Strahlung im freien Raum fortpflanzt, wenn sie in sogenannten *elektrischen Schwingungen* oder *Wellen* erzeugt wird. Solche Schwingungen entstehen, wenn sich ein elektrisch geladener Kondensator, z. B. eine Leidener Flasche, entladet, indem von der einen zur anderen Belegung ein Funke überspringt und damit zwischen der positiven Ladung der einen Belegung und der negativen Ladung der anderen Belegung ein Ausgleich eintritt. Der Entladungsfunke besteht nicht aus einer einfachen plötzlichen Vereinigung der beiden Elektrizitäten, sondern aus einem Hin- und Herwogen der elektrischen Ladungen zwischen den beiden Belegungen. Dieses sogenannte Oszillieren ist dadurch zu erklären, daß die geladenen kleinsten Teilchen der Elektrizität, die Elektronen, wenn sie den Luftzwischenraum der Funkenstrecke zwecks Vereinigung mit den entgegengesetzt geladenen Teilchen durchbrechen, unter dem Einfluß der Selbstinduktion, d. h. der elektrischen Trägheit, über die Gleichgewichtslage hinausschießen, nach ihrer ursprünglichen Belegung wieder zurückgeworfen werden, von neuem den Ausgleich beginnen und wieder zurückschwingen. Man kann diesen Vorgang etwa mit der Bewegung eines Pendels vergleichen, das nach einer Seite gehoben, dann losgelassen und seinen hin und her gehenden Schwingungen überlassen wird. Wie die Ausschläge des Pendels mit jeder Schwingung geringer werden, bis das Pendel zur Ruhe kommt, so nimmt auch die Energie der elektrischen Schwingungen mit jeder Oszillation ab. Die Abnahme der Schwingungsenergie wird durch den Widerstand der Drahtverbindung zwischen Kondensatorbelegung und Funkenstrecke, der Funkenstrecke selbst, durch Umwandlung der elektrischen Energie in Wärme und durch die Ausstrahlung verursacht; man nennt diese Abnahme *Dämpfung*. Die elektrischen Schwingungen gehen so in Form von Wellenbewegungen vor sich. Sind sie stark gedämpft, so verlaufen die Schwingungen in Form der in Fig. 1365 gezeichneten Kurve; sind sie weniger gedämpft, so haben sie die Form der Fig. 1366, und sind sie völlig ungedämpft, so ist ihr Verlauf gleich der Kurve in Fig. 1367. In der gleichen Form, in der sie erzeugt werden, strahlen sie in den freien Raum aus. Die Fortpflanzung elektrischer Wellen im Raum hat zuerst der deutsche Physiker Hertz im Jahre 1887 nachgewiesen. Er bediente sich zur Erzeugung der Schwingungen des *Hertzschen Oszillators* (Fig. 1368), der aus einem Funkeninduktor 1 und den mit dessen sekundärer Wickelung verbundenen Kapazitäten 2 und 3 (Leidener Flasche), sowie der hieran gelegten Drahtverbindung und der

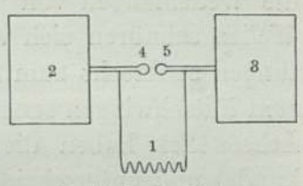


Fig. 1368. Oszillator.

Funkenstrecke 4, 5 besteht. Daß von diesem elektrische Schwingungen ausgestrahlt werden, bewies Hertz an einem davon entfernt aufgestellten *Resonator*, das ist ein metallischer Ring, der mit einer mikroskopisch kleinen Funkenstrecke versehen ist. Wenn nämlich bei 4, 5 ein elektrischer Funke überspringt, sind auch an der kleinen Funkenstrecke des Ringes schwache Funken wahrnehmbar. Bei einer der Hertzschen Versuchsanordnungen (Fig. 1369) bringt man die Funkenstrecke in den Brennpunkt eines metallischen Hohlspiegels 5; die ausgestrahlten Wellen werden dann nach dem metallischen Planspiegel 6 hin gerichtet und von diesem wieder zurückgeworfen, so daß stehende Wellen erzeugt werden. Die ausgezogene Linie bezeichnet die von 7 ausgehende, die punktierte die von 6 reflektierte Welle. Zwischen den Knotenpunkten 1, 2, 3, 4 schwingen die Ätherteilchen auf und ab. Sucht man die Strecke mit dem oben erwähnten Resonator ab, so zeigt er an den Knotenpunkten keine Fünkchen, wohl aber innerhalb der Wellenbäuche, und zwar am stärksten an den Stellen der weitesten Ausbuchtung. Die Entfernung zwischen den Knotenpunkten 1 und 3 oder 2 und 4 heißt die *Wellenlänge;* die Zeit, in der die Bewegung von 1 bis 3 oder von 2 bis 4 fortschreitet, d. h. in der sie vom Wert Null zum höchsten positiven Wert steigt, bis Null fällt, den höchsten negativen Wert erreicht und wieder zum Wert Null zurückkehrt, heißt die *Periode;* die Zahl der Perioden in einer Sekunde heißt die *Frequenz;* der senkrechte Abstand zwischen dem höchsten positiven und höchsten negativen Wert die *Amplitude.*

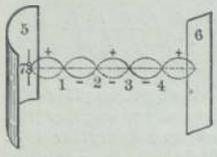


Fig. 1369. Hertzsche Versuchsanordnung.

Die Schwingungsdauer T (Periode) hängt ab von der Kapazität C und von der Selbstinduktion L der Schwingungsbahn (d. h. des durch die Funkenstrecke 4, 5 in Fig. 1368 unterbrochenen Drahtes), entsprechend der für die Radiotelegraphie grundlegenden Formel $T = 2\pi\sqrt{C \cdot L}$ (wo $\pi = 3{,}14159\ldots$). Während der Funkenentladung ist die Spannung an der Funkenstrecke gleich Null, dort befindet sich demnach ein Wellenknoten; an den Enden des Drahtes bildet sich ein Wellenbauch. Verbindet man den einen Pol der Funkenstrecke mit der Erde, so entfällt auf die verbleibende Drahthälfte ein Viertel der Wellenlänge; letztere beträgt demnach das Vierfache der Länge dieses Drahtes. Außer der Schwingung mit dieser Wellenlänge entstehen Oberschwingungen, die Wellenlängen von $^3/_4$, $^5/_4$ usw. derjenigen der Grundschwingung haben. Die elektrischen Wellen schnüren sich von dem Oszillator ab und pflanzen sich im Weltäther nach allen Richtungen senkrecht zum Schwingungsdraht fort, indem immer eine Ätherschicht die benachbarte zum Mitschwingen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung erregt. Die ausgesendeten elektrischen Ätherwellen haben die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtwellen (300000 km in der Sekunde) und unterscheiden sich von ihnen nur durch Wellenlänge und Frequenz. (Das Produkt aus beiden ergibt wie beim Licht 300000 km.) Die Wellenlänge des roten Lichtes beträgt bei 450 Billionen Schwingungen in der Sekunde 0,00067 mm; die kleinsten bekannten elektrischen Schwingungen haben eine Frequenzzahl von ca. 10 Millionen und eine Wellenlänge von ca. 3 cm. Die elektrischen Ätherwellen gehen durch Nichtleiter der Elektrizität ungehindert hindurch, werden dagegen durch Leiter reflektiert, polarisiert oder absorbiert.

Wie eine angeschlagene Stimmgabel eine zweite, auf denselben Ton abgestimmte durch Resonanz zum Mittönen bringt, so rufen die Schwingungen eines elektrischen Oszillators durch die ausgestrahlten Ätherwellen in einer entfernten metallischen Schwingungsbahn wieder Schwingungen hervor, sofern die Empfangsvorrichtung dieselben elektrischen Bedingungen bietet wie der Oszillator. Dies ist der Fall, wenn bei beiden der Faktor C . L, d. h. das Produkt aus Kapazität und Selbstinduktion (in obiger Formel $T = 2\pi\sqrt{C \cdot L}$), gleich ist. Oszillator und Empfänger haben dann gleiche Eigenschwingung, *„sie befinden sich in Resonanz."* Verstimmt man den Empfänger, indem man seine Kapazität oder Selbstinduktion ändert, so werden die Wirkungen der elektrischen Ätherwellen auf ihn geschwächt oder ganz aufgehoben.

Schaltungen. Da der Hertzsche Oszillator für die Ausstrahlung in den freien Raum nicht die geeignete Form hat, wird der eine Pol der Funkenstrecke mit einem hoch in die Luft ragenden Draht *(Antenne)* 1 (Fig. 1370) und der andere mit der Erde 2 verbunden. Die telegraphischen

Zeichen werden durch Niederdrücken der Taste 3 erzeugt, die den Stromkreis der Stromquelle 4 über die primären Windungen des Induktors 5 schließt. Bei dieser zuerst von Marconi angewendeten Schaltung durchlaufen die vom Oszillator erzeugten Schwingungen den Luftdraht in seiner ganzen Länge. Die zwischen Draht und Erde entstehenden elektrischen Kraftlinien stehen senkrecht auf der Erdoberfläche; die vom Draht ausgehende wellenförmige Bewegung verläuft in der oberen Hälfte im Luftraum, in der unteren in der Erde, woraus sich die größere Fernwirkung über gutleitende Wasserflächen als über Land erklärt. Die Schwingungen bei der *Marconischaltung* sind stark gedämpft, was ihre Wirkung auf den Empfänger sehr beeinträchtigt; auch reicht die Kapazität des Sendedrahtes nicht aus, um anhaltendere schwach gedämpfte Schwingungen zu liefern. Für die Herstellung solcher eignet sich mehr der von Braun angegebene *geschlossene Schwingungskreis*, den man durch Einschaltung großer *Kapazität* in Gestalt von Leidener Flaschen (oder auch Ölkondensatoren, die große Mengen elektrischer Energie aufzunehmen vermögen), einer *Selbstinduktion* in Form einer Drahtspule, und der Funkenstrecke in einen Stromkreis erhält. Wird die Flaschenbatterie durch einen Induktor geladen, so tritt der Entladungsfunke erst bei hohem Spannungsgrad ein, und es entstehen kräftige Schwingungen, deren Amplitude nur allmählich abnimmt. Damit der geschlossene Schwingungskreis Energie nach außen abgibt, wird er nach Braun mit dem offenen Marconisender gekoppelt, und zwar direkt oder induktiv. Die Schwingungen des geschlossenen Kreises werden dadurch der offenen Strombahn aufgezwungen, von der sie in den Äther übergehen. Das Resonanzprinzip erfordert, daß beide Schwingungskreise auf gleiche Wellenlänge abgestimmt werden. Zur Erleichterung der Abstimmung verwendet man veränderliche Selbstinduktionsspulen. Bei der Braunschen Senderanordnung *mit induktiver Koppelung* (Fig. 1371) bilden die Selbstinduktionsspulen 6 und 7 einen Transformator, der die Schwingungen des geschlossenen Schwingungskreises auf die Strombahn des Luftdrahtes überträgt; 8 ist eine regelbare Selbstinduktionsspule zur Abstimmung, 9 die Kapazität aus Leidener Flaschen (die übrigen Ziffern wie in Fig. 1370). Eine *Selbstinduktionsspule für Großstationen* zeigt Fig. 1372. Bei *direkter Koppelung* wird der Luftdraht mittels verschiebbaren Kontakts unmittelbar mit der Spule 6 (Fig. 1371) verbunden. Um die Dämpfung der Schwingungen möglichst zu verringern, muß der Widerstand der Drähte und insbesondere der Erdleitung gering gehalten werden. Bei schlechter Erdverbindung bedient man sich eines sogenannten *Gegengewichts*, eines auf der Erdoberfläche ausgebreiteten Drahtnetzes, dessen Kapazität der des Luftdrahtes entspricht. Werden beide Spulen 6 und 7 dicht zusammengebracht, so ist die Koppelung *eng;* werden sie voneinander entfernt, so ist sie *lose*. Im ersten Fall ist die Energieübertragung höher, die Schwingungen der geschlossenen und offenen Strombahn beeinflussen sich aber so, daß sie nicht mit der Eigenschwingung der Systeme übereinstimmen, sondern unrein werden, was scharfe Abstimmung verhindert. Bei loser Koppelung erhält man schwächere, aber reine Wellen, die genauere Abstimmung ermöglichen.

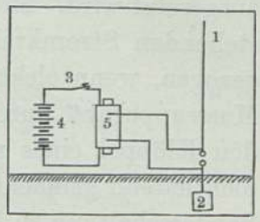


Fig. 1370. Antenne, die stark gedämpfte Wellen ausstrahlt.

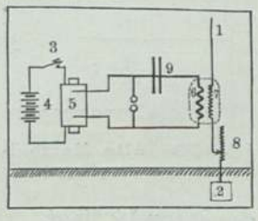


Fig. 1371. Antenne, die schwach gedämpfte Wellen ausstrahlt.

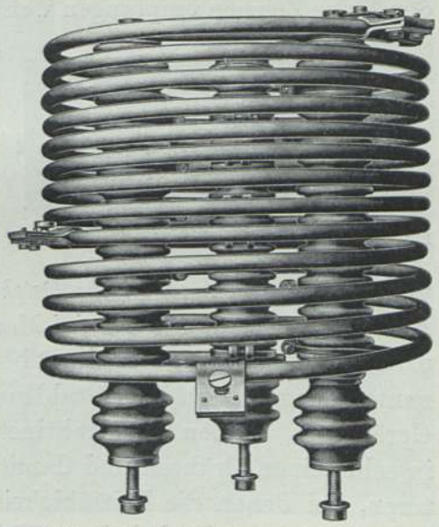


Fig. 1372. Selbstinduktionsspule für Großstationen.

Der **Empfänger** für die elektrischen Ätherwellen bildet gewissermaßen die Umkehrung des Senders. Die ankommenden Wellen erregen im Luftdraht gleiche elektrische Schwingungen, wie sie der Sender erzeugt. Um diese wahrnehmbar zu machen, bedarf es besonderer *Wellenanzeiger*

(Detektoren). Als ein solcher wurde der Branlysche *Kohärer* oder *Fritter* von Marconi eingeführt. Der Fritter (8 in Fig. 1373), ein luftdicht abgeschlossenes Glasröhrchen mit lose geschichteten Metallspänen (aus Silber, Nickel, Stahl usw.) und zwei Metallpolen, leitet für gewöhnlich den elektrischen Strom nicht, verliert aber seinen hohen Widerstand, wenn er elektrischen Strahlungen ausgesetzt wird. Mit dem Luftdraht 1 verbunden und in den aus Element 3 und Relais 5 bestehenden Stromkreis geschaltet, leitet er den Strom. Der Anker des Relais wird daher angezogen, wenn elektrische Schwingungen auf den Luftdraht treffen. Das Relais betätigt einen Morseapparat 7 durch Batterie 4. Nach Aufhören der Schwingungen wird der Fritter 8 durch den Klöppel eines mit im Stromkreis von 5 gelegenen Klopfers 6 erschüttert und so wieder nichtleitend gemacht; 2 ist die Erdleitung. Um die Empfängerschaltung in Resonanz mit der Senderschaltung zu bringen (auf die Wellenlänge des Senders abzustimmen), benutzt man verschiedene Schaltungsweisen, so nach *System Telefunken* (Fig. 1374) durch Verschiebung des Kontakts 3 an der Selbstinduktionsspule 4 und durch Veränderung der Kapazität des Kondensators 5 (6 und 7 sind unveränderliche Kondensatoren). Durch den von den veränderlichen Selbstinduktionsspulen 8 und 9 gebildeten Schwingungstransformator 10 werden die Schwingungen auf den geschlossenen Schwingungskreis übertragen, in dem der Fritter 11 und ein konstanter Kondensator 12 liegt. Dieser Stromkreis wird ebenfalls in Resonanz mit dem Luftdraht gebracht. Die Koppelung zwischen den Spulen 8 und 9 wird durch großen Abstand beider zwecks scharfer Abstimmung lose gehalten; die Kapazität des geschlossenen Kreises läßt sich durch den regelbaren Kondensator 13 ändern (1 Antenne, 2 Erdleitung).

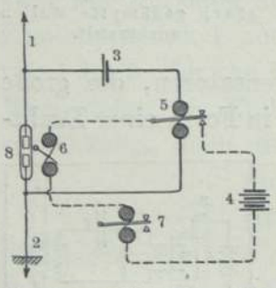


Fig. 1373. Alte Marconistation (Empfänger).

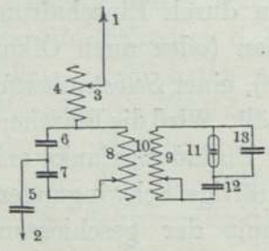


Fig. 1374. Empfangsschaltung nach System Telefunken.

Zur Überwindung des Fritterwiderstandes ist ein bestimmter Spannungsgrad nötig, ohne den keine Zeichen empfangen werden; deshalb verwendet man statt des Fritters oder mit ihm zugleich empfindlichere Wellenempfänger, die auch schwächere Wellen anzeigen, aber meist nur ein Abhören der Morsezeichen mit dem Telephon gestatten. Hierher gehören *elektrolytische Zellen* (z. B. die *Schlömilchzelle* des Systems Telefunken, *Flüssigkeitsbarreter* von Fessenden und andere), in denen die durch schwachen galvanischen Strom erregte Gasentwickelung unter Einfluß der elektrischen Schwingungen verstärkt wird; ferner der *magnetische Detektor von Marconi* (Fig. 1375) und die *Hitzdraht-Wellenempfänger*. Bei ersterem wird ein an zwei Magneten 1 vorbeigeführtes Stahlband 2 durch zwei mit dem Luftdraht gekoppelte Drahtspulen 3 beeinflußt; die auftreffenden Schwingungen verändern den remanenten Magnetismus des Stahlbandes und verursachen im angeschalteten Fernhörer knackende Geräusche. In den Hitzdrahtinstrumenten rufen die Schwingungen Temperaturveränderungen in sehr feinen Drähten und damit Widerstandsschwankungen hervor. Auch gibt es Wellendetektoren, bei denen die Leitfähigkeit eines eingeschlossenen erhitzten Gases durch die Wellen geändert wird, z. B. bei dem *Glühlampendetektor* von Fleming. Für den Schreibempfang verwendet man meist noch den Fritter.

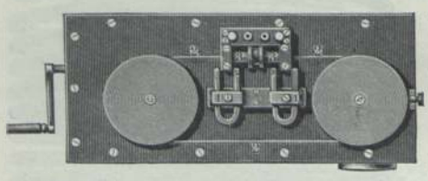


Fig. 1375. Magnetischer Detektor von Marconi.

2. Radiotelegraphische Systeme.

Die Unterschiede zwischen den radiotelegraphischen Systemen bestehen nur in Verschiedenheiten der Schaltungen und der Apparate, insbesondere der Funkeninduktoren, Stromunterbrecher des Primärkreises der Induktoren, Schwingungstransformatoren und Kondensatoren.

Die Ermittelung der Längen der ankommenden Wellen erfolgt mittels *Wellenmesser*, die auf dem Prinzip der Resonanz beruhen; sie lassen an einem Hitzdrahtthermometer die Wirkung

der Schwingungen auf einen geschlossenen Schwingungskreis aus veränderlichen Kapazitäten und Selbstinduktionen erkennen und werden abgeglichen, bis die Wirkung ein Maximum wird. Neue Universalmeßinstrumente gestatten gleichzeitig Messungen der Wellenlängen, Aufnahme von Resonanzkurven und Messung der Dämpfung. Die Abstimmung auf eine Wellenlänge läßt sich bei den modernen Stationen so genau ausführen, daß die Korrespondenz zwischen zwei mit bestimmter Wellenlänge arbeitenden Stationen von anderen in ihrem Bereich liegenden Stationen nicht gestört wird, wenn deren Wellenlänge um mehr als 4 Proz. größer oder kleiner ist. Absichtliches Auffangen von Telegrammen durch dritte Stationen läßt sich nicht verhindern; man braucht nur die Länge der verwendeten Welle durch Wellenmesser zu bestimmen und danach die Empfänger einzustellen.

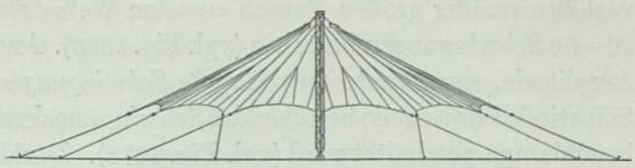


Fig. 1376. Antenne der Station Nauen.

Zum Ausstrahlen und zum Empfang der Wellen dient dieselbe *Antenne* (durch Umschalter entweder mit der Sende- oder mit der Empfangsvorrichtung zu verbinden); sie besteht (Fig. 1376) aus Drahtgebilden in Form von Fächern, Harfen, Zylindern, Kegeln, Schirmen und wird zwischen einzelnen hohen Masten und der Erde, wie bei der Großstation Nauen, oder zwischen mehreren Türmen oder Masten, wie bei den Stationen in Norddeich und den großen atlantischen Marconistationen, ausgespannt, auf Schiffen zwischen den Masten aufgehängt. Form und Höhe richten sich nach der zu erzielenden Reichweite. Die Türme und Masten der Großstationen sind 100 m hoch und höher; die Energie der bei ihnen zur Erregung der Wellen verwendeten Maschinen beträgt bis zu 70 Kilowatt, die Wellenlängen bis zu mehreren tausend Metern. Gewöhnliche Küsten- und Bordstationen verwenden Wellenlängen von 300 und 600 m und haben 300—1000 km Reichweite; der Kraftaufwand beträgt bei ihnen ca. 1 Kilowatt. Der Abstand der Station Clifden an der Küste von Irland von der Station Glace Bay in Neuschottland beträgt ca. 3200 km. Die Großstation Nauen hat Dampfern Telegramme über 4000 km weit übermittelt. Die Reichweite der Stationen wechselt oft; der Grund ist die wechselnde Beschaffenheit der Erdatmosphäre. Das Tageslicht setzt die Durchlässigkeit der Luft für die elektrischen Wellen herab. Atmosphärische

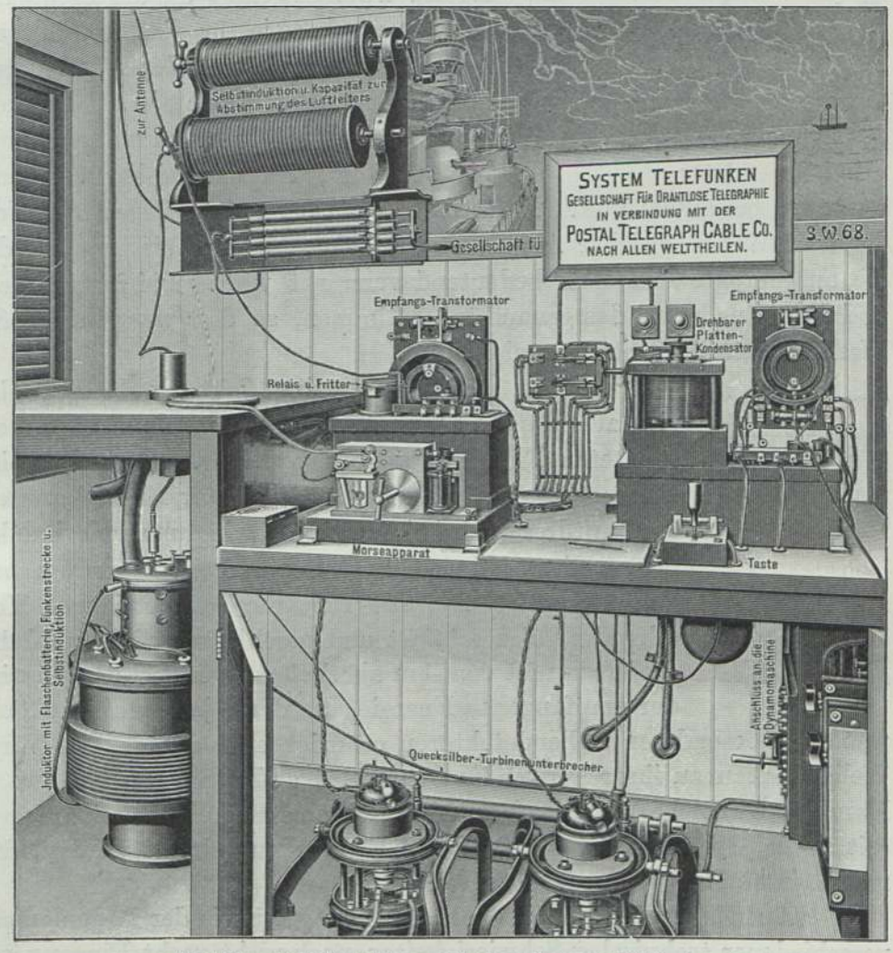


Fig. 1377. Schiffsstation nach dem System Telefunken.

Entladungen stören den Betrieb der Stationen, namentlich wenn als Wellendetektor der Fritter dient. Fig. 1377 zeigt eine sowohl für den Empfang mit Schreibapparat (mittels Fritters) als auch für den Empfang mit Hörern (mittels elektrolytischer Zelle) eingerichtete Schiffsstation.

Ungedämpfte Schwingungen. Bei der Erzeugung von elektrischen Schwingungen durch Funkenentladungen (10—12 in der Sekunde, bei neueren Apparaten auch 30—100) entstehen in verhältnismäßig großen Pausen einzelne Wellenzüge, die bei genügend schwacher Dämpfung aus 20—50 Schwingungen bestehen (vgl. Fig. 1366). Andauernde Schwingungen mit annähernd gleicher Amplitude, sogenannte *ungedämpfte Schwingungen*, erhält man, wenn ein aus Kondensator und Selbstinduktionsspule bestehender Schwingungskreis parallel zu dem Lichtbogen einer Gleichstrombogenlampe geschaltet wird (vgl. Fig. 1378). Duddel wies 1900 nach, daß bei geeigneter Wahl der Kapazität und Selbstinduktion der Gleichstromlichtbogen einen Ton gibt, was dadurch erklärt wird, daß der Kondensator sich in schneller Folge abwechselnd ladet und entladet, daß mithin im Schwingungskreise Wechselströme entstehen, die sich im Lichtbogen über den Gleichstrom lagern. Poulsen gelang es, die Frequenz dieser Wechselströme so zu steigern, daß sie für die Radiotelegraphie brauchbar wurden. Die Stärke (Amplitude) der so erzeugten Schwingungen ist allerdings erheblich geringer als bei Funkenentladungen; die Spannung beträgt bei den benutzbaren Bogenlampen höchstens 400 bis 500 Volt, bei den bisher verwendeten Funkenentladungen ca. 40000 bis 50000 Volt. Dafür haben diese *kontinuierlichen Schwingungen* aber den Vorzug, dauernd Wellen gleicher Amplitude zu liefern, deren Wirkung auf den Empfängerkreis durch die ausgeprägte Resonanz bedeutend verstärkt wird. Bei ihrer Anwendung kann man Sender und Empfänger auf das genaueste abstimmen, so daß weitgehende Störungsfreiheit gegen die Wellen anderer Stationen erzielt wird.

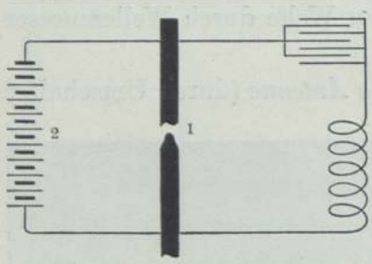


Fig. 1378. Duddelscher Schwingungskreis.

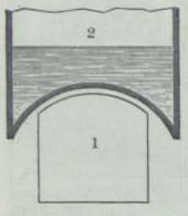


Fig. 1379. Poulsens Bogenlampe (1 Kohlenelektrode; 2 hohle, gekühlte Kupferelektrode).

Poulsen stellt die negative Elektrode der Bogenlampe aus Kohle, die positive aus Kupfer her und kühlt letztere dauernd mit einem durch deren Inneres geleiteten Flüssigkeitsstrom (vgl. Fig. 1379); der Lichtbogen brennt in einer Wasserstoffatmosphäre und steht unter Einwirkung eines magnetischen Feldes, der Luftdraht wird mit dem Schwingungskreis induktiv gekoppelt. Als Empfänger dient bei dem System von Poulsen ein sogenannter *Tikker* mit Hörer. Der Tikker ist eine elektromagnetisch betriebene Kontaktvorrichtung, die in schneller Folge geöffnet und geschlossen wird und dabei den Hörer an den Luftdraht an- und von ihm abschaltet. Er gestattet gewissermaßen Aufspeicherung der empfangenen Energie, die dann jedesmal im Hörer wirksam wird. Die Anwendung besonderer Wellendetektoren erübrigt sich dabei. Die Vorzüge der kontinuierlichen Wellen haben zu ihrer Verwendung auch bei anderen Systemen der Radiotelegraphie geführt. Man erzeugt solche Wellen z. B. auch durch eine Reihe hintereinander geschalteter Bogenlampen (bis zwölf; System Telefunken), deren Elektroden gekühlt werden, die aber in Luft und ohne magnetische Beeinflussung brennen.

Tönende Funken. Die Wellenerzeugung mittels der Bogenlampe hat in die Praxis wegen verschiedener technischer Schwierigkeiten noch nicht recht Eingang gefunden. Dagegen ist die Funkenmethode jetzt sehr verbessert. Schon mit der ausgedehnteren Verwendung von Hörempfängern hatte man erkannt, daß eine Vermehrung der Funken beim Sender den Wirkungsgrad erheblich verbesserte. Während bei Anwendung des Kohärers oder Fritters die günstigste Funkenzahl etwa 20 in der Sekunde beträgt und eine Steigerung darüber nur Verschwendung von Energie bedeutet, da der Kohärer nur auf die momentane Spannung der vom Empfänger aufgefangenen Schwingungen anspricht, ergab die Vermehrung der Funken bei Anwendung anderer Detektoren eine erhebliche Vergrößerung der Reichweiten, so daß Stationen schon mit den bisher gebräuchlichen Apparaten bisweilen das Drei- und Vierfache ihrer normalen Reichweiten erzielten.

Die Funkenfolge war dabei auf 50—100 in der Sekunde gesteigert. Immerhin war hierbei die Ausnutzung der im Sendersystem aufgewendeten Energie verhältnismäßig ungünstig, denn die Schwingungen sind auch bei Anwendung des geschlossenen Schwingungskreises noch ziemlich stark gedämpft, außerdem nicht völlig rein. Man kam nicht über die Schwierigkeiten hinweg, die sich bei der Koppelung des geschlossenen Schwingungskreises mit dem offenen der ausstrahlenden Antenne bot.

Aufklärung über diesen Punkt brachten erst Untersuchungen von M. Wien. Die Kurve I in Fig. 1380 zeigt den Verlauf der Schwingungen in einem geschlossenen Schwingungskreis aus der bisher gebräuchlichen Funkenstrecke, der Kapazität (Leidener Flaschen oder Ölkondensatoren) und einer Selbstinduktionsspule; die Kurve II gibt den Schwingungsvorgang in dem mit dem ersten durch einen Schwingungstransformator gekoppelten Kreis, z. B. der Antenne, wieder. Die Schwingung setzt mit der größten Stärke ein und nimmt schnell ab, bis bei 1 der Wert Null erreicht ist. Hier würde ohne die Einwirkung des zweiten Schwingungskreises der Schwingungsvorgang enden. In dem sekundären Kreis beginnen die Schwingungen erst allmählich, sie erreichen ihren größten Wert in dem Augenblick, in dem diejenigen des ersten Kreises den Wert Null haben; wenn nun der erste Schwingungskreis völlig unterbrochen wäre, könnte der zweite auf den ersten keine Einwirkung haben. Die völlige Unterbrechung tritt aber im ersten Kreis nicht ein, denn die beiden Funkenelektroden und die sie umgebenden Luftschichten sind durch die vorausgegangene Entladung so erhitzt, daß sie nur geringen elektrischen Widerstand haben. Schon unter geringer Induktionswirkung des zweiten Kreises wird die Funkenstrecke wieder durchschlagen, so daß der Schwingungsvorgang, wenn auch bei verminderter Amplitude, von neuem einsetzt. Die Energie wandert so zwischen beiden Kreisen hin und her, bis sie infolge des Verlustes durch die Dämpfung im System und durch Ausstrahlung verzehrt wird. Bekanntlich ist es für die Ausbildung wirksamer Schwingungen erforderlich, daß sie der Eigenschwingung des Kreises völlig entsprechen. Werden die Schwingungen der beiden obigen Kreise mittels Herstellung von Resonanzkreisen aufgenommen, so zeigt sich, daß in dem ausstrahlenden Sekundärkreis nicht eine, sondern zwei Schwingungen entstehen, von denen die eine größer, die andere kleiner als die Eigenschwingung des Kreises ist. Hierdurch wird die Einwirkung der Sendestation auf die mit ihr auf die gleiche Eigenschwingung abgestimmte Empfangsstation stark beeinträchtigt, ja eine ganz scharfe Abstimmung überhaupt unmöglich, sofern man nicht beim Sender zur Vermeidung der Rückwirkung des zweiten Kreises auf den ersten die Koppelung ganz lose wählen will. Dies würde aber große Verluste an Energie bedeuten. M. Wien fand nun bei Anwendung von Funkenstrecken mit ganz kleinem Elektrodenabstand (Bruchteile eines Millimeters), daß ihr Widerstand nach Abklingen der ersten Schwingung, Punkt 1 in Fig. 1380, schnell wieder zunimmt. Funken von ganz geringer Schlagweite erhitzen die Elektroden und die zwischen ihnen befindlichen Luftschichten nicht sonderlich; die Funkenstrecke wird sogleich wieder völlig nichtleitend, die Schwingungsbahn ist somit völlig unterbrochen, und die Induktionswirkung des sekundären Kreises vermag daher im primären keine neuen Schwingungen auszulösen. Wie die Kurve I der Fig. 1381 zeigt, endet der Schwingungsvorgang im primären Kreis völlig, sobald die Amplitude bei 1 den Wert Null erreicht. Die in den sekundären Kreis übertragene Energie schwingt in diesem nun unbeeinflußt in der Eigenschwingung desselben weiter, wie aus der Kurve II in Fig. 1381 hervorgeht. Die allmähliche Abnahme wird lediglich durch

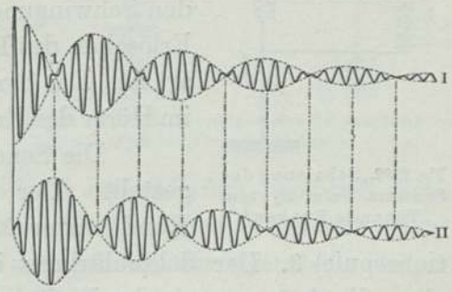


Fig. 1380. Primärer (I) und sekundärer (II) Schwingungskreis.

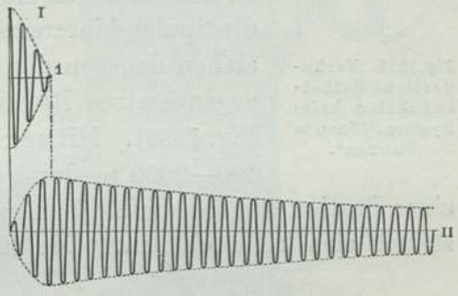


Fig. 1381. Primärer (I) und sekundärer (II) Schwingungskreis.

die eigene Dämpfung des Sekundärkreises bestimmt. Bei der beschriebenen Beschaffenheit des primären Schwingungskreises kann man nun die Koppelung ganz eng wählen, dadurch läßt sich fast die gesamte Schwingungsenergie in den sekundären Kreis übertragen; es treten nicht mehr, wie früher, zwei Wellen verschiedener Länge auf, sondern nur noch eine, und zwar diejenige, die der Eigenschwingung des sekundären Systems entspricht und daher am kräftigsten ausgebildet wird. Nach der Art der Erzeugung der Schwingungen hat man das Verfahren zuerst mit *Stoßerregung* bezeichnet; Wien selbst nannte die kleinen Funken wegen des dabei entstehenden zischenden Geräusches *Zischfunken*. Die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie *Telefunken*, die auf der Erfindung Wiens ein neues System aufgebaut hat, wendet für den Schwingungserzeuger den Namen *Löschfunkenstrecke* an, da das schnelle Erlöschen des Funkens im primären Kreis das Wesentliche der Erzeugungsart ist. Das System selbst wird als das der *tönenden Funken* bezeichnet, weil im Hörer des Empfängers ein musikalischer Ton bestimmter Tonhöhe auftritt.

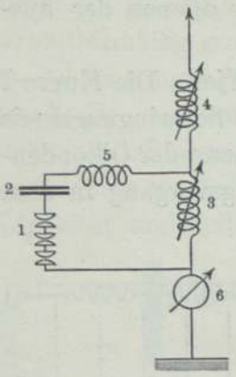


Fig. 1382. Schaltung des Senders beim System „Tönende Funken".

Die Senderanordnung dieses Systems ist in Fig. 1382 und 1383 dargestellt. Der Erregerkreis besteht aus der Löschfunkenstrecke 1, dem Kondensator 2 und dem Koppelungsvariometer (verstellbare Selbstinduktionsspule) 3. Der Sekundärkreis ist an das Koppelungsvariometer unmittelbar angeschlossen, oben die Antenne mit der Verlängerungsspule 4, unten die Erde oder das Gegengewicht über einen Strommesser 6. Die kleine Induktionsspule 5 dient zu geringen Änderungen des Koppelungsgrades, der für gewöhnlich unverändert bleibt. Die Änderung der Wellenlängen erfolgt durch Änderung der Selbstinduktion der Schwingungskreise, während früher meist die Kapazitäten (Drehplattenkondensatoren usw.) geändert wurden. Die veränderlichen Selbstinduktionsspulen *(Variometer)* bestehen aus einer festen und einer drehbaren kreisrunden Platte, in die Drahtwindungen eingelassen sind. Wird die bewegliche Scheibe so gedreht, daß die Spulen hintereinander geschaltet sind, so ist die Selbstinduktion am höchsten; stehen dagegen die Scheiben derart, daß die Spulen bei Parallelschaltung entgegengesetzte Richtung haben, so ist die Selbstinduktion am niedrigsten (vgl. Fig. 1383). Mit solchem Variometer läßt sich jede Wellenlänge im Bereich von 500—2000 m durch Drehen der beweglichen Platte einstellen. Die Abstimmung einer Station auf bestimmte Wellenlänge gestaltet sich sehr einfach. Die Koppelung wird möglichst eng gewählt, jedoch in solchen Grenzen, daß eine Rückwirkung des sekundären Kreises auf den primären ausgeschlossen ist.

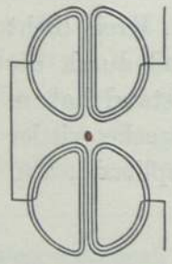


Fig. 1383. Veränderliche Selbstinduktion beim System „Tönende Funken".

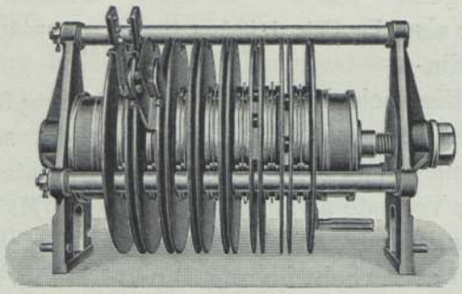


Fig. 1384. Reihen-Funkenstrecke beim System „Tönende Funken".

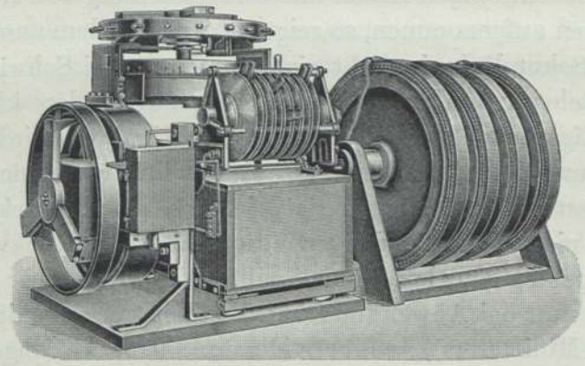


Fig. 1385. Vollständiger Sender für 2 Kilowatt (System „Tönende Funken").

Um im Empfänger einen reinen Ton hervorzubringen, muß man die Funkenfolge beim Sender so regeln, daß ihre Zahl im Bereich der akustisch am besten wahrnehmbaren Schwingungen liegt, und daß sie gleichmäßig bleibt. Daher wird zum Betrieb des Senders durch eine Dynamomaschine besonderer Bauart Wechselstrom erzeugt, der in der Sekunde eine bestimmte

Anzahl Wechsel zwischen 500 und 2000 hat. Bei jedem Wechsel entsteht eine Funkenentladung. Infolge der Regelmäßigkeit der Entladungen bildet sich im Empfangshörer ein musikalischer Ton aus, dessen Höhe durch die Funkenzahl in einer Sekunde bestimmt wird. Verschiedene Stationen lassen sich demnach durch verschiedene Tonhöhe unterscheiden. Zur Speisung der Funkenstrecke wird der Maschinenstrom mittels Induktors auf 4000—70 000 Volt transformiert. Die zur Anwendung gelangende Löschfunkenstrecke besteht aus einer Zahl hintereinander geschalteter Teilfunkenstrecken; diese haben, wie Fig. 1384 zeigt, ringförmige Elektroden, die wegen der erforderlichen schnellen Abkühlung aus Metallen von guter Leitfähigkeit, z. B. aus Silber oder Kupfer, hergestellt werden. Der Abstand der Elektroden beträgt nur Bruchteile eines Millimeters; am Rande werden die Elektroden durch eine isolierende Zwischenlage auseinandergehalten. Beim Arbeiten mit nahen Stationen wird nicht die volle Energie des Senders angewendet, sondern nur ein Teil. In diesem Fall ist eine Anzahl der Teilfunkenstrecken kurz zu schließen, wodurch diese ausgeschaltet werden; man kann bei Kurzschließung der Hälfte der Funkenstrecken mit einem Viertel der höchsten Energie arbeiten. Der sekundäre Schwingungskreis, der eigentliche Träger des Schwingungsvorgangs, bedarf einer sehr sorgfältigen Ausführung, damit nicht die Schwingungen durch Leitungswiderstände, Nebenentladungen usw. eine nutzlose Dämpfung erfahren. Die in ihm auftretenden Stromstärken sind ganz erheblich, z. B. bei einer Zweikilowattstation mit 1000 km Antennenkapazität etwa 13 Ampere. Deshalb müssen die Antennendrähte und die Variometer gut leitend und hervorragend gut isoliert sein. Die Variometer werden zur Verhinderung von Wirbelstromverlusten aus sehr feinen, unterteilten, für sich isolierten Kupferdrähten hergestellt: bei einer Zweikilowattstation besteht die Spulenwickelung aus 480 parallelgeschalteten Einzeldrähten; der gesamte Antennenwiderstand ist nicht höher als 6 Ohm.

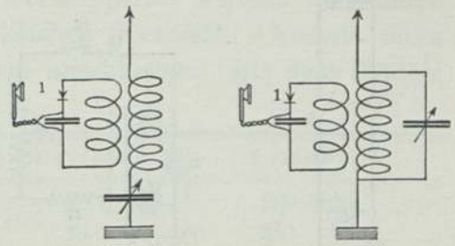


Fig. 1386. Fig. 1387.

Fig. 1386 und 1387. Schaltung des Hörempfängers (System „Tönende Funken").

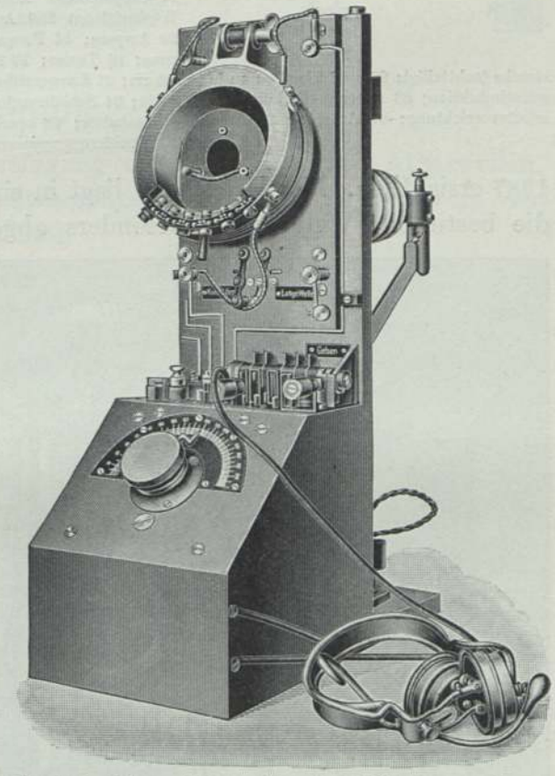


Fig. 1388. Hörempfänger für alle Wellenlängen (System „Tönende Funken").

Die Energieausnutzung bei einer derartigen Senderanordnung ist so günstig, wie sie bisher bei drahtlosen Stationen unbekannt war. Im Hochfrequenzkreis, also zwischen dem primären und sekundären Schwingungskreis, beträgt sie 85 Proz., beim Induktor 80 und bei der Stromerzeugungsmaschine 75 Proz. Im ganzen werden demnach 50 Proz. der aufgewendeten Maschinenleistung in der Antenne wirksam. Bei den gewöhnlichen Funkenstationen erreicht diese Energie nur 20 Proz., bei Anwendung der Bogenlampe als Schwingungserzeuger sogar nur 15 Proz. Einen vollständigen Sender für tönende Funken zeigt Fig. 1385.

Als Wellenempfänger bei der Empfangsstation kann die elektrolytische Zelle oder besser einer der neueren Kontaktdetektoren dienen, z. B. der *Bleiglanzdetektor*. Dieser besteht aus einer Bleiglanzplatte, auf der ein feiner Graphitstift mit leichtem Druck ruht; er hat die Eigenschaft, die von der Antenne aufgefangenen Wechselstromschwingungen in pulsierenden Gleichstrom umzuwandeln. Diese Gleichrichterwirkung wird durch die Bildung eines Thermoelements unter Einfluß der elektrischen Wellen erklärt. Der pulsierende Gleichstrom wird ohne weiteres dem

Hörer zugeführt. Da die Impulse des Gleichstroms an Zahl den im Sender erzeugten Funkenentladungen gleich sind, so wird die Membran des Hörers in entsprechende Schwingungen versetzt, die im Rhythmus der abgegebenen Morsezeichen als musikalischer Ton wahrnehmbar sind und sich infolge ihres charakteristischen Klanges von allen anderen Geräuschen deutlich unterscheiden. Da der Sender nur eine einzige Welle (nicht, wie bei der früheren Koppelung, zwei) aussendet, so ist eine scharfe Abstimmung des Empfängers auf diese Welle unter Ausnutzung der Resonanz leicht erreichbar. Die für kurze und lange Wellen angewendeten Empfangsschaltungen sind aus Fig. 1386 und 1387 ersichtlich. Der Detektor 1 liegt in einem besonderen Kreis; dieser braucht aber nicht auf die bestimmte Wellenlänge besonders abgestimmt zu sein und an dem Schwingungsvorgang teilzunehmen, er ist vielmehr aperiodisch. Einen vollständigen Apparatsatz für den Empfang zeigt Fig. 1388.

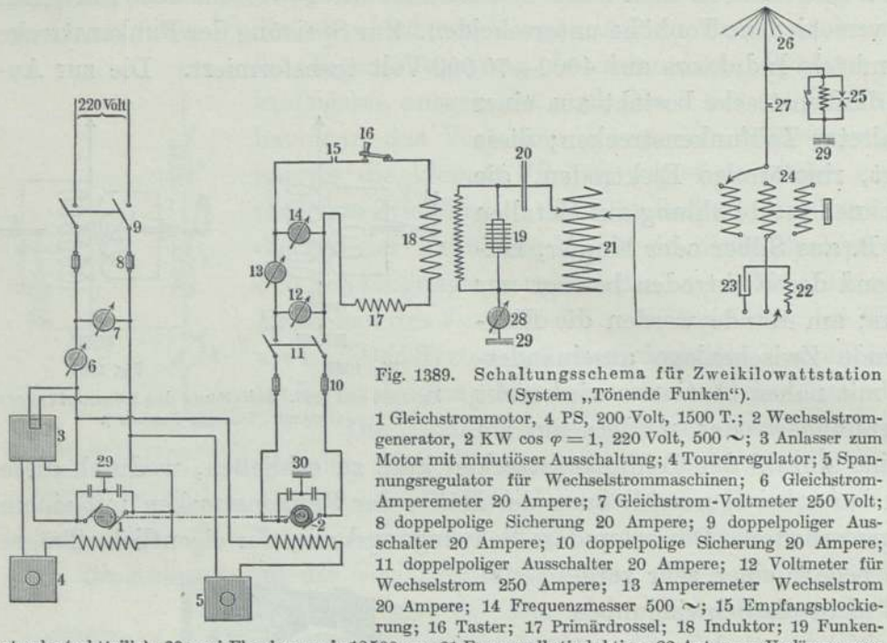


Fig. 1389. Schaltungsschema für Zweikilowattstation (System „Tönende Funken").

1 Gleichstrommotor, 4 PS, 200 Volt, 1500 T.; 2 Wechselstromgenerator, 2 KW cos $\varphi = 1$, 220 Volt, 500 ~; 3 Anlasser zum Motor mit minutiöser Ausschaltung; 4 Tourenregulator; 5 Spannungsregulator für Wechselstrommaschinen; 6 Gleichstrom-Amperemeter 20 Ampere; 7 Gleichstrom-Voltmeter 250 Volt; 8 doppelpolige Sicherung 20 Ampere; 9 doppelpoliger Ausschalter 20 Ampere; 10 doppelpolige Sicherung 20 Ampere; 11 doppelpoliger Ausschalter 20 Ampere; 12 Voltmeter für Wechselstrom 250 Ampere; 13 Amperemeter Wechselstrom 20 Ampere; 14 Frequenzmesser 500 ~; 15 Empfangsblockierung; 16 Taster; 17 Primärdrossel; 18 Induktor; 19 Funkenstrecke (achtteilig); 20 zwei Flaschen zu je 12500 cm; 21 Erregerselbstinduktion; 22 Antennen-Verlängerungsselbstinduktion; 23 Antenne-Verkürzungskapazität; 24 Schiebevariometer mit zwei festen Wellen; 25 Blitzschutzvorrichtung; 26 Antenne; 27 Antenne-Umschalter; 28 aperiodisches Amperemeter bis 25 Ampere; 29 Erde; 30 Hochfrequenzsicherung.

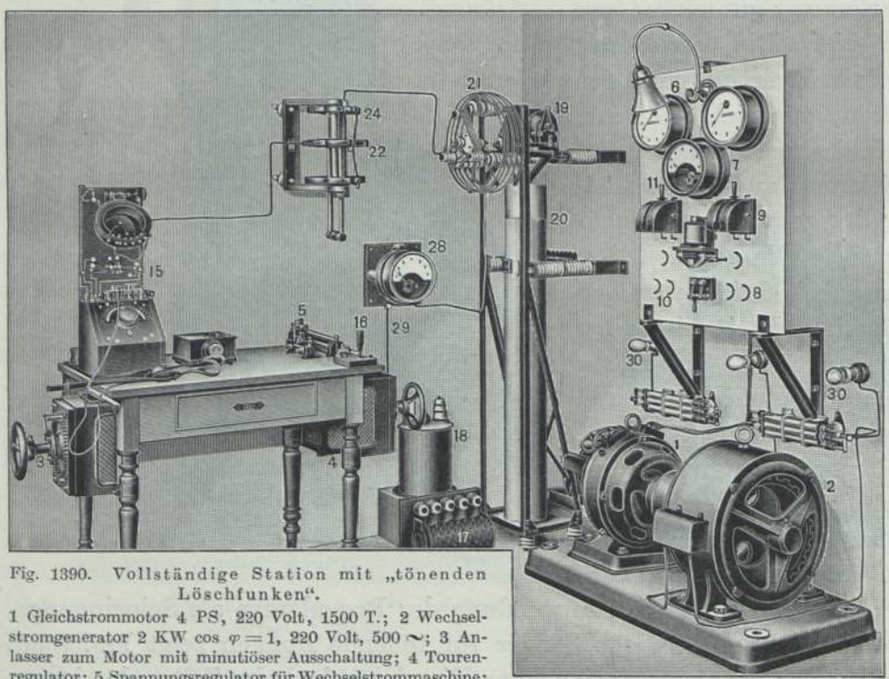


Fig. 1390. Vollständige Station mit „tönenden Löschfunken".

1 Gleichstrommotor 4 PS, 220 Volt, 1500 T.; 2 Wechselstromgenerator 2 KW cos $\varphi = 1$, 220 Volt, 500 ~; 3 Anlasser zum Motor mit minutiöser Ausschaltung; 4 Tourenregulator; 5 Spannungsregulator für Wechselstrommaschine; 6 Gleichstrom-Amperemeter 20 Ampere; 7 Gleichstrom-Voltmeter 250 Volt; 8 doppelpolige Sicherung 20 Ampere; 9 doppelpoliger Ausschalter 20 Ampere; 10 doppelpolige Sicherung 20 Ampere; 11 doppelpoliger Ausschalter; 15 Empfangsblockierung; 16 Taster; 17 Primärdrossel; 18 Induktor; 19 Funkenstrecke; 20 zwei Flaschen zu je 12500 cm; 21 Erregerselbstinduktion; 22 Antennen-Verlängerungsinduktion; 24 Schiebevariometer mit zwei festen Wellen; 28 Luftdrahtamperemeter; 29 Erdleitung; 30 Hochfrequenzsicherungen.

Um auch einen Schreibempfang zu ermöglichen, werden abgestimmte Telephonrelais verwendet. Ein solches besteht aus einem Elektromagnet mit einer hochohmigen Wickelung und einem kleinen beweglichen Anker, der infolge seiner mechanischen Bauart und seiner Befestigungsweise eine ausgesprochene Eigenschwingung besitzt. Wird das Telephonrelais in den Detektorkreis eingeschaltet, so gerät der Anker durch den pulsierenden Gleichstrom in lebhafte Bewegungen, wenn die Zahl der Stromimpulse der Frequenz seiner Eigenschwingung entspricht; dagegen bleibt der Anker bei abweichender Impuls-

zahl in Ruhe. Mit dem Anker sind Mikrophonkontakte verbunden, die mit einer Lokalbatterie und einem zweiten gleichartigen Relais in Serie geschaltet sind. Gerät der Anker des ersten Resonanzrelais in Schwingungen, so verändern sich dementsprechend die Mikrophonkontakte, und die Schwingungen gehen verstärkt auf das zweite Relais über, das in gleicher Weise auf ein drittes wirkt. Bei einer dreifachen Umwandlung sind die Ströme dann so stark, daß sie ein Telegraphenrelais betätigen, das den Lokalstromkreis eines Morseapparats schließt und diesen zur Aufzeichnung der von der Sendestation abgegebenen Zeichen veranlaßt. Anstatt eines Telegraphenrelais läßt sich auch ein lautsprechendes Telephon anschließen. Mit dem System der tönenden Funken wurden folgende Leistungen erzielt:

Strecke	Primärbedarf	Masthöhe	Reichweite
Über Landstrecken	1,5 Kilowatt	20 m	200 km
- Landstrecken	1,5 -	30 -	350 -
- See oder flaches Land	1,5 -	35 -	600 -
- See	8,0 -	60 -	2500—3000 km

Ein Schema für die Schaltung und eine Apparatanordnung einer Zweikilowattstation mit tönenden Funken zeigen Fig. 1389 und 1390.

Ein weiterer Fortschritt in der Radiotelegraphie ist von einer Erfindung Goldschmidts zu erwarten, dem es gelungen ist, eine *Hochfrequenz-Dynamomaschine* zu erbauen, die selbst elektrische Schwingungen in Form von Wechselströmen erzeugt.

D. Radiotelephonie.

Unter *Radiotelephonie* versteht man die Übertragung der Sprache durch Ätherwellen. Die Laute der menschlichen Stimme mit einer Schwingungszahl von ca. 80—1200 in der Sekunde lassen sich mit den durch Funken hervorgebrachten Schwingungen, deren Dauer nur kurz ist und die immer durch verhältnismäßig große Pausen unterbrochen sind, nicht übertragen. Deshalb kommen für diesen Zweck nur die kontinuierlichen ungedämpften Wellen in Frage; sie werden derart verwendet, daß ihre Amplitude mittels gewöhnlichen Mikrophons den Schallschwingungen entsprechend verringert oder vergrößert wird. Das Mikrophon wird hierbei entweder parallel zur sekundären Wickelung des Schwingungstransformators oder bei direkter Verbindung des Schwingungskreises mit dem Luftleiter in die Erdverbindung geschaltet. In der radiotelephonischen Station (Fig. 1391), die im übrigen einer radiotelegraphischen ähnelt, sind 1 und 2 die Elektroden der Bogenlampe auf der Gebestation I, 3 zwei in die Stromzuleitungen eingeschaltete Drosselspulen, 4 das parallel zur sekundären Wickelung des Schwingungstransformators (5, 6) geschaltete Mikrophon. Bei der Empfangsanordnung II bedeuten 7 die als Wellenempfänger dienende elektrolytische Zelle, 8 ein Element, dessen Stromstärke durch den im Nebenschluß eingeschalteten Widerstand 9 geregelt werden kann, und 10 das Telephon; 11 sind Kondensatoren. Infolge der durch die Mikrophonströme verursachten Schwankungen in der Strahlungsenergie des Senders entstehen in der elektrolytischen Zelle des Empfängers Stromschwankungen, die denjenigen der Mikrophonströme entsprechen; sie werden in dem angeschalteten Hörer als Sprachlaute wieder vernehmbar. An Stelle des elektrolytischen Detektors verwendet man auch häufig thermoelektrische Wellenempfänger. Die Radiotelephonie mittels der durch die Bogenlampenmethode hervorgebrachten kontinuierlichen Schwingungen hat bei Versuchen bereits sehr ermutigende Erfolge ergeben, jedoch hat sie sich in die Praxis dauernd noch nicht eingeführt, da die Einrichtungen doch noch nicht sicher genug wirken.

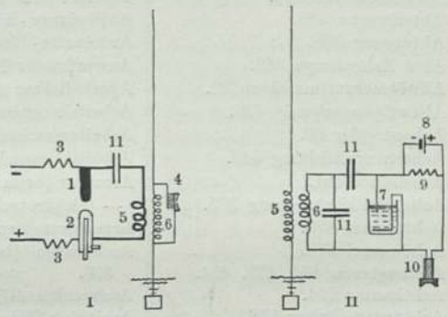


Fig. 1391. Schema der radiotelephonischen Übertragung.

POLITECHNIKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA POZNAŃSKA

Alphabetisches Sachregister.

A.

Abblasehahn 48.
Abdampfturbinen 92.
Abdampfverwertung 92.
Abdrehen 291.
Abfrageamt 602.
Abfrageapparat 597.
Abfrageklinken 598.
Abfragestellung 598.
Abkantemaschinen 287.
Abnehmbare Felge 384.
Abpreßmaschinen 307.
Abreißzündung 114. 379.
Abrichtmaschine 278.
Abschneideapparate 268.
Absolutes Maßsystem 2.
Abstechen 291.
Abstellbahnhof 415.
Abteilwagen 453.
Abtragung 408.
Abts Zahnstange 442.
Abwärmekraftmaschine 92.
Abzweigungssignale 418.
Achsenregler 66.
Achsenverschiebung 446.
Achshalter 451.
Achsschenkelsteuerung 385.
Achtermast 476.
Achtersegel 476.
Achtersteven 464. 473. 484.
Achtkanter 264.
Achtnuten-Anker 158.
Ackereggen 324.
Ackerschleifen 326.
Admiralitätsanker 475.
Admissionsspannung 51.
A. E. G.-Dampfturbine 88.
Aërodynamik 533.
Aërostatik 533.
Aggregat 164.
Akkumulatoren 180.
Akkumulatorenbatterie 181.
Akkumulatorenwagen 220.
Akkumulator-Triebwagen 226.
Aktionsturbinen 24. 25. 83.
Aktive Masse 181.
Alarmthermometer 505.
Alpha-Felge 385.
Altmann-Wagen 399.
Amerikanische Windräder 11.
Ampere 152.
Amperemeter 184.
Amperestundenzähler 187.
Amphibium-Dampfwagen 382.
Andrehen mit Hilfsmotor 120.
Andrehkurbel 119.
Anhängewagen 221.
Anker (elektrotechn.) 150. 157.
— (Schiffahrt) 475.
Ankererregung 223.
Ankergeschirr 475. 501.
Ankerrückwirkung 159.
Ankerspill 501.
Ankerstern 164.
Ankerwagen 321. 322.
Anlassen 377.
— mit Druckluft 120.
Anlasser 188.
Anlaßtransformatoren 173. 175.
Anlaßvorrichtungen 119. 394.
Anlaßwiderstände 173.
Anruflampe 602.
Anrufzeichen 597.
Anschlußbahnen 406.
Anschlußstationen 416.
Antenne 612. 615.
Antibalance-Kipppflug 321.
Antoinette-Eindecker 567.
Anwurfmotor 178.
Aperiodischer Stromzeiger 184.
Arbeitsleitungen 217.
Arbeitsmaschinen 3. 230.
Arbeitsstromschaltung 577.
Armatur (beim Dampfkessel) 47.
— (elektrotechn.) 195.
Armaturstutzen 49.
Aschkasten (bei Lokomotiven) 426.
Aschprahm 469.
Aspirator 260.
Astatischer Regulator 66.
Asynchronmotoren 175.
Atlantic-Type 438.
Atmosphäre 37.
Atmosphärische Gasmaschine 93.
— Maschinen 50.
Auflanger 473.
Auflösstuhl 263.
Aufnehmer 72.
Aufschlagwasser 19.
Aufschneiden der Weiche 423.
Aufstellgleis 416.
Auftrag 408.
Auftrieb 535. 553.
Auftritt 366. 373.
Ausblasevorrichtung 219.
Ausgleichgetriebe 386.
Ausklinksteuerung 56.
Ausklink-Ventilsteuerungen 61.
Auslaufleinen 538.
Ausleger 308.
Auslegerboot 463. 468.
Auslesezylinder 353.
Auslössteuerung 56.
Auslös-Ventilsteuerungen 61.
Auspuffklappe 394.
Auspuffmaschine 54.
Auspufftopf 121. 384. 393.
Ausschalter 161. 189.
Außenbremsen 392.
Außenhaut 486.
Außenklüver 476.
Außenleiter 197.
Außenrahmen 435.
Äußere Steuerung 56.
Aussetzer 108.
Ausstoßrohr 523.
Auswaschluken 428.
Ausweichvorrichtung 413.
Ausziehbarer Röhrenkessel 44. 80.
Ausziehgleis 416.
Autogene Schweißung 286.
Automatische Falzmaschine 306.
— Fernsprechämter (Selbstanschlußämter) 604.
— Kuppelungen 453.
— Revolverbank 294.
— Schalter 189.
Automobil 382.
Awningdeck 486.
Axialturbinen 24.

B.

Back 505.
Backenbremse 380. 383. 392.
Backenschienen 413.
Baggerprahm 469.
Bahnhöfe 415.
Bahnhofsabschlußsignale 418.
Bahnkörper 408.
Bahnlängen 402.
Bahnlinien 417.
Bahnmotor 218.
Bajonettrahmen 71.
Baken 531.
Balancemotor 470.
Balancepflüge 318.
Balggebläse 250.
Balkweger 465. 474.
Ballenpressen 356.
Ballon (Ballone) 537.
Ballonet 537.
Ballonventil 538.
Bandbremse 380. 383. 392.
Bandsäge 296.
Bandsägemaschine 276.
Bankwegerungsplanken 475.
Bär 285.
Bark 478.
Barkassen 467.
Barkholzplanken 474.
Barkschiff 478.
Barkschuner 477.
Barrenrahmen 435.
Batteriezündung 114. 388.
Baudots Vielfachtelegraph 584.
Bauhelling 473. 482.
Baum 477.
Baumstammsäge 273.
Baumstringer 485.
Bearbeitungsmaschinen 230.
Beaufort-Skala 6.
Beaufschlagung 25.
Becherturbine 31.
Becklampe 208.
Bedeckte Güterwagen 454.
Beetpflüge 316.
Beharrungsregler 62. 65.
Beiwagen 221.
Bekohlung 529.
Beleuchtung (der Eisenbahnwagen) 456.
— elektrische 201.
Bellevillekessel 46.
Béniermaschine 131.
Benzinbehälter 383. 393.
Benzinkasten 376.
Benzinlokomotive 130. 447.
Benzinwagen 382.
Benzolelektrischer Triebwagen 227.
Bereifung 367.
Bergholzplanken 474.
Bergstützen 392.
Bergungsdampfer 511.
Bertrams-Verfahren 288.
Besanmast 476.
Beschneidemaschinen 307.
Betriebsanlagen (der Eisenbahn) 418.
Bettung 413.
Beutelgeschirr 264.
Beutelzylinder 264.
Bewegliche Kessel 42.
Biegemaschinen 287.
Biegewalzwerk 287.
Bienenkorbkühler 388.
Bindemäher 343.
Binnenschiffahrt 513.
Blasmagnet (Ausblasevorrichtung) 219.
Blasrohr 427.
Blattstoß 413.
Blechschere 289.
Bleiakkumulator 182.
Bleiglanzdetektor 619.
Blériot-Flugzeug 567.
Bleuelstange 55. 377.
Blinkfeuer 531.
Blitzableiter 578. 596.
Blitzfeuer 530.

Blitzkessel 398.
Blitzschutzvorrichtungen 190.
Blockherzstücke 413.
Blockkette 370.
Blockkran 234.
Blockstrecken 419.
Blocktasten 420.
Blockwalzen 283.
Blockwerke 419.
Bobywender 344.
Bockkran 233.
Bocksägen 296.
Bockscheren 288.
Bockwinde 239.
Bockwindmühle 7.
Bodenbearbeitungsmaschinen 313.
Bodengänge 486.
Bodenplanken 474.
Bodenweger 465.
Bodenwrangen 473. 483.
Bogenlampen 201.
Bohrer 295.
Bohrknarre 295.
Bohrmaschine 280. 295.
Bohrrohr 270.
Bohrstahl 291.
Bojer 468.
Bollwerk 526.
Boote 463.
Bootsbau 464.
Bootsdeck 508.
Bootsmotor 470.
Bordasche Turbine 24.
Bördelmaschine 287.
Bowden-Bremse 373.
Bramstenge 475.
Brandungsboote 467.
Branlyscher Kohärer 614.
Brassen 477.
Braytonmotor 138.
Brechwalzwerk 258.
Bréguet-Zweidecker 564.
Breitdüngerstreumaschinen 336.
Breitsämaschinen 329.
Breitspurbahnen 406.
Bremsen (für Eisenbahn) 457.
— (für elektr. Bahn) 221.
— (für Fahrrad) 371. 372.
— (für Motorrad) 380.
— (für Motorwagen) 383. 392.
Bremsmagnete 193.
Bremszylinder 457.
Briggschuner 477. 478.
Briggtakelung 478.
Brille 293.
Broschüren-Drahtheftmaschine 302.
Brotankessel 428.
Brown, Boveri-Parsons-Dampfturbine 91.
Brückendeck 486. 508.
Brückenhaus 505. 508.
Brunnendecker 509.
Buchbindereimaschinen 301.
Buchdruckpressen 307.
Bügelsägen 296.
Bügelstromabnehmer 217.
Buggordinge 477.
Bugspriet 474. 476.
Bullenkopfschiene 410.
Bunker 497.
Bunkerschotte 497.
Bürsten 157.
Bürstenabhebevorrichtung 175.
Bürstenbrille 159.
Bürstendetacheur 263.
Bürstenhalter 159. 166.
Bürstenstifte 159.
Bürstmaschine 260.

C.

Cambridge-Walzen 328.
Cangaroo 364.
Catboats 466.
Cattakelung 466.
Charliere 533.
Chassis 383.
Chinesische Winde 238.
Chromotypie-Schnellpresse 308.
Clayton-Apparat 505.
Claytongas 505.
Compoundmaschine (elektrotechn.) 160. 162. 173.
Compoundmaschinen (Dampf-) 55. 72. 73.
Corlisssteuerung 61.
Coulomb 152.
Coupé 395.
Croskill-Cambridge-Walzen 328.
Croskill-Walzen 328.
Curtisturbine 88.

D.

Damenrad 368.
Damm (Eisenbahndamm) 408.
Dampf 37.
Dampfabsperrventil 48.
Dampfakkumulator 92.
Dampfankerspill 241.
Dampfbarkassen 469.
Dampfbeiboote 469.
Dampfbodenkultur 320.
Dampfdiagramm 52.
Dampfdynamo 68.
Dampffeuerlöschanlage 505.
Dampfgangspill 502.
Dampfhämmer 285.
Dampfheizung 455.
Dampfhemd 56.
Dampfkalesche 382.
Dampfkessel 37.
Dampfkesselarmatur 47.
Dampfkraftmaschinen 37.
Dampfkran 231.
Dampfkutsche 382.
Dampfkutter 469.
Dampfläutewerk 428.
Dampfmantel 56.
Dampfmaschine 50.
— (der Lokomotive) 430.
Dampfomnibus 382.
Dampfpfeife 428.
Dampfpumpe 245.
Dampfraum 41.
Dampfschiffe 478.
Dampfspillmaschine 501.
Dampftrawler 511.
Dampfturbinen 82.
Dampfüberhitzer 433.
Dämpfungsflächen 537. 555. 556.
Dampfverbrauch 55.
Dampfwagen 382. 398.
Dauerbrand-Flammenbogenlampe 209.
Dauerbrandlampen 209.
Daumen 63.
Daumensteuerung 63.
Davit 502.
Davyscher Lichtbogen 201.
Deck 474. 487.
Deckbalken 474.
Deckbeplattungen 487.
Deckplanken 465. 474.
Deckstringer 485.
Deckstützen 485.
Dekupiersägen 275.
Deltaglocken 194.
Demoiselle-Eindecker 569.
Deplacement 482.
Desintegratoren 256.
Detacheur 263.
Detektor 614.
Deutsche Windmühle 7.
Diagonalboote 464.
Diagonalstringer 485.
Diagonalturbinen 25.
Diagramm 52.
Diamantblätter 269.
Diamantbohrer 270.
Diamantform 368.
Diamant-Kreissäge 269.
Dibbelmaschinen 333.
Dicksches Preßverfahren 287.
Dicktenhobelmaschinen 278.
Dienstleitungsbetrieb 602.
Dieselmotor 139.
Differentialflaschenzug 237.
Differentialgetriebe 363. 383. 386.
Differentiallampe 204.
Differentialpumpe 244.
Differentialschraubenwinde 238.
Differentialteilung 300.
Differentialwerk 386.
Differentialwinde 238.
Dingis 467.
Direkte Heizfläche 38.
Diskusgetriebe 389.
Dochtkohlen 202.
Dock 527.
Dockschiff 524.
Dockschleuse 527.
Dollbord 464. 468.
Dollen 468.
Doppelboden 483.
Doppelbogenlampen 206.
Doppelboot 463.
Doppeldecker 557.
Doppelenderkessel 496.
Doppelgenerator 104.
Doppelglocken 194.
Doppelkessel 497.
Doppelklappenventil 538.
Doppelkommutator 164.
Doppelkopfschiene 410.
Doppellokomotiven 444.
Doppelphaeton 396.
Doppelpoliger Umschalter 189.
Doppelringelwalzen 328.
Doppelschiebersteuerungen 59.
Doppelschraubendampfer 490.
Doppelter Dreischneider 307.
— Eindecker 564.
Doppelte Übersetzung 372.
Doppelturbine 29.
Doppeltwirkend 53.
Doppeltwirkende Zweitaktmaschine 111. 135.
Doppelwagen 226.
Doppelweiche 414.
Doppelzellenschalter 183.
Dorner-Eindecker 570.
Dowsongas 94.
Drachenballon 539.
Drachenflugzeuge 553.
Drahtbuchheftmaschine 302.
Drahtheftmaschinen 301.
Drahtkasten 164.
Drahtlose Telegraphie 610.
Draisine 362.
Drehbänke 291.
Drehbare Achsen 436.
— Leitschaufeln 28.
Drehfeld 174.
Drehfeuer 530.
Drehgestell 436. 451.
Drehkolbengebläse 251.
Drehkolbenpumpen 247.
Drehkran 231.
Drehkranladebrücken 528.
Drehlager 489.
Drehschalter 189. 605.
Drehschaufeln 28.
Drehscheiben 414.
Drehscheren 289.
Drehschiebersteuerungen 60.
Drehspulensystem 184.
Drehstrom 169.
Drehstromgenerator 170.
Drehstromkabel 195.
Drehstrommotor 174.
Drehstrom-Reihenschlußmotoren 196.
Drehstromsystem 198.
Drehstromtransformator 179.
Drehstrom-Turbogenerator 171.
Drehwerkzeuge 291.
Dreieckschaltung 170.
Dreifach-Expansionsmaschinen 72. 78.
Drei-Finger-Regel 150.
Dreileiterkabel 195.
Dreileitermaschine 198.
Dreileitersystem 197.
Dreimastgaffelschuner 477.
Dreimastmarssegelschuner 477.
Dreimastschuner 477.
Dreimasttoppsegelschuner 477.
Dreiphasiger Wechselstrom 169.
Dreirad 363. 374.
Dreischneider 307.
Dreischraubenschiffe 491.
Dreiseitige Beschneidemaschinen 307.
Dreizylinderlokomotive 432.
Dreschdeckel 350.
Dreschkorb 350.
Dreschmaschinen 350.
Drillhebel 332.
Drillingstürme 520.
Drillmaschinen 330.
Drillspindel 295.
Dritte Schiene 220.
Drosselregulierung 65.
Drosselspule 176. 178. 191. 211. 600.
Druckanlage für Benzin und Öl 393.
Druckgasgeneratoren 100.
Druckluft, Anlassen mit 120.
Druckluftlokomotive 447.
Druckluftwagen 398.
Druckpressen 307.
Druckpumpe 243.
Druckschrauben 556.
Druckturbinen 24. 83.
Druckventil 242.
Duchten 464.
Duddelscher Schwingungskreis 616.
Düngermühlen 336.
Düngerstreumaschine 336.
Dunlopventil 367.
Dunstputzmaschine 265.
Duowalzwerk 282.
Duplexbänke 292.
Duplex-Dampfpumpe 49.
Duplexpumpe 245.
Durchgangsstation 416.
Durchgangswagen 453.
Durchlaufgleis 416.
Durchsprechstellung 598.

Dürrscher Schiffskessel 46.
Dynamoelektrische Maschinen 157.
Dynamomaschinen 157.
Dynamoprinzip 158.

E.

Economiser 50.
Edisonfassung 214.
Edisongewinde 214.
Effekt 2.
Effektbogenlampen 207.
Effektive Leistung 53.
Effektkohlen 207.
Effektverbrauch 211.
Eggen 324.
Einankerumformer 177.
Einbaum 463.
Eindecker 566.
Einenderkessel 496.
Einfurchenpflüge 317.
Eingeschlossener Lichtbogen 208.
Einkammerkessel 45.
Einkammersystem 367.
Einlegeapparate 310.
Einleiterkabel 195.
Einleiter-Schachtkabel 195.
Einmaschinensystem 321. 322.
Einnadeltelegraph 576.
Einpendelmühle 259.
Einphasengenerator 167. 169.
Einphasen-Induktionsmotor 175.
Einphasenmotoren 222.
Einphasen-Reihenschlußmotoren 173.
Einphasenstrombahn 225.
Einphasiger Wechselstrom 169.
Einpilastermaschinen 301.
Einsackmaschinen 265.
Einschienenbahn 448.
Einschnitt 408.
Einspritzkondensation 67.
Einspritzkondensator 67.
Einspritzvergaser 106.
Einständermaschinen 301.
Einstechstahl 291.
Eintrittsspannung 51.
Einzelstützen 410.
Einzylindermaschine 71.
Einzylindermotor 376.
Eisbrecher 511.
Eisenabscheider 260.
Eisenbahn, elektrische 216.
— gleislose 228.
Eisenbahnbau 407.
Eisenbahnbremsen 457.
Eisenbahnfahrzeuge 423.
Eisenbahnhochbauten 407.
Eisenbahnnetz (Entwickelung) 402.
Eisenbahnsignale 418.
Eisenbahnwagen 450.
Eisenbahnwesen 401.
Eisenlangschwellen 411.
Elektraturbine 86.
Elektrische Akkumulatoren 180.
— Bahnen 216.
— Beleuchtung 201.
— Bremse 221.
— Energie 146.
— Fernbahnen 220.
— Größen 152.
— Güterzuglokomotive 225.
— Heizapparate 191.
— Industriebahnen 226.
— Kochapparate 191.
— Kraftübertragung 196.
— Kraftverteilung 197.
Elektrische Leitungen 194.
— Lokomotiven 224. 226.
— Maschinen 157.
— Schiffsausrüstung 504.
— Schwingungen 611.
— Spannung 147.
— Straßenbahnen 217.
— Wagen 382. 399.
— Wellen 611.
— Widerstände 188.
— Zündung 114. 388.
Elektrischer Kran 231.
— Lichtbogen 201.
— Omnibus 229.
— Portalkran 233.
— Strom 147.
— Widerstand 153.
— Zimmerofen 191.
Elektrisches Bogenlicht 202.
— Glühlicht 213.
— Licht 201.
Elektrizitätszähler 187.
Elektroden 151. 202.
Elektrokultur 322.
Elektrolytische Wirkung 151.
— Zellen 614. 619.
Elektromagnet 149.
Elektromobil 399.
Elektromotor 172.
— (Verwendungsgebiete) 198.
Elektromotorische Gegenkraft 156.
— Kraft 149. 153.
Elektrotechnik I 146.
— II 201.
Elektrotechnische Grundbegriffe 147.
— Meßinstrumente 184.
Elevatoren 528.
Elevator-Heuwender 345.
Elevatorsystem 349.
EMK 150.
Endprodukt 230.
Endstationen 416.
Energie 1.
— elektrische 146.
Englischer Schienenstuhl 410.
Entfaltung 370.
Entladen 181.
Entlastetes Schneckengetriebe 240.
— Ventil 61.
Entstäubungspumpen 199.
Entwickelung 407.
Ergin 105.
Erhaltung der Energie 2.
Ericssonschaltung 594. 595.
Erntemaschinen 340.
Erregermaschine 170.
Erregerstromregler 188.
Erregerwickelung 223.
Ersatzbogenlampen 207.
Erzdampfer 507.
Esnault Pelterie-Eindecker 568.
Esse 41.
Essenschieber 49.
Etagewagen 455.
Etrich-Eindecker 571.
Euler-Zweidecker 565.
Ewer 468.
Ewerkähne 468.
Expansionsgrad 54.
Expansionsmaschinen 51.
Expansionsschieber 59.
Expreßpumpe 246.
Exstirpatoren 323.
Exzenter 58.
Exzenterpresse 290.
Exzenterregler 65.
Exzentrizität 59.

F.

Fadenbuchheftmaschine 303.
Fadenheftmaschine 303.
Fahrdraht 217.
Fahrgestell 557.
Fahrpflüge 317.
Fahrräder 362.
Fahrschalter 218.
Fahrstraßenhebel 422.
Fahrstraßensignale 418.
Fahrtrichtungen 418.
Fairbairnkran 231.
Fallen 477.
Fällsäge 273.
Falzmaschinen 304.
Fangnetze 194.
Farbegangsplanken 474.
Farbschreiber 577. 583.
Farbwerk 308.
Farman-Zweidecker 562. 563.
Fassonfräser 298.
Fassung 214.
Federhämmer 285.
Federregulator 66.
Federzahneggen 325.
Federzahnkultivatoren 323.
Fegeluft 97.
Feinblechwalzwerk 282.
Feineggen 324.
Feinsicherungen 596.
Feinwalzen 283.
Feldbahnen 406.
Felderschärfe 262.
Feldmagnet 158.
Felgen 367. 384.
Felgenbremsen 372.
Felg-Pflüge 338.
Fellboote 463.
Fernbahnen 220.
Ferneinleger 352.
Fernhörer 591.
Fernsprecher 591.
Fernsprechgehäuse 593.
Fernsprechkabel 596.
Fernsprechzentralen 595.
Ferraris-Instrument 187.
Fertigform 230.
Fesselballon 538.
Festfeuer 530.
Festscheibe 295.
Fettgasleuchttonnen 531.
Feuerbüchse 44. 426.
Feuergeschränk 49.
Feuerkiste 44. 426. 427.
Feuerlose Lokomotiven 446.
Feuerschiffe 531.
Feuerschutz (auf Schiffen) 504.
Feuerungsanlage 38.
Fingerlinge 468. 475.
Fischbauchform 409.
Fischdampfer 511.
Fischereihäfen 526.
Fischerfahrzeuge 469.
Fischform 536.
Fischtorpedo 522.
Fixpunktlampen 205.
Flachdruckmaschine 308.
Flächenbelastung 555.
Flachkiel 482.
Flachlandbahnen 406.
Flachmüllerei 261.
Flachregler 65.
Flachschieber 58.
Flachwender 315.
Flammenbogenlampen 207.
Flammrohrkessel 43.
Flaschenzug 236.
Fliegende Scheren 297.
Flieger (Segel) 466.
Fliehkraftkugelmühlen 256.
Fliehkraftregler (Schwungkugelregulator) 65.
Flöße 463.
Flotthäfen 526.
Flügeleggen 326.
Flügelpumpen 247.
Flugmotoren 572.
Flugtechnik 553.
Flugzeuge 553.
Flundern 466.
Flußdampfer 512.
Flüssigkeitsanlasser 188.
Flüssigkeitsbarreter 614.
Flüssigkeitswärme 37.
Flußkähne 463.
Flußschleppdampfer 514.
Fock 476.
Fockmast 476.
Förderrinnen 529.
Formierungsverfahren 181.
Fourneyronturbine 26.
Frachtdampfer 505.
Fracht- und Passagierdampfer 508.
Francisturbine 28.
Fräser 297.
Fräsköpfe 298.
Fräsmaschinen 280. 298.
Fregattakelung 478.
Freiballon 537.
Freibord 481.
Freibordregeln 481.
Freie Fahrt 419.
— Rostfläche 38.
Freifallende Ventilsteuerungen 61.
Freilauf 371.
Freilaufrücktrittbremse 380.
Freileitungen 194.
Freimeldelampe 602.
Freistrahlturbinen 24. 31.
Fresnelsches Linsensystem 530.
Friktionsantrieb 389.
Friktionsgetriebe 389.
Friktionswinde 240.
Fritter 614.
Frontausleger 308.
Frühzündung 379.
Fuchs 39.
Fughobelmaschinen 277.
Füllansatz 538.
Füllgas 535.
Füllständer 456.
Füllung 54.
Fünfnadeltelegraph 576.
Funkelfeuer 531.
Funkenstrecke 190. 618. 619.
Funkentelegraphie 610.
Furchenpacker 328.
Furchensaat 332.
Fußbremsen 392.
Fußhebel 383.
Futterpressen 357.
Futterschneidemaschinen 357.

G.

Gabelkopf 368.
Gabelkrone 368.
Gabeln 368.
Gabelrohr 368.
Gabelscheiden 366. 368.
Gabelsystem 386.
Gabelwender 345.

Gaffel 477.
Gaffelschuner 477.
Gaffelsegel 477.
Gaffeltakelung 468.
Gaffeltoppsegel 476.
Galion 473.
Galjaß 468.
Galjaßewer 468.
Galjot 468.
Gallowayrohre 43.
Galvanisches Element 147.
Galvanoskop 579.
Gangmotorenpflüge 320.
Gangspill 241.
Garbekessel 46.
Garbenbinder 343.
Gasgeneratoren 100.
Gashämmer 285.
Gasmaschine 93. 122.
Gasturbine 145.
Gates-Brecher 258.
Gatnägel 464.
Gattersägen 274.
Gebirgsbahnen 406.
Gebläse 250.
Geeren 477.
Gefälle 19.
Gegenkraft 156.
Gegenseitige Induktion 150.
Gegenstromkessel 42.
Gegenstromkondensation 69.
Geien 477.
Geißlersche Röhren 201.
Geitaue 477.
Gelenkeggen 325.
Gelenkwellen 379.
Gemischeinstellung 384.
Genähte Wickelung 172.
Generatoranlagen 103.
Generatoren (elektr.) 157.
Generatorgas 94. 100.
Gepäckständer 381.
Gerinne 20.
Gesättigter Dampf 37.
Geschäftswagen 397.
Geschlossener Schwingungskreis 613.
Geschwindigkeitsgetriebe 383. 388. 389.
Geschwindigkeitsregulatoren 66.
Geschwindigkeitsstufen 83.
Geschwindigkeitsturbinen 83.
Gesellschaftsanschlüsse 602.
Gesimshobelmaschinen 279.
Gespannhacken 337.
Gespannpflüge 314.
Getreidemähmaschinen 341.
Getreidereinigungsmaschine 260. 352.
Getreideschleudermaschinen 355.
Getreidezentrifuge 355.
Gewichtsregler 65.
Gewindefräsmaschinen 300.
Gichtgas 94. 98.
Gießereikran 233.
Gigs 466. 467.
Gillungsstützen 474.
Girard-Partialturbine 31.
Girardturbine 26. 31.
Girard-Vollturbine 26.
Gittermasten 519.
Gitterplatte 181.
Gitterrinne 529.
Glattstrohbreitschüttler 351.
Glattstrohpressen 356.
Glattwalzen 327.
Gleichdruckmaschine 98. 138.
Gleichstrom 156.
Gleichstrombahnen 221.
Gleichstrombogenlampen 202.
Gleichstromdampfmaschine 64.
Gleichstromgeneratoren 157.
Gleichstrommotoren 172.
Gleichstromsysteme 197.
Gleishämmer 285.
Gleiskreuzung 414.
Gleislängen 402.
Gleislose Bahnen 228.
Gleitbahn 488.
Gleitboote 472.
Gleitbügel 217.
Gleitflugzeuge 534. 553.
Gleitkufen 557.
Gleitschutz 384.
Gleitsitz 468.
Gleittakelung 467.
Gliedereggen 324.
Gliederkessel 45.
Gliederwalzen 327.
Glockenkurbel 369.
Glockentonnen 529.
Glühlampen 213.
Glühlampenanruf 598.
Glühlampendetektor 614.
Glührohr 113.
Gnôme-Motor 130.
Göpeldreschmaschinen 351.
Goupy-Zweidecker 564.
Grabendocks 527.
Grade-Eindecker 569.
Grademotor 137.
Gradierwerke 117.
Grammkalorie 152.
Grasmähmaschinen 340.
Greifer 308.
Grenzturbinen 24.
Griessäule 314. 315.
Grießputzmaschine 265.
Grindel 316.
Grobsicherungen 596.
Grobwalzen 283.
Gronwaldscher Apparat 505.
Großboote 466.
Großgasmaschinen 126. 133.
Großmast 476.
Großschot 476.
Großsegel 466. 476.
Großwasserraumkessel 42. 43.
Grubber 322.
Grubberegge 324.
Gruben-Benzinlokomotive 130.
Grubenlokomotive 226.
Grubenventilator 252.
Gründel 316.
Grundschieber 59.
Grünfutterpressen 357.
Gruppenanschlüsse 602.
Gruppenwähler 605. 606. 608.
Güldnermotor 124. 143.
Güterbahnhöfe 415.
Gütergleise 416.
Güterwagen 454.
Güterzuglokomotive 424.
— elektrische 225.
Gyrobahn 448.
Gyroskop 523.

H.

Haarmanns Schienenbefestigung 411.
Hackgeräte 337.
Häckselmaschine 358.
Häfen 526.
Hafenbahnhöfe 416.
Hafenbecken 526.
Hafendamm 526.
Hahnschiebersteuerungen 60.
Hahnsteuerungen 56.
Haken 319.
Hakenplatte 411.
Hakenumschalter 594.
Halbautomatische Zuführung 305.
Halbfabrikat 230.
Halbhochmüllerei 261.
Halbindirekte Beleuchtung 211.
Halbklappboote 467.
Halblokomobile 80.
Halbmittelschlächtiges Wasserrad 22.
Halbportalkran 233.
Halbstarre Luftschiffe 545.
Halladayrad 11.
Hallanker 501.
Halsen 477.
Haltesignal 419.
Hämmer 285.
Handbremsen 392.
Handdreschmaschinen 350.
Handgangspill 241.
Handgriffe 369.
Handkran 231.
Handkurbel 383.
Handrad 391.
Handschalter 189.
Handscheren 288.
Hanriot-Eindecker 568.
Hardybremse 458.
Hardy-Luftsaugebremse 458.
Harlan-Eindecker 571.
Haselwander-Motor 126.
Haube 7.
Häufelpflüge 318. 338.
Hauptbahnen 406.
Hauptdeck 486. 508.
Hauptkuppelung 452.
Hauptspantzeichnung 482.
Hauptstrom 159.
Hauptstrombogenlampe 202.
Hauptstrommaschine 160. 162.
Hauptstrommotor 172.
Hauptverteiler 596.
Hausbaum 7.
Hauschläge 262.
Hebefahrzeuge 511.
Hebekarre 235.
Hebelade 235.
Hebelausschalter 189.
Hebelhacken 338.
Hebelhämmer 285.
Hebelscheren 288.
Hebelschneidemaschinen 307.
Hebemagnet 234. 604.
Heberleinbremse 458.
Hebezeuge (Lasthebemaschinen) 231.
— hydraulische 239.
Heck 464.
Heckbalken 474.
Heckraddampfer 495.
Heckradschleppdampfer 516.
Heckspanten 474.
Heftmaschinen 301.
Heißdampf 38.
Heißdampflokomobile 81.
Heißdampflokomotiven 433.
Heißdampf-Tenderlokomotive 440.
Heißdampf-Verbund-Schnellzuglokomotive 439.
Heißdampf-Zwillingslokomotive 439.
Heißlufttorpedo 522.
Heißsägen 297.
Heizapparate, elektrische 191.
Heizfläche 38. 426.
Heizkörper 191.
Heizrohrkessel 43.
Heizung (der Eisenbahnwagen) 455.
Heizwagen 455.
Helikalrohre 368.
Helionglühlampe 216.
Helling 473.
Hemisphärische Lichtstärke 211.
Henschel-Jonvalturbine 26.
Heringslugger 469.
Hermaphroditbrigg 477.
Herring-Curtiss-Zweidecker 560.
Hertzscher Oszillator 611.
Herzstück 413.
Heuerntemaschinen 344.
Heulader 347.
Heultonnen 529.
Heupressen 355.
Heurechen 346.
Heuwender 344.
Hewitts Lampe 212.
Hilfskuppelung 452.
Hilfsmotor 34. 448.
— Andrehen mit 120.
Hilfspole 160.
Hintereinanderschaltung 154.
Hinterrad 366.
Hinterradachse 386.
Hinterradstreben 368.
Hinterrahmen-Federung 376.
Hissen 477.
Hitzdrahtinstrumente 186.
Hitzdraht-Wellenempfänger 614.
Hobelmaschinen 276. 300.
Hochbordwagen 454.
Hochdruckdampfheizung 455.
Hochdruck-Freistrahlturbine 32.
Hochdruckleitungen 32.
Hochdruckturbinen 25.
Hochdruck-Zentrifugalpumpen 248.
Hochdruckzylinder 54. 74.
Hochfrequenz-Dynamomaschine 621.
Hochmüllerei 261.
Hochofengebläsemaschine 251.
Hochofengichtgas 94. 98.
Hochrad 363.
Hochseefischkutter 469.
Hochseejachten 466.
Hochseetorpedoboote 523.
Hochwattige Lampen 215.
Hohlachse 444.
Hohlmeißel-Stemmaschinen 279.
Holländische Windmühle 7.
Holzbearbeitung 273.
Holzdrehbank 282.
Holzfräsmaschine 279.
Holzschiffbau 472.
Homogenes Magnetfeld 149.
Homogenkohlen 202.
Hörempfänger 619.
Horizontalbohrmaschine 295.
Horizontaler Lichtbogen 207.
Horizontale Wasserräder 23.
Horizontalgatter 274.
Hörnerblitzableiter 190.
Hubers Preßverfahren 287.
Hubmagnet 604.
Hubmaschinen 96.
Hubpumpe 242.
Hügellandbahnen 406.
Hughes-Typendrucker 583.
Hukergaljaß 468.
Hülle 538.

Hupen 394.
Huth-Zweidecker 565.
Hydraulische Docks 527.
— Hebezeuge 239.
Hydraulischer Kran 232.
Hydraulisches Gestänge 246.
Hydroplane 524.
Hysteresis 173.

I.

Ickensteuerung 253.
Igel 337.
Indikator 52.
Indirekte Beleuchtung 211.
— Heizfläche 38.
Indizierte Leistung 53.
Induktion 149.
Induktionswickelung 223.
Induktionszündung 388.
Induktive Koppelung 613.
Induktor 593.
Industriebahnen 226. 406.
Industrielokomobile 80.
Inglefieldanker 501.
Inhölzer 465. 474.
Injektor 49.
Innenbremse 380.
Innenfeuerung 38. 39.
Innenklüver 476.
Innenlötung 368.
Innenrahmen 435.
Innenverbände 485.
Innerer Widerstand 150.
Innere Steuerung 56.
Inselbahnhof 417.
Inselgebäude 418.
Intensität (Stromstärke) 152.
Isolatoren 148. 194.

J.

Jacht 468.
Jachtbau 464.
Jachtgaljaß 468.
Jätemaschinen 339.
Jatho-Eindecker 570.
Jollboote 466.
Jollen 467.
Jonvalturbine 26.
Joulesches Gesetz 154.
Joulesche Wärme 154.
Judasohren 474.
Jungfernblöcke 476.

K.

Kabel 195.
Kabeldampfer 507.
Kabelpressen 287.
Kabelseele 195.
Kairaum 528.
Kajaks 463.
Kalfatern 464.
Kaliberwalzen 283.
Kaliforniapumpe 243.
Kaltdämpfe 92.
Kaltsägen 297.
Kammerkessel 45.
Kanaltyp 567.
Kanus 463.
Kapazität 182.
Kappenventilatoren 503.
Kapselgebläse 251.
Kapselmotor 218.
Kapselpumpen 247.
Kapselwerke 247.
Kapspur 407.
Karbonisieren 213.
Karborundschleifmaschine 272.
Karborundum-Kreissäge 269.
Karburator 105. 387.
Kardanantrieb 390.
Kardangetriebe 379. 383.
Kardanwelle 390.
Karosserie 383. 394.
Karrenpflug 315.
Kartoffelausrodepflug 347.
Kartoffelerntemaschinen 347.
Kartoffelgraber 348.
Kartoffellegemaschine 334.
Kartoffelpflanzlochstecher 335.
Kartoffelsortiermaschinen 355.
Kartoffelwaschmaschine 360.
Kartoffelzudeck- und -anhäufelmaschine 335.
Kartoffel-Zubereitungsmaschinen 360.
Karusselldrehbänke 293.
Kastenrahmen 435.
Katze (Laufkatze) 232.
Kegelbrecher 256.
Kegelmühle 258.
Kegelregler 65.
Kegelturbinen 25.
Kegel-Windmotor 10.
Kehlhobelmaschinen 279.
Kehrrad 21.
Kehrwalzwerke 283.
Keilbetrieb 417.
Keilform 417.
Keilradwinde 240.
Kerntransformatoren 179.
Kerzenlampe 214.
Kerzenzündung 379.
Kessel (Dampfkessel) 37. 41. 42.
Kesselwagen 454.
Ketschtakelung 466.
Kette 370.
Kettenaufhängung 221.
Kettenkasten 373.
Kettenlinienmaß 370.
Kettenloses Rad 370.
Kettenrad 366. 370.
Kettenrost 40. 47.
Kettenspill 502.
Kettentauerei 516.
Kettenübertragung 383. 390.
Kiel 464. 473. 482.
Kielflächen 537. 555.
Kielgänge 474. 486.
Kielgerüst 545.
Kielgerüstluftschiffe 545.
Kielhacke 484.
Kieljachten 466.
Kielschwein 465. 473. 483.
Kienast-Turbine 87.
Kilogrammeter 2.
Kilowatt 152.
Kimm 465. 474. 525.
Kimmgänge 486.
Kimmkiele 487.
Kimmstringer 485.
Kimmstück 473.
Kimmweger 465.
Kimmwegerungsplanken 475.
Kinetische Energie 2.
Kippmechanismus 212.
Kipppflüge 318.
Kippzündung 212.
Kirchwegersches Windrad 9.
Klammerringe 436.
Klappboote 467.
Klappenschrank 597.
Klappermühle 352.
Kleider 477.
Kleinauto 396.
Kleinbahnen 406.
Kleinbogenlampen 210.
Kleine Kreuzer 522.
Kleintransformatoren 211.
Kleinventilatoren 199.
Kleinwasserraumkessel 42.
Klemmbrett 159.
Klemmenspannung 150. 161.
Klemmplatten 411.
Kletterweiche 414.
Klien-Lindnersche Hohlachse 444.
Klinkerboote 464.
Klopferapparat 579. 580.
Klüshölzer 474.
Klüver 466.
Klüverbaum 476.
Knightmaschine 129.
Knotenfadenheftmaschine 304.
Knotenknüpfmaschine 304.
Knüppelgänge 283.
Kochapparate, elektrische 191.
Kofferdamm 488.
Kofferdampfer 506.
Kohärer 614.
Kohlebürsten 166.
Kohlenbunker 497.
Kohlendampfer 507.
Kohlenfadenglühlampen 213.
Kohlensäurewagen 398.
Kohlenschütten 529.
Kohlenstäbe 202.
Kohlenwagen 454.
Kohlenwippen 529.
Koksofengase 98.
Kokswagen 454.
Kolben 55. 242.
Kolbendampfmaschinen 51.
Kolbengebläse 250.
Kolbenkühlung 118.
Kolbenpumpen 242.
Kolbenschieber 58.
Kolbenstange 55.
Kollektor 157.
Kollergang 258.
Kollisionsschott 485.
Kolloidlampe 215.
Kolter 314.
Kommutator 157. 165.
Kommutatormotoren 173. 223.
Komplettmaschine 308.
Kompositbau 465.
Kompressionsmaschinen 253.
Kompressionspumpen 253.
Kompressoren 253.
Kondensation 67.
Kondensationsmaschine 54.
Kondensator (bei Dampfmaschinen) 67.
— (elektrotechn.) 594.
Konischdrehen 291.
Konstanter Widerstand 204.
Konstante Spannung 203.
— Stromstärke 203.
Kontaktdetektoren 619.
Kontaktrolle 217.
Kontinuierliche Schwingungen 616.
Kontroller 218. 399.
Konuskuppelung 389.
Köpfapparat 350.
Kopfstationen 416.
Kopierfräsmaschine 280.
Koppelung 613.
Koppelungsvariometer 618.
Koppen 260.
Koppmühle 261.
Korbausrüstung 538.
Korbring 538.
Korkgürtel 488.
Körnergewinnungsmaschinen 350.
Körner-Zerkleinerungsmaschinen 359.
Körtings Zweitaktmaschine 136.
Kraftgas 94. 100.
Kraftlinien 148.
Kraftlinienbild 159.
Kraftmaschinen 3.
Kraftstationen 196.
Kraftübertragung 196.
Kraftverteilung 197.
Kraftwagen 382.
Krane 231.
Kranrollenzug 236.
Krauß-Helmholtz-Drehgestell 437.
Kraweelbau 464.
Kraweelboote 464.
Kreiselpumpen 248.
Kreiskolbengebläse 251.
Kreiskolbenpumpen 247.
Kreissägen 274.
Kreissägemaschinen 297.
Kreisschärfe 262.
Kreisschere 288.
Kreuzer 520.
Kreuzerjachten 466.
Kreuzerlinienschiffe 520.
Kreuzkopf 55.
Kreuzmast 478.
Kreuzrahmen-Rover 364.
Kreuzscheibe 415.
Kreuzungsbahnhof 417.
Kreuzungsstationen 416.
Kreuzungsweiche 414.
Kriegsschiffbau 487.
Kriegsschiffe 517.
Kronenbreite 408.
Kropfgerinne 22.
Kropfrad 22.
Krümmer 324.
Krümmeregge 324.
Krummstroh 350.
Krummstrohpressen 356.
Krümmungen 407.
Kübelräder 20.
Kufenrad 24.
Kuff 468.
Kufftjalk 468.
Kugelfallmühlen 257.
Kugellager 366. 369.
Kugelmühlen 256. 257.
Kühleinrichtungen 115.
Kühlgefäße 116.
Kuhlorohr (Rohrdraht) 196.
Kühlrippen 377.
Kühlung 388.
Kühlwagen 455.
Kühlwasser 388.
Kulisse 431.
Kulisseneinlauf 20.
Kulissensteuerung 64. 431.
Kultivatoren 322.
Kulturpflug 316.
Kupferhaut 465.
Kupfern 475.
Kuppelachsen 425. 430.
Kuppelstangen 430.
Kuppelung 389. 452.
Kuppelungsarten der Lokomotiven 425.
Kuppelungspedal 389.
Kurbel 55. 366.
Kurbelrad 366.
Kurbelstange 377.
Kurbelumschalter 578.

Kurbelwelle 491.
Kurzschlußanker 175.
Kurzschlußbremse 221.
Kurzschlußkontakt 161. 188.
Küstenbeleuchtung 530.
Küstenfahrzeuge 463. 468.
Küstenfischer 469.
Küstentorpedoboote 523.
Kutter 466. 467. 468.
Kuzellampe 215.

L.

Labyrinthdichtungen 88.
Ladegeschirr 502. 528.
Lademasten 528.
Ladepumpe 97.
Ladevorrichtungen 502.
Ladewinschen 502.
Ladezustand 181.
Lamellen 159.
Lancierrohr 522.
Landaulet 395. 396.
Landseite 314. 315.
Landwirtschaftliche Maschinen 313.
Langdrescher 350.
Längenprofil 407.
Langhobelmaschinen 277. 278.
Langkessel 427.
Längsbunker 497.
Langschwellen 411.
Längsriß 472. 482.
Längssaling 475.
Längsschott 486.
Längsspanten 483.
Längsstabilität 555.
Langzug 293.
Lastdruckbremse 239.
Lasthebemaschinen 231.
Lastmagnete 192.
Lastrolle 236.
Lastwagen 397.
Lastzug 397.
Lateinische Takelung 468.
Laufkatze 232.
Laufkatzenladebrücke 528.
Laufkran 231. 233.
Laufmantel 367.
Laufmaschinen 362.
Laufrad 24. 25. 83. 248.
Laufräder (bei Flugzeugen) 557.
Laufwerk (der Lokomotive) 435.
Laufwinde 240.
Lavalturbine 86.
Lederbalg 250.
Leerlauf 179.
Leerlaufvorrichtung 383.
Leichter 469. 528.
Leistung 2. 53.
Leistungsfaktor 169.
Leistungsregulatoren 67.
Leistungszeiger 187.
Leitapparat 23. 25. 248.
Leiter 148.
Leitrad 26. 84. 248.
Leitspindel 293.
Leitspindeldrehbank 291.
Leitungen, elektrische 194. 195.
Leitungswähler 604. 609.
Lenkachsen 444.
Lenkrad 383. 384. 391.
Lenkstange 369.
Lenkstangenschaft 369.
Lenkvorrichtung 366. 369. 391.
Lentzsteuerung 61. 81.
Lenzpumpen 503.
Leuchtbaken 531.
Leuchtfeuer 530.
Leuchttonnen 531.
Leuchttürme 530.
Lichtbogen, elektrischer 201.
Lichtbogenschweißung 286.
Lichtstärke 211.
Lieferungswagen 396.
Liegende Dampfmaschinen 71.
Liek 477.
Lightningpresse 311.
Liliputlampe 210.
Limousine 384. 395.
Linienbetrieb 417.
Linienführung 407.
Linienschiffe 517.
Linienwähler 602.
Linksweiche 414.
Lloyd-Stone-System 501.
Lochmaschinen 289.
Lochstreifen 581.
Löffel (der Drillmaschine) 330.
Löffelrad 24.
Logarithmische Schärfung 262.
Lokomobilen 79.
Lokomobilkessel 44.
Lokomotiven 423.
— elektrische 224. 226.
— feuerlose 446.
Lokomotivkessel 44. 426.
Lokomotivmotor 224.
Lokomotivsteuerungen 430.
Lomme 468.
Longarm-System 501.
Loren 454.
Löschfunken 620.
Löschfunkenstrecke 618.
Löschgeschirr 502. 528.
Loskiel 473.
Losscheibe 295.
Lotmaschine 525.
Lotsendampfer 512.
Lowries 454.
Luftdruckbremse 459.
Luftdruckhämmer 285.
Luftfahrt 533.
Luftfurchen 262.
Luftgas 100.
Luftleerblitzableiter 579.
Luftreifen 364.
Luftsaugebremsen 457.
Luftsauger 456.
Luftschieber 456.
Luftschiffahrt 535.
Luftschiffe 539.
Luftschiffmotoren 572.
Luftschlauch 367.
Luftschrauben 573.
Lüftung der Eisenbahnwagen 456.
Luftwiderstand 553.
Luggertakelung 467.
Luken 465. 474.
Lukenstringer 485.
Luksüll 474. 485.
Lumineszenzleuchter 201.
Lünette 293.

M.

Mac-Nicolkessel 46.
Magazinlampen 207.
Magnetbremse 221.
Magnete 192.
Magnetelektrische Maschinen 157.
— Zündung 115.
Magnetfeld 149.
Magnetinduktor 593.
Magnetische Ausblasevorrichtung 219.
— Feldstärke 149.
Magnetische Kraft 149.
Magnetischer Detektor 614.
Magnetisches Feld 148.
Magnetische Trägheit 173.
Magnetregulator 170.
Magnetspulen 171.
Magnetzündung (magnetelektrische Zündung) 115. 388.
Mahlgang 259. 261. 359.
Mahlmaschine 261.
Mähmaschinen 340.
Mall 509.
Malldecker 509.
Mallet-Lokomotiven 429.
Mammutdampfer 509.
Mammutpresse 311.
Manganin 186.
Mannloch 48.
Manometer 48.
Manteltransformatoren 179.
Marconischaltung 613.
Marconistationen 615.
Marcottys Rauchverminderungs-Vorrichtung 429.
Marinekessel 521.
Mars 475.
Marssegelschuner 477.
Marsstenge 475.
Martinanker 501.
Maschine 1. 3.
Maschinenelemente 3.
Maschinenleistung 52.
Maschinenpaar 164.
Maschinenteile 3.
Maschinentelegraph 499. 500. 581.
Masselbrecher 256.
Massenfabrikation 4.
Masten 475.
Mastenkran 231. 235.
Mastsignale 419.
Matrize 290.
Maulbrecher 256.
Maximalschalter 189.
Mechanische Feuerung 40.
— Hämmer 285.
Mechanischer Einlegeapparat 310.
— Wirkungsgrad 54.
Mehlmischvorrichtungen 265.
Mehlzylinder 264.
Mehrfachexpansionsmaschinen 54.
Mehrfachtelegraphen (Vielfachtelegraphen) 583.
Mehrfurchenpflüge 317.
Mehrkränzige Turbinen 30.
Mehrphasiger Wechselstrom 169.
Mehrpolige Maschinen 162.
Mehrsitzer 374.
Meisterwalze 221.
Meldeverteiler 603.
Membranpumpe 243.
Mercedes-Motor 128.
Messerkopf 298.
Meßinstrumente 184.
Meßtransformatoren 180.
Metalfalampe 213.
Metall-Bandsägen 296.
Metallbearbeitungsmaschinen 282.
Metalldrahtlampe 215.
Metallfadenglühlampen 215.
Metallfadenlampe 215.
Metallhandschere 288.
Metazentrische Höhe 481.
Metazentrum 480.
Meterkilogramm 1. 2.
Meyersteuerung 59.
Mikrophon 591.
Militärlastzug 397.
Militärluftschiff, deutsches 546.
Minimalschalter 189.
Mischgas 100.
Mischkondensation 67.
Mischventil 107.
Mischvorrichtungen 107.
Mittelboote 466.
Mittelmast 476.
Mittelschlächtiges Wasserrad 21.
Mittelschwert 465.
Mittelwalzen 283.
Mobile Kessel 42.
Modellschleppversuche 479.
Mole 526.
Momenthebelausschalter 189.
Montgolfiere 533.
Moore-Licht 201.
Morseapparat 577.
Morseklopfer 579.
Mörsermühle 259.
Morsetaste 578.
Motorboote 470.
Motorbremsung 392.
Motordreirad 374.
Motordroschke 384. 397.
Motoren 3.
Motorendreschmaschinen 351.
Motorenpflüge 319.
Motorgeneratoren 177.
Motorkreuzerjacht 472.
Motorkulturmaschine 320.
Motorlampen 210.
Motorlokomotive 130.
Motoromnibus 384. 397.
Motorräder 374.
Motorradständer 380.
Motorschalttafel 193.
Motorschnellboote 472.
Motortragen 200.
Motorwagen 381.
Motorzähler 188.
Motorzweirad 374.
Muffenregler 65.
Muffenzellenräder 330.
Mühlen 255.
Mühlgraben 19.
Mühlstein 262.
Muldbrett 327.
Müllerei 261.
Murray-Telegraph 586.
Muschelschieber 57.
Mutte 468.

N.

Nabe 366.
Nabeninnenbremsen 373.
Nadeltelegraph 575.
Nahtspanten 465.
Naßdampf 37.
Naßdampfzwillingslokomotive 431. 440.
Nasse Luftpumpe 68.
Naßschleifen 300.
Nautische Instrumente 525.
Nebenanschlüsse 601.
Nebenarbeit 2.
Nebenbahnen 406.
Nebeneinanderschaltung 155.
Nebenschlußbogenlampe 203.
Nebenschlußdynamo 159.
Nebenschlußmaschine 160. 161.
Nebenschlußmotor 173.
Nebenschlußregler 161. 188.
Nebenwiderstand 2.
Neigungen 407.
Neigungsverhältnis 407.

Nernstlampe 216.
Neutrale Zone 159.
Nichtleiter 148.
Nicken (der Lokomotive) 437.
Niederbordwagen 454.
Niederdruckheizung 456.
Niederdruckturbinen 25. 92.
Niederdruck-Zentrifugalpumpen 248.
Niederdruckzylinder 54. 74.
Niederholer 477.
Niederrad 365.
Niederwattige Lampen 215.
Nikipropeller 491.
Nippel 367.
Nocken 477.
Nockensteuerung 108.
Nockgordinge 477.
Normalbahnen 406.
Normallampe 214.
Normalspur 406.
Normalweiche 413.
Notbremsung 459.
Notkuppelung 452.
Nulleiter 197.
Nullspant 472. 482.
Nummerscheibe 604.
Nutenanker 163.
Nutzarbeit 2.
Nutzeffekt 3.
Nutzleistung 53.
Nutzwiderstand 2.

O.

Oberbau 409.
Oberdeck 474. 486. 508.
Oberflächenkondensation 67.
Oberflächenkondensatoren 70.
Oberflächenvergaser 106.
Obergraben 19.
Oberirdische Stromzuführung 217.
Oberkessel 42.
Oberläufiger Mahlgang 259.
Oberlaufsystem 330.
Oberschlächtiges Wasserrad 20.
Obrysches Gyroskop 523.
Öchelhäusermaschine 133.
Ofen, elektrischer 191.
Offene Güterwagen 454.
Offener Lichtbogen 204.
Ohm 154.
Ohmsches Gesetz 154.
Ohrhölzer 474.
Ölanlasser 189.
Ölpumpe 90.
Ölschaltkasten 193.
Öltransformatoren 179.
Ölzellen 497.
Omnibus, elektrischer 229.
— (Motoromnibus) 384. 397.
Optik (eines Leuchtturms) 531.
Orlopdeck 486. 508.
Ortfeste Kessel 42.
Ortsbatterie 593.
Osmiumlampe 215.
Osramlampe 215.
Oszillator 611.

P.

Pansterung 22.
Pansterwerk 22.
Panzerdeck 487.
Panzergürtel 488.
Panzerkreuzer 520.
Panzertürme 517.
Parallelhacken 339.
Parallelhämmer 285.
Parallelherz 299.
Parallelogrammhebel 339.
Parallelschaltung 155.
Parallelscheren 288.
Parallelstromkessel 42.
Parallelstromprinzip 69.
Pardunen 476.
Parseval-Luftschiff 540.
Parseval-Sigsfeldscher Drachenballon 539.
Parsonsturbine 90.
Partialturbinen 25. 30.
Passagierdampfer 508.
Patentanker 501.
Patentreff 477.
Patent-Schaufelrad 495.
Patentsteuer 475. 498.
Pedal 366. 369.
Peltonrad 31.
Pendelbleche 435.
Pendelmühlen 259.
Pendelpflüge 318.
Pendelsägen 274.
Pendelscheiben 415.
Periode 156. 168.
Periskop 524.
Permanent 149.
Personenbahnhöfe 415.
Personenwagen 453.
Personenzuglokomotiven 424.
Peschelrohr 196.
Petroleumfeuerung 40.
Petroleumlokomotiven 447.
Petroleumvergaser 107.
Pferderechen 346.
Pferdestärke 2.
Pflanzlochgeräte 335.
Pflugbaum 316.
Pflüge 314.
Pflugkörper 314.
Phaeton 384. 395.
Phasengleichheit 168.
Phasenverschiebung 168.
Piekfall 476. 477.
Piekstücke 485.
Pilgerschrittwalzwerk 284.
Pinassen 466. 467.
Pinne 475.
Pintsch' Gaslampe 456.
Pischof-Eindecker 572.
Pivotsystem 386.
Plandrehen 291.
Planfräsmaschine 298.
Planimeter 53.
Planrost 38.
Planscheibengetriebe 389.
Planschleifmaschinen 300.
Plansichter 264.
Planum 408.
Planzug 293.
Plattenblitzableiter 579.
Plattenrahmen 435.
Plattformwagen 454.
Plunger 244.
Plungerpumpe 244.
Pneumatik 364. 367.
Pochsohle 256.
Pochstempel 255.
Pochwerke 255.
Polarisation 152. 180.
Polarisationsstrom 181.
Polarisierte Relais 580.
Pole 147.
Polizeibremse 372.
Polrad 167.
Polschuh 158.
Ponceletrad 22.
Poop 505.
Portalkran 233.
Porzellanisolatoren 194.
Postwagen 454.
Potentielle Energie 1.
Potenzflaschenzug 237.
Poulsens Bogenlampe 616.
Prahm 468.
Prallschiffe 537. 540.
Präzisionsinstrumente 185.
Präzisionsstromzeiger 184.
Pressen 286.
Preßluftreifen 367.
Primärer Strom 150. 179.
Probierhähne 48.
Profileisenschere 289.
Promenadendeck 486. 508.
Prometheus-System 191.
Propeller 490.
— (für Luftfahrzeuge) 556. 573.
Propellerrinnen 529.
Pseudoastatischer Regulator 66.
Puffer 451.
Pufferbohlen 435. 451.
Pulsierender Gleichstrom 158.
Pumpen 242.
Pumpendampfer 512.
Pumpenkolben 242.
Pünte 468.
Püttingseisen 476.
Putzmaschinen 264.
Putzmühle 352.

Q.

Quadrantdavit 502.
Quadruplextelegraph 584.
Qualitätsregulierung 108. 109.
Quantitätsregulierung 108. 110.
Quarzlampen 212.
Quatze 468.
Quecksilberdampflampen 212.
Querbunker 497.
Querfeld 160.
Querhaupt 55.
Querhobelmaschinen 277.
Querkolbenschieber-Steuerung 253.
Quersäge 273.
Quersaling 475.
Querschott 481. 485.
Querschwellen 410. 411.
Quersieder 43.
Querspanten 483.
Querstabilität 555.
Quervorlage 20.
Quetschmühlen 359.

R.

Racken 477.
Raddampfer 495.
Räder (der Eisenbahnfahrzeuge) 435.
— (des Fahrrades) 366.
— (des Motorwagens) 384.
Räderplatte 292.
Rädervorgelege 294.
Radialbohrmaschine 295.
Radialspeichen 366.
Radialturbinen 24.
Radiotelegraphie 610.
Radiotelephonie 621.
Radlenker 414.
Radschleppdampfer 515.
Radschneidemaschinen 307.
Rahe 476.
Rahmen (der Lokomotive) 435.
— (des Fahrrades) 368.
— (des Motorwagens) 386.
Rahmeneggen 324.
Rahmenpflüge 317.
Rahsegel 476.
Rammsteven 484.
Randplatte 483.
Randsomhölzer 474.
Rangierbahnhöfe 416.
Rangierlokomotiven 424.
Rangierwinde 241.
Rasschuner 477.
Rauchkammer 427.
Rauchkammerüberhitzer 433.
Rauchröhrenüberhitzer 433.
Rauchschieber 49.
Rauchverminderungs-Vorrichtung 429.
Raumdeck 486.
Raumwegerung 475.
Reaktionsrad 24.
Reaktionsturbinen 24. 26. 83.
Receiver 54. 72.
Rechtsweiche 414.
Reffbändsel 477.
Reffen 477.
Reflektorlampe 214.
Reformeggen 324.
Regelung 108.
Regelwerklose Bogenlampen 208.
Reginalampe 209.
Regler (Regulator) 65. 188.
Regulator 65.
— am Motorwagen 387.
Regulierung 108.
Reguliervorrichtungen 33. 65.
Reibhammer 285.
Reibradantrieb 389.
Reibradgetriebe 389.
Reibscheibengetriebe 294.
Reibungsgewicht 425.
Reibungskoeffizient 425.
Reibungswiderstand 2.
Reihendüngerstreuer 337.
Reihenschaltung 154.
Reinsch-Windmotor 13.
Reißbahn 538.
Reißleine 538.
Reitknie 473.
Reitstock 299.
Relais 188. 580.
Relaissatz 607.
Relaisschaltung 580.
Relaisunterbrecher 606.
Reliefschreiber 577.
Reling 474. 484.
Remanenter Magnetismus 149.
Remanenz 149.
Remen (Riemen) 468.
Rennboote 471.
Rennjachten 466.
Rennspindel 295.
Repulsionsmotor 173. 223.
Reserveschwimmkraft 481.
Resonanz 612.
Rettungsboote 466.
Reversierwalze 219.
Reversierwalzwerke 283.
Revolverbänke 294.
Revolverdrehbänke 294.
Revolverkopf 294.
Richtmaschinen 288.
Richtungsbetrieb 418.
Ridersteuerung 60.
Riedler-Expreßpumpe 246.
Riemen (Remen) 468.
Riemenfelge 379.
Riemenfelgenbremse 380.
Rieselkondensatoren 70.
Riggenbachsche Zahnstange 442.
Rillenplatte 181.

Rillensaat 331.
Rindenschälmaschinen 273.
Ringanker 158.
Ringelwalzen 328.
Ringventil 243.
Rippenkühler 117.
Rittingersche Schachtpumpe 244.
Rodepflüge 347.
Roger-Sommer-Zweidecker 563.
Rohgutbahnhöfe 415.
Rohölmotor 137.
Rohrbohrmaschine 270.
Rohrdraht 196.
Röhrenlampe 214.
Rohrmühlen 257.
Rohrschweißmaschine 286.
Rohrturbinen 30.
Rohrwalzwerk 284.
Rolle 236.
Rollenkette 370.
Rollenkontakt 217.
Rollenzug 236.
Rollsitz 468.
Roots-Blower 251.
Rootsche Wasserrohrkessel 46.
Roots-Gebläse 251.
Rost 49.
Rostbeschickungsanlagen 429.
Rostfeuerungen 38.
Rostfläche (bei Lokomotiven) 426.
Rotationsmaschinen 311.
Rotationsmotoren 573.
Rotationspumpen 247.
Rotierende Gebläse 251.
Rotor 167. 171.
Rotorspule 170.
Rover 364.
Rübenerntemaschinen 349.
Rübenhebepflug 349.
Rübenheber 349.
Rübenkernlegevorrichtung 334.
Rübenschneider 360.
Rüben-Zubereitungsmaschinen 360.
Rückenrundmaschinen 307.
Rückenschlächtiges Wasserrad 21.
Rückkühlung 116.
Rücklaufsicherungen 392.
Rückschlagventil 368.
Rückstromschalter 184. 189.
Rücktrittbremse 371.
Rückwärtsexzenter 65. 431.
Rückwärtsturbinen 92.
Ruder 468. 475. 484. 498.
Ruderanzeiger 499.
Ruderbefehlstelegraph 499.
Rudergeschirr 498.
Ruderherz 475.
Ruderjoch 468.
Ruderkoker 475.
Ruderkopf 475.
Rudermaschine 498. 499.
Ruderpinne 499.
Ruderreep 475.
Rudersport 468.
Rudersteven 498.
Rufmaschine 600.
Ruhestromschaltung 577.
Rumpler-Taube 572.
Rundeggensystem 348.
Rundfräsmaschine 280.
Rundhölzer 475.
Rundkessel 427.
Rundmaschine 287.
Rundschleifmaschinen 300.
Rundsichter 264.
Rundstabhobelmaschinen 279.
Rüsten 475.
Ruten 8.

S.

Säapparate 330.
Saatkasten 329.
Saatleitung 331.
Sagebienrad 22.
Sägemaschinen 274. 296.
Sägen 273.
Sägenhaumaschinen 296.
Salondampfer 513.
Sämaschinen 329.
Sammelschienen 161. 196.
Sampan 463.
Sandstrakplanken 475.
Saturnlampe 213.
Sauggasanlage 104.
Sauggasgeneratoren 100. 102.
Saugtopf 121.
Saugventil 242.
Säulenbohrmaschinen 280. 295.
Säulenschleifmaschinen 272.
Säurewagen 454.
Savary-Zweidecker 564.
Schablonenfräsmaschine 280.
Schablonenwickelung 164.
Schabotte 285.
Schachtkabel 195.
Schachtkran 231.
Schachtpumpe 244.
Schädlicher Raum 53. 57.
Schalldämpfer 393.
Schalldämpfungsmittel 121.
Schälmeißel 270.
Schaltanlage 193.
Schaltdrähte 167.
Schalter 189.
Schaltkasten 193.
Schaltsäulen 194.
Schalttafel 193.
Schalttafelsicherungen 190.
Schaltzellen 182.
Schaluppen 466. 467.
Schandeckel 464. 474.
Schar 314. 315.
Schärfung 262.
Schattendeckschiffe 509.
Schaufelräder 20. 495.
Schebecktakelung 468.
Scheibeneggen 325.
Scheibenfräser 298.
Scheibenkolben 242. 243.
Scheibenradfutterschneider 357.
Scheibenrübenschneider 360.
Scheibenzellenräder 330.
Schemelwagen 454.
Scheren 288.
Scherenkran 231. 235.
Schergang 474. 486.
Scheuerleiste 464.
Schiebebühnen 415.
Schieberkompressoren 253.
Schiebersteuerungen 56.
Schienen 409.
Schienenherzstücke 413.
Schienenstoß 412.
Schienenstuhl 410.
Schienenwalzen 283.
Schiffahrt 463.
Schiffahrtsbehelfe 525.
Schiffbau 472. 478.
Schiffmühle 20.
Schiffsausrüstung 498.
Schiffsbeiboote 466.
Schiffsboote 466.
Schiffskessel 44. 496.
Schiffskolbenmaschinen 491.
Schiffslichter 525.
Schiffsmaschinen 75. 490.
Schiffspumpen 503.
Schiffsschraube 490.
Schiffsturbine 494.
Schiffsventilatoren 503.
Schiffswiderstand 479.
Schlagleistensystem 351.
Schlagstiftmaschinen 256.
Schlammsammler 46.
Schlappgordinge 477.
Schleifen 326.
Schleifmaschinen 300.
Schleifringanker 175.
Schleifscheibe 300.
Schleppdampfer 514.
Schleppmodellversuchsanstalt 479.
Schleppseil 538.
Schlepptender 424.
Schleppwalzen 283.
Schleppweiche 413.
Schleuderbremse 239.
Schleudergebläse 253.
Schleuderpumpen 248.
Schleuderradsystem 348.
Schlichthobelmaschinen 277.
Schlichtstahl 291.
Schlingerkiele 487.
Schlingern (der Lokomotive) 437.
Schlingerschott 486.
Schlipp (Slip) 490. 574.
Schlittenschneider 361.
Schlömilchzelle 614.
Schlüpfung 175.
Schlußzeichengebung 599.
Schlußzeichenlampen 600.
Schmalspurbahnen 406.
Schmelzeinsatz 190.
Schmelzersche Presse 267.
Schmelzsicherungen 596.
Schmiedegesenk 285.
Schmiedepresse 286.
Schmierung (beim Motorwagen) 388.
Schmutzfänger 373.
Schneckengetriebe 240.
Schneckensteuerung 391.
Schneckentrieur 354.
Schnellbahn 222.
Schnellboote 471.
Schnelldampfer 509.
Schnelldrehbank 293.
Schnellkreuzer 521.
Schnellpressen 307.
Schnellpumpen 247.
Schnelltelegraphen 586.
Schnellwalzen 283.
Schnellzuglokomotiven 424.
Schnigge 468.
Schnittplatte 290.
Schnurgerinne 22.
Schnurpaare 600.
Schöpfkelle 449.
Schöpfmulden 330.
Schöpfräder 330.
Schornstein 41.
Schoten 477.
Schothörner 477.
Schott 485.
Schottenregeln 481.
Schottschließvorrichtung 501.
Schrägrostfeuerungen 39.
Schrägsegel 477.
Schrägwalzwerk 284.
Schranken 409.
Schranzmühle 259.
Schratsegel 477.
Schraubendampfer 490.
Schraubenflaschenzug 237.
Schraubenflugzeuge 554.
Schraubengebläse 253.
Schraubenkuppelung 452.
Schraubenpropeller 490.
Schraubenrad 495.
Schraubenraddampfer 496.
Schraubenrahmen 484.
Schraubensteuerung 392.
Schraubenwelle 490.
Schraubenwinde 238.
Schraubenzug 553. 574.
Schreibhebel 577.
Schrotmühlen (für Körner) 359.
Schrupphobelmaschinen 277.
Schruppstahl 291.
Schubkurbelgetriebe 55.
Schubräder 331.
Schubstange 55.
Schultze-Herfort-Eindecker 570.
Schulz-Wasserrohrkessel 46. 47.
Schunerbark 477.
Schunerbrigg 477.
Schunergaljaß 468.
Schunergaljot 468.
Schunerkuff 468.
Schunersegel 477.
Schunertakelung 466. 477.
Schurscheibe 272.
Schute 468.
Schutzbleche 373.
Schutzdecken 384.
Schutzdecker 509.
Schütze 20.
Schützensteuerung 221.
Schutzstreifen 384.
Schwachstromtechnik 146.
Schwadenrechen 346.
Schwamkrugturbine 30.
Schweinerüssel 280.
Schweißglocke 285.
Schweißmaschinen 285.
Schweißtrichter 285.
Schwellen 410.
Schwellenschienen 411.
Schwenkwerke 505.
Schwert 466.
Schwertjachten 465.
Schwertkasten 465.
Schwimmdocks 527.
Schwimmkran 234.
Schwingenflugzeug 554.
Schwingkran 235.
Schwingpflüge 316.
Schwingungskreis 613. 616. 617.
Schwungrad 55. 65. 388.
Schwungscheiben 377.
Sech 314.
Sechskanter 264.
Seeleichter 469.
Seeschiffe 472.
Seeschlepper 512.
Seetüchtigkeit 481.
Seezeichen 529.
Segelschiffe 472.
Segnersches Reaktionsrad 24.
Sehrohr 524.
Seilbahnen 443.
Seillampe 206.
Seilschneidemaschine 269.
Seiltauerei 516.
Seitenentleerer 454.
Seitenfensterventilatoren 504.
Seitenrohrkessel 43.
Seitenschwerter 468.
Seitenstahl 291.

Sekundärer Strom 150. 179.
Sekundäres Element 181.
Selbstablage 341.
Selbstanlasser 189.
Selbstanschlußämter 604.
Selbsteinleger 351.
Selbstentlader 454.
Selbsterregung 158.
Selbstfahrer 382.
Selbstinduktion 151.
Selbstinduktionsspule 613.
Selbstsperrende Steuerungen 391.
Selbsttätige Anlaßvorrichtungen 394.
— Speisung 450.
Serienschaltung (Reihenschaltung) 154.
Serpollet-Wagen 398.
Servomotor 34. 65. 87. 448.
Setzbordplanken 475.
Shapingmaschine 301.
Shunt 185.
Sicherheits-Bicycle 364.
Sicherheitsbremse 380.
Sicherheitskessel 45.
Sicherheitskurbel 239.
Sicherheitsniederrad 364.
Sicherheitsventil 48.
Sicherungen 161. 189.
Sicherungsanlagen (der Eisenbahn) 418.
Sichtmaschinen 264.
Siemensgas 100.
Siemens-Schuckert-Doppeldecker 565.
Signalapparate (an Dampfkesseln) 48.
Signalgebung 418.
Signalhebel 422.
Signalstellen 532.
Signalwesen 418.
Sigsfeldscher Drachenballon 539.
Silospeicher 528.
Sirenen 394.
Skarifikatoren 323.
Skiffs 468.
Skuller 468.
Slip 490. 574.
Slup 466. 468.
Smithanker 501.
Sohle 314. 315.
Söhnlein-Motor 132.
Solenoid 149.
Sommertiefgang 481.
Sommer-Zweidecker 563.
Sonnendeck 486.
Sörensens Windmotor 10.
Spaltmaschine 273.
Spaltungsweichen 416.
Spannherz 299.
Spannschütze 20.
Spannung 147. 153.
Spannungsabfall 155.
Spannungsenergie 1.
Spannungsrückgangsschalter 189.
Spannungsstufen 83.
Spannungsteiler 197.
Spannungstransformatoren 180.
Spannungsturbinen 83.
Spannungszeiger 185.
Spanten 464. 473. 483.
Spantenriß 472. 482.
Sparbogenlampen 209.
Spardeck 508.
Spardecker 508.
Sparer 207.
Spateneggen 326.
Spätzündung 379.
Speichen 366.
Speiseleitung 217.
Speisepumpe 49.
Speiseraum 41.
Speiseventil 47.
Speisewagen 453.
Sperräder 393.
Sperrbalken 422.
Sperrbremse 239.
Spezialmaschinen 230.
Spezialwagen 454.
Spezifischer Widerstand 155.
Spiegel 464.
Spill 241.
Spindelkasten 292.
Spiralbohrer 295.
Spiralturbine 29.
Spirituslokomobile 131.
Spirituslokomotiven 447.
Spirituswagen 382.
Spitzbalg 250.
Spitzenlinie 291.
Spitzenverschlüsse 422.
Spitzgang 261.
Spitzgattboote 467.
Sponungen 464.
Sporn 484.
Sportwagen 395.
Sprengringe 436.
Sprengscheibe 271.
Spriettakelung 468.
Spritzbrett 384.
Spritzendampfer 512.
Spritzverfahren 215.
Spritzvergaser 387.
Spulenhalter 171.
Spulenköpfe 167.
Spülluft 97.
Spurkranzräder 409.
Spurrinne 409.
Stabausleger 308.
Stabilisierungseinrichtungen 448.
Stabilität 480. 537.
Stabwickelung 172.
Stachelwalzen 328.
Stadtbahnen 217.
Stag 475.
Stagsegel 466. 477.
Stahlrahmenkultivator 323.
Stahlschiffbau 482.
Stammbatterie 182.
Stammgleis 413.
Stampfen (der Lokomotive) 437.
Stampfstock 476.
Stampfwerke 255.
Standfestigkeit 480.
Stanzapparat 581.
Stanzen 290.
Stanzmesser 289.
Stapellauf 488.
Starkstromtechnik 146.
Starrschiffe 537. 549.
Stationäre Kessel 42.
Statischer Regulator 66.
Stator 167.
Statorwickelung 172.
Staubecken 35.
Staubsaugeapparate 199.
Staudamm 35.
Stauseen 35.
Stauwehr 19.
Stehende Dampfmaschinen 71.
Steilwender 315.
Stein 65. 431.
Steinausleser 260.
Steinbearbeitung 268.
Steinbohrmaschinen 270.
Steinbrecher 256.
Steindrehbank 271.
Steingang 261.
Steinhobelmaschinen 271.
Steinmüllerkessel 46.
Steinpoliermaschinen 272.
Steinsägen 269.
Steinschläge 262.
Steinschleifmaschinen 272.
Stellwerk 413. 418. 422.
Stemmaschinen 279.
Stenge 475.
Sternschaltung 170.
Sternscheibe 415.
Sternwalzen 328.
Sterzen 316.
Steuerrad 391.
Steuerrohr 384.
Steuerruder 468.
Steuersäule 391.
Steuerschalter 221. 608.
Steuertelegraph 499.
Steuerungen 56. 108.
Steven 484.
Stichbremse 372.
Stiftensystem 350.
Stirnfräser 298.
Stirnwiderstand 553.
Stockscheren 288.
Stopfarbeiten 409.
Stopfbuchsenschott 485.
Stöpselsicherungen 190.
Stöpselumschalter 578.
Stoßerregung 618.
Stoßfänger 391.
Stoßgefälle 20.
Stoßmaschinen 301.
Stoßrad 24.
Stoßverbindung 412.
Strahlentelegraphie 610.
Strahlgebläse 252.
Strahlturbinen 24.
Straßenbahnen 217.
Streckenblockung 419.
Streichblech 314. 315.
Strickleitern 476.
Stringer 485.
Strohpressen 355.
Strohschüttler 351.
Stromabnehmer 217. 229.
Stromschiene 220.
Stromstärke 152.
Stromtransformatoren 180.
Stromzeiger 184.
Stromzuführung 217.
Stückgutbahnhöfe 415.
Stufenräder 293.
Stufenrostfeuerungen 40.
Stufenscheibe 295.
Stuhlschiene 410.
Sturmdecker 509.
Sturmwarnungsdienst 532.
Substitutionsverfahren 215.
Sulzersteuerung 62.
Summer 608.
Sunderland-Typ 506.
Support 291. 292. 293.
Suspensionsprinzip 23.
Swiderski-Motor 137.
Synchronmotoren 175.

T.

Tafelscheren 288.
Takelung 467. 475.
Talje 477.
Taljereep 476.
Talsperren 35.
Tandem 363. 374.
Tandemlokomobile 81.
Tandemmaschine 72. 73.
Tangentialrad 31.
Tangentialspeichen 366.
Tankdampfer 507.
Tankfahrzeuge 469.
Tankwagen 455.
Tantallampe 215.
Tarar 260.
Taste 578.
Taube 572.
Tauchboote 524.
Tauerei 516.
Teilbare Felgen 384.
Teilkopf 299.
Teilscheiben 415.
Telefunkensystem 614. 618.
Telegraphie 575.
— drahtlose 610.
Telemotoren 499.
Telephon 591.
Telephonboje 524.
Tellerventil 538.
Temperaturleuchter 201.
Temperlay-Transporter 507.
Temporär 149.
Tenbrink-Feuerung 39.
Tender 448.
Tenderlokomotiven 424. 441.
Tetraederform 471.
Thermotanksystem 503.
Tidehäfen 526.
Tiefenmelder 525.
Tiefgang 481.
Tiefkulturpflug 316.
Tiefladem arke 481.
Tieflot 525.
Tikker 616.
Tin sounder 580.
Tischgehäuse 593.
Tjalk 468.
Tönende Funken 616. 618.
Tonneau 384. 395.
Tonnen 529.
Tonschneider 266.
Topfschwellen 410.
Topp 475.
Toppnanten 477.
Toppsegel 466. 477.
Toppsegelschuner 477.
Toppzeichen 529.
Torfvergasung 104.
Torpedo 522.
Torpedobootzerstörer 523.
Torpedofahrzeuge 522. 523.
Torpedojäger 523.
Torpedokanonen 523.
Torpedorohre 488.
Totale Rostfläche 38.
Tote Rostfläche 38.
Totpunkte 55.
Tourenwagen 394.
Tragflächen 556.
Transformatoren 179.
Transmissionskran 231.
Transmissionsmaschinen 3.
Trassierung 407.
Treibrolle 236.
Trennrelais 600.
Trennsägen 269.
Trennungsbahnhof 417.
Trennungsstationen 416.
Treppenrostfeuerungen 40.
Treppenrostgenerator 104.
Tretkurbellager 369.
Tretkurbeln 369.
Trickschieber 58.
Triebachse 430.
Triebwagen 221. 224. 226. 447.

Triebwerk (der Lokomotive) 430.
Trieure 353.
Triowalzwerk 282.
Trockendocks 527.
Trockenpressen 268.
Trockene Luftpumpe 69.
Trolley 217.
Trolleyleiter 217.
Trommelanker 158.
Trommelfutterschneider 358.
Trommelheuwender 345.
Trommelkugelmühlen 257.
Trommelschneider 361.
Trommelwender 344.
Trommelwinde 239.
Trunkdecker 506.
Turbinen 23.
— (Dampfturbinen) 82.
Turbinenpumpen 248.
Turbinentorpedo 523.
Turbinenschiffe 491.
Turbogeneratoren 165. 170.
Turmdeckdampfer 505.
Turmdrehmaschinen 505.
Turmwindmühle 7.
Typendrucker 583.

U.

Überdeckung 58.
Überdruckturbinen 24. 83. 85.
Überfallschütze 20.
Überhitzer 50. 433.
Überhitzter Dampf 37.
Überholungsgleise 416.
Überlandzentralen 196.
Übersetzung 370. 389.
Übersetzungsräder 293.
Übersetzungsverhältnis 179.
Übertragungsämter 580.
Uferkran 232.
Uhrzähler 187.
Umdrehungsanzeiger 500.
Umformer 177.
Umgrenzung des freien Raumes 408.
Umiaks 463.
Umkehrkuppelung 470.
Umschalteapparate 596.
Umschaltegestell 596.
Umschalter 189. 578.
Umschalteschrank 597. 601.
Umsteuerbarer Dieselmotor 144.
Umsteuerschraube 471.
Umsteuerung 64. 113.
Ungedämpfte Schwingungen 616.
Universalfräsmaschine 298.
Universal-Holzfräsmaschine 281.
Universalkondensator 70.
Universalwalzwerk 283.
Unstarre Luftschiffe 540.
Unterbau 408.
Unterbettung 409.
Unterdeck 508.
Unterfeuerung 38.
Untergestell (von Eisenbahnwagen) 451.
Untergraben 19.
Untergrundlockerer 319.
Unterirdische Stromzuführung 219.
Unterkessel 42.
Unterläufiger Mahlgang 259.
Unterlaufsystem 330.
Unterschlächtiges Wasserrad 22.
Unterseeboote 523.
Unterstationen 198.
Unterwasserschallsignale 525.
Unterwender 318.
Utleysches Patent 504.
Uviollampen 212.

V.

Vakuumluftschiff 535.
Variometer 618.
Velociped 362.
Velozipedkran 232.
Ventil 367. 387.
Ventilatoren 199. 383.
Ventilkompressoren 253.
Ventilsteuerungen 56. 61.
Verarbeitungsmaschinen 230.
Verbrennungslokomobile 131.
Verbrennungsmaschinen 93.
Verbund-Heißdampflokomotive 435.
Verbundkompressor 254.
Verbundkugelmühle 257.
Verbundlokomotiven 431.
Verbundmaschinen (Dampf-) 55. 72. 73.
— (elektrotechn.) 160.
Verdampfungsfähigkeit 41.
Verdampfungskühlung 117.
Verdampfungswärme 37.
Verdränger 251.
Vereinigungsweichen 416.
Vergaser 105. 387.
Verholspill 502.
Verkettet 170.
Verpuffung 97.
Verschiebbare Achsen 445.
Verschiebebahnhöfe 416.
Verschlußriegel 422.
Versuchsschnellbahn 222.
Verteileramt 602.
Verteileranordung 602.
Verteilerleitung 602.
Verteilungstafel 190.
Vertikalvollgattersäge 274.
Verwindung 555. 557. 559.
Viehbahnhöfe 415.
Viehwagen 454. 455.
Vielfachklinken 597. 598.
Vielfachschaltung 597.
Vielfachtelegraphen 583.
Vielfachumschalter 598.
Vierfach-Expansionsmaschine 493.
Vierfachverbundmaschinen 492.
Viertakt-Großgasmaschine 127.
Viertaktmaschinen 96. 122.
Viertaktmotor 387.
Vierzylinderlokomotive 432.
Vignoles-Schiene 410.
Vinet-Felge 384.
V-Motor 379.
Voisin-Zweidecker 561.
Voiturette 384. 394.
Vollbahnen 221.
Volldecker 508.
Volldruckmaschine 51.
Vollgattersäge 274.
Völligkeitsgrad 472.
Vollscheiben 415.
Vollschifftakelung 478.
Vollspur 410.
Vollturbinen 25. 30.
Volt 153.
Voltmeter 184.
Vorausströmung 56.
Vorderrad 366.
Vorderradachse 385.
Voreilwinkel 58.
Voreinströmung 56.
Vorfeuerung 38. 39.
Vorgebäude 418.
Vorgelege 294.
Vorhafen 526.
Vorsignale 419.
Vorsteven 464. 473. 484.
Vortrieb 536. 553.
Vorwähler 605. 606.
Vorwärmer 50.
Vorwärtsexzenter 65. 431.

W.

Wabenkorbkühler 388.
Wagenkasten 451.
Wagenwinde 238.
Wagerechte Verzahnung 443.
Waldbahnen 406.
Walfischboote 467.
Wallgang 487.
Walrückendampfer 505.
Walterpressen 312.
Walzen 282.
— (landwirtschaftliche) 327.
Walzeneggen 328.
Walzenfräser 297.
Walzenhobelmaschinen 277. 278.
Walzenkalibrierung 283.
Walzenkessel 42.
Walzenmühlen 257.
Walzenpumpen 247.
Walzenstuhl 263.
Walzwerke 282.
Wandbohrmaschinen 280.
Wandgehäuse 592.
Wanken (der Lokomotive) 437.
Wannenmühle 352.
Wanten 475.
Wärmeeinheit 37.
Wärmelücken 410.
Wärmespeicher 92.
Warmsägen 297.
Wasserabscheider 74.
Wasseraufschlag 25.
Wasserentnahme (während der Fahrt) 449.
Wassergang 474.
Wasserkran 449.
Wasserkühler 383.
Wasserlinienriß 472. 482.
Wassermotoren 18.
Wasserräder 20.
Wasserrohrkessel 45.
Wasserstag 476.
Wasserstandsglas 48.
Wasserstrahlkondensatoren 69.
Wasserverdrängung 482.
Wasserversorgung der Eisenbahnen 448.
Wasserzersetzung 151.
Watt 152.
Wattlose Ströme 169.
Wattmeter 184.
Wattstundenzähler 188.
Webeleinen 476.
Wechsel 156.
Wechselfeuer 531.
Wechselgetriebe 389.
Wechselschubräder 331.
Wechselstrom 156.
Wechselstrombahn 222.
Wechselstrombogenlampen 209.
Wechselstromgeneratoren 167.
Wechselstromlokomotive 224.
Wechselstrommotoren 173.
Weckertasten 420.
Weger 465.
Wegerungen 465. 474.
Weichen 413.
Weichenbock 413.
Weichenbogen 413.
Weichensignale 413. 418. 419.
Weinligkessel 44.
Welinscher Quadrantdavit 502.
Wellenempfänger 614.
Wellenlänge 612.
Wellenleitung 491.
Wellenmesser 614.
Wellenrohre 488.
Wellentelegraphie 610.
Wendeanlasser 173.
Wendefeld 160.
Wendepflug 318.
Wendepole 160.
Wendeschraube 470.
Werkmaschinen 3.
Westinghousebremse 459.
Wheatstonescher Maschinentelegraph 581.
Widerstand 153.
Widerstände 188.
Widerstandsschweißung 286.
Wieseneggen 326.
Wiesenhobel 327.
Wiesenpflüge 317.
Wikingboot 463.
Winde 238.
Windetrommeln 321.
Windevorrichtungen 420.
Windewagen 322.
Windfahne 11.
Windfege 353.
Windkraft-Elektrizitätswerke 16.
Windmotoren 5. 7. 10.
Windmühlen 7.
Windmühlenflügel 7.
Windrad 11.
Windrose 11.
Windturbine 14.
Windtüren 9.
Windwerk 238.
Winter-Eichberg-Motor 223.
Wintertiefgang 481.
Wippkran 235.
Wippsägen 275.
Wirkungsgrad 3. 54. 162.
Wolframlampen 215.
Worpen 474.
Worthington-Pumpe 245.
Wotanlampe 215.
Wrights Flugzeug 558.
Wulstkieljachten 466.
Wurfgabelsystem 348.
Würgelpumpen 247.

Y.

Yawltakelung 466.

Z.

Zähler 187.
Zahnlückenfräser 298.
Zahnradbahnen 442.
Zahnradwechselgetriebe 389.
Zahnstange 442.
Zahnstangenwinde 238.
Zapfenloch-Fräskette 280.
Zaradrehgestell 440.
Zeigertelegraph 576.
Zeitsignale 532.
Zellenräder 20.
Zellenschalter 182.
Zentralbatterie 593.
Zentralbatteriesystem 599.
Zentralgegenstromkondensation 69.
Zentralkondensation 67.

Zentralschmierapparat 388.
Zentrierfutter 300.
Zentrifugalgebläse 253.
Zentrifugalpumpen 248.
Zentrifugalsichtmaschinen 265.
Zentrifugalventilatoren 503.
Zentrifugalzerstäuber 429.
Zeppelin-Luftschiff 549.
Zerkleinerungsmaschinen 255.
Ziegel-Abschneideapparat 268.
Ziegelpressen 267.
Zieheisen 284.
Ziehpressen 284.
Zille 468.
Zimmerofen, elektrischer 191.
Zinkenfräser 281.
Zinkenfräsmaschinen 281.
Zirkonlampe 216.
Zischfunken 618.
Zisternendampfer 507.
Zisternenprahm 469.
Zochen 319.
Zodiac-Luftschiffe 542.
Zoellyturbine 87.
Zucken (der Lokomotive) 437.
Zugkraft 425.
Zugmotorenpflüge 320.
Zugschrauben 556.
Zugsignale 419.
Zugspindel 291.
Zugstange 452.
Zündkerze 114. 388.
Zündung 113. 388.
Zündungseinstellung 384.
Zündvorrichtungen 113.
Zungenweiche 413.
Zuppingerrad 22.
Zuppinger-Tangentialrad 31.
Zusatzdynamo 183.
Zustreicher 332.
Zwangläufige Ventilsteuerungen 61.
Zwangschiene 409. 414.
Zweibogenweiche 414.
Zweidecker 557.
Zweifarben-Rotationsmaschine 312.
Zweiganschlüsse 602.
Zweiggleis 413.
Zweikammerkessel 45.
Zweikammersystem 367.
Zweileiterkabel 195.
Zweileitersystem 197.
Zweimaschinensystem 321.
Zweimastschuner 477.
Zweinadeltelegraph 576.
Zweiphasenwickelung 223.
Zweipolige Maschinen 162.
Zweisitzer 374.
Zweitaktmaschinen 97. 131. 133.
Zwergkessel 399.
Zwillingslokomotive 431.
Zwillingsmaschinen 72. 73.
Zwillingsmotor 470.
Zwillingspflüge 318.
Zwillingsrotationsmaschinen 312.
Zwillingsturbine 29.
Zwischendeck 508.
Zwischenfelge 385.
Zwischenmaschinen 3. 230.
Zwischenstationen 416.
Zwischenwiderstand 183.
Zylinder 54.
Zylindergebläse 250.
Zylinderinduktor 157.
Zylindersattel 435.

POLITECHNIKA Wrocławska Biblioteka Główna (3)

Druck vom Bibliographischen Institut in Leipzig.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
350246L/1