

## Zwei Hauptströmungen in der romanischen Architektur.

Von Peter Meyer, Zürich.

### I.

Seit Dehio-Bezolds „Kirchlicher Baukunst des Abendlandes“ ist eine Systematik des europäischen Denkmälervorrates der romanischen Zeit nicht mehr versucht worden. Zahllose Einzeluntersuchungen haben das Gesamtbild weniger abgeklärt als ins Unübersehbare kompliziert, ohne neue Gesichtspunkte zu seiner Sichtung zu bieten. Auch die neueren französischen Werke von Enlart und de Lasteyrie begnügen sich damit, die Denkmäler in „Schulen“ zu gruppieren, wobei immer fraglich bleibt, ob der Bautypus, also das räumliche Formprogramm, oder der Tonfall der Gliederung und Ornamentierung über die Zuteilung entscheidet. Im Gegensatz zu diesem geographischen Nebeneinander einzelner Stilpersönlichkeiten sucht Frankl in seinem Band des „Handbuches der Kunstwissenschaft“ den Stoff in horizontale Entwicklungsphasen zu schichten, eine Methode, die daran scheitern mußte, daß der Denkmälervorrat eben gar nicht so homogen ist, wie es die Voraussetzung solcher Schichtung wäre. In einzelnen Gebieten werden vielmehr bestimmte Stilphasen zum Dauerzustand, so daß sie neben entwicklungsgeschichtlich späteren Stadien fortleben, die dann in der betreffenden Gegend ganz ausfallen, oder sich nur an so nebensächlicher Stelle zeigen, daß mit ihrer Feststellung nichts Falsches, aber auch nichts Wesentliches ausgesagt wird. Gotische Einzelheiten können beispielweise in Italien willkommene Indizien für die Datierung eines Bauwerkes abgeben: über seinen Charakter sagen sie aber nichts aus, und es hat keinen Sinn, die Renaissance an eine Gotik anzuschließen, nur weil das zeitliche Schema auf die Romanik die Gotik folgen läßt, während alle beide in Italien ein sehr wesenloses Dasein vor dem Hintergrund einer byzantinisch gefärbten altitalischen Kulturlandschaft führen.

### II.

Im folgenden soll versucht werden, im vorgotischen Denkmälervorrat zwei Hauptgruppen nachzuweisen, in oder zwischen denen dann die einzelnen „Schulen“ weitere Untergruppen bilden, und zwar suchen wir die Charaktere an möglichst einfachen Beispielen zu entwickeln, an Kleinkirchen, deren Gesamtheit für das Formniveau einer Landschaft entscheidender ist als die vereinzelt Großbauten, für die man sich die ersten Meister von weither verschreiben konnte. Natürlich üben diese Großbauten den entscheidenden Einfluß auf ihre Provinzen aus, aber auch dann noch läßt sich deren eigene Begabung daran ablesen, wie weit die Anregungen aufgenommen und in welcher Richtung sie abgewandelt werden. Es gibt Provinzen durchaus homogener Stilhaltung: Aquitanien und die Auvergne beispielsweise, wo nur ein Unterschied des Aufwandes, nicht des Tonfalls zwischen Groß- und Kleinbauten besteht, und es gibt inhomogene Provinzen, wo die Großbauten mehr oder weniger den großen übernationalen Strömungen folgen, während die große Masse der Klein-

kirchen in einem davon verschiedenen Dauerzustand verharrt. So hat beispielweise das französische S. Antimo bei Siena (Ricci 101, 104), der Dom zu Chur oder das gotische St. Elisabethen zu Marburg in seiner Gegend jeweils keine oder nur sehr beschränkte Nachfolge gefunden.)\*

Abb. 1, 2, 3, 4, kleine ländliche Kirchen am Alpen-Südfuß, ungefähr das Einfachste, was sich als Sakralraum denken läßt: ein bequemer, nicht besonders langer, nicht besonders hoher, sondern sozusagen beruhigt-zimmerartiger Raum, mit sichtbarem Dachstuhl gedeckt wie die Alphütten der gleichen Gegend; an der Ostseite ist die gewölbte Apsis als Gehäuse des Altars ohne weitere Vorbereitung angeschoben. Die Mauern bestehen aus kleinen Bruchsteinen; man begnügt sich, die Flächen durch zarte Streifen zu gliedern, die oben in Bogenfriesen endigen, alles von so seichtem Relief, daß von einer statisch-verstrebenden Wirkung dieser Lisenen keine Rede sein kann; diese Vorsprünge sind plastisch gar nicht greifbar, sie stehen in keinem Verhältnis zum Mauerkörper, sondern wirken nur als graphisches Lineament. Man greift darum in der gleichen Gegend auch von jeher gern zu der andern Möglichkeit, die Mauern überhaupt glatt zu lassen, zu verputzen, und dann überlebensgroße Christophorus- oder Heiligenbilder in gemalten Rahmungen auf die inneren und äußeren Wände zu malen (Abb. 2), wie das auch an Profangebäuden üblich ist, wobei zwischen ländlichen Handwerksleistungen und der Arenakapelle des Giotto zu Padua nur ein Unterschied der Qualität, nicht der Grundeinstellung dem Baukörper gegenüber besteht. Abb. 3 macht das vergleichsweise Profane dieser Kirchenkörper besonders deutlich, indem es als Nachbarn eine Scheune zeigt, die in ihrem ganzen Kubus, in der Dachneigung und im Verhältnis der Mauern zum Dach völlig der Kirche gleicht. Dafür hat man neben die Kirche als Wahrzeichen einen Turm gepflanzt, der architektonisch in keiner Weise aus dem Baukörper selber entwickelt und mit dem Uebrigen verbunden ist.

Abb. 5, 6 völlig glatter Baukörper, die Formträgheit um so auffallender, als hier drei Apsiden an den Kirchenraum angeschoben sind. Sie haben aber kein anderes Verhältnis dazu, als daß sie eben an der Ostwand Platz haben müssen; weder der Raum innen noch der Baukörper außen setzt sich mit diesen Apsiden auseinander, und bei Abb. 5, 7 geht die Passivität sogar so weit, daß die drei Nischen einfach in die Ostmauer gehöhlt sind, die den Formimpuls nicht einmal bis auf die Außenseite weiter-

\*) Um die Basis des Anschauungsmaterials etwas zu verbreitern, wird auf folgende Bände der Hoffmannschen „Bauformenbibliothek“ verwiesen: Baum, „Romanische Baukunst und Skulptur in Frankreich“, 1910 (die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf die zweite Auflage 1928); Ricci, „Romanische Baukunst in Italien“, 1928; Gall, „Die gotische Baukunst in Frankreich und Deutschland“ (Verlag Klinkhardt u. Biermann 1925); Dehio, „Geschichte der deutschen Kunst“ (Verlag W. de Gruyter 1925).



Abb. 1. Corzonesco (Tessin), Kapelle St. Remigio.

leitet. Auch hier wird das Sakrarium durch Bemalung der umhüllenden Raumbaut, der Wandoberfläche, ausgezeichnet, nicht aber durch Gliederung der Mauer selber, durch Ausscheidung von Architekturformen.

Was hier an zufälligen Kleinkirchen der „karolingischen“ und „lombardischen“ Stufe entwickelt wurde, gilt für den ganzen lombardischen Stil im Großen, und auch da, wo der Bruchstein — oder der Backstein in der Poebene — später dem Quader Platz macht, kommt man von dem vorhin skizzierten Materiengedühl nicht mehr los. Auch wo reichere plastische Gliederung auftritt, scheint sie wie von außen angetragen, als dünne, nur graphisch gemeinte Dekoration, nicht als Artikulierung der Mauermaterie selber, und der stumpfe Ansatz der Apsiden an den Rechteckkernen bleibt unbestimmt wie an den früheren Beispielen Abb. 1, 3, 6 (vergleiche Abb. 2, ferner Ricci 46, 124, 168, 169, 202, 207 usw.).

Die skizzierten Stileigentümlichkeiten sind nicht auf Oberitalien beschränkt. Vielmehr bildet Katalonien ein geschlossenes Gebiet gleicher Haltung (Abb. 28, 29), in Burgund treten „lombardische“ Bauten zahlreich auf (Abb. 19, 38), und die engen Beziehungen des deutschen romanischen Stils zum lombardischen sind ja bekannt. Die durchaus wahrscheinliche unmittelbare Formübertragung durch wandernde Bauleute ist das wenigst Wichtige, entscheidend ist die Uebereinstimmung des Stilgedühls: man ließ lombardische Werkleute dorthin kommen, wo man das, was sie bauten, selbst für richtig hielt. Der Weg nach Westfrankreich wäre auch nicht beschwerlicher gewesen, hier aber liegt eine Zone von entscheidend anderer Stilhaltung. Wir wollen sie die „westromanische“ Zone nennen, im Gegensatz zur „ostromanischen“, in der wir alle lombardischen und damit verwandten Schulen sammeln.



Abb. 2. Mesocco (Graubünden), Sta. Maria del Castello.

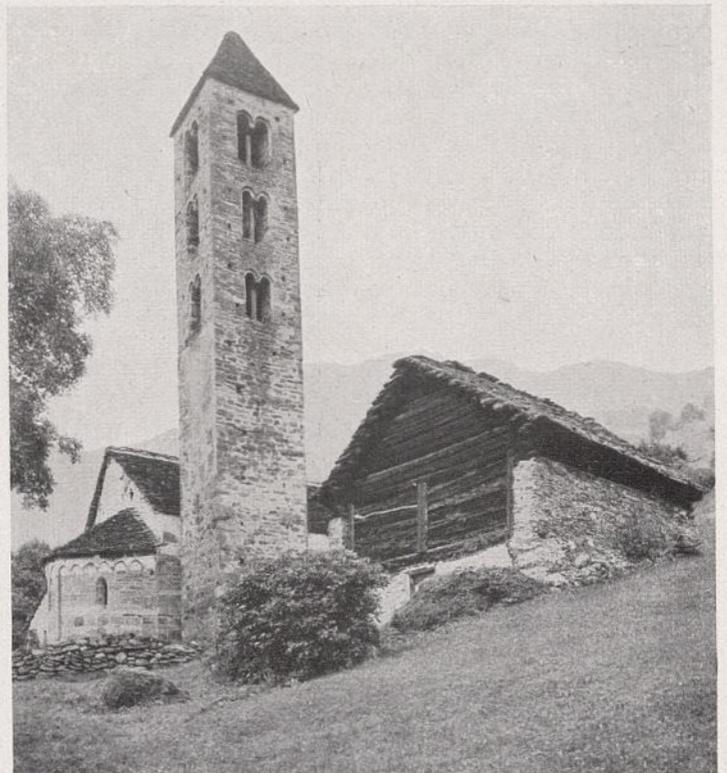


Abb. 5. Prusiasco (Tessin), St. Carlo.

Zu Abb. 2 (Mesocco, Sta. Maria del Castello): Typische lombardische Landkirche, ganz undifferenzierter profaner Baukörper, großer Christophorus an der Fassade, gemalte Eckquadern, Turm mit Oberflächenrelief.



Abb. 4. Mesocco (Graubünden), Sta. Maria del Castello. Innerös.

Teppichartige Bemalung (links) ohne Bezug zur Wandstruktur, Chor barock verändert, doch haben viele im Barock neu gebaute Landkirchen Oberitaliens den gleichen Tonfall.

### III.

Abb. 8 zeigt zwei typische Grundrisse einschiffiger Kleinkirchen aus den Atlantischen Provinzen: Schmal und lang, der Raum energisch nach dem Chor gerichtet; es fehlt die behäbige, etwas nach der Breite zerfließende, wohnstubenartige Ruhe der ostromanischen einschiffigen Kleinkirchen. Die Apsis ist dem Langhaus nicht als besondere Nische angeschoben, sondern in ganzer Breite unmittelbar aus diesem entwickelt, und nur durch intensivere Gliederung der Mauern und Gewölbe vor ihm ausgezeichnet. Desgleichen besteht zwischen der inneren und äußeren Gliederung nur ein Unterschied der Ausführlichkeit, nicht

der Art: die Fenster sind innen wie außen von den gleichen Säulchenblenden umgeben, säulenartige Runddienste können innen, aber auch als Unterteilung der Apsis außen auftreten (Clussais) und diese Unterteilung hat sichtlich den Zweck, das Chorrund zu skandieren und rythmisch ans Langhaus zu binden: die Teilung des Langhauses ist um die Rundung weitergeführt.

Abb. 15 zeigt den Charakter solcher einschiffiger Langhäuser: von einer Wand im Sinne flächenhafter Raumbegrenzung ist kaum mehr zu reden, die Mauer ist vielmehr in einer Weise körperlich durchorganisiert, die für teppichartige Flächendekoration vom Typus Abb. 4 keinen Raum läßt; und selbst durch das Tonnengewölbe

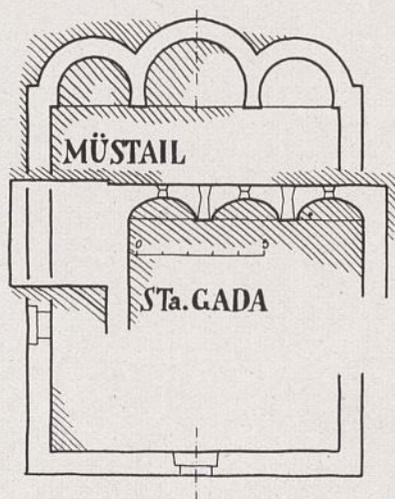


Abb. 5. Grundrisse zu Abb. 6 und 7.

Zu Abb. 5 u. 6 (Müstail bei Tiefencastel): Karolingisch, ursprünglich Dadreiter ähnlich Abb. 1 über dem Ostgiebel, in Resten sichtbar; Turm später, First etwas erhöht. Besterhaltenes Beispiel einer Gruppe, deren stattlichster Vertreter das innen spätgotisch verbaute St. Johann zu Münster (Graubünden) ist. Durchaus „ostromanisch“, diffuser Raum, undifferenzierte, passiv angeschobene Conchen, die sich in keiner Weise mit dem Langhauskubus auseinandersetzen. Dieser stumpfe Conchenanschluß im ganzen ostromanischen Gebiet bis ins XIII. Jahrhundert üblich, z. B. Ricci 46, 124, 168, 169, 202, 207 usw., Dehio I 168, 203, 209—212 usw.



Abb. 6. Müstail bei Tiefencastel (Graubünden).



Abb. 7. Disentis (Graubünden), Kapelle Sta. Gada.

*Aeusserste Reduktionsform des Typus Müstail. Versacken der Conchen in der formtrügen Mauermaterie, die ehemaligen Fenster in den Conchen vermauert, dafür neuere Oculi, Bemalung XV. Jahrhundert.*

ist die Gliederung in Form energischer Gurten weitergeführt, die den Formakzent tragen, und ihn der glatten Wölbungsfläche entziehen. Die kräftigen, unverjüngt aufsteigenden Halbsäulen tragen über ihren Kapitälern einen Kämpfer, der auch als Tonnenkämpfer über das Feld läuft, eine Maßnahme, die der Säule ihre Eigenexistenz nimmt und sie nachdrücklich an die Mauer bindet: sie erscheint als Funktion der Mauermaterie, als ihre Individualisierung, nicht als ein in ihr nur vorgeblendetes Glied.

Ein besonders schönes Beispiel homogener Materien-Gliederung bietet St. Hilaire zu Melle (Abb. 9, 10, 11, 12). Statt wuchtiger Halbsäulen hat man hier Gruppen von schlanken kaum mehr säulenhaften Rundgliedern gewählt, die fühlbar gotischen Diensten verwandt sind, und besonders die obere Endigung der Dienstpaare in der Fassade zeigt, daß sogar die begriffliche Formulierung in Basis, Schaft und Kapitäl nicht mehr ein unverletzliches Schema bedeutet; denn diese Dienste enden in konischen Spitzen und Knäufen, ohne jede statische Funktion. Auch die auf Abb. 12 erkennbaren Mitteldienste zwischen je zwei Seitenschiffgurten enden ohne Kapitäl mit bloßem Abakus und konischem Aufsatz: ein Beleg, daß es dabei nicht auf irgendeine tragende Funktion, sondern auf die Gliederung der Mauermaterie ankam (siehe auch Baum 52 [55]).

Innerhalb der westromanischen Gruppe gibt es verschiedene Nuancen, von denen nur noch als Vertreter einer in vielen Einzelheiten altertümlichen Bautengruppe das Chorfragment von Saint-Genou (Indre) gezeigt sei (Abb. 14, 15, 16). Auch hier diese völlig homogene Durchorganisation der Mauermaterie gegen Innen wie Außen, und ein ganz ungewöhnlicher Gliederungsreichtum, der freilich neben der reifen Abgeklärtheit von Abb. 11 archaisch-unbeholfen wirkt. Gerade neben diesem Beispiel, an dem Säulchen verschiedener Größe und Streckung etwas unorganisch nebeneinandergestellt erscheinen, zeigt sich die Einheit des Gliederungsmaßstabes an den Bauten des atlantischen Kerngebiets im rechten Licht. Der Tonfall von Abb. 15 ist schwer und wuchtig, der von Abb. 12, 17, 18 elegant; in allen diesen Fällen gehören aber Rundglieder, Abtreppungen, Gurten der gleichen Größenordnung an, die für das ganze Gebäude genau eingehalten wird. Dieser einheitliche Gliederungsmaßstab ist von der absoluten Größe des Gebäudes unabhängig; ist eine Kirche doppelt so groß wie eine andere, so sind deshalb ihre Säulchen nicht doppelt so stark, sondern man vervielfacht die Gliederung, man bildet Bündel von „Diensten“, wie in Abb. 10, 12, 17. Diese Dienste, die Säulchen der Sockelblenden, Fenster, Portale, sowie die Rechteck-Abtreppungen haben feste, nur in geringen Grenzen

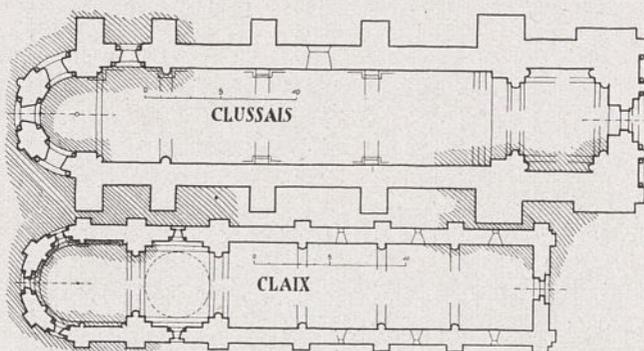


Abb. 8. Grundrisse der Kirchen in Clussais und Claix.

Weitere Beispiele entwickelter Gliederung zahlreich bei Baum, herbsparsame Gliederung s. 51, 56, 57, 77 (44, 26, 27, 95), sehr reiche Gliederung s. 18, 19 (52, 54), beide um 1150, ferner 22, 25, 111, 197, 204 (55, 51, 41, 151, 147, 148).

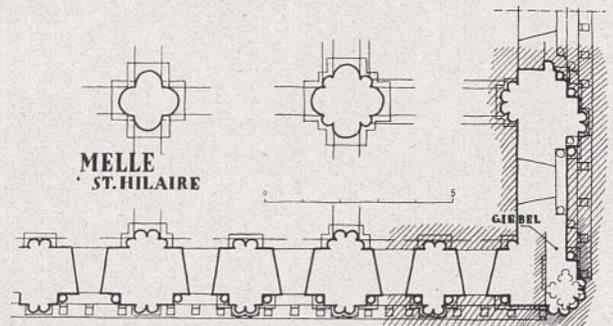


Abb. 9. Melle (Deux-Sèvres), St. Hilaire im Tal.

Zu Abb. 9, 10, 11 und 12 (Melle, St. Hilaire im Tal): Siehe auch Baum, 54 (28). Eines der reifsten und reichsten Beispiele der großen atlantischen Familie dreischiffiger Tonnenhallen. Innen wie außen durchaus in Runddiensten gleichen Maßstabes durchorganisiert. Schöne Kämpferbindung der Flankenfenster bis an die Fassade, mächtiger Plattengiebel.

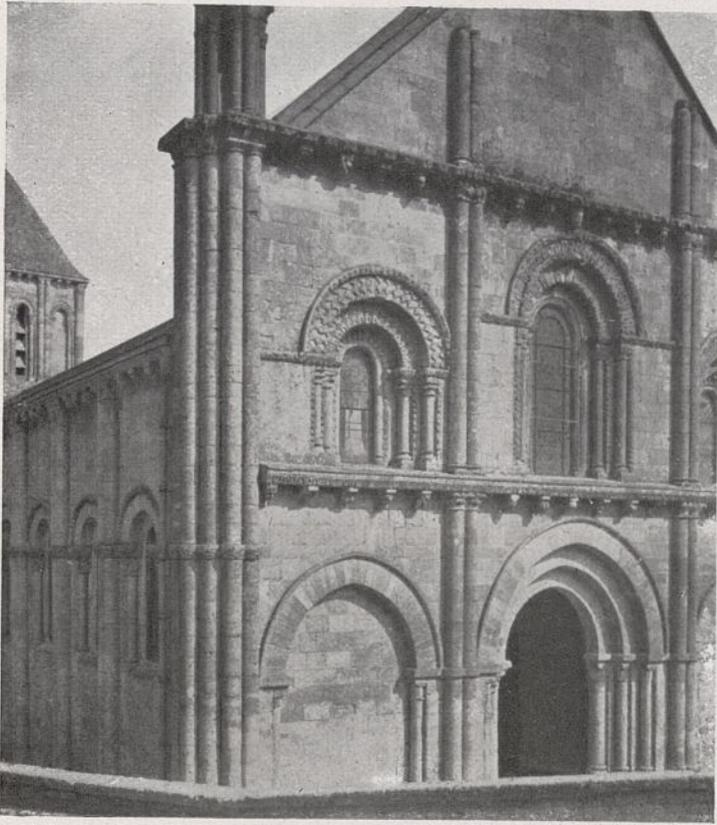


Abb. 10. Melle (Deux-Sèvres), St. Hilaire im Tal.  
Ansicht von Nordwesten.

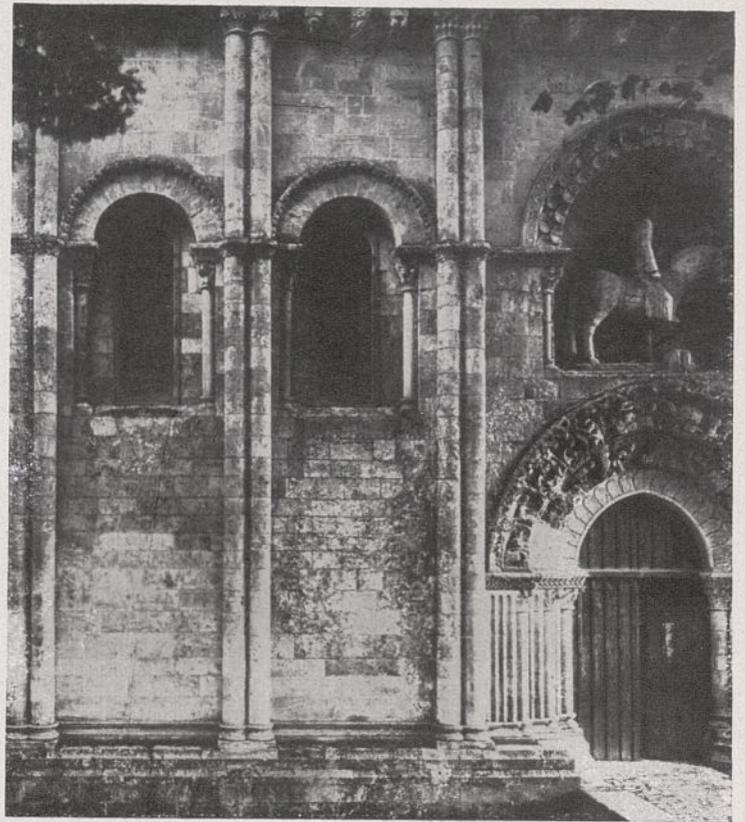


Abb. 11. Melle (Deux-Sèvres), St. Hilaire im Tal.  
Nordansicht.

schwankende absolute Maße<sup>1)</sup>. Wie man die kürzesten Notizen und längsten Romane aus den gleichen Wörtern bildet, so werden diese architektonischen Gliederungen als feste Begriffe gehandhabt: sehr im Gegensatz zum ost-

<sup>1)</sup> Worüber die schöne Monographie „les églises romanes de l'ancien Diocèse d'Angoulême“ von J. George und A. Guérin-Boutand, Paris, 1928, sehr merkwürdige Tabellen aufgestellt hat.

romanischen Stil, wo die Rund- oder Rechteck-Pfeiler immer wie aus der Mauermasse geschnitten sind, groß bei großen, und klein bei kleinen Bauten (Abb. 19); die einzelnen Glieder sind dort nicht begrifflich selbständig geworden. In diesen absoluten Maßen des westromanischen Stils scheint mir ein anthropomorphes Element zu liegen, wenn auch nicht im Sinn der antiken Bindung der Schaftlänge an den Durchmesser und das Intercolumnium. Diese Bindungen sind vielmehr ausdrücklich gelöst, man ver-

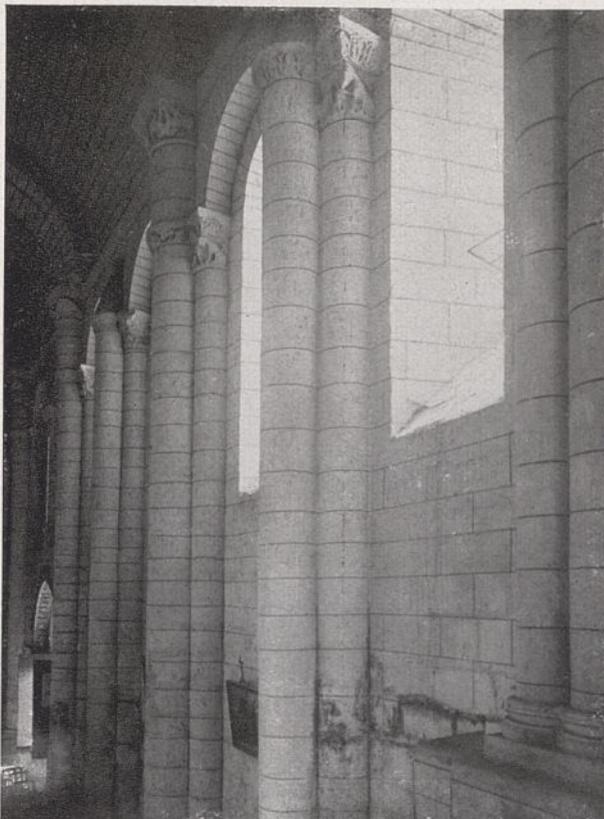


Abb. 12. Melle (Deux-Sèvres), St. Hilaire im Tal.  
Innenansicht.

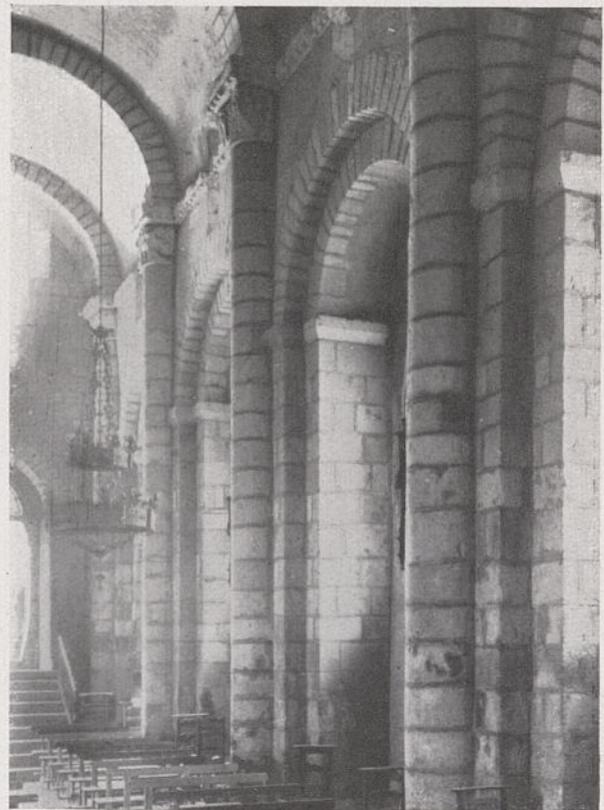


Abb. 13. Courcôme (Charente).  
Innenansicht.



Abb. 14. St. Genou (Indre), Choransicht.

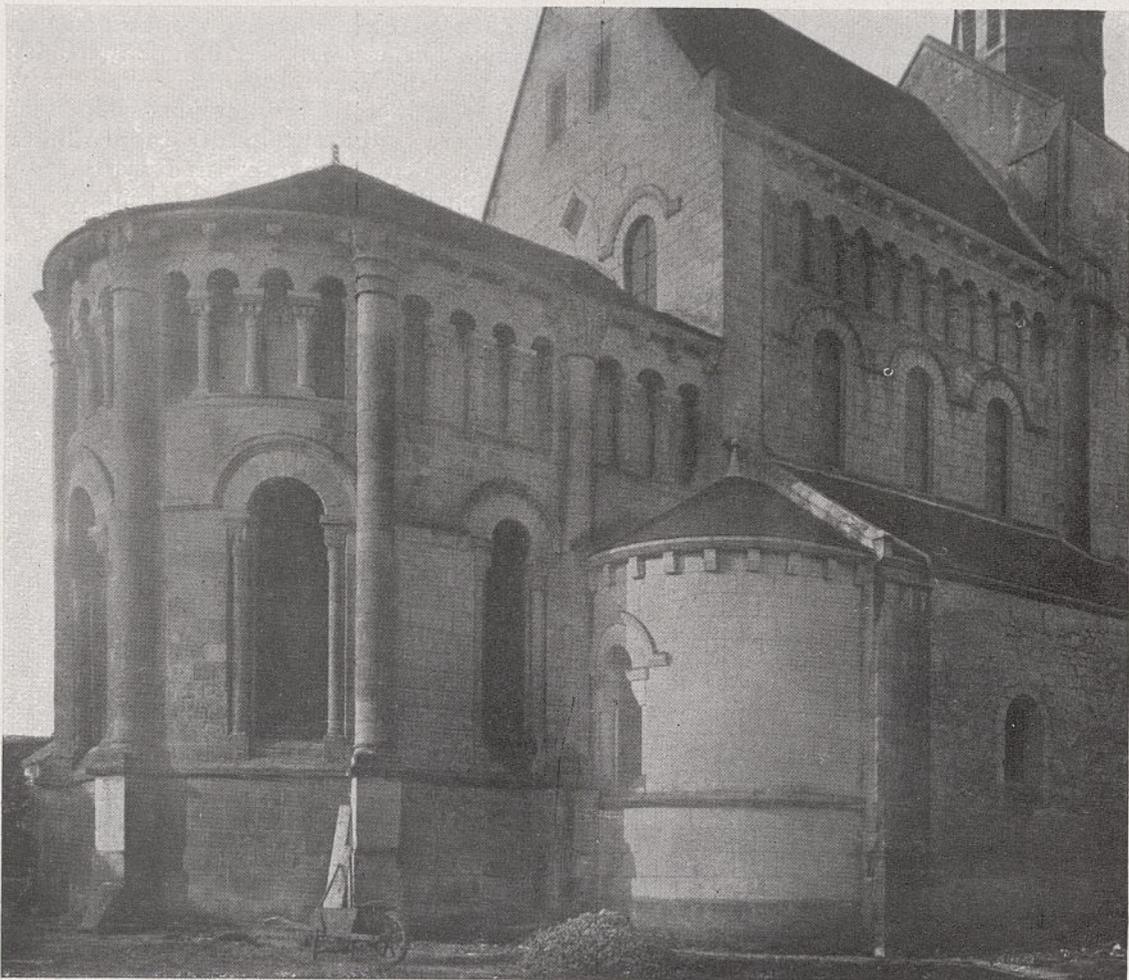


Abb. 15. St. Genou (Indre), Außenansicht des Chores.

Zu Abb. 14, 15 u. 16 (St. Genou): Um 1100, nur Chor und Teile d. Querhauses erhalten, Giebel gotisch erneuert, zu der kleinen Bautenfamilie des Berry gehörig, mit hochaltertümlichen Zügen; vgl. Baum, 164 (120), ferner 161 (118), S. Benoit sur Loire, Cunault. Verwandtschaft mit dem Poitou, Anjou, der Charente; sehr große Gliederungsfreude, doch vollzieht sich diese konsequente Artikulierung ganz in der Mauer, die Gewölbe sind schalenhaft ungliedert, die Rundglieder der Flanken noch stark an das antike Säulenschema gebunden, die des Chores stangenhafter, den „Diensten“ von Abb. 19 verwandt.

zichtet grundsätzlich auf Schaftswellung und -verjüngung, und hierin liegt ein weiterer Beleg der größeren Bewußtheit des westromanischen Stils gegenüber dem ostromanischen, der unsicher an diesen Einzelsymptomen anthropomorpher Innervierung festhält, ohne diese Innervierung auch nur zu wollen.

Daß in dieser westromanischen Einheit des Gliederungsmaßstabes eine der wichtigsten Wurzeln der Gotik liegt, kann hier nur gestreift werden. Vielleicht verdankt die Kreuzrippe ihr Dasein viel mehr dem Bestreben, körperliche Gliederungen nach Art der Wandgliederung auch durch das Gewölbe zu führen (Abb. 17, 18), als den bautechnischen Vorteilen, mit denen der Materialismus des neunzehnten Jahrhunderts ihr Auftreten zu begründen suchte.

Schon die einschiffigen Kirchen (Abb. 8, ferner 17, 18) sind schöne Zeugnisse dafür, daß der Reichtum oder das Fehlen von architektonischen Gliederungen mit technischen Rücksichten nichts zu tun hat. Die Gliederungen treten hier gehäuft im Chor auf, um den Altar, das eigentliche Sacrarium, vor dem bloßen Versammlungsraum auszuzeichnen. Sie sind Maßnahmen ästhetischer Art, und der Unterschied zu den lombardischen Bauten liegt darin, daß diese Auszeichnung nicht durch einen Dekor an Malerei, an Teppichen, Mosaiken, Inkrustationen — oder doch nicht in erster Linie durch solchen Dekor der Maueroberfläche bewirkt wird, sondern durch intensivere Gliederung der Mauer materie selber.

Noch deutlicher wird diese Besonderheit durch die Vergleichung mit byzantinischen Kirchen (Abb. 20 und 21). Dort ist die Mauer materie als ästhetischer Faktor überhaupt nicht in Rechnung gestellt; konstruktiv ist sie natürlich unumgänglich, ästhetisch wird sie verleugnet, sie bildet die passive Unterlage für die gänzlich immateriellen Mosaiken, Inkrustationen, Fresken, die gar nicht als Ausblühungen der Mauer wirken, sondern umgekehrt als Ausstrahlungen des heiligen Raumes, die sich auf den Hohlspiegeln der Gewölbe wie Eisblumen niederschlagen.

Zusammenfassend: Die westromanischen Bauten, als die einzigen ihres Zeitquerschnittes, nehmen die Mauer materie als solche ernst, sie setzen sich in ihren Gliederungen mit dem Mauerkörper dialektisch auseinander, und halten also die Materie im Gegensatz zu den Byzantinern für tauglich und würdig am Gesamteindruck teilzunehmen. Die Mauer wird nicht durch Verleugnung ihres Materien-Charakters veredelt, sondern durch Artikulierung, die eine begriffliche Verarbeitung und also Spiritualisierung bedeutet. Soll nun der ostromanischen Architektur ihr geometrischer Ort zwischen den Polen byzantinischer Materien-Verneinung und westromanischer Materien-Verarbeitung zugewiesen werden, so ist kein Zweifel, daß er dem byzantinischen Pol näher liegt. Denn auch die ostromanischen Bauten verzichten darauf, ihre Mauer materie in Gliederungen ästhetisch durchzuorganisieren. Noch in den Bauten der oberitalienischen Frührenaissance ist diese immaterielle Dünne, diese Unsicherheit der Ponderierung, ein Schwanken im Verhältnis des wie von außen angetragenen Dekors zum eigentlichen Mauerkörper sehr fühlbar, noch die spätromanischen Bauten des XIII. Jahrhunderts am Rhein haben Mauern, die genau so unartikuliert und unbestimmt in ihrer Dicke, Schwere, Spröde und Struktur sind wie unsere ersten Beispiele. Einzelne Motive westromanischer Gliederung werden zwar übernommen, aber typischerweise aus ihrem Zusammenhang gelöst. So weisen St. Aposteln, St. Kunibert, St. Maria im Kapitol zu Köln oder Heisterbach an ihren Apsiden normannische Doppelschalen-Struktur auf, aber sozusagen ins Byzantinische aufgelöst (Dehio I 87, 88, 95), und was im Uebrigen den Reichtum dieser Bauten ausmacht, ist neben der byzantinisch-reichen Raumentfaltung die ins Raffinierte und Massenhafte getriebene Oberflächendekoration,

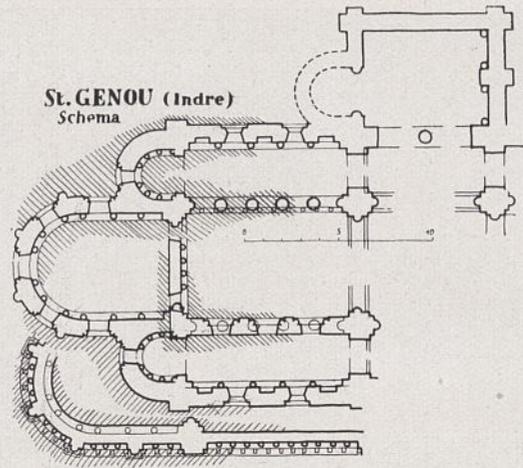


Abb. 16. St. Genou (Indre), Grundrisse.

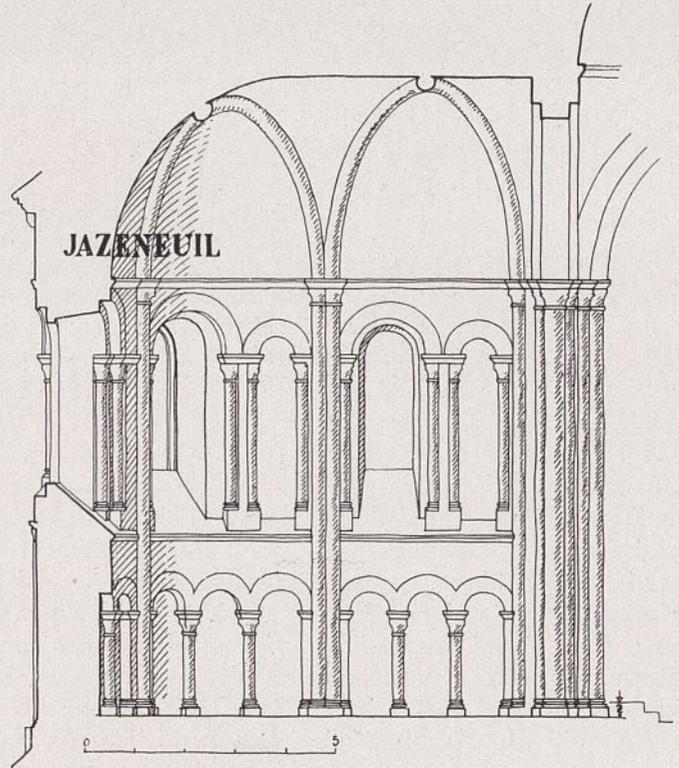


Abb. 17. Jazeneuil, Schnitt durch den Chor.

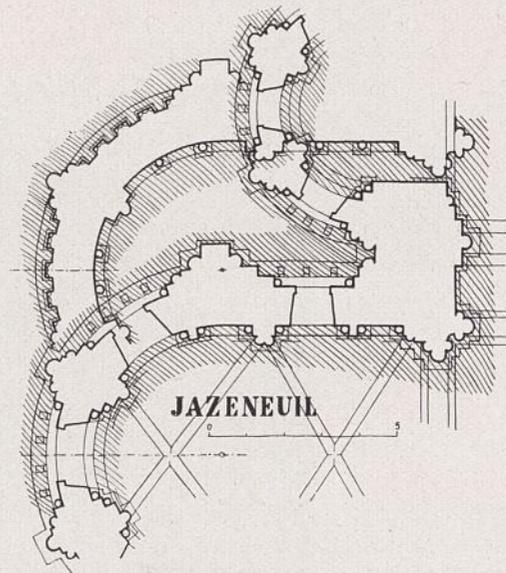


Abb. 18. Jazeneuil, Grundriß der Chorapsiden.

Zu Abb. 17, 18 (Jazeneuil Vienne): Chor 1164 vollendet. Baum 26 (194); neben dem benachbarten Lusignan reichstes Beispiel der Spätstufe des Poitou, absolute Einheit des Maßstabes, Vervielfachung der Gliederung wie Abb. 9—12 und Weiterleitung der Mauerartikulierung durch das Gewölbe in Form dicker Rippen.



Abb. 19. St. Lupicin (Jura).



Abb. 20. Mistra (Griechenland), Klosterkirche Pantánassa

Zu Abb. 19, 20 (St. Lupicin; Mistra, Klosterkirche Pantánassa): Abb. 19 ostromanischer Binnenraum der burgundischen Gruppe, zu vergleichen mit Abb. 20. in beiden Fällen „Gliederungsträgheit“; die Mauer scheidet keine besonderen Glieder für die einzelnen Gewölbeteile aus, die Tonnen und Kugelschalen ergießen sich ohne Stirngurten ins Hauptgewölbe und wachsen ohne Kämpfergesims aus der Wand; die Fenster sind gar nicht oder nur „graphisch“ seicht abgetreppt. In Abb. 20 alle Wände mit Fresken überzogen, zu vergleichen mit den teppichartigen Fresken in Abb. 4.

die ihren flächig-graphischen, also vergleichsweise „lombardischen“ Charakter unverändert bewahrt. Diese Dekoration spielt über die Mauer hin, ohne je den Versuch zu machen, in sie einzudringen und sie ernstlich zu gliedern; und auch an vergleichsweise stark artikulierten Bauten wie dem Bonner Münster oder gar am Dom zu Limburg (Dehio I 154) zeigen plötzliche Inkonssequenzen, daß es nicht die Mauermauer ist, deren Gliederungsbeurteilung diese Formen ausgeschieden hat, sondern daß sie der indolenten Mauer gleichsam vorgeblendet wurden.

Und wo man im ostromanischen Gebiet auf eigene Faust ausführlicher gliedert, im deutschen „Uebergangstil“ beispielweise in Kobern oder bei der Ramersdorfer Kapelle, in Maulbronn, außen an den Apsiden der Neuwerk-Kirche zu Paderborn oder am Ostchor von Bamberg (Dehio I 155, 202, 225, 225) oder an den Domen von Modena (Ricci 61, 62), Ferrara (Flanke), Borgo San Donnino (Chor), da muß man sich mit dem reichen Gesamteffekt begnügen, ohne die Gelenke der Gliederung auf ihre Sauberkeit und logische Festigkeit näher anzusehen.



Abb. 21. Episkopi bei Tegea (Peloponnes).

#### IV.

Nachdem die Unterschiede zwischen west- und ostromanischem Stil gezeigt sind, ist die Stellung der einzelnen „Schulen“ in den Grenzgebieten kurz zu skizzieren.

Die Lust zu ausführlicher Artikulierung ist in den atlantischen Provinzen des alten Aquitanien am größten; die Berggegenden Mittelfrankreichs sind viel wortkarger, ohne darum weniger konsequent zu sein. Wir lassen die großen Abteikirchen der Auvergne (Baum 67—69, [92, 86, 87] usw.) beiseite, die eine genauere Untersuchung auf östliche Elemente erfordern würden, und nehmen als Beispiel die Kleinkirche von Cogniat im Allier (Abb. 22, 23). Der wenig entwickelte Grundriß hat massenhaft Parallelen im ost- wie westromanischen Gebiet. Das Ganze ist mit lakonischer Einsilbigkeit gegliedert, die einzigen Fenstergliederungen in der Apsis schwimmen im Feld, sind also nicht syntaktisch in die Architektur gebunden. Trotzdem ist über die Innervierung der Mauer kein Zweifel möglich: sie ist nicht ostromanisch-indifferent, sondern nur von strenger Verhaltenheit. Man beachte, wie alle Giebelmauern über die zugehörigen Dächer hinaufgeführt sind (schematische Skizze 23), sie endigen frei, was durch die monstranzhafte Platte im First noch besonders betont wird, die ganze Mauer erscheint als körperliche Platte, in ihrer Dicke ablesbar. Damit ist zugleich so etwas wie ein simultanes Erleben des Innern wie des Außern möglich; die Gewißheit, daß alle Mauern parallelfächige Stein tafeln sind — „Plattenstruktur“ der Mauern wie Abb. 10, 24 —, bestätigt die genaue Uebereinstimmung des Raumkörpers mit dem Baukörper. Alle Formimpulse des Innern werden elastisch nach Außen weitergegeben, es gibt keine Höhlungen, die in dem dumpfen Mauerkörper versenkt sind, ohne daß außen etwas davon zu sehen wäre, wie bei Abb. 5, 7. Dieser Formbereitschaft der Mauer- materie entspricht auch die knappe, doch äußerst folgerichtige Gliederung des Innern, wo alle Abtreppungen das gleiche Maß haben, das so groß ist, daß sie nur als Gliederungen des Mauerkörpers selber, nicht als bloßes Oberflächenrelief abgelesen werden können: man muß nur die Blendbogen des Innern mit den seichten lombardischen und pisanischen Lisenenblenden vergleichen (Ricci, massenhaft!), um den Unterschied zu spüren. Trotz der viel größeren Zurückhaltung ist also die Materienauffassung grundsätzlich die gleiche in der Auvergne wie an der atlantischen Küste, und die Zone dieser äußerst sparsamen, aber streng korrekten Gliederung legt sich im Bogen um das aquitanische Tiefland vom Cantal bis ins Poitou. Sie hat ihren Schwerpunkt im Limousin, wo die großen Abteikirchen Le Dorat (Baum [13], Bénévent, St. Junien usw.) ein Aeußerstes an gepanzerter Strenge und dunkler, weit- ausholender Erhabenheit bedeuten. Ihrem Raumthema nach gehören diese Bauten zur Schule des Poitou, es sind Dreitonnenhallen mit gangartig schmalen Seitenschiffen und sehr weitgespannten schwachspitzen Arkaden — also etwas ganz anderes als die basilikalischen auvergnatischen Emporenkirchen mit ihren engen Pfeilerstellungen und komplizierten Raum-Durchdringungen. Gemeinsam aber ist beiden die Tonart, in dem sie ihre verschiedenen Themen vortragen, und man darf das gewiß mit dem schwereren Charakter aller Bergbevölkerungen in Verbindung sehen, der sich ja auch linguistisch überall ähnlich ausdrückt, im deutschen, französischen, italienischen Sprachmaterial.

Daß gerade das Hochland der Auvergne einen wichtigen Knotenpunkt ausmacht, von dem die Beziehungen ins Poitou, nach Burgund und nach der Provence laufen, kann hier nicht dargelegt werden. Oestlich dieser Berge herrscht aber ein fühlbar anderes Form-Klima.

An Knappheit der Formulierung unserem Beispiel Cogniat verwandt sind die Bauten der Rhonemündung Abb. 25, 26, 27, 30, 31. (Baum 10 [XI 9, XII 10, XIII 12, 7, 24, 78, 185]). Die Provence teilt mit dem Südwesten die Vorliebe für einschiffige Räume. Abb. 50, 51 geben besonders typische Grundrisse (nach Révoil). Rundglieder

fehlen meistens ganz. Aber nirgends wird die Mauer als körperliche Tafel, als Platte charakterisiert, man zieht die Giebel nicht über den First empor; das ganz in Steinplatten gedeckte Dach gibt dem Ganzen vielmehr etwas Hausartiges, verwandt unseren — viel primitiveren — ostromanischen Beispielen Abb. 1, 2, 3. An Ostromanisches erinnert auch die Vorliebe für einfache, eher kurze Baukörper, und das gehäufte Auftreten von Hohlräumen, die in den Mauerkörper versenkt, oder innen rund und außen als Körper polygonal sind: also Nicht-Uebereinstimmung vom Typus unseres primitiven Beispiels Abb. 11 n. 2.

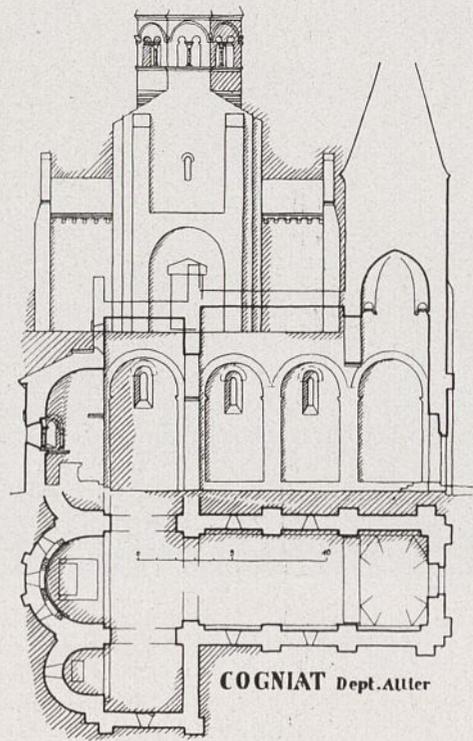


Abb. 22. Cogniat (Allier), Grundriß.

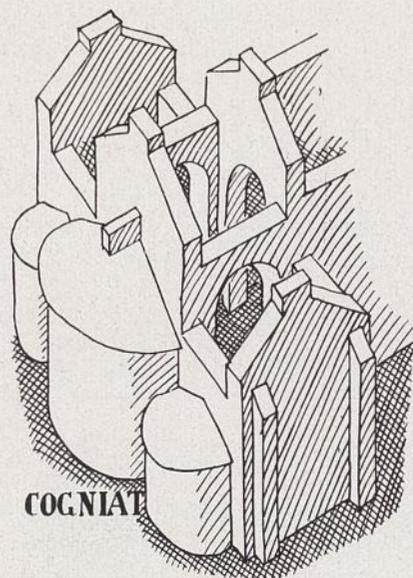


Abb. 23. Cogniat (Allier), schematische Skizze.

Die Mauer- materie ist nicht plattenhaft empfunden wie im Westromanischen, aber auch nicht als amorphe, dumpfe, indolente Masse, wie im Ostromanischen, sondern kristallhaft kompakt, hart, klingend, und die Neigung zum Konzisen geht bis ins einzelne (Abb. 35). Man liebt seltsame Kontraktionsformen des Konsolgesimses, bei denen die Konsolen mit der Deckplatte verwachsen; auch sonst wird antikes Formmaterial, das ja in der Provence auch heute noch in reicher Auswahl vorhanden ist, mit größter Genauigkeit übernommen — aber ohne die struk- tive Logik seiner Syntax. Die Konsole der genannten Ge-

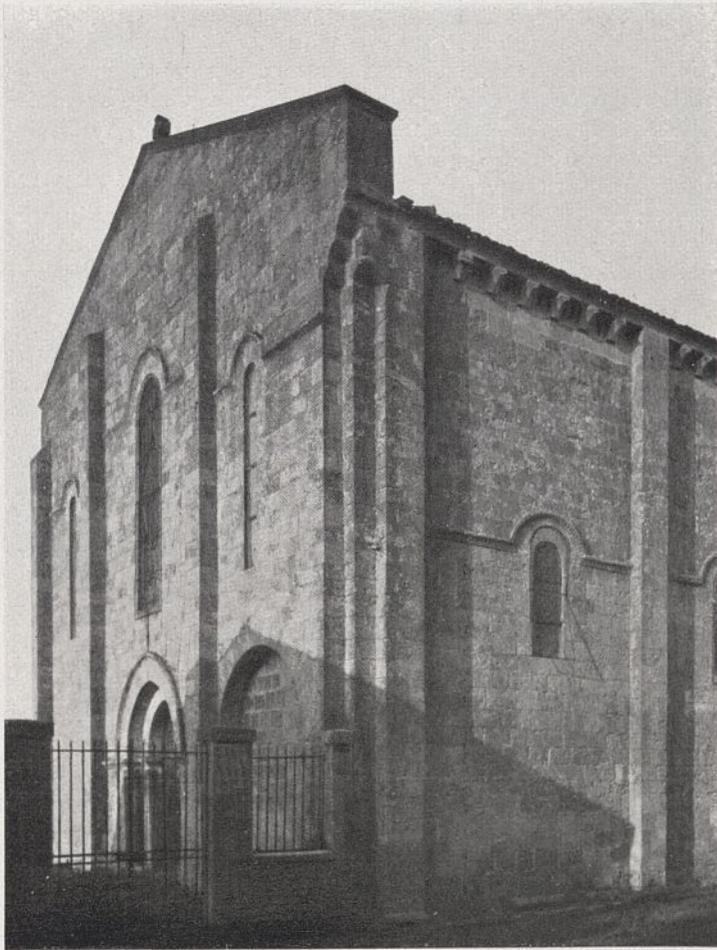


Abb. 24. Melle (Deux-Sèvres), St. Pierre.

Zu Abb. 24 (Melle, St. Pierre in der oberen Stadt): Einfacheres Beispiel der gleichen Gruppe, wie Abb. 8 außen ohne Runddienste und Fensterblenden, Plattengiebel mit sauber artikuliertem Anschluß der Konsolgesimse und Streben. Weitere Plattengiebel siehe Baum, einfache: 70, 65 (88, 83, 86), mit Diensten: 56, 57, 49 (52, 50, 45), der Giebel 49 (45) gotisch überhöht.

Zu Abb. 25 (Arles, St. Trophime): Wortkarge, doch sehr energische und konsequente, typisch-provenzalische Rechteckgliederung, auch durch die Tönne geführt. Chor gotisch erneuert.



Abb. 25. Arles (Bouches du Rhone), St. Trophime.

simse trägt nicht die Platte, sondern verwächst mit ihr, oder man gibt ein vollständiges Gebälk — unter Auslassung des Architravs —, z. B. am Kuppelprisma von Avignon (Abb. 55), wodurch dann alle Einzelglieder plötzlich auf den Mauerkern bezogen scheinen, statt aufeinander. Man konfrontiert reich entwickelte Portale (Abb. 57) mit kahlen Baukuben, und in alledem liegt ein bewußtes Raffinement, ein Spielen mit dem Kontrast zwischen Reichtum und herber Verslossenheit, verwandt dem Streben der provenzalischen Trobadors, mit einem Minimum an Wörtern ein

Maximum an Beziehung auszudrücken, auf deren verschlossenen Sinn man dann noch besonders stolz ist: „Chantar ab motz serratz e clus“ (wörtlich: Singen mit Worten gedrängt und verschlossen) will Peire d'Auvergne.

Nie und nirgends sind krystallhaftere Baukörper entstanden als etwa Montmajour, St. Gabriel, oder die besonders typischen präziös-exakten Kapellen wie Beaucaire, Mollèges, die Brückenskapelle St. Bénézet oder Abb. 26.



Abb. 26. Fort St. André, Villeneuve-les-Avignons.



Abb. 27. Montmajour bei Arles.



Abb. 28. Casteil (Pyrénées orientales), St. Martin de Canigou.

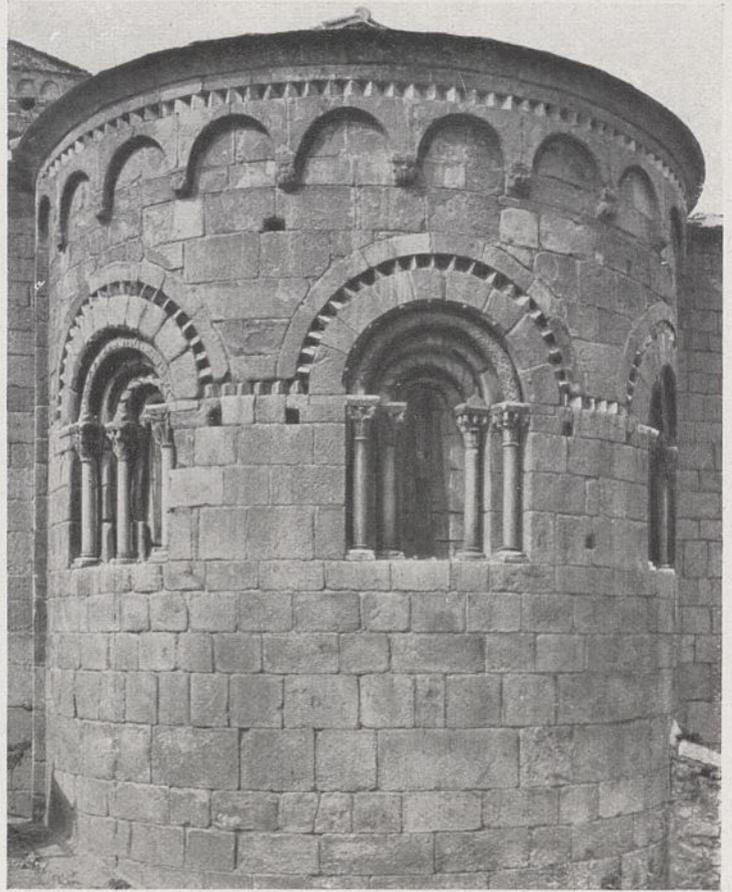


Abb. 29. Corneilha de Conflent (Pyrénées orientales).

Zu Abb. 28. (Casteil, St. Martin de Canigou): In den Ostpyrenäen, zur katalonischen Provinz des ostromanischen Stils gehörig; „graphische“ Oberflächenreliefierung, stumpfer Anschluß der Apsiden, vgl. Abb. 6, 21, 52, 54.

Zu Abb. 29. (Corneilha de Conflent): Katalonisch, am Südrand, Abb. 50 am Nordrand des provenzalischen Stilgebiets, beides Verfestigungsformen des ostromanischen Stils, Uebersetzungen des Bruchstein- und Backsteinapparats in Haustein mit stärkeker Durchorganisation der Materie.

Alle diese Bauten stammen aus dem XII. Jahrhundert. Aelteres ist kaum erhalten, doch scheint es sicher, daß das ganze Gebiet ursprünglich zur ostromanischen Zone gehört hat, wie es auch sprachlich mit Katalonien und Piemont zusammengeht. Im Osten, aber auch im Süden grenzt die Provence an geschlossene, ostromanische Gebiete. Abb. 28, zur katalonischen Familie gehörig, wie auch Abb. 29, zeigt typisch „lombardische“ Formensprache, in Haustein übersetzt, und Bourg St. Andéol und Cruas (Abb. 52), beide im Ardèche am rechten Rhoneufer, also nördlich der eigentlichen Provence, stellen ebenfalls solche sozusagen Versteinerungen des lombardischen Typus dar, Baukörper, deren indifferente Materie sich unter westromanischem Einfluß zu krystallener Härte verfestigt hat,

ohne die westromanische Gliederungsbereitschaft zu übernehmen.

An das provenzalische Stilgebiet grenzt weiter nordwärts Burgund. Räumlich besonders in seinen frühen Bauten der Auvergne verwandt, steht es durch seine antiken Gliederungen des reifen Stils (Autun, Langres usw.) der Provence nahe. Und hier, besonders in den Departementen Saône-et-Loire und Jura gibt es nun plötzlich wieder ganze Nester rein ostromanischer Bauten, mit Tournus als Zentrum. (Beispiele Abb. 19, 55, 54, Baum 152, [105, 104, 107]). Der catalanische Gelehrte Puig y Cadafalch ist in seinem Buch „Le premier art roman“ (bei Laurens, Paris, 1928) diesen Zusammenhängen neuerdings nachgegangen. Wenn sich der reife Burgundische Stil dann

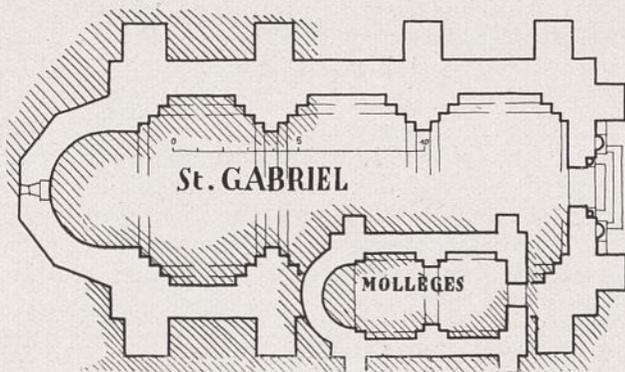


Abb. 50. St. Gabriel, Mollèges in der Provence.

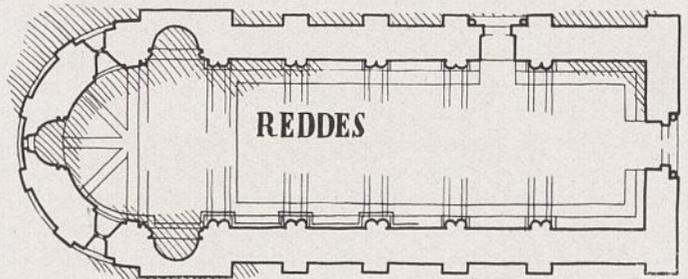


Abb. 51. Reddes in der Provence.

Zu Abb. 50, 51 (Provenzalische Grundrisse): Reddes, Abb. 51 (bei Bédarieux im Hérault), die Konkavischen der Apsis zu vergleichen mit Abb. 5, 6: ein Rest des dumpfen ostromanischen Materiengedächtnisses; verwandt die Konkavischen in rheinisch-romanischen Giebeln (z. B. Dehio I 190, 192, 197) und über oberitalienischen Domportalen (z. B. Ricci 48). Im Westromanischen haben solche Portalnischen selbst dann ebenen, nicht konkaven Hintergrund, wenn sie Plastik aufnehmen, wie Abb. 11 am Rand rechts.



Abb. 52. Cruas (Ardèche).

von diesen primitiven Bauten auch weit abwendet, so bleibt die ostromanische Unterlage doch stets fühlbar. Ostromanisch ist die Vorliebe für Vorkirchen und Westwerke (Tournus, Vézelay und noch in der Gotik), die Neigung zu komplizierten Räumen mit Emporen und das zähe Festhalten an gewissen Inkonsistenzen der Artikulierung. Hierfür ein kleines, aber typisches Beispiel: Burgundische Arkaden- oder Fensterbogen setzen sich mit Vorliebe gegen die glatte Wand mit einer Hohlkehle oder breiten Welle ab, die oft noch mit radialen Palmetten ausgelegt ist. (Abb. 57), vgl. Baum 148, 167, 177, 184 [81, 119, 121, 125, 191]. Durch den Ort seines Auftretens wie durch diese Dekoration ist dieses Profil als Sima gekennzeichnet, als das bekrönende, frei ausstrahlende Glied, das zum architravierten Bogen gehört. Logischerweise müßte dieses ganze Glied aus der Mauerflucht vorstehen, wie es die analogen, meist schmälere Bogenränder der Antike und der provenzalischen Romanik auch wirklich tun. Hier liegt die Inkonsistenz darin, daß dieses Glied in die Mauer versenkt ist, und damit die Abtreppung, also die entscheidende Stelle, an der die Mauerstruktur klargelegt werden müßte, verunklärt. Auch im pisanischen Stil bleibt übrigens immer unklar, ob die Bogenstirnen in der Wandflucht oder einer tieferen Ebene liegen (Ricci 91).

Noch weiter gegen Norden und Nordwesten ist von einer sicheren Stilhaltung überhaupt nicht mehr die Rede; die ost- und westromanischen Strömungen mischen sich, ohne zunächst ein Gleichgewicht zu finden. Schon an der unteren Loire, im Anjou und Maine, gibt es Baukörper von absoluter Formträgheit gegen außen (Abb. 58) — ähnlich passiv das Äußere von St. Martin du Val vor Chartres —, während das Innere westromanisch reich durchgliedert sein kann. Dieser sonderbare Zwiespalt bleibt im Anjou bis in die Gotik offen, wo die raffinierten spinnenzarten Plantagenetgewölbe in Mauerkörper von ostromanischer Indifferenz hineingeheftet scheinen. Ähnlich, doch wieder merklich „westromanischer“ ist die Normandie (Baum 200, 202 [152, 156]), die oft übertrieben klotzige Energie der Innengliederung kontrastiert auch hier manchmal seltsam mit der Dünne des Äußeren, das an St. Nicolas zu Caen, an Cérisy-la-Forêt, an Notre-Dame de Guibray bei Falaise mit seinen unabgetrepten, la-

mellendünnen Eenster einen fast ostromanischen Eindruck macht. Die einheitliche Durchorganisation der Materie wird erst sehr allmählich erreicht, und bedeutet einen Anschluß an den Südwesten.

Oestlich des Rhonetales und der Vogesen beginnt die homogene Zone des ostromanischen Stils, der auf eine Durchgliederung der Materie von vornherein verzichtet — von sporadischen Entlehnungen natürlich abgesehen, die besonders das Bild der italienischen Romanik so unübersichtlich machen. Die Verwandtschaft des ostromanischen mit dem byzantinischen Stil (vgl. Abb. 6, 19, 20, 21, 57), der auch kein Interesse an der Durcharbeitung der Materie hat, erklärt das Vordringen rein byzantinischer Zentralraum-Ideen noch im dreizehnten Jahrhundert bis Köln, während die aquitanischen Kuppelkirchen ihr orientalisches Raumprogramm sogleich in die eigene, körperhaft gliedernde Formensprache umarbeiten<sup>2)</sup>.

In Deutschland wie in Italien herrscht die ostromanische Stilhaltung als Dauerzustand; was an westromanischer oder später gotischer Gliederung übernommen wird, wird ins Ostromanisch-Flächenhafte zurückübersetzt, sofern es nicht bloße Entlehnung bleibt. Nach einer Periode trüber Zwischenformen bringen erst wieder die deutschen Minoritenkirchen reine Lösungen, und sie sind in ihrer gliederungslosen Stille wieder ganz auf den Tonfall romanischer Basiliken gestimmt<sup>3)</sup>.

Eine besondere Begabung Deutschlands für „Spätstile“ ist schon oft festgestellt worden: sie hat ihre Wurzel in der gliederungsfeindlichen ostromanischen Haltung, die jeweils in den Perioden entwerteter Gliederung ihre besten Leistungen zeitigt. Auch zu den klassischen Formen der Renaissance kommt man ja erst in ein näheres Verhältnis, als ihre Geschlossenheit erschüttert, und in der

<sup>2)</sup> Baum 99, 85 [11, 22]; Angoulême 1101—28 und Gensac sind schon ganz durchartikuliert, im Gegensatz zu [15] Cahors (Weihe 1119) und (104, 105 [14, 25]) Périgueux St. Front, die beide byzantinisch-flächig wirken. Beide Phasen am gleichen Bau: Périgueux St. Etienne, Westkuppel erstes Viertel XII, Ost-K. um 1150. Salignac (84 [20]) (Weihe 1145) nimmt eine Mittelstellung ein.

<sup>3)</sup> Hierüber sehr schön Richard Krautheimer: Die Kirchen der Bettelorden in Deutschland. F. J. Marcjan-Verlag, Köln 1925.



Abb. 55. Laize (Saône et Loire).



Abb. 54. La Motte-Fernand (Côte d'Or).

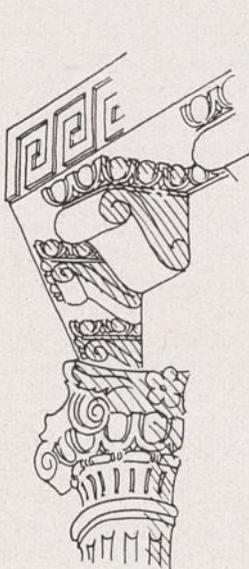
Zu Abb. 54 (La Motte-Fernand): Burgundisch-ostromanisch, „diffuse“, gewichts- und strukturlose Mauermauerie von vollkommener Gliederungsträgheit, bei sehr feiner Massenabwägung im Ganzen, stumpf angeschlossene Apsiden wie Abb. 6, 21, 28.

Richtung auf die Gesamtwirkung aufgeweicht ist, also im Barock, dem typischerweise Frankreich nichts Vergleichbares zur Seite stellen kann, weil es an der begrifflich scharfen Formulierung des Einzelnen festhält.

V.

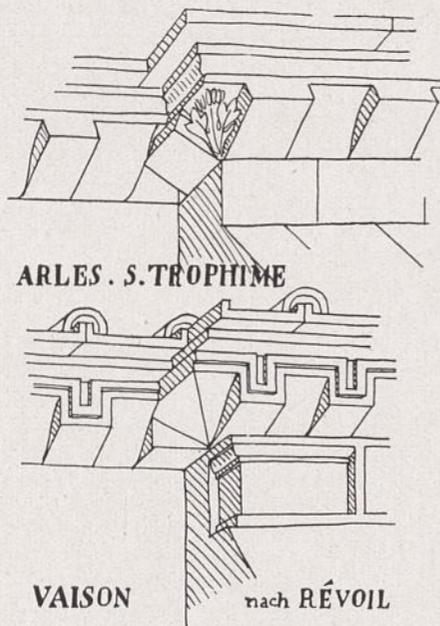
Der Leser, der die Geduld aufbrachte, bis hierher zu folgen, wird zum Schluß wenigstens eine Andeutung über den Platz erwarten, der der Gotik in unserer Uebersicht zukommt. Ihre Anfänge reichen ja in eine Zeit zurück, in der auch die wichtigsten romanischen Schulen sich noch entwickeln, so daß das Nacheinander der romanischen und gotischen Formen erst für das dreizehnte Jahrhundert gilt, während beide im zwölften nebeneinander herlaufen. Die Gotik ist am Rand der ostromanischen Zone entstanden, im Diffusionsbereich westromanischer Gliederung. Mit Befremdung ist gelegentlich festgestellt worden, daß gerade Nordfrankreich bis zur Mitte des XII. einen geradezu zurückgebliebenen Eindruck macht; die stilistische

Haltung ist ganz besonders unsicher, die Ausführung linkisch, das Gesamtniveau fraglos tiefer als im weit reiferen Südfrankreich und im konservativen, aber noch stilsicheren Deutschland. Ostromanisch ist der Baukörper: eine fast kartonhafte Dünne und Gewichtslosigkeit der Mauern ist noch in Notre-Dame zu Paris, zu Mantes und dieser ganzen, von St. Denis abhängigen, sehr zaghaft gliedernden Bautengruppe fühlbar, sobald man sie mit den energisch abgetreppten Mauerkörpern des Südwestens vergleicht (Gall Tafel 54—57, 58, 75, 87—89). Man hält an den ostromanisch gerundeten (statt polygonalen) Chören und Apsiden fest (Gall 21, 47, 49, 75, 85); aber dazu kommt dann die westromanisch-reiche Gliederung, zuerst ersichtlich als Import, doch die Entscheidung fällt in dem Augenblick, als das westromanische Körpergefühl den Baukörper selber zu festigen und zu organisieren beginnt. Westromanisch ist die Gliederungsfreude der Gotik, die Tafelstruktur ihrer Mauern, ihre Vorliebe für Blendgiebel, Wimperge, polygonale Apsiden. Ostromanisch bleibt die



AVIGNON

Abb. 55.

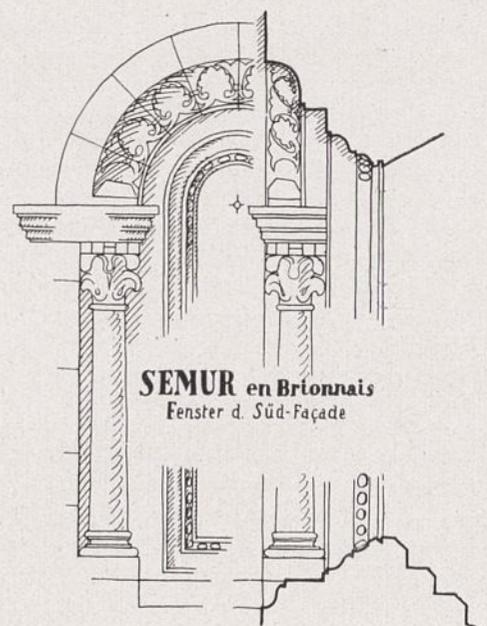


ARLES . S. TROPHIME

VAISON

nach RÉVOIL

Abb. 56.



SEMUR en Brionnais  
Fenster d. Süd-Façade

Abb. 57.

Abb. 55 bis 57. Architektonische Einzelheiten.

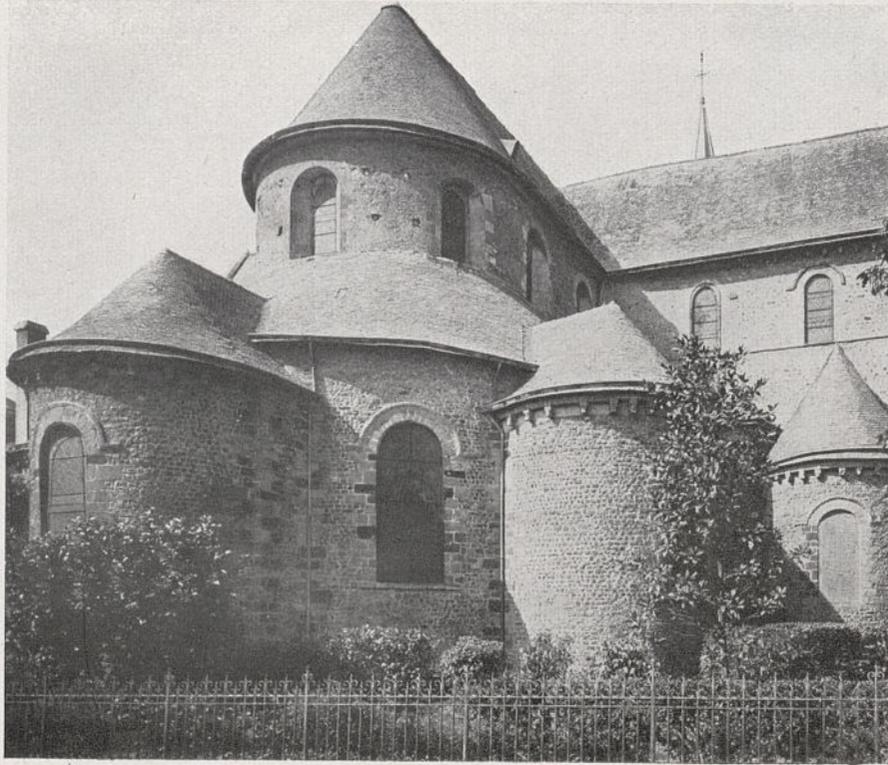


Abb. 58. Le Mans (Sarthe), Notre Dame du Prè.

An Unbestimmtheit des Materiengefühls Abb. 54 verwandt; gliederungslose Mauern, stumpfe Fenster, wie sie auch im Anjou bis in die Gotik üblich bleiben, doch entwickelter Umgangchor, scharfe Absetzung der Kapellenkörper (besonders Mittelkapelle!), Differenzierung der Gesimshöhen. Die Konsolgesimse wohl nicht ursprünglich.

Neigung zur Dünne, zur Entkörperlichung der antikischen Einzelform, mit der sich der westromanische Stil zu intensiv auseinandergesetzt hatte, um selber davon loszukommen. Hier hat das ostromanische Klima der Nordprovinzen auflockernd gewirkt, man hat die Gliederung im einzelnen weniger ernst genommen, und sich damit die Freiheit gewahrt, sie abzuwandeln.

## VI.

Auf den ersten Blick ist es immer verlockend, Stilunterschiede im gleichen Zeitquerschnitt mit dem Rassenunterschied der beteiligten Völker zu erklären; eine kurze Bemerkung sei deshalb angefügt. Die Stilzonen, die sich aus unserer Uebersicht ergeben haben, haften nicht an der Sprache und Blutmischung der Bewohner, eher vielleicht am geographischen Raum. In auffallender Weise sind sie für eine kurze Zeit und lange vor der Entfaltung dieser Stilunterschiede politisch in Erscheinung getreten, nach der Teilung des karolingischen Reiches im Vertrag zu Verdun 845. Das Reich Karls, Neustrien und Aquitanien, ist fast genau das Gebiet des späteren westromanischen Stils, das Reich Ludwigs das des reinen ostromanischen, während das mittlere Reich Lothars von Flandern über Burgund bis zur Provence und Italien reicht, entsprechend den alten Kulturbeziehungen und Handelsstraßen von der Nordsee zum Mittelmeer. In diesem Gebiet haben sich die aus östlichen und westlichen Eigenschaften gemischten Stilkörper entwickelt, die wir skizziert haben.

Eine Unterscheidung zwischen romanischen und germanischen Völkern hat nur in der eigentlichen Sprachwissenschaft Sinn, denn wesentlich romanisch sind in ihrer Denkstruktur alle europäischen Völker. Wo irgend in logischen Begriffen bewußt gedacht wird, ist das Denken durch (vielleicht noch so indirekte) lateinische Erziehung in griechischen Denkformen geschult, und ein Problem der Denkstruktur, der Begriffsbildung, scheint mir auch in den architektonischen Formen zu liegen.

Die präzise Logik der westromanischen Gliederung macht einen vergleichsweise wachen, bewußten Eindruck. Man setzt sich mit der Materie dialektisch auseinander, man faßt sie in begrifflich scharf definierte Einzelheiten, die zueinander in eindeutige, wenn auch darum nicht rationale Beziehung gesetzt werden. Dabei steht diese ganze Gedankenarbeit im Dienst einer irrationalen religiösen Idee und so ist der Vergleich der Westromanik und der aus ihr entstandenen Gotik mit der scholastischen Philosophie nicht so uneben: auch in der Scholastik wird ein im Ganzen irrationaler Ideenkomplex mit einem ungeheuren Aufwand des logischen Begriffsapparates durchgegliedert, durch Differenzierung ins Bewußtsein gehoben und vor dem erwachenden Verstand dialektisch gerechtfertigt. Das diffuse Raumgefühl, die Gliederungsunlust und die Indifferenz der Mauermauerie im Ostromanischen entspricht dagegen mehr der gedämpften, vergleichsweise traumhaften prähistorischen Seelenlage, die in komplexen Vorstellungen meditiert, nicht aber in wachem Bewußtsein mit scharfumrissenen Begriffen in linearen Gedankenreihen denkt. Weshalb diese Welt mystischer Steigerungen, nicht aber historischer „Entwicklungen“ fähig ist, die immer Differenzierungs-Vorgänge nach irgend einer Seite voraussetzen.

### Herkunft der Aufnahmen:

Abb. 1, 5 Archiv für hist. Kunstdenkmäler, Schweiz. Landesmuseum, Zürich; Abb. 2, 4 Fratelli Büchi, Locarno; Abb. 6 H. Meißer, Zürich; Abb. 7 nach A. Gaudy, die kirchl. Baudenkmäler d. Schweiz, Bd. 1, Graubünden; Abb. 15, 19, 35, 54 Archives photographiques d'Art et d'Histoire, Paris (5 bis rue Valois); Abb. 10, 11, 12, 14, 15, 24, 28, 35, 37 Dr. R. Stödtner, Berlin; Abb. 20, 21 Kunsthistorisches Seminar der Univ. Marburg (Prof. R. Hamann); Abb. 25, 26, 27 Postkarten unbekannter Herkunft. Die Grundrisse und Aufrisse Abb. 8, 9, 16, 22, 56 sind Umzeichnungen des Verfassers nach den Plänen in den Archives des Monuments historiques zu Paris; Abb. 50, 51, 55 nach Révoil, l'arch. romane du Midi de la France, Paris 1866—74.

# Der Umbau des Lehrter Stadtbahnhofs in Berlin.

Von Regierungsbaurat a. D. Reichsbahnrat J. Kuhnke, Berlin.

*Die alten Bauwerke.* Die eisernen Ueberbauten, auf denen die vier Gleise der Berliner Stadtbahn, und zwar die beiden Stadt- und die beiden Ferngleise, über die Personengleise des Lehrter Fernbahnhofs und nicht weit ab von diesen über die Zufahrgleise zum Güterbahnhof Spreerfer geführt sind (vgl. Abb. 10), sind in den Jahren 1880 bis 82 aus Schweißeisen hergestellt. Die Ueberbauten über die Zufahrgleise und die Ueberführung des Ferngleises der Richtung Charlottenburg—Schlesischer Bahnhof über die Personengleise des Lehrter Fernbahnhofs sind als eingleisige Ueberbauten ausgebildet. Für die Ueberführungen der beiden Stadtgleise mit dem dazwischenliegenden Bahnsteig des Lehrter Stadtbahnhofs und des Ferngleises der Richtung Schlesischer Bahnhof—Charlottenburg über die Lehrter Personengleise ist s. Zt. eine einzige zusammenhängende Eisenkonstruktion errichtet, die auch die Bahnsteighalle des Lehrter Stadtbahnhofs trägt (Abb. 1). Infolge einer Aenderung der Lehrter Fernbahnhofsanlage wurde der eiserne Ueberbau der Ueberführung des Stadtbahn-Ferngleises Richtung Charlottenburg—Schlesischer Bahnhof im Jahre 1912 gegen einen neuen mit größerer Stützweite ausgewechselt.

Die vier eingleisigen Ueberbauten über die Zufahrgleise zum Güterbahnhof Spreerfer sind seit ihrer Erbauung einmal und die Eisenkonstruktion der Ueberführung der beiden Stadtgleise und des Stadtbahn-Ferngleises Richtung Schlesischer Bahnhof—Charlottenburg bereits dreimal verstärkt worden. Die Verstärkungen wurden durch die starken Abrostungen der Eisenkonstruktionen erforderlich, die durch die Rauchgase der darunter verkehrenden Lokomotiven begünstigt werden. Und besonders ist dies bei der breiten Eisenkonstruktion über die Lehrter Personengleise der Fall, da auf den letztgenannten Gleisen ein sehr reger Zugverkehr herrscht, so daß den eben erst entwichenen Rauchgasen einer ein- oder ausfahrenden Lokomotive gleich neue Rauchgase einer anderen Lokomotive folgen. Teilweise müssen die Lokomotiven der ein- und ausfahrenden Züge sogar unter der breiten Eisenkonstruktion halten. Hölzerne Rauchschutzdecken, die an den Eisenkonstruktionen angebracht wurden, konnten die verheerende Wirkung der Rauchgase nicht beseitigen. — Aber noch ein zweiter Uebelstand stellte sich bei der zusammenhängenden Eisenkonstruktion der drei Stadtbahngleise und des Bahnsteigs im Laufe der

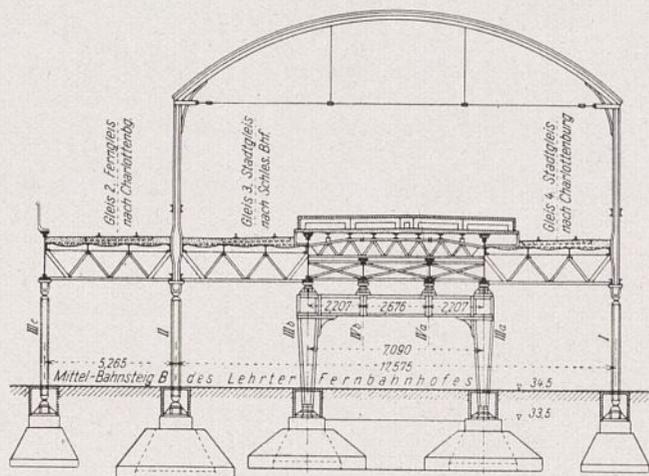


Abb. 1. Querschnitt der alten Eisenkonstruktion über den Lehrter Personengleisen.

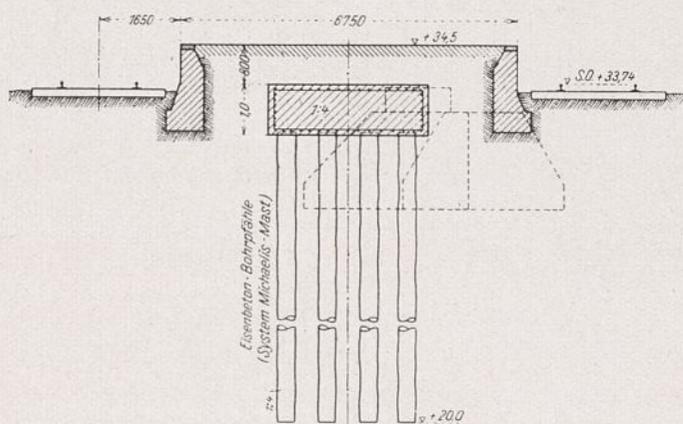


Abb. 2. Schnitt A-A von Abb. 5.

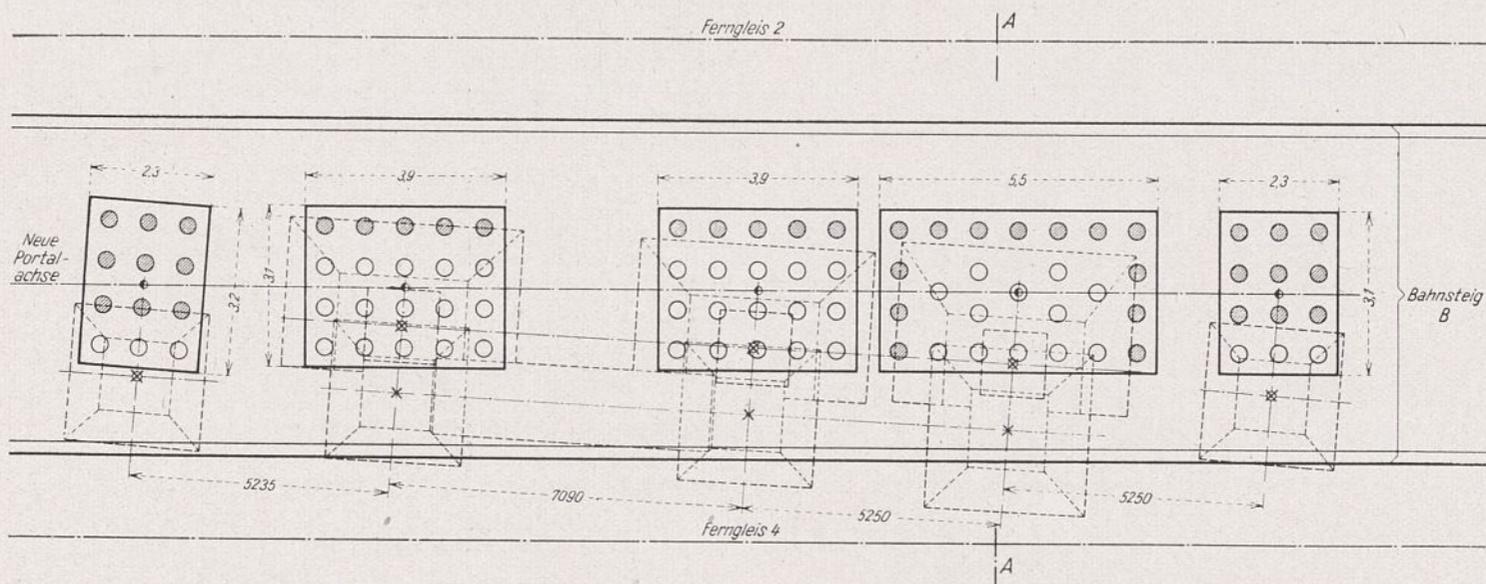


Abb. 5. Neuordnung des Fundaments auf dem Mittelbahnsteig.

Die Fundamente der alten Pendelstützen mit den 1921 ausgeführten Fundamentverbreiterungen sind gestrichelt dargestellt (× = ursprüngliche, ⊗ = 1921 versetzte Stützenstellung). Die Pfähle, die ohne Beeinträchtigung der alten Stützenfundamente bei Umbaubeginn hergestellt werden konnten, sind schraffiert.

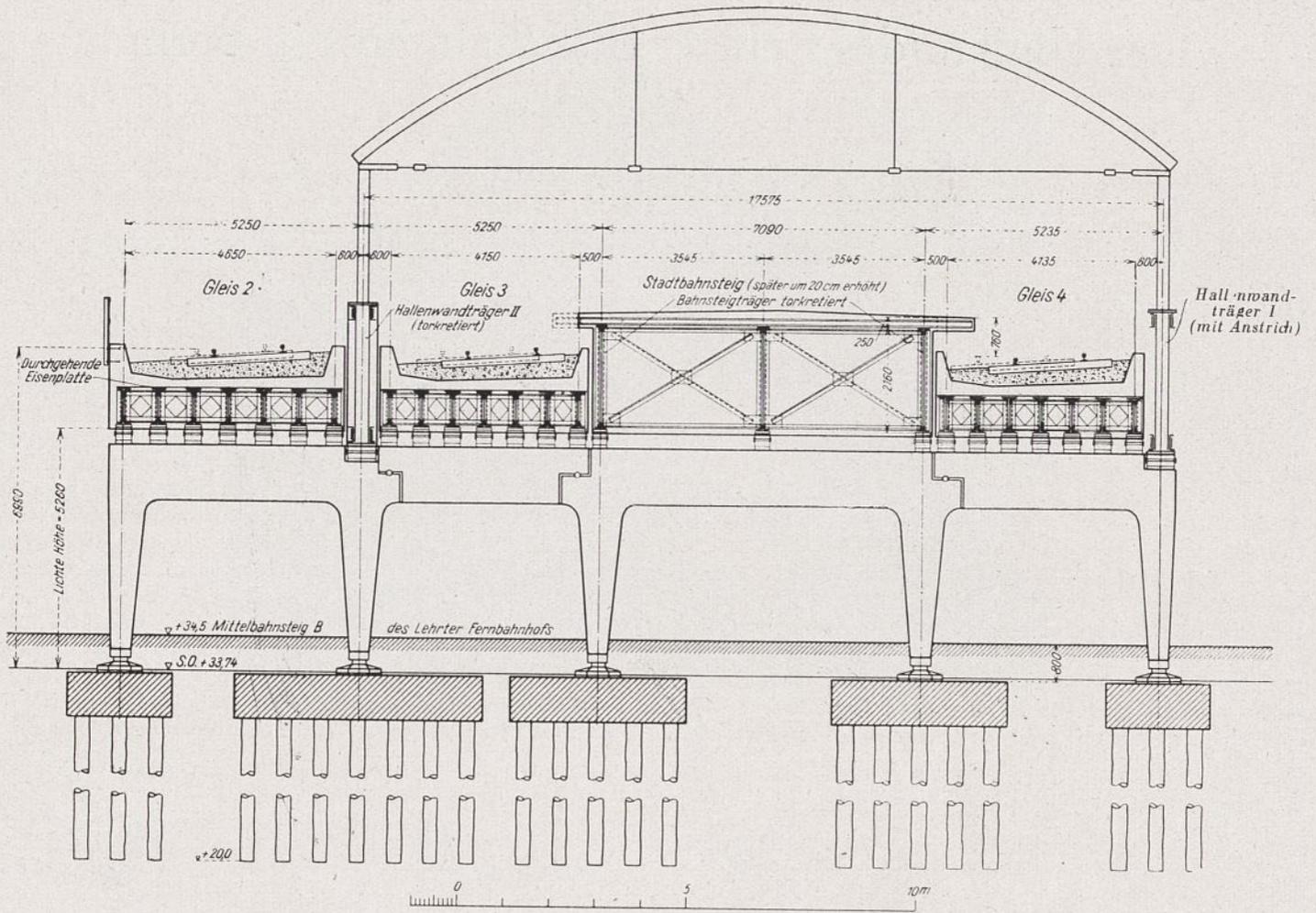


Abb. 4. Die neuen Ueberbauten über die Lehrter Personengleise, Querschnitt. M. 1:150.

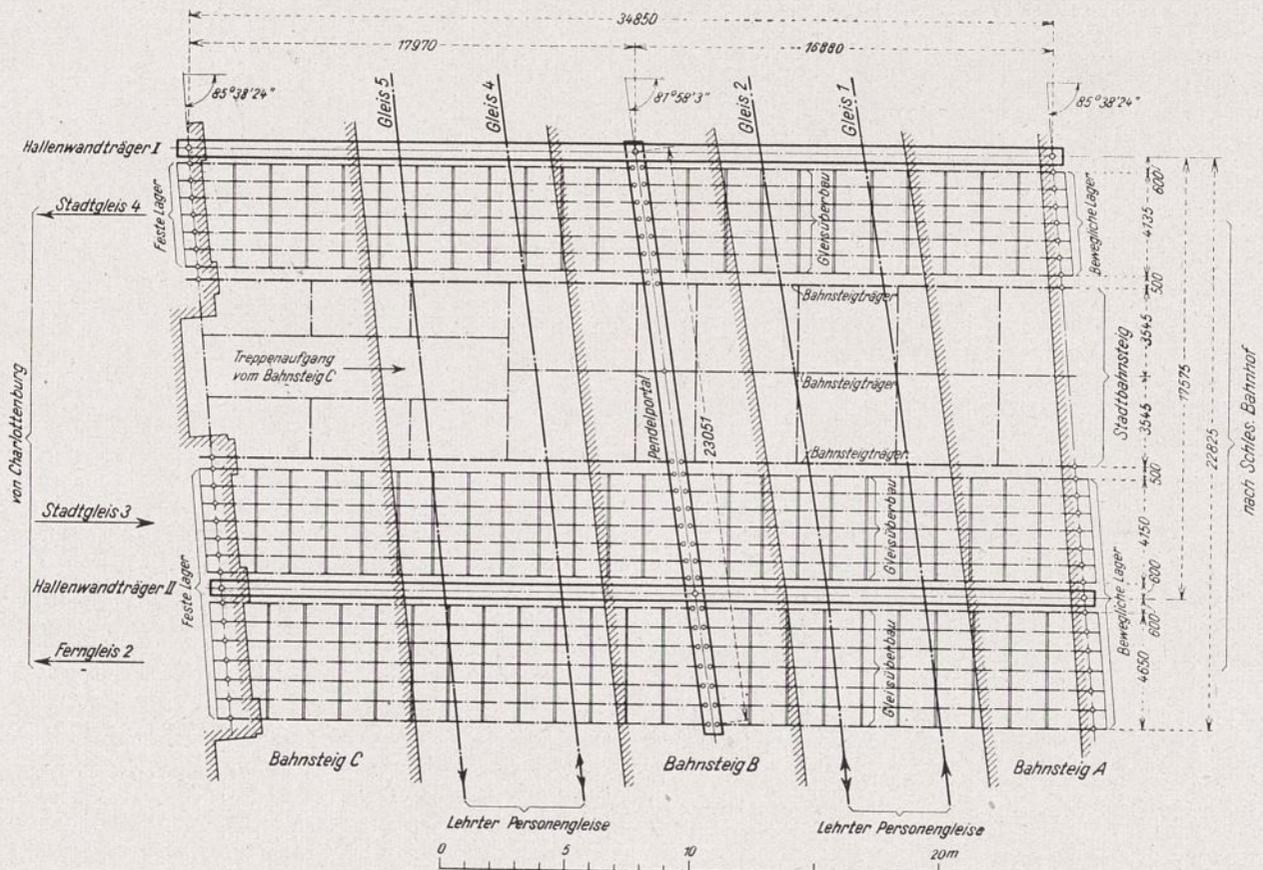


Abb. 5. Grundriß der neuen Ueberbauten. M. 1:300.

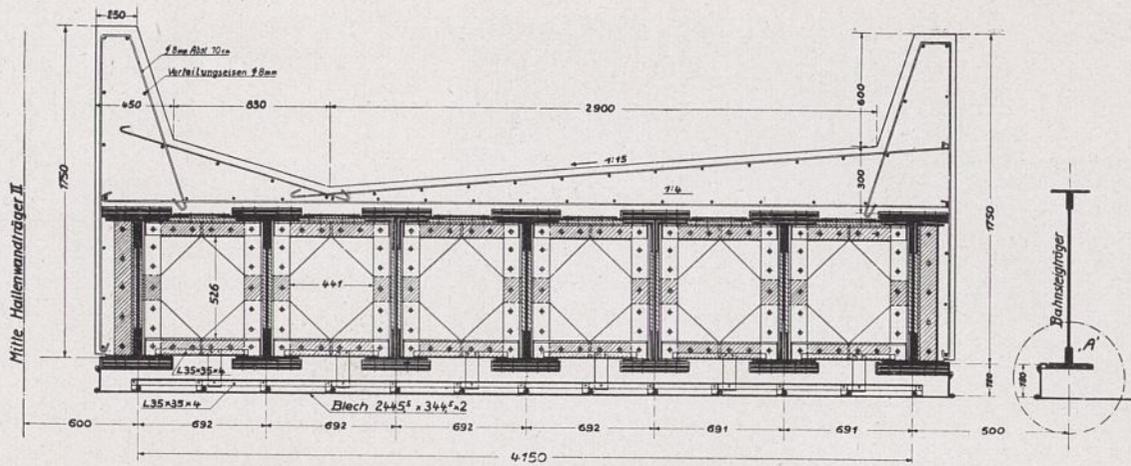


Abb. 6. Querschnitt mit Entwässerung und Rauchschutzdecke durch den neuen Ueberbau des Gleises 3 über die Lehrter Personengleise.

letzten Jahre immer stärker werdend ein. Die einzelnen Fachwerk- und Blechträger dieses Bauwerks sind als kontinuierliche Balken auf drei Stützpunkten seinerzeit ausgebildet worden. Die Fundamente der mittleren Stützen hatten sich unter der erhöhten Auflast, den gesteigerten Achslasten, gesenkt, da die Bodenpressung das zulässige Maß überschritt. Die Ueberbauten waren angehoben worden; doch konnte dadurch ein Ruhezustand nicht erreicht werden. Fundamentsenkungen und Querschnittschwächungen hatten schließlich diese Eisenkonstruktion derart baufällig gemacht, daß zu einer völligen Erneuerung dieses Eisenbauwerks geschritten werden mußte. Im Zusammenhang mit diesem Umbau wurde gleichzeitig die Auswechslung der vier eingleisigen eisernen Ueberbauten der Ueberführung der Stadtbahn über die Zufahrtsgleise zum Güterbahnhof Spreeufer beschlossen, da die Querschnittschwächungen der Eisenkonstruktion durch Verrostung und Rauchgase auch bei diesen Ueberbauten, wenn auch nicht in dem gleichen Maße wie bei dem vorher genannten Bauwerk, so doch immerhin bedeutend waren.

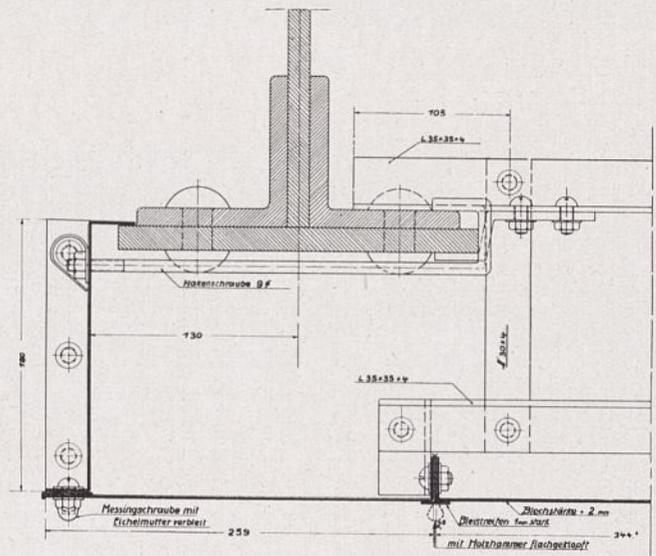


Abb. 7. Punkt A von Abb. 6.

Die neuen Bauwerke. Die neuen Ueberbauten der Ueberführung der vier Stadtbahngleise über die Zufahrtsgleise zum Güterbahnhof Spreeufer sind in der üblichen Form und wie die alten ebenfalls eingleisig, jedoch mit offener Fahrbahn ausgebildet. Bei der Gestaltung der Ueberführungen des Lehrter-Stadtbahnhofs-Bahnsteiges, der beiden Stadtleise und des Ferngleises der Richtung Schlesischer Bahnhof—Charlottenburg mußte besonderer Wert darauf gelegt werden, das Auftreten der Mängel der alten Konstruktion unmöglich zu machen. Da die Halle des Lehrter Stadtbahnhofs den Ansprüchen noch vollauf genügte, so mußten zu ihrer Erhaltung die beiden Hauptfachwerkträger (s. Abb. 1 und 4) bestehen bleiben. Für jedes der drei Gleise wurde ein besonderer Ueberbau und zwischen den beiden Stadtleisen, völlig getrennt von diesen, der Bahnsteigüberbau angeordnet. In Anbetracht der geringen zur Verfügung stehenden Bauhöhe wurden die Gleisüberbauten nach Abb. 4 ausgebildet. Um das Gewicht der Gleisüberbauten zu verringern, wurde von einer Betonfüllung zwischen den Trägern abgesehen (Abb. 4). Zwecks gleichmäßiger Durchbiegung sind die einzelnen Träger in Abständen von rund 1,5 m durch Bleche und Winkeleisen miteinander verbunden. Die Bleche haben für Untersuchungszwecke Mannlöcher erhalten.

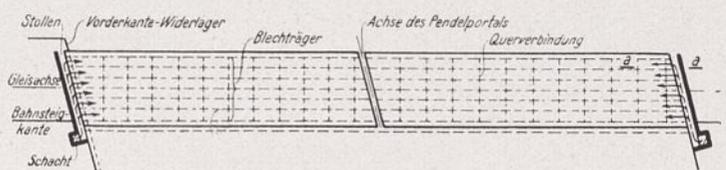


Abb. 8. Anordnung von Schächten und Stollen zwecks Untersuchung der Gleisüberbauten.

An Stelle des früheren Systems eines kontinuierlichen Trägers auf drei Stützen, mit dem die Gesamtöffnung von 54,85 m überspannt wurde, sind nunmehr die Träger als Balken auf zwei Stützpunkten ausgebildet (Abb. 5). Die Auflagerung an dem einen Trägerende geschieht auf einem auf dem Mittelbahnsteig B des Lehrter Fernbahnhofs aufgestellten Pendelportal. Alle festen Auflager sind auf dem westlichen Widerlager angeordnet; die Lager der Träger auf dem Pendelportal sind gelenkartig gestaltet, so daß also die gesamten Horizontalkräfte der zwei hinter-

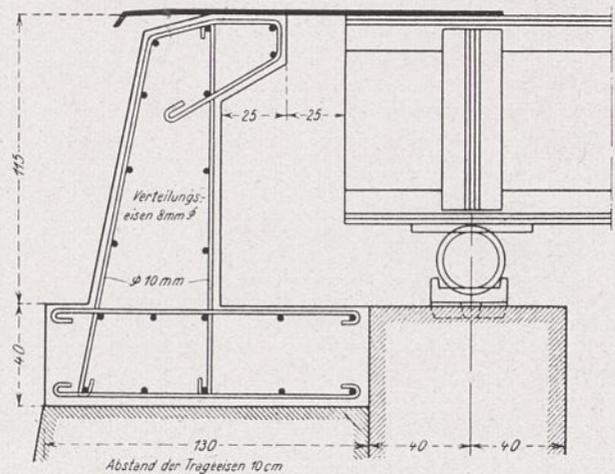
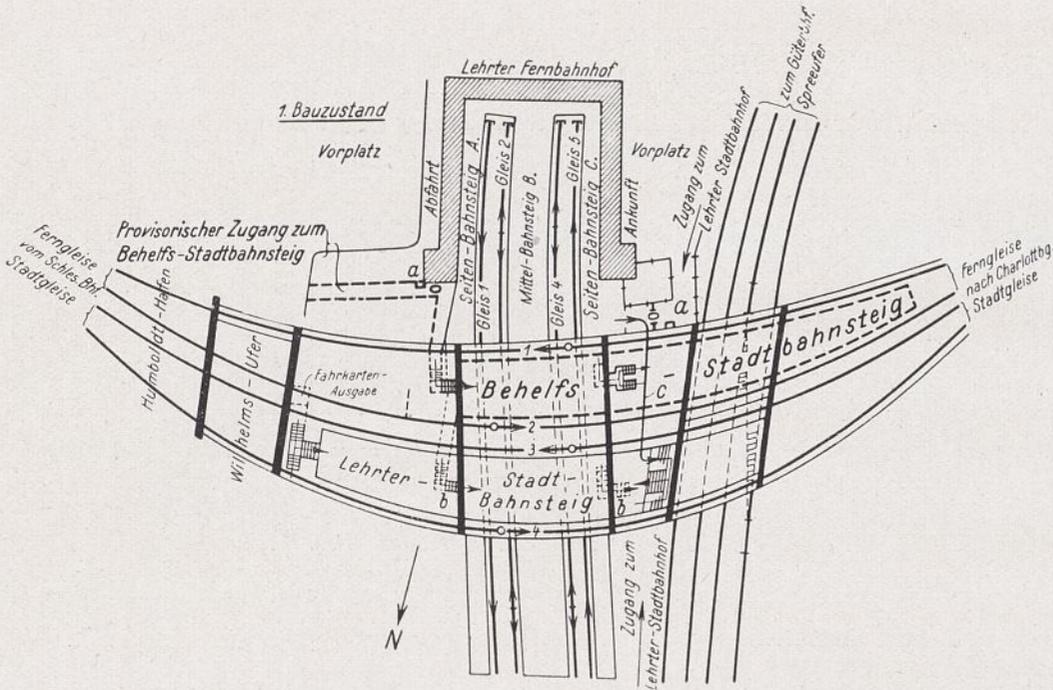


Abb. 9. Schnitt a-a von Abb. 8.

1. Bauzustand.

Herstellung des Behelfs-Stadtbahnsteigs mit den Bahnsteigzügen für den 2. und 3. Bauzustand.

- a = Fahrkartenautomaten,
- b = Uebergangsstreppe vom Lehrter Fern- zum Stadtbahnsteig, während des 2. und 3. Bauzustandes im Umbau und deshalb gesperrt,
- c = Uebergang vom Fern- zum Stadtbahnsteig (Richtung Charlottenburg im 2. und 3. Bauzustand).



2. bis 5. Bauzustand.

Die außer Betrieb befindlichen Anlagen sind gestrichelt, die im Umbau begriffenen schraffiert dargestellt.

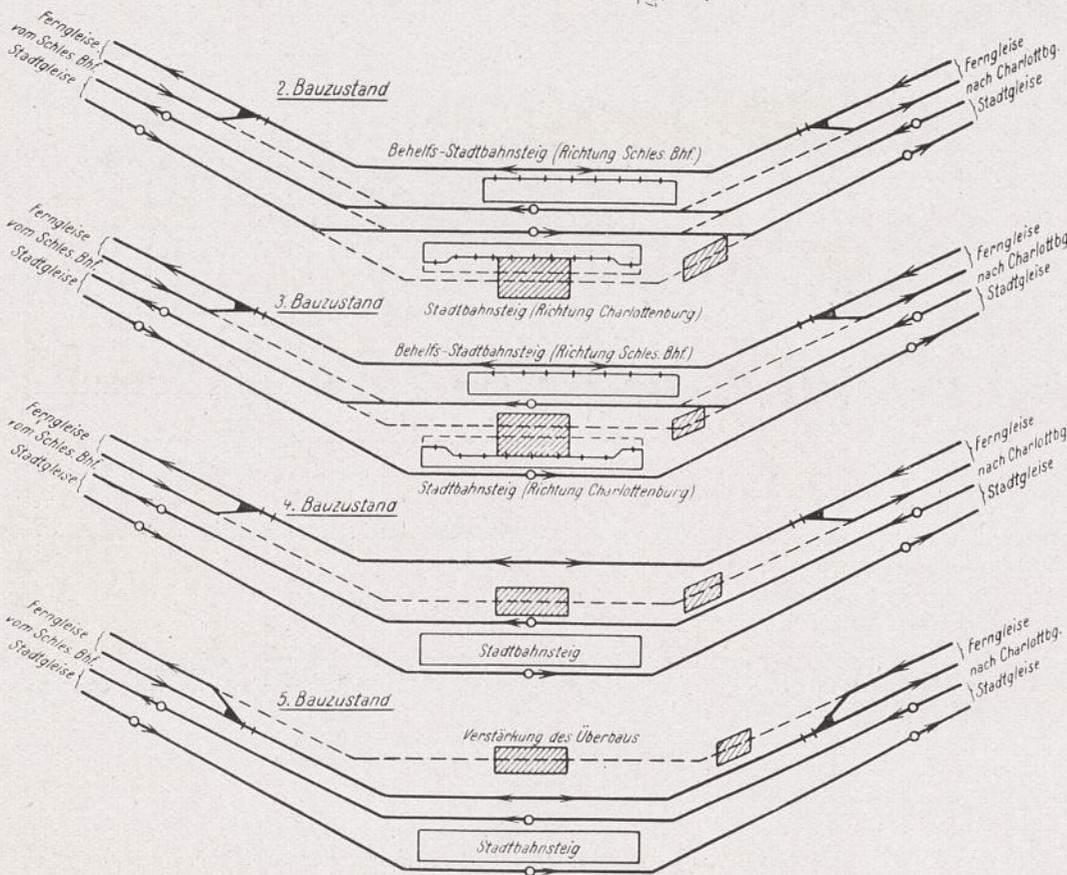


Abb. 10. Bauzustände (schematisch dargestellt).

einander liegenden Ueberbauten eines Gleises über die zwei Oeffnungen hinweg auf die festen Lager geleitet werden. Bei einer Anordnung der festen Lager, den Vorschriften entsprechend, derart, daß die Züge von den beweglichen Lagern nach den festen fahren, würde eine Verdrehung des Portalbalkens eintreten; deshalb ist lediglich beim Brückenzug des Gleises 3 von dieser Vorschrift abgewichen worden.

Um ein Senken der Fundamente dieses Portals völlig auszuschließen, wurde anstatt der früheren Flachgründung eine Pfahlgründung vorgesehen (Abb. 5). Da ein Rammen wegen der geringen lichten Höhe unter der alten Eisenkonstruktion unmöglich war, so wurden Eisenbeton-Bohrpfähle, nach dem System Mast-Michaelis, mit einem Durchmesser von 32 cm und einer Länge von 12 m verwendet.

Da, wie schon gesagt, zwecks Gewichtsersparnis der eisernen Ueberbauten von einer Betonausfüllung der Räume zwischen den Blechträgern abgesehen wurde, so mußten zur Herstellung einer guten Entwässerung die

Hauptträger eines Gleisüberbaus oben durch Bleche verbunden werden. Auf dieser horizontalen Platte wurde dann ein Trog aus Eisenbeton aufgesetzt, der außer zur Abführung des Wassers nach dem Widerlager und dem Mittelportal als Kieselabschluß dient (Abb. 6).

Um die Rauchgase von den neuen Ueberbauten fernzuhalten, mußte jeder einzelne Ueberbau unten dicht abgeschlossen werden. Die Ueberlegungen nach einem für diese Decken geeigneten Stoff führten zu dem Ziel, galvanisch homogen und porenfrei verbleite Eisenplatten zu verwenden. Die Verbleiung wurde von der Unternehmung J. Eberspächer in Eßlingen a. N. nach dem zum Patent angemeldeten Verfahren hergestellt, das — wie ja bekannt — für die Eberspächerschen Sprossen von Oberlichtern, die ebenfalls starken Rauchgasen und demzufolge der Gefahr der Verrostung ausgesetzt sind, in zahlreichen Fällen recht erfolgreiche Anwendung gefunden hat. Die einzelnen Bleche der Decke haben eine Größe von 2,445×0,544 m und sind 2 mm stark. Um die Zahl der Fugen möglichst gering zu halten, wäre eine Vergrößerung der einzelnen Platten

wünschenswert gewesen; doch war eine solche nicht möglich, da in den vorhandenen, der Verbleiung von Oberlichtsprossen angepaßten Gefäßen größere Platten nicht verbleit werden konnten. Wie in der Abb. 7 (Punkt A) dargestellt, sind die Platten seitlich winklig umgebogen, die Fugen zwischen den Platten durch Bleistreifen gedichtet und die Plattenumbiegungen mit den Bleistreifen oberhalb der Decke durch Messingschrauben verschraubt, so daß diese Befestigungsmittel den Rauchgasen nicht ausgesetzt sind und die Decke nach unten hin eine völlig ebene Fläche bildet. Desgleichen sind die Fugen der senkrechten, seitlichen Abschlüsse durch Bleistreifen gedichtet; dabei sind vorstehende Schrauben noch besonders durch Kappen geschützt. Die Decke ist an Winkeleisen, die auf den Untergurten der Blehträger liegen, mittels Flach- und Winkelleisen aufgehängt.

Um bei diesem Abschluß der Ueberbauten eine Untersuchung der Eisenkonstruktionen zu ermöglichen, haben, wie schon gesagt, die Querverbindungen der Gleisträger Mannlöcher erhalten, so daß man zwischen den letzteren von den Lagern aus bis zum Pendelportal gelangen kann. Der Zugang liegt, wie in Abb. 8 angedeutet, im Lehrter Stadtbahnsteig und erfolgt durch einen Schacht und einen vor dem Ueberbau angeordneten Stollen (Abb. 9). Im ganzen sind vier Schächte auf dem Bahnsteig angelegt, da für das Stadtgleis der Richtung nach dem Schlesischen Bahnhof und das Ferngleis nach Charlottenburg an jedem Ende der nebeneinander liegenden Ueberbauten nur je ein Schacht erforderlich ist.

*Der Bauvorgang.* Alle Versuche, die eisernen Ueberbauten ohne jegliche Beeinflussung des Eisenbahn-Betriebes und -Verkehrs auszuwechseln, scheiterten hauptsächlich daran, daß die zur Verfügung stehende Bauhöhe zu gering bemessen war, um die drei Gleise der Stadtbahn über den Lehrter Personengleisen abzufangen und unter den im Betrieb befindlichen Gleisen arbeiten zu können. Dazu kam noch, daß wie schon gesagt, die alten Fachwerkträger für die Tragung der noch gut erhaltenen Hallenwände des Lehrter Stadtbahnhofs bestehen sollten und somit die Umbauarbeiten behinderten. Aber auch die Bewältigung des zeitweise auftretenden Massenverkehrs zwischen dem Lehrter Fern- und Stadtbahnhof schien bei Beibehaltung der Gleislage und des Stadtbahnsteiges während des Umbaues unmöglich. Folglich wurde beschlossen, die Brücken in Abschnitten nacheinander bei Außerbetriebsetzung des betreffenden Gleises neuzubauen. Dazu war die Einrichtung eines eingleisigen Betriebes auf den Ferngleisen der Stadtbahn erforderlich; da die eingleisige Strecke wegen der an die Umbaustelle anschließenden Brücken über den Humboldthafen, auf denen die Verbindung der beiden Ferngleise durch eine Weiche nicht möglich war, sehr lang bemessen werden mußte, so wurden auf derselben noch Zwischensignale aufgestellt, so daß es möglich war, im Interesse der Beschleunigung des Zugverkehrs aus jeder Richtung zwei Züge nacheinander im Signalabstand in die eingleisige Strecke einfahren zu lassen. Im übrigen entsprechen die Sicherungsanlagen vollkommen denjenigen, die beim Umbau der Eisenbahnbrücken über die Spree am Bahnhof Bellevue der Berliner Stadtbahn

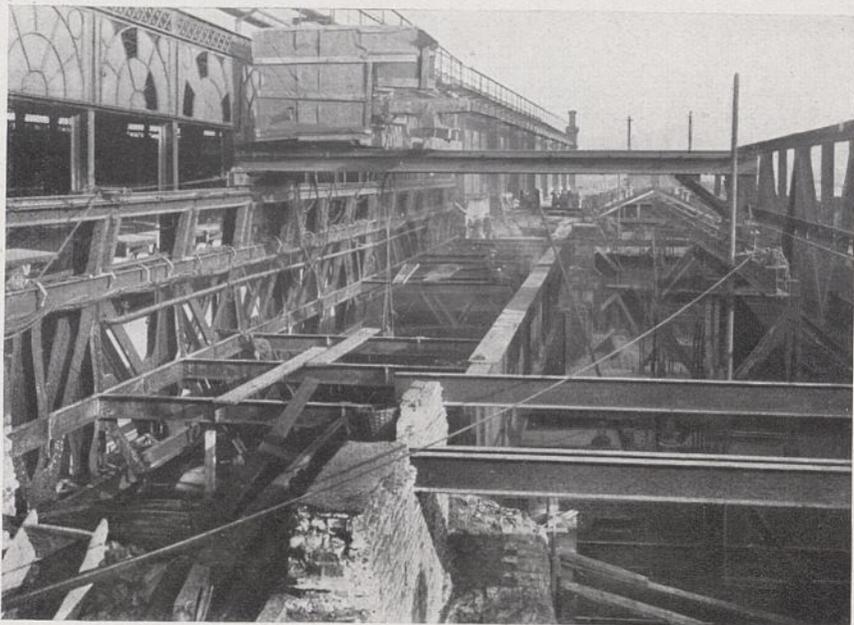


Abb. 11. Abbruch des alten Ueberbaues des Ferngleises 2.

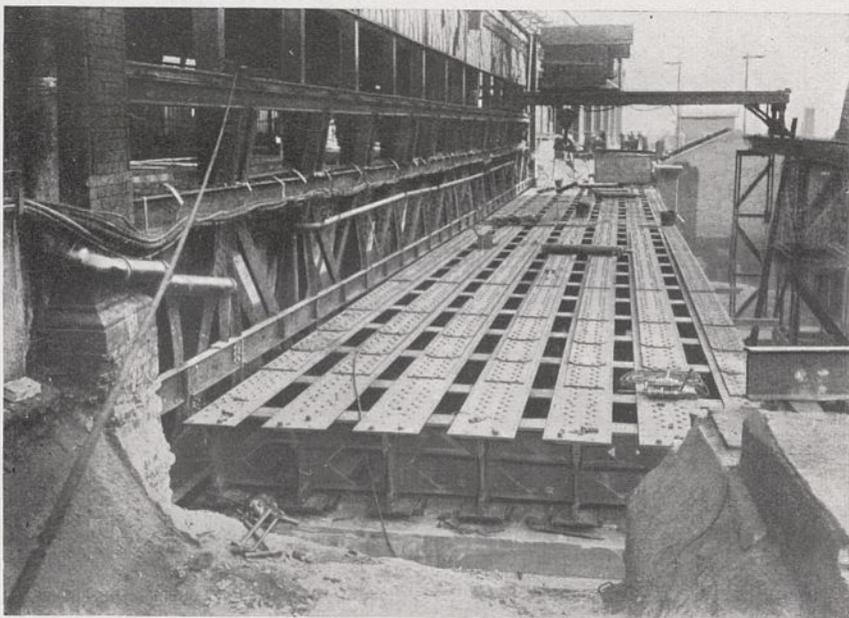


Abb. 12. Montage der neuen Ueberbauten des Ferngleises 2.

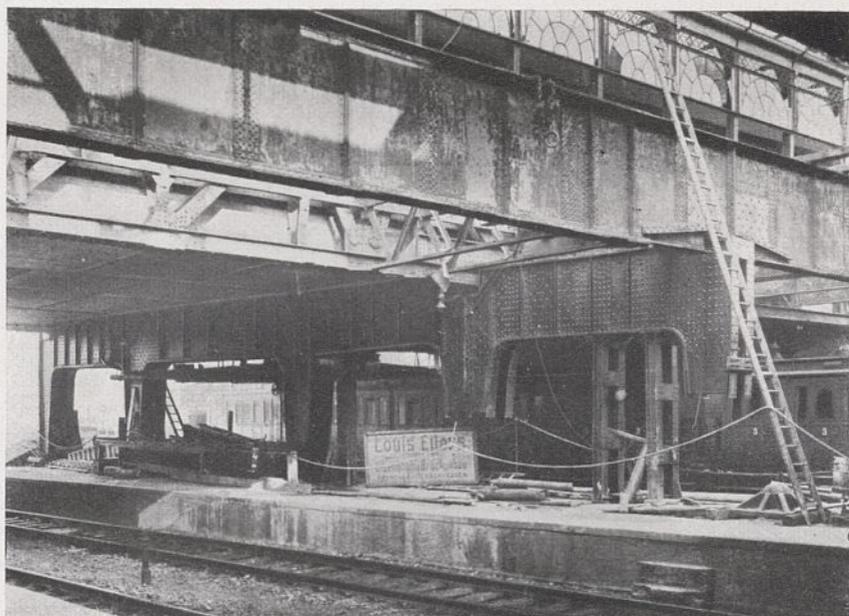
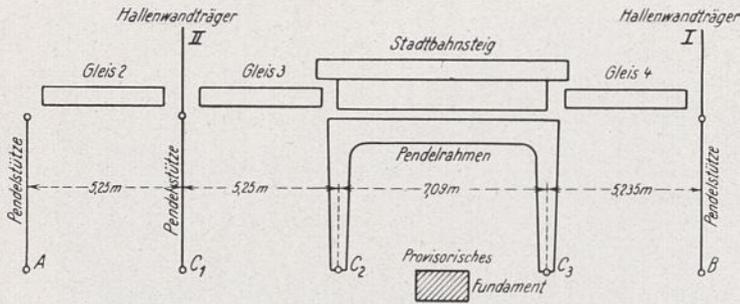
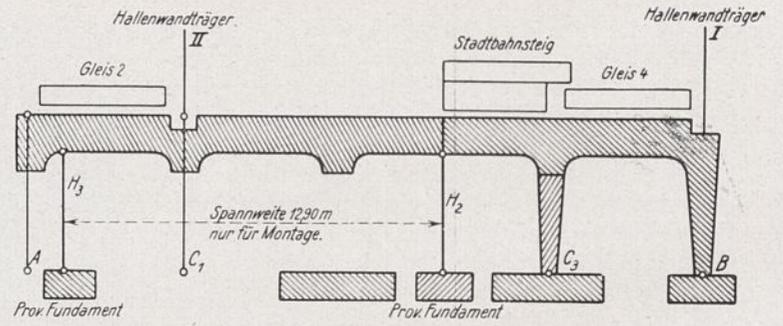


Abb. 13. Montage des neuen Pendelportales.

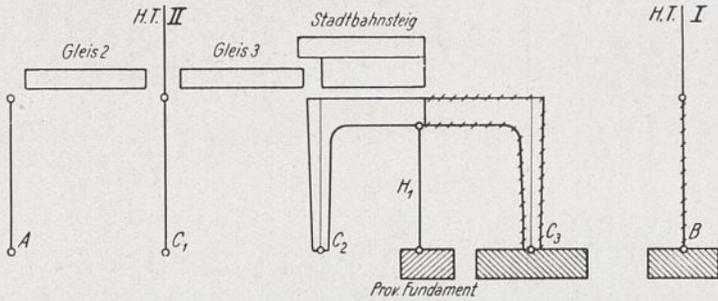


1. Bauzustand.  
Herstellung eines provisorischen Fundaments.



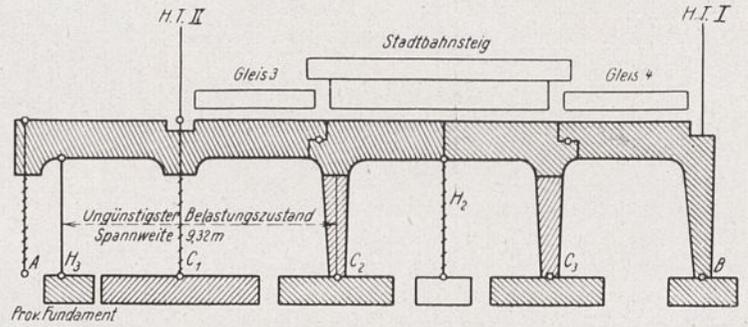
5. Bauzustand.

- Aufstellung der Hilfsstütze  $H_3$  und des noch fehlenden Portalbalkens.
- Verstärkung des Hallenwandträgers II (erforderlich wegen des veränderten Auflagers auf dem mittleren Stützpunkt, also dem neuen Portal).



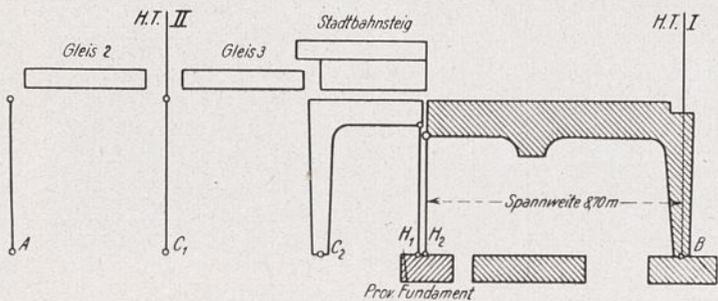
2. Bauzustand.

- Verkehr auf Gleis 4 und rechter Bahnsteigseite stillgelegt.
- Pendelsäule bei B entfernt. Der Hallenwandträger wird auf einer Hilfsstütze in der Längsrichtung neben der alten vorübergehend aufgelagert.
- Herstellung des Fundamentes bei B.
- Rahmen durch Hilfsstütze  $H_1$  unterfangen.



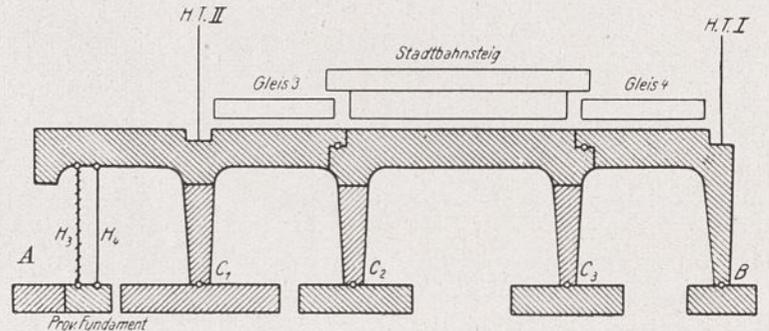
6. Bauzustand.

- Aufstellung des Portalfußes bei  $C_2$ .
- Inkrafttreten der Gelenke im Portalbalken bei  $C_2$  und  $C_3$ .
- Abbruch der Hilfsstütze  $H_2$ .
- Verlegung des Verkehrs von Gleis 2 auf Gleis 3 und den ganzen Bahnsteig.
- Abbruch der alten Pendelstütze bei  $C_1$ .
- Herstellung des Fundamentes bei  $C_1$ .
- Abbruch der alten Pendelstütze bei A.



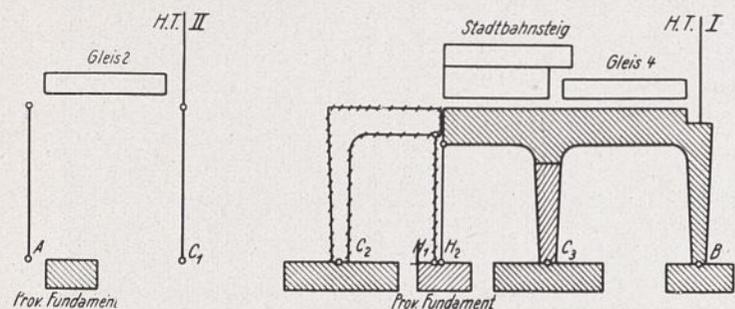
3. Bauzustand.

- Aufstellung einer Hilfsstütze  $H_2$  vor der Stütze  $H_1$  (in der Zeichnung nebeneinander).
- Aufstellung des Portalbalkens bis zur Stütze  $H_2$  nebst dem Portalfuß bei B.



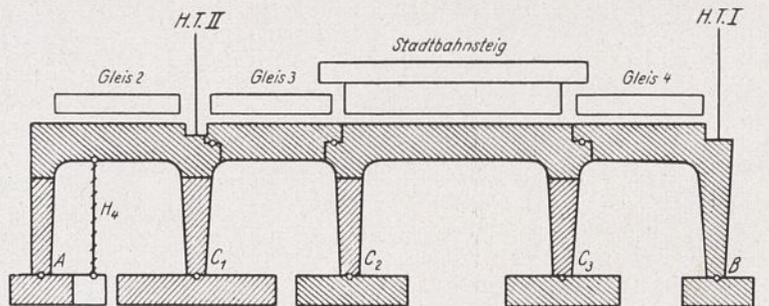
7. Bauzustand.

- Aufstellung des Portalfußes bei  $C_1$ .
- Aufstellung einer Hilfsstütze  $H_4$  neben  $H_3$ .
- Abbruch der Hilfsstütze  $H_3$ .
- Herstellung des Fundamentes bei A.



4. Bauzustand.

- Aufstellung des Portalfußes bei  $C_3$ .
- Verlegung des Verkehrs von Gleis 3 und der linken Bahnsteighälfte auf Gleis 4 und die rechte Bahnsteighälfte.
- Abbruch des alten halben Rahmens und der Hilfsstütze  $H_1$ .
- Herstellung des Fundamentes bei  $C_2$ .
- Herstellung eines provisorischen Fundamentes bei A.



8. Bauzustand.

- Aufstellung des Portalfußes bei A.
- Abbruch der Hilfsstütze  $H_4$ .
- Inkrafttreten des Gelenks im Portalbalken bei  $C_1$ .
- Inbetriebnahme des Gleises 2.

Abb. 14. Montage des Pendelportals. Schematische Darstellung der Bauzustände.  
Die neuen Anlagen sind schraffiert dargestellt.



Abb. 15. Abbruch des alten Ueberbaues des Stadtgleises 4.

ingerichtet worden waren und die in der Zeitschrift für Bauwesen, 1926, Heft 7./8., beschrieben sind.

Die einzelnen Bauabschnitte sind aus der Abb. 10 ersichtlich. Da im zweiten und dritten Bauabschnitt, also für die Auswechslung der Ueberbauten der beiden Stadtgleise und des Stadtbahnsteigs, die Stadtzüge der Richtung nach Schlesiſchen Bahnhof über Gleis 2, das bisherige Ferngleis der Richtung nach Charlottenburg, geführt werden mußten, so war neben diesem Gleis die Anlage eines Behelfsbahnsteigs erforderlich. Demzufolge mußten auch neue Zu- und Abgänge zu diesem Bahnsteig geschaffen werden. Um von Osten her, dem Wilhelmsufer, auf den Behelfsbahnsteig zu gelangen, wurde ein provisorischer Zugang am Empfangsgebäude des Lehrter Fernbahnhofs angelegt. Von der Herstellung einer besonderen Fahrkartenausgabe an dieser Stelle konnte Abstand genommen werden, da die bestehende Ausgabe des alten Bahnsteigzugangs am Wilhelmsufer nicht weit ab von diesem provisorischen Zugang lag. Es wurden an diesem Eingang lediglich drei Fahrkartenaufsteller aufgestellt.

Die beiden Uebergangstreppen vom Lehrter Fernbahnhof zum Stadtbahnsteig wurden vom Brückenumbau unmittelbar betroffen und mußten deshalb abgebrochen werden. Zu dem Behelfsbahnsteig wurde ein entsprechender Treppenersatz geschaffen, so daß also die Reisenden wie vor dem Umbau von den beiden Seitenbahnsteigen des Lehrter Fernbahnhofs nach dem Behelfs-Stadtbahnsteig übergehen konnten. Für den Uebergang der Reisenden vom Fernbahnhof zum alten Bahnsteig, während des Umbaus nur der Richtung nach Charlottenburg dienend, konnten Ersatztreppen nicht angelegt werden. Die Reisenden mußten den Weg durch den Bahnhofsdurchgang und über die westliche Treppe zum Stadtbahnsteig nehmen, die sonst nur dem Zu- und Abgang, nicht aber dem Uebergang dient. Die Sperranlagen wurden an dieser Stelle entsprechend geändert.

Die Abb. 11, 12 und 15 zeigen den Ausbau der alten und den Einbau der neuen Eisenkonstruktionen.

In Abb. 14 sind die Bauzustände der Montage des Pendelportals wiedergegeben. Die Achse des neuen Por-

tals ist in die Längsachse des Mittelbahnsteigs gelegt; während die Stützen im alten Zustande, wie aus der Abb. 5 hervorgeht, in ungleichmäßiger Entfernung von den Gleismitten standen. Dennoch konnten nur die in der Abb. 5 schraffierten Pfähle mit Baubeginn hergestellt werden. Die andern Pfähle und die Fundamentplatten wurden nach Abbruch der betreffenden alten Eisenkonstruktion fertiggestellt. Zwischen diesen Fundamenten mußten aber noch andere Fundamente provisorischer Art errichtet werden, für die der Sicherheit halber ebenfalls Pfähle verwendet worden sind. Es sind dies nach Abb. 14 die Fundamente für die Hilfsstützen  $H_1$  bis  $H_4$ . Die Hilfsstütze  $H_1$  mußte im zweiten Bauzustande aufgestellt werden, um den Riegel des alten Portals, das die bisherige Belastung während dieses und des dritten Bauzustandes noch zu tragen hatte, zu stützen.  $H_2$  (s. dritten Bauzustand) war erforderlich, um während der Herstellung des Fundaments für den neuen Portalfuß  $C_3$  gleichzeitig den betreffenden Portalbalkenteil aufstellen zu können und so die Bauzeit zu verkürzen, worauf mit Rücksicht auf den eingleisigen Fernzugbetrieb besonderer Wert gelegt werden mußte. Desgleichen war die Hilfsstütze  $H_3$  notwendig, um gleichzeitig die Fundamente der Portalfüße  $C_2$  und  $C_1$  und den Portalbalkenteil herstellen zu können. Die Stütze  $H_3$  mußte jedoch, um das Fundament für den Portalfuß A in der erforderlichen Größe auszubilden, durch die Hilfsstütze  $H_4$  ersetzt werden. Den Standort von  $H_4$  gleich von vornherein zu wählen, war deshalb nicht möglich, weil auch die Stütze  $H_3$  beim ungünstigsten Belastungsfalle im 6. Bauzustand eine bestimmte Fundamentgröße beanspruchte und deshalb für die Stützenstellung von  $H_3$  der Standort in der Mitte zwischen dem alten Fundament von A und dem neuen von C gegeben war. Abb. 15 gibt gerade den 7. Bauzustand wieder. Die Hilfsstütze  $H_4$  ist aufgestellt,  $H_3$  soll sogleich nach Fertigstellung des Portalfußes  $C_1$  abgebrochen werden.

Mit den Umbauarbeiten ist im April 1926 begonnen worden; sie wurden so gefördert, daß am Fahrplanwechsel, am 14. Mai 1927, also nach ungefähr einem Baujahr, der zweigleisige Betrieb auf den Ferngleisen wieder aufgenommen werden konnte.

# Neuere bodenphysikalische und erdbaumechanische Forschungsergebnisse in den nordischen Ländern.

Von Dr.-Ing. P. N e m é n y i, Berlin.

## I. Allgemeine und historische Uebersicht.

**F**ennoskandien ist der Name eines geologisch vollständig einheitlichen großen Gebietes, welches aus ganz Norwegen, Schweden mit Ausnahme seiner südlichsten Spitze (Skåne [Schonen] genannt), aus ganz Finnland und schließlich einem kleinen Teile von Nordwestrußland, hauptsächlich Karelrien, gebildet wird. Das einheitliche Gepräge dieses Gebietes liegt zunächst in dem vollständigen Fehlen der Formationen des Mesozoikums und des Tertiärs.

Von dem Standpunkte des vorliegenden Aufsatzes ist indessen viel wichtiger der eigenartige und ebenfalls für ganz Fennoskandien charakteristische quartärgeologische Charakter, also die neueste Erdgeschichte des Gebietes und die daraus erklärable Beschaffenheit der obersten Schichten, die oft als „lose Erdlager“ bezeichnet werden. Die Quartärzeit beginnt mit der Eiszeit, in welcher eine mächtige, viele hundert Meter starke Eisschicht sich über dem zentralen Teil von Skandinavien befindet und sich allmählich weiter ausbreitet. Möglicherweise war schon zu dieser Zeit ein großer Teil des jetzigen Fennoskandien unter das Baltische Meer gesunken, oder es hat, wie vielfach angenommen wird, die enorme Auflast der Eismasse eine Senkung hervorgerufen. Jedenfalls war gegen Ende der Eisperiode das Festlandgebiet von Fennoskandien viel kleiner als heute, und gerade jene Gebiete, die heute stärker besiedelt sind, lagen ganz vorwiegend unter dem Meeresspiegel. Diese Erkenntnis, ein Ergebnis der bahnbrechenden quartärgeologischen Forschung von De Geer und seiner Schule, ist in den Landkartenskizzen (Abb. 1 u. 2) veranschaulicht. Als dann das Klima milder wurde, hat sich das Inlandeis immer mehr gegen seine zentralen Teile zurückgezogen. Von dieser Zeit an hebt sich das ganze Gebiet, Zeitweilig war diese Hebung ungleichmäßig und verhältnismäßig rasch und hat vorübergehend sogar das ganze Baltische Meer zu einem süßwasserigen Binnensee verwandelt, worauf dann eine vorübergehende Senkung folgte; seit dieser Zeit schreitet die Landhebung — vielleicht von unbedeutenden Zwischenspielen abgesehen — ununterbrochen und auch jetzt noch merklich (jedes Jahr einige Zentimeter) fort.

Das von den großen Massen Inlandeis selbst geschleppte und abgesetzte Geschiebe bildet den größten Teil der Oberfläche Fennoskandiens. Es wird als Moräne bezeichnet, u. zw. je nach dem Vorwiegen gröberer oder feinerer Teile: Moränenkies, Moränensand oder Moränenlehm. Besonders festgestampfte Teile der Moränen heißen Geschiebemergel (Pinnmo). Dieses ganze Moränengebiet ist heute der Träger des großen nordischen Waldgebietes. Hauptkennzeichen ist, daß das Material unsortiert ist. — Das an der jeweiligen Eiskante von den unter Druck herausgepreßten Schmelzwasserbächen und -flüssen abgesetzte Material ist mehr abgerundet und sortiert. So entstanden die Ässande und Äskiese. Wo aber diese Schmelzwasserströme in das oben erwähnte große Meer hineinfließen, haben sie ihren Lauf ganz verlangsamt und unter dem damaligen Meeresspiegel die feinen und feinsten Bestandteile abgelegt. So entstanden die feineren Sande, Schluffe und der Ton (Eismeerton). Dementsprechend finden wir die meisten Tonformationen des Nordens in den auf den Abb. 1 u. 2 dargestellten spätglazialen Meeresgebieten. Die äußerste Grenze jener Gebiete, die in spätglazialen und nachglazialen Zeiten jeweils unter dem Meeresspiegel standen, heißt marine oder baltische Grenze. Das Gebiet unterhalb dieser Grenze ist zugleich der einzige Teil von Fennoskandien, wo der Ackerbau ohne allzu große Schwierigkeiten Fuß fassen konnte, so daß letzten Endes die marine Grenze auch kulturgeographisch eine entscheidende Bedeutung besitzt. Die vier bedeutendsten Städte Fennoskandiens: die drei Hauptstädte und Göteborg, liegen in diesem Gebiete. Wo die Buchtungen des damaligen Meeres seicht waren, ist der darin abgesetzte Ton mit Pflanzenresten durchsetzt. Diese Tonsorte heißt „Gyttja“. Die seit Ende der Eiszeit, also in der geologischen Jetztzeit, durch die Ströme umgelagerten und umgeschichteten Moränenteile sind Flußkies und Flußsande, die nur geringere Gebiete einnehmen. In den Binnenseen sowie auch in der vorübergehenden Süßwasserzeit des Baltischen Meeres entstanden auch Tonschichten (meist nur geringer Mächtigkeit), ferner auch Süßwassergyttja und aus den Resten der über das jeweilige Wasserniveau hinausragenden Pflanzen Torf.

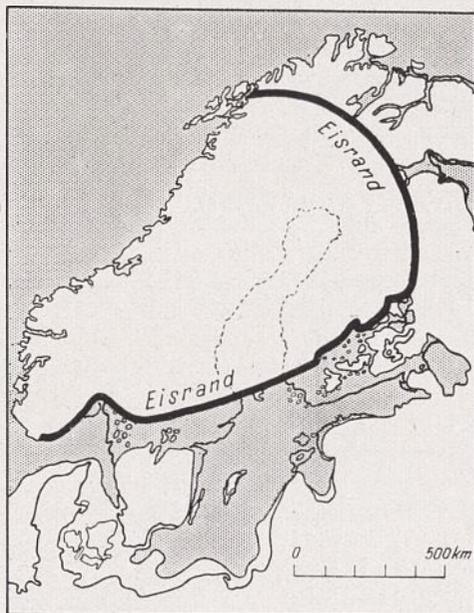


Abb. 1. Das Yoldia-Meer in seiner annähernd größten Ausbreitung etwa um 7900 v. Chr. Geb.

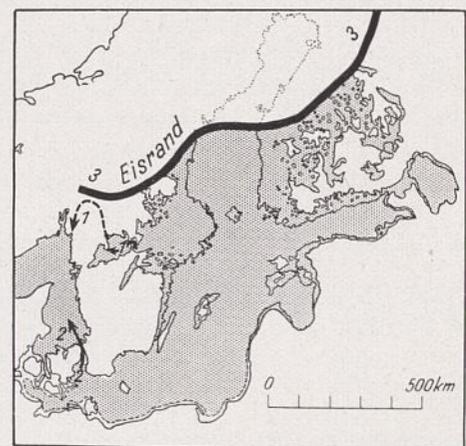


Abb. 2. Der Ancylus-See in seiner größten Ausbreitung um 7400 v. Chr. Geb.

Zeichenerklärung zur Abb. 2:

- 1—1 Abfluß des Sees in der Ancylus-Zeit.
- 2—2 Abfluß des Sees nach der Ancylus-Zeit.
- 3—3 Eisrand in der Ancylus-Zeit.

Abb. 1 u. 2. Zwei wichtige Etappen der spät- und nachglazialen Erdgeschichte Nordeuropas. Nach Matti Sauramo.

Die große Mannigfaltigkeit der Oberflächenschichten, die wir so in dem meistbesiedelten Gebiet Fennoskandiens vorfinden und ganz besonders das relative Vorwiegen des Tons, gerade in diesen Gegenden, erklärt schon an sich zum Teil das große Interesse, welches in Schweden der Erforschung der physikalischen Eigenschaften und erdmechanischen Gesetzmäßigkeiten der verschiedensten Erdsorten gewidmet wurde. Die schwedische Landwirtschaft hat die Veranlassung zu mancher interessanten physikalischen Tonuntersuchung gegeben, und der Erdbauingenieur konnte angesichts dieser natürlichen Verhältnisse keineswegs sich mit der Annahme und etwaiger formaler Weiterbildung der ganz auf den Sand und Kies zugeschnittenen Coulomb-Cullmannschen Erddrucktheorie begnügen, sondern mußte versuchen, Ansätze zu einer vielseitiger anpassungsfähigen Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage zu finden.

Den unmittelbaren Anstoß zu der intensiven Entwicklung dieses jungen Forschungsgebietes in den nordischen Ländern gab indessen der Erdsturz bei Svartå, der sogenannte Jonsereinsturz, welcher zur Bildung der geotechnischen Kommission der schwedischen Staatseisenbahnen Veranlassung gab. Diese Kommission hat von 1914 bis 1922 unter Leitung erst von Prof. De Geer und von 1918 an von Prof. Fellenius parallel mit ihren dringenden Tagesaufgaben auch die grundsätzlichen allgemeinen Fragen in so weitgehendem Maße geklärt, daß diese Untersuchungen sowohl für die weiteren Arbeiten in Schweden als auch für deren Nachbarländer wegweisend werden konnten. Seit 1922, in welchem Jahre die Kommission ihr berühmtes Endgutachten abgab, wird ihre Arbeit durch die geotechnische Abteilung der schwedischen Staatseisenbahnen unter Leitung von Ziv.-Ing. John Olsson fortgesetzt. Olsson und Caldénus, die auch an den Arbeiten der Kommission teilnahmen, haben seitdem sehr wichtige Forschungsergebnisse aufgefunden.

Ein anderer wichtiger Unfall, nämlich der Einsturz einer Kaimauer in Göteborg, hat die Notwendigkeit, die gesamte Erdstatik voraussetzungsfrei und grundsätzlich zu studieren, auch anderen schwedischen Bauingenieuren eindringlich dargetan, und neben dem genialen Forschergeist einiger schwedischer Ingenieure ist es ohne Zweifel diesem von der Natur gegebenen Anschauungsunterricht zuzuschreiben, daß die Erdbaumechanik in Schweden in wenigen Jahren so wesentliche Fortschritte gemacht hat. Nach den an den Göteborger Unfall (vergl. Zentralbl. d. Bauverw. 1926, S. 455 bis 456) anknüpfenden Untersuchungen von Petterson und Hultin, die zum Teil auch in Deutschland bekannt geworden sind, sowie den tiefgreifenden Forschungen von Westerberg, die sich hauptsächlich auf vorwiegend Kohäsion besitzende Erdarten beziehen, ist es Fellenius gelungen, die für gewisse Sonderfälle nunmehr vorliegenden, zum Teil auch in anderen Ländern ausgearbeiteten Erddruckuntersuchungen mit gekrümmter Gleitfläche und mit Berücksichtigung der Kohäsion zu einem gewissen Abschluß und einer Systematik zu bringen.

Auch in Finnland war die äußere Veranlassung für das eingehendere und vor allem systematischere Studium der Bodenarten ein schwerer Unfall, bei dem nämlich im Jahre 1919, unweit von Helsingfors, infolge einer plötzlichen Dammsenkung eine Lokomotive entgleiste und mehrere Menschen umgekommen sind. Ein Monat darauf wurde eine geotechnische Kommission gegründet, die bis zum Jahre 1926 in Tätigkeit war, und deren Arbeiten seitdem von einer Unterabteilung der Konstruktionsabteilung der Eisenbahndirektion fortgesetzt werden. Diese Unterabteilung steht im Gegensatz zur schwedischen unter Leitung eines Geologen, Th. Brenner.

In Norwegen ist seit 1922 Ingenieur Rosenlund für die erdbautechnischen Untersuchungen erst als außenstehender Berater, dann als festangestellter Beamter herangezogen worden. Sowohl die finnländischen, als auch die norwegischen Geotechniker haben ihre Arbeiten organisch

an die schwedischen Untersuchungen, die sie auch an Ort und Stelle studiert haben, angeschlossen.

Neben all diesen Arbeiten, die, wenn auch zum Teil tiefgreifend und von allgemeinem Wert, doch stets unmittelbar aus den Problemen der Baupraxis erwachsen und auf die Ziele derselben gerichtet waren, werden, wie bereits angedeutet, in den nordischen Ländern die Erd- und besonders die Tonarten auch sonst von Geologen, Landwirten und Physikern eingehend studiert. Es sei hier nur an die Namen Atterberg und Oden erinnert, deren Untersuchungen nebst den daran anschließenden norwegischen Arbeiten weiter unten zum Teil noch kurz erwähnt sind.

Im nachfolgenden sollen im Abschnitt II und III die Wege und Methoden mitgeteilt werden, mit denen die erdbautechnisch kennzeichnenden Eigenschaften des Baugrundes festgestellt sind. Unter IV sollen einige bodenphysikalische sowie erdbaumechanische Forscherarbeiten, und zwar sowohl die empirisch-statistischen als auch die allgemeintheoretischen im Zusammenhang behandelt werden; unter V wird die von der schwedischen geotechnischen Kommission klargelegte Systematik der möglichen Störungsbewegungen bei Erdarbeiten dargestellt und durch einige charakteristische Beispiele erläutert; unter VI wird schließlich die Frage des Abwägens des Gesichtspunktes der Sicherheit gegen die Wirtschaftlichkeit und die Rutschungswarnungsmethode für „unvollständig gesicherte“ Bauwerke behandelt, woran sich einige Schlußbemerkungen allgemeiner Art anschließen.

## II. Die Untersuchungen auf der Baustelle.

Man kann die Sicherheit eines bestehenden oder geplanten Bauwerkes auf drei Wegen beurteilen: 1. durch subjektive Abschätzung, 2. durch objektiven Vergleich und 3. durch objektive Bestimmung eines absoluten Sicherheitsmaßes. Bislang hat man sich bei erd- und grundbautechnischen Fragen vielfach mit Annahmen der ersten Art begnügen müssen. Die schwedischen Erdbauforscher haben es zuwege gebracht, daß wenigstens annähernd auch für schwierige Fälle die Beurteilung nach dem zweiten Prinzip möglich ist, daß also, genauer gesagt, für jedes geplante Erdbauwerk durch objektive Methoden festgestellt werden kann, daß seine Sicherheit jene von bestimmten, ähnlich beschaffenen, seit längerer Zeit bestehenden Erdbauobjekten erreicht oder übersteigt. Bei der großen Mannigfaltigkeit der Faktoren, die für die Sicherheit eines Erdbauobjektes bestimmend sind, kann freilich nicht erwartet werden, daß dieser Vergleich so eindeutig objektiv ausfällt wie etwa der Härtevergleich zweier fester Körper. Dennoch sind die Anhaltspunkte für den Vergleich rein objektiver Art.

Um diese Anhaltspunkte zu gewinnen, hat die schwedische erdbautechnische Kommission und daran anschließend die erdbautechnische Abteilung der Staatseisenbahnen die an sich schon zum Teil bekannten Untersuchungsmethoden kritisch gesichtet, einzelne als minder geeignet verworfen, und neue entwickelt. Von den Untersuchungen im Felde sind ganz besonders die Bohrmethode systematisch weiterentwickelt worden. Man kann die rationellen Bohruntersuchungsmethoden je nach der Art des Aufschlusses, den sie bieten, in vier Gruppen einteilen:

1. Sondenbohrung, eine Bohrmethode, nach der die Widerstandsfähigkeit der einzelnen durchdrungenen Schichten durch deren Widerstand gegen ganz bestimmte, genau umschriebene und normierte Operationen beurteilt wird.
2. Spülbohrung, wobei Proben der durchbohrten Schichten, allerdings in vollständig zerstörter Konsistenz, heraufbefördert werden.
3. Probeentnahmebohrungen mit nur teilweise gestörter Konsistenz; hierfür hat die geotechnische Kommission zwei Methoden ausgearbeitet: die Schaufelbohrung und die Kannenbohrung. Schließlich

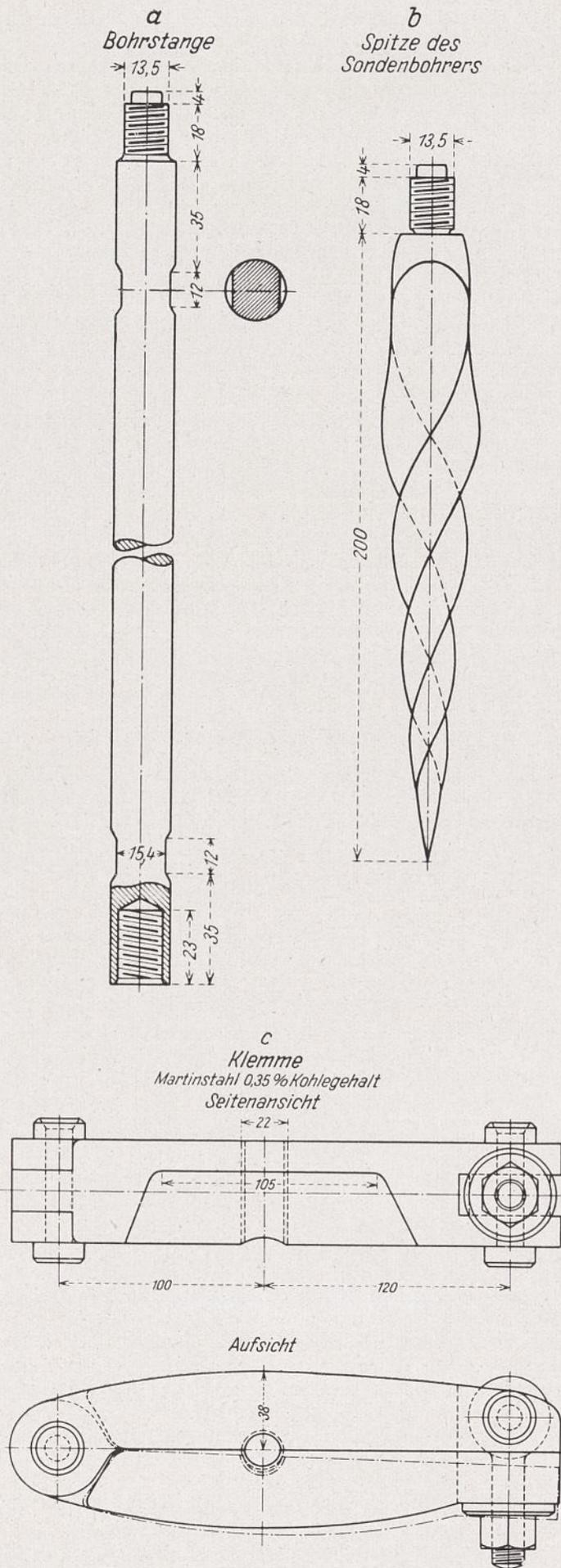


Abb. 5. Sondenbohrer.

4. gelang es auch, Methoden zur Entnahme von Proben mit völlig unveränderter Konsistenz zu entwickeln.

Die Sondenbohrung ist an sich etwas Bekanntes, neu ist nur die Art des bis in alle Einzelheiten normierten Geräts und Bohrvorganges. Abb. 5 stellt die Bohrerspitze und die Einzelstücke der Bohrstange dar. Damit der

Widerstand bei den Bohrungen nur von der Bohrerspitze und nicht von der Bohrstange herrühren kann, ist erstere erheblich breiter als letztere. Wird eine nasse Schicht durchsetzt, dann wird die Bohrstange durch ein Rohr gesteckt. Eine besonders störende Wirkung könnte vielfach eine teigige Lehmschicht haben, indem sie trotzdem an der dünneren Bohrstange haften bleibt. Darum wird vielfach die Durchbohrung der Oberschicht unabhängig mit anderer Methode und mit erheblich größerem Lochdurchmesser als Vorbohrung vorgenommen (vergl. weiter unten). Bei der Sondenbohrung selbst wird zunächst der Bohrer aus einer passend gewählten Anzahl von Teilstangen zusammengeschaubt und in lotrechter Lage seinem Eigengewicht überlassen; als erste Aufzeichnung wird die Tiefe notiert, bei der der Zeitaufwand einer Zentimetersenkung gerade zehn Sekunden erreicht. Hierauf wird der Bohrer mit der 5 kg wiegenden Klemme versehen, wobei wieder die durch dieses Gewicht bewirkte Senkung notiert wird. Die weiteren Gewichte betragen 10, 10, 25, 25 und nochmals 25 kg, so daß also die gesamten notierten Einsenkungen dem Eigengewicht zuzüglich 0, 5, 15, 25, 50, 75 und 100 kg entsprechen. Vor jeder Belastungserhöhung wird eine volle Drehung vorgenommen, nur um festzustellen, daß das Stehenbleiben nicht etwa auf ein zufälliges Hindernis zurückzuführen sei. Mit beibehaltener Belastung von 100 kg wird schließlich bei dem weiteren Einschrauben die Senkung je nach 25 halben Drehungen ( $25 \pi$ ) notiert. Als Kriterium einer vollständig tragfesten Schicht für Fundamente mag gelten, daß der Drehung von  $100 \pi$  nur 1 bis 2 cm Senkung entsprechen darf. Bei Untersuchungen für erdbauliche Arbeiten kann schon früher mit dem Bohren aufgehört werden. Die Methode ist völlig ungeeignet für die Untersuchung von Schichten mit einzelnen groben Blöcken, dagegen läßt sie sich für die Untersuchung von wasserdurchsetzten Schichten gut anwenden, wobei ein etwas abweichender Arbeitsvorgang normiert ist.

Wir übergangen die Spülbohrung, die weniger Neues bietet, und gehen gleich auf die Probeentnahmebohrung mit nur teilweise zerstörter Konsistenz über. Hierfür hat die geotechnische Kommission die beiden in Abb. 4 und 5 wiedergegebenen Neukonstruktionen geschaffen, den Schaufelbohrer und den Kannenbohrer. Ersterer bedarf keiner näheren Erläuterung. Die Wirkungsweise des letzteren besteht darin, daß bei Drehung im Uhrzeigersinn die beiden ineinandergeschachtelten Rohre sich miteinander drehen, wogegen sich bei Drehung gegen den Uhrzeigersinn das äußere Rohr samt Seitenansatz gegen das innere glatte Rohr relativ dreht, und etwa den durch Punkte angedeuteten Erdklumpen in das Innere des Innenrohrs hineindrückt, wobei der Klumpen allerdings von einer gewissen knetenden Verarbeitung nicht verschont bleibt; dabei hat sich das Rohr geschlossen, und die Probe kann heraufgeholt und herausgenommen werden. Diese Proben sind die sog. „teilweise unberührten“ Proben. Die Arbeit mit Kannenbohrer ist dem Schaufelbohrer im allgemeinen überlegen, hauptsächlich, wenn es gilt, von durch und durch nassen oder sehr losen Schichten Proben zu entnehmen.

Für die zuverlässigste Methode der Probebohrung, nämlich die Entnahme von Proben mit unveränderter Konsistenz, sind drei Konstruktionen geschaffen worden. Die erste ist der Zylinderbohrer (Abb. 6), der aus einem zweiteiligen, unten offenen Zylinder besteht, der als ein Ganzes hinabgetrieben wird, wobei also die Probe nicht in den Zylinder hineinknetet, sondern lotrecht aus der Erdschicht herausgeschnitten wird. Der heraufgezogene Bohrer wird durch Lösung von Durchsteckern geöffnet und die Probe entnommen. Für sehr weiche, breiartige oder allzu lose Schichten kann indessen diese Bohrmethode offenbar nicht angewendet werden. In diesem Falle tritt an seine Stelle die sogenannte Probeentnahme-Schachtel, ein viereckiges Prisma, dessen Unterseite mittels einer Feder geschlossen werden kann, die bei offener Schachtel an der einen Seite des Prismas hochgezogen ist, aber beim Schließen hinuntergeschoben und mittels einer Rille längs

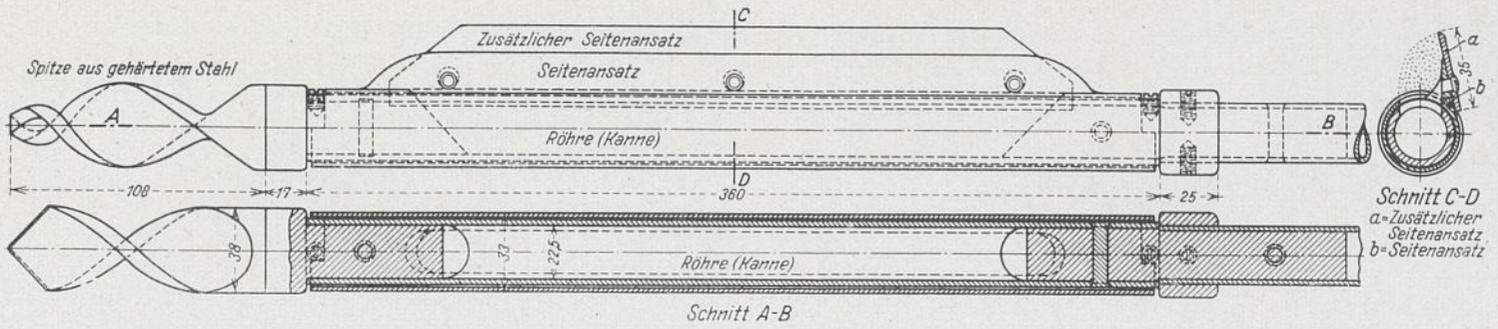


Abb. 4. Kannenbohrer.

Die Probekanne mit dem aufgeschraubten zusätzlichen Seitenansatz.  
Die Röhre in der Kanne sind aus Stahl, Kohlengehalt 0,5 v. H.  
Die Spitze ist aus gehärtetem Stahl, Kohlengehalt 0,6 v. H.

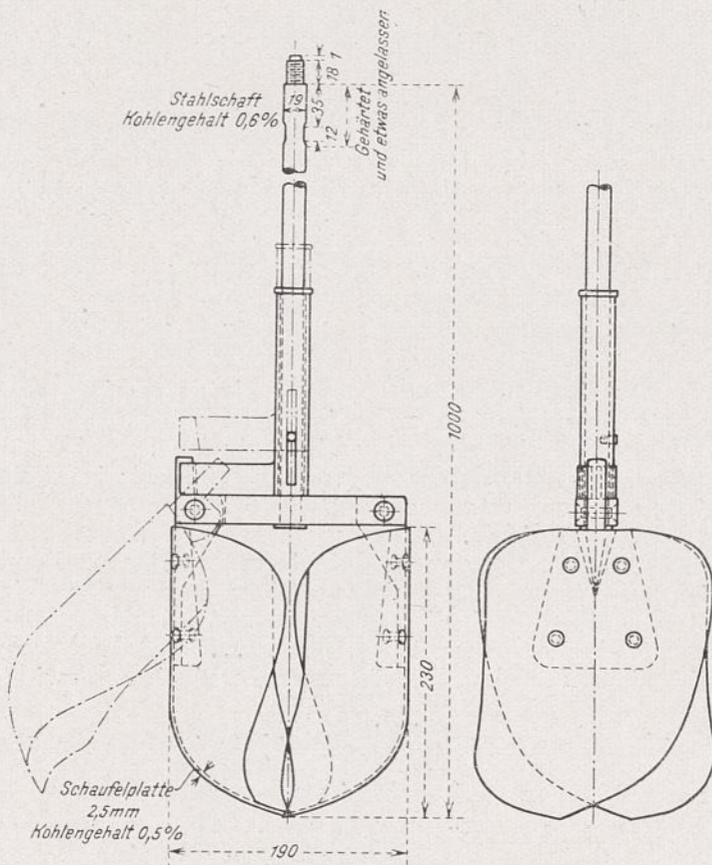


Abb. 5. Schaufelbohrer.

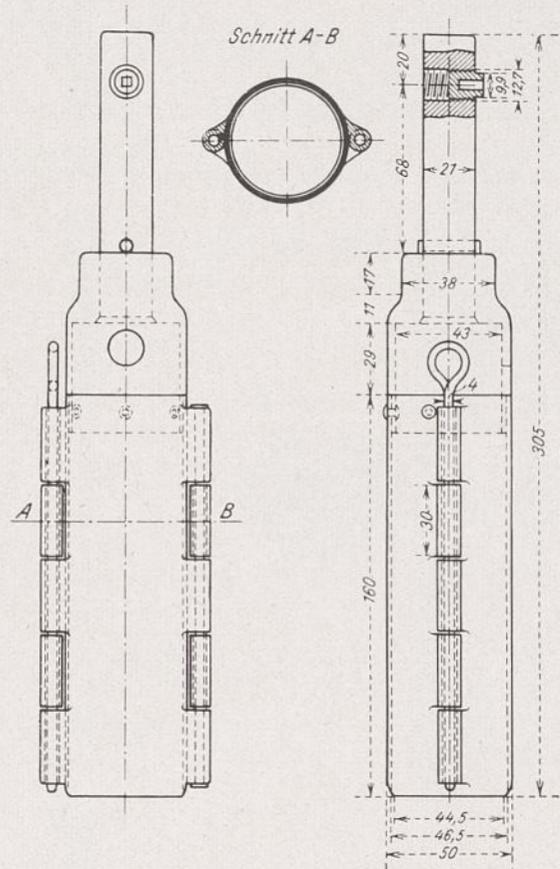


Abb. 6. Zylinderbohrer.

dem Rande des sektorförmig ausgebildeten Abschlusses des Prismas geführt wird. Die Konstruktion entspricht ihrem Zwecke in jeder Beziehung, nur erwies sich die Feldarbeit immerhin recht umständlich. Nach langen Versuchen gelang es neuerdings schließlich ein bequemeres, demselben Zwecke dienendes Gerät zu konstruieren, das von seinem Erfinder John Olsson Kolbenbohrer genannt wurde. Die Konstruktion (Abb. 7), die unter Mitwirkung von Caldenius entstanden ist und die als eine konstruktive Weiterbildung der bekannten Kolbenbüchse betrachtet werden kann, besteht im wesentlichen aus einem Zylinder, mit welchem die Probe entnommen wird, und aus einem in diesen Zylinder eingepaßten kürzeren Kolben, der einerseits das untere Ende des Zylinders beim Hinuntertreiben abschließt, andererseits eine Dichtung für das obere Ende des Zylinders bildet, um beim Hinaufziehen des Bohrers das Herausragen der Bohrprobe zu verhüten. Beim Anbohren ist zunächst der Kolben im Zylinder in seine untere Lage zu bringen. Zur Probeentnahme wird das obere Ende der Stange mit einem Drehhebel versehen; zwei verstellbare Böcke werden unter den Hebel gebracht, so daß nun die Klemme von dem Rohr losgemacht werden kann, und wenn jetzt der Zylinder weiter hinuntergetrieben wird, so legt er diesen Weg ohne den Kolben zurück, wobei die Probe in den Zylinder hineindringt. Hierauf wird der Kolben gegen

den Zylinder mit Hilfe der Klemme festgelegt und der Bohrer hinaufgezogen. Die Länge der Probe ist bei der normierten Konstruktion 64 cm.

Einer besonderen Behandlung bedarf die oberste Schicht, sowohl im Freien als auch unter Wasser. Denn sie ist doch offenbar ausschlaggebend, wenn es sich um eine Erdaufschüttung handelt. Bei den nordischen Tonböden ist die Lage vielfach so, daß die oberste Schicht ganz oder teilweise trocken und fest ist und darunter vielfach völlig durchnäßte Tonschichten folgen. Diese Trockenkruste wird nun mit Hilfe des Schaufelbohrers durchbohrt, also eine Probeentnahme vorgenommen. Die Probe wird schon auf der Baustelle einer Voruntersuchung in bezug auf ihre Konsistenz unterzogen, wofür die schwedische Kommission einfache, sinnreiche und zugleich eindeutige Normen ausgearbeitet hat. Wir müssen uns wegen Platzmangels versagen auf diese im einzelnen einzugehen<sup>1)</sup>, deuten nur an, daß mit Hilfe dieser behelfs-

<sup>1)</sup> Diese Konsistenzgrenzen bzw. Kriterien sind gegründet auf die Ergebnisse der Forscherarbeit von Dr. Atterberg, des Leiters der chemischen Laboratorien in Kalmar (Schweden). Siehe seine Abhandlungen in den Kungl. Lantbruksakademiens Handlingar und Kungl. Lantbruksakademiens Tidskrift 1911—1915. Die Atterberg'schen Konsistenzgrenzen sind wenigstens in ihren Grundzügen durch das Werk von Terzaghi auch in Deutschland bekannt geworden.

### III. Die Untersuchungen im Laboratorium.

Diese beziehen sich auf die Untersuchung des Wassergehalts, der Festigkeit, des relativen Feinheitsgrades, der Korngrößen und schließlich eventuell auf die Bestimmung des Gewichtsverlustes beim Ausglühen. — Für die Wassergehaltsbestimmung ist von der geotechnischen Kommission als Grundsatz festgelegt worden, daß die Tonprobe unter 100° Temperatur so lange in der Trockenkammer gehalten wird, bis das Gewicht keine merkliche Änderung mehr aufweist, wobei der Gewichtsverlust gegenüber dem feuchten Zustand den Wassergehalt außerhalb der Mineralkörndchen angibt.

Mehr Neues bietet die Festigkeitsbestimmung. Was hier als „Festigkeit“ bezeichnet ist, hängt wohl im wesentlichen von der Kohäsion ab. Eine absolute Bestimmung von Kohäsionszahlen ist indessen bei der Methode der schwedischen Eisenbahngeotechniker nicht erzielt; es ist nur eine Grundlage für gewisse rein vergleichende Stabilitätsberechnungen geschaffen worden. In Abb. 10 ist das Gerät, mit dem die relativen Festigkeitszahlen ermittelt werden, im Lichtbild dargestellt. Die Prüfungsmethode mag kurz als Kegelfallprobe bezeichnet werden und besteht darin, daß ein Kegel von normiertem Gewicht und Abmessungen über einer Schale mit dem zu prüfenden Material so befestigt ist, daß die Kegelspitze gerade die wagerechte Oberfläche der Erdfüllung berührt. Wird nun die Aufhängung des Kegels gelöst, dann sinkt der Kegel in den Ton ein und kommt erfahrungsgemäß schon nach wenigen Sekunden zur Ruhe (ein nachheriges, langsames Nachsinken ist wohl in vielen Fällen beobachtet worden, hat sich aber als geringfügig im Vergleich zum plötzlich zurückgelegten ersten Weg erwiesen); in diesem Umstand kann man den Hauptvorteil dieser neuen Prüfungsmethode erblicken. Eine umfangreiche Versuchsreihe zeigte ferner, daß, wenn bei einem bestimmten Kegelöffnungswinkel zur Erzielung einer bestimmten Eindringtiefe (beispielweise  $y = 10$  mm) die Proben einer Reihe die Kegelgewichte  $G_1, G_2, G_3 \dots G_n$  haben, dann bei einer anderen Eindringtiefe  $y'$  diese Gewichte  $G'_1 = \alpha G_1, G'_2 = \alpha G_2 \dots G'_n = \alpha G_n$  werden, wo  $\alpha$  in weiten Grenzen für alle Probestücke mit guter Annäherung dieselbe Zahl ist (aber im allgemeinen nicht  $= \frac{y'}{y}$ !).

Diese Tatsache ermöglicht es, daß man, ohne willkürlich vorzugehen, die zu  $y = 10$  mm gehörigen Werte  $G$  bei 60° Oeffnungswinkel als relative Festigkeitszahlen definieren kann (Bezeichnung  $h$ ). — Für alltäglichen Laboratoriumsgebrauch eignet sich diese Definition unmittelbar wenig, da man natürlich leichter die Einsenkung bei einem bestimmten Gewichte als das Gewicht bei einer bestimmten Einsenkung bestimmen kann. Für die laufenden Erduntersuchungen werden daher nur

- ein Kegel von 60 g Gewicht, 60° Oeffnungswinkel für mittelfeste Erdarten,
- ein Kegel von 100 g Gewicht, 50° Oeffnungswinkel für sehr feste Erdarten,
- ein Kegel von 10 g Gewicht, 60° Oeffnungswinkel für sehr lockere Erdarten

benutzt, worauf dann aus der abgelesenen Einsenkung mit Hilfe der in Abb. 12 wiedergegebenen, durch Versuche ermittelten Kurven die relative Festigkeitszahl ohne weiteres abgegriffen werden kann. Die Methode ist zunächst für Tone und verwandte bindige Erdarten erdacht, nachher aber (mit Ausnahme von Kies und grobem Sand) für alle möglichen Erdarten angewendet worden. Es ist anzunehmen, daß die ermittelten „relativen Festigkeitszahlen“ nicht nur durch die Kohäsion, sondern auch durch die Reibung beeinflusst werden, so daß sie zunächst nur sehr enge Anwendungen gestatten, wie etwa: wenn ein Toneinschnitt mit wagerechten Schichten und von einer bestimmten Tiefe sich bei einer gewissen Böschung als einwandfrei stabil erwiesen hat, so wird sich bei derselben Tiefe, Schichtung und Böschung jeder Toneinschnitt in qualitativ ähnlichem Ton als einwandfrei stabil er-

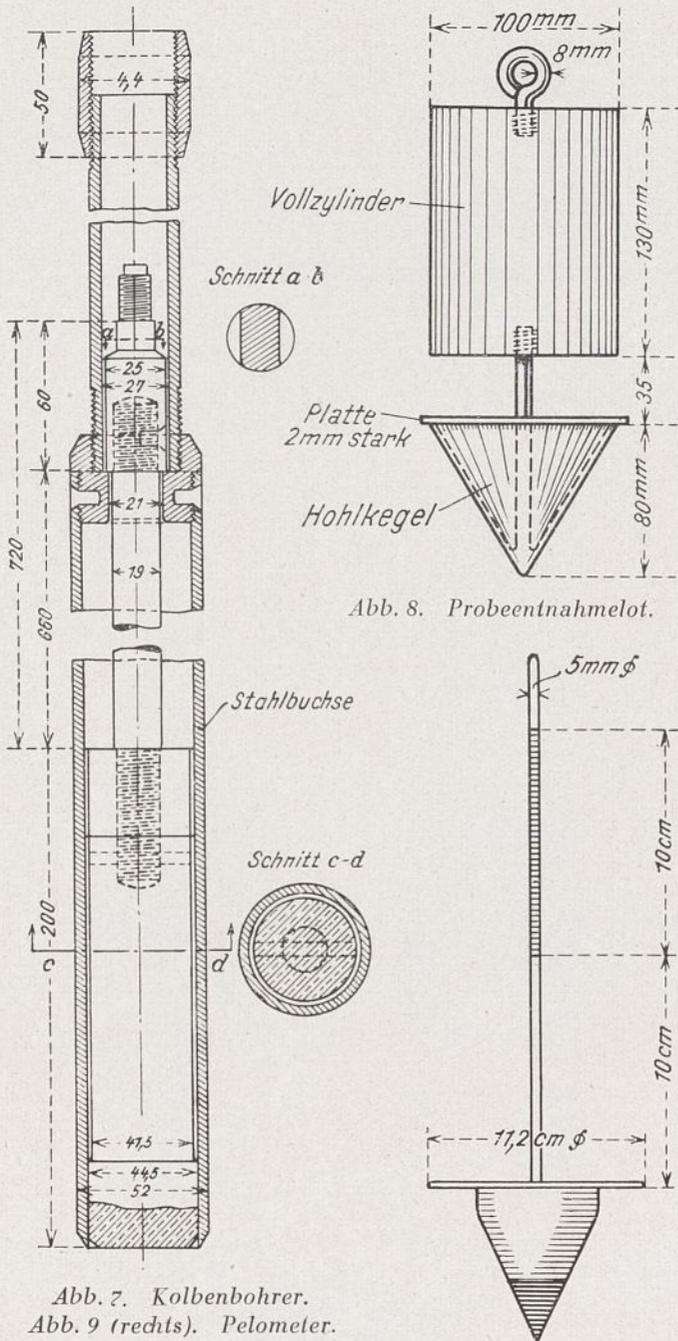


Abb. 7. Kolbenbohrer.  
Abb. 9 (rechts). Pelometer.

mäßigen Konsistenzuntersuchungen ermittelt wird, in welcher Tiefe die Trockenschicht die Grenze der Ausrollbarkeit bis zur Drahtform, des Fließens, der Klebrigkeit und schließlich der Gleichmäßigkeit erreicht; da die Untersuchung an Ort und Stelle vorgenommen wird, so muß natürlich auch die augenblickliche Witterung berücksichtigt werden, da die Konsistenzdaten nur so eine passende Vergleichsunterlage bieten. Schließlich wird auch noch genau das Verhalten gegen Frost sowie die Höhe notiert, in welcher das Wasser im Bohrloche steht. Bei den nordischen Verhältnissen ist unter Umständen auch wichtig, die Beschaffenheit der obersten Schicht unter dem Wasser kennenzulernen. Die geotechnische Kommission hat hierfür das in Abb. 8 veranschaulichte einfache und zweckmäßige Gerät konstruiert, womit erreicht wird, daß die dünne Platte beim Versenken sich hochhebt bis zu dem Vollzylinder, beim Hinaufziehen aber sich herunterdrückt bis zu dem mit der Probe gefüllten Hohlkegel<sup>2)</sup>.

Zu den Baustellenuntersuchungen gehört schließlich auch das Beobachten und Registrieren etwaiger Bewegungen des Bodens, deren Besprechung wir indes für das letzte Kapitel aufsparen.

<sup>2)</sup> Der Geologe Einar Naumann hat für sorgfältige Probeentnahmen aus den organischen Schichten unter den See-  
sohlen auch noch schärfere Methoden ausgearbeitet (Sveriges geologiska undersöknings publikationer C 267 und 279).

weisen, der die gleiche oder höhere relative Festigkeitszahl ergibt. Man wird dieselbe Annahme, wenn das eine Vergleichsobjekt Ton, das andere etwa Schluff ist, schon aus dem Grunde nicht ohne weiteren Vorbehalt machen können, weil die relativen Festigkeitszahlen vom momentanen Feuchtigkeitszustand des Materials abhängen und meist nur für einen gewissen Zustand bestimmt werden. —

Hier kommen wir auf einen wichtigen Umstand zu sprechen, nämlich den Zustand, in welchem die Proben der Untersuchung zu unterziehen sind. Es ist bei dem großen Einfluß des Wassergehaltes auf die Festigkeit bindiger Erdsorten eine Selbstverständlichkeit, daß der Wassergehalt der Probe möglichst genau unverändert wie in der Natur beibehalten werden muß. Schwieriger ist die Frage, ob man auch sonst die natürliche Konsistenz für die Festigkeitsprobe erhalten kann. Früher, als den schwedischen Geotechnikern keine verlässliche Methode zur Probeentnahme mit vollauf unveränderter Konsistenz zur Verfügung stand, sondern nur durch die Entnahme mit Kannenbohrer teilweise gestörte Proben gewonnen wurden, mußte diese Frage verneint werden. Man hat meist nicht die Festigkeit dieser in unbestimmbarer Weise durchgekneteten Masse bestimmt ( $h_2$ ), sondern die Konsistenzstörung absichtlich fortgesetzt bis zur „vollständigen Umrührung“, welcher Zustand dadurch definiert ist, daß eine weitere Knetung mit Hand keine weitere Abnahme der relativen Festigkeit mehr ergibt. Diese Minimumfestigkeit heißt  $h_1$ . Auch nach der Konstruktion der Kolbenbohrer, welche die bequeme Entnahme von Bohrproben mit vollständig unveränderter Konsistenz ermög-

lichen, wird neben der zugehörigen natürlichen Festigkeitszahl ( $h_3$ ) auch noch die Zahl  $h_1$  bestimmt. Die Verhältniszahl  $v = \frac{h_3}{h_1}$ , die etwa zwischen 10 und 20 schwankt, ausnahmsweise aber auch noch extremere Werte annehmen kann, ist nämlich eine besonders charakteristische Zahl, die gute Auskunft darüber gibt, inwieweit die ungestörte Lagerung ausschlaggebend für die Festigkeit ist. Diese Verschiedenheit hat eine große erdbautechnische Bedeutung: bei großem  $v$  ist nämlich viel größere Vorsicht geboten; denn ein etwaiger örtlicher Zusammenbruch (etwa der Durchbruch der Trockenschicht an der Oberfläche eines durch und durch nassen Tons infolge erhöhter Auflast) wird infolge Verlagerung sehr schnell weiter um sich greifen, wogegen bei niedrigem  $v$  diese Gefahr geringer ist. Die physikalische Ursache der großen Verschiedenheit der Zahl  $v$  ist noch ungeklärt. Olsson vermutet, daß, je ungestörter ein Ton sich in seinem (primären) Zustand befindet, desto größer sei  $v$ ; er gründet diese Vermutung auf die Abnahme von  $v$  an ein und derselben Bohrung von unten nach oben<sup>3)</sup>.

Wir sehen also, daß schon mit äußerst einfachen Hilfsmitteln zwei wertvolle Vergleichszahlen für die Beurteilung der Konsistenzigenschaften gewonnen werden können. — Unabhängig von den Eisenbahngeotechnikern hat ein schwedischer Wasserbauer, der vor einigen Jahren verstorbene Nils Westerberg, eine Methode ausgearbeitet und einen Apparat konstruiert, wonach der Gleit-

<sup>3)</sup> Die Zahl  $h_2$  liegt natürlich stets zwischen  $h_1$  und  $h_3$ , sie hat weiter keine wesentliche Bedeutung.

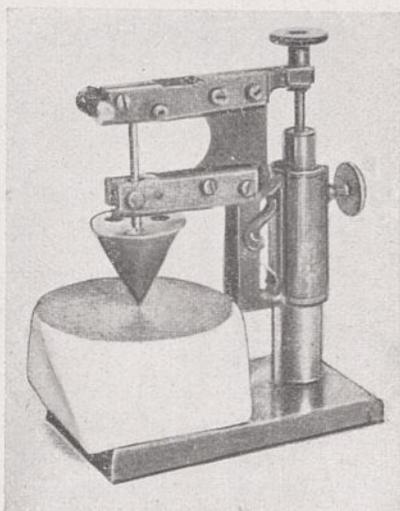


Abb. 10. Kegelfallprobe zur Berechnung der relativen Festigkeit von Kohäsions-Erden.

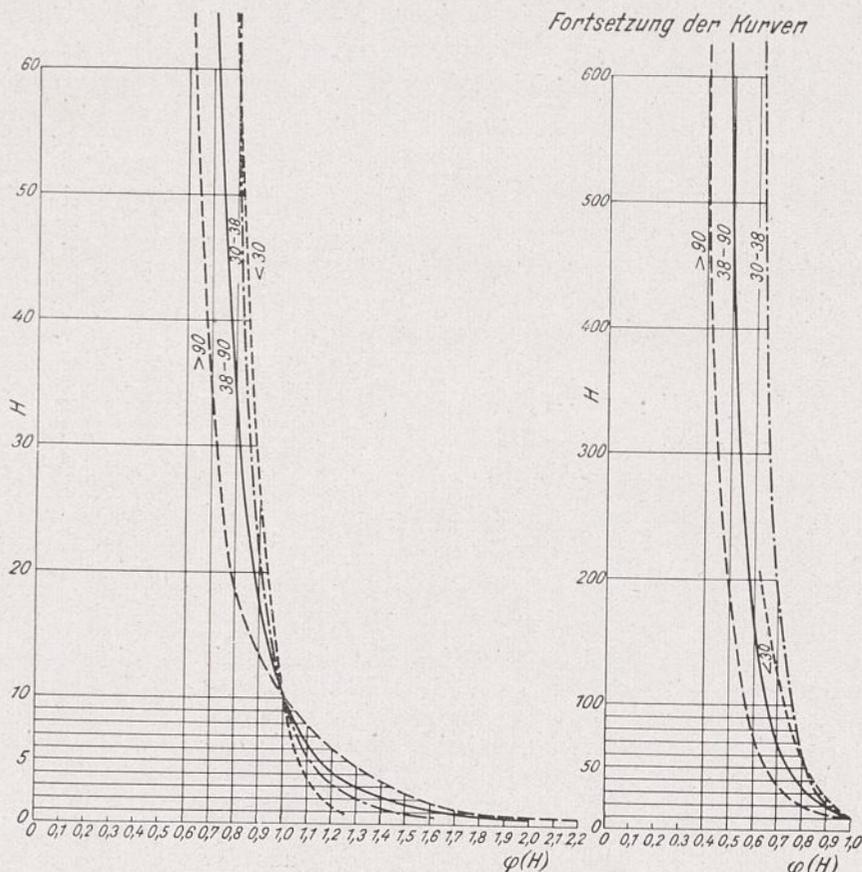


Abb. 11. Vergleichskurven.

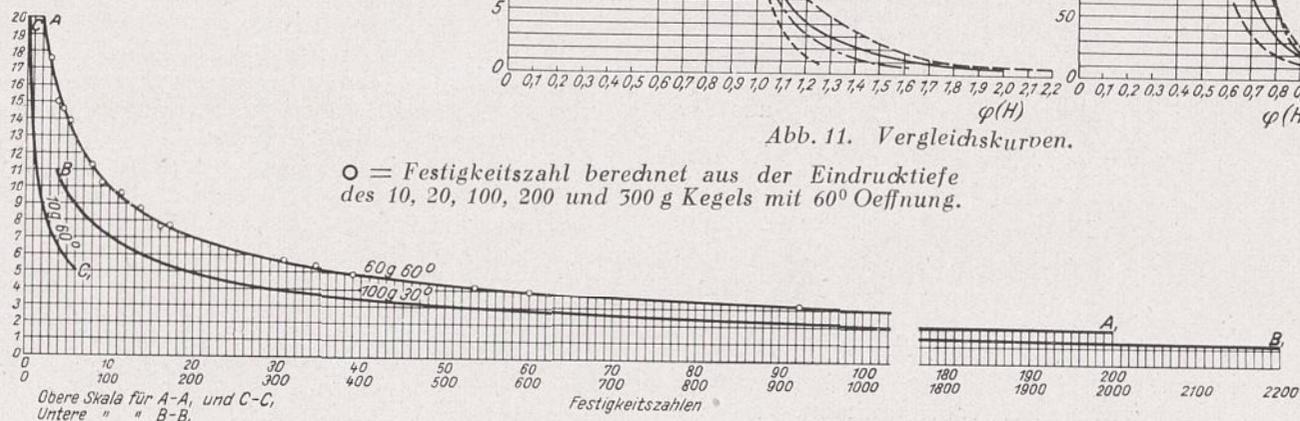


Abb. 12. Kurven zur Bestimmung der relativen Festigkeitszahlen aus der Eindringtiefe der 5 Normalkegel.

widerstand beliebiger Erdsorten bei veränderlichem Druck ermittelt werden kann. Wenn man dann den Gleitwiderstand als lineare Funktion des Normaldruckes ansetzt:

$$\tau = \frac{G}{F} = \mu p + K$$

wo  $\mu$  den Reibungswert,  $p$  den Normaldruck auf 1 cm<sup>2</sup> und  $K$  die Kohäsion bedeutet, so lassen sich die beiden charakteristischen Zahlen  $\mu$  und  $K$  aus zwei Ablesungen mit dem Westerbergschen Apparat bestimmen, so daß die Grundlage für eine absolute Standsicherheitsrechnung für Erdarbeiten hierin gegeben wäre. Näheres über den Westerbergschen Apparat findet man außer in der schwedischen Originalveröffentlichung in der neuesten Auflage des Kreyschen Werkes (Seite 7 u. ff.). — Es wäre wertvoll, wenn man die Abhängigkeit der obigen relativen Festigkeitszahlen  $h$  von  $\mu$  und  $K$  untersuchen würde.

Bei jeder wichtigeren Untersuchung bestimmen die schwedischen Eisenbahngeotechniker neben dem Wassergehalt und den für die Konsistenz kennzeichnenden Werten  $h_1$  und  $v$  noch eine weitere Vergleichszahl, die „relative Feinheit“ ist. Die Forschungen von Atterberg u. and. zeigen nämlich einwandfrei, daß, je feinkörniger ein Boden ist, desto mehr Wassergehalt besitzt er bei einer bestimmten Konsistenz, die etwa durch die gemeinsame relative Festigkeitszahl 10 gekennzeichnet werden möge. Die geotechnische Kommission definiert als Feinheitsgrad den prozentualen Wassergehalt der durch Wasserzusatz oder -entzug auf eine Festigkeit (bei vollständiger Umrührung) von 10 gebrachten Probe. Eine umgekehrte Proportionalität besteht zwischen der so definierten Feinheit und der durchschnittlichen Korngröße keineswegs, aber ein grobkörnigeres Material hat stets kleinere Feinheit als ein feinkörnigeres, so daß, ähnlich wie die obigen relativen Festigkeitszahlen, auch hier eine Vergleichsgröße vorliegt. — Die Grundlage für die bequeme Bestimmung der so definierten relativen Feinheit ist ein durch die schwedische geotechnische Kommission experimentell gesicherter Zusammenhang. Wenn eine Reihe von Tonproben mit der gemeinsamen relativen Festigkeitszahl  $H$  den prozentualen Wassergehalt  $V_1, V_2 \dots V_n$  aufweist und durch passende Veränderung des Wassergehalts zur Festigkeitszahl  $h$  gebracht wird, dann sind die dabei entstehenden Wassergehalte  $v^1, v^2 \dots v_n$  (innerhalb gewisser Grenzen genügend genau) so groß, daß

$$V_1 : v_1 = V_2 : v_2 = \dots V_n : v_n = f\left(\frac{H}{h}\right)$$

oder wenn  $h$  ein für allemal = 10 angenommen wird, dann kann man auch anschreiben:

$$\frac{V_{(H)}}{v_{(10)}} = f\left(\frac{H}{10}\right)$$

oder

$$V_{(H)} = v_{(10)} \times f\left(\frac{H}{10}\right) = v_{(10)} \times \varphi(H).$$

Diese Funktion  $\varphi(H)$  kann nun, wie schon angedeutet, mit genügender Genauigkeit doch nur innerhalb gewisser Grenzen unabhängig von  $v_{(10)}$  betrachtet werden, und daher hat die geotechnische Kommission vier empirische Kurven bestimmt für diese Funktion  $\varphi$  (Abb. 11), und zwar die erste für  $v_{(10)} < 50$ , die zweite für  $50 < v_{(10)} < 58$ , die dritte für  $58 < v_{(10)} < 90$  und die vierte für  $v_{(10)} > 90$ . Mit Hilfe dieser Kurvenschar kann man dann  $v_{(10)}$  aus der

Gleichung  $\frac{V_{(H)}}{\varphi(H)}$  bestimmen. Dies  $v_{(10)}$  ist gerade die oben definierte relative Feinheit. — Der Vorgang ist also: Abschätzen, in welchen Grenzen  $v_{(10)}$  etwa liegen mag, mit Hilfe der zugespitzten Kurve  $\varphi(H)$  den Wert  $v_{10} = \frac{V_{(H)}}{\varphi(H)}$  ermitteln; bei etwa sich herausstellender fehlerhafter Wahl der Kurve den Vorgang wiederholen. —

An dieser Stelle soll auch einiges erwähnt werden über „echte“ oder direkte Korngrößenbestimmungen von

Tonen. Auf diesem für die Bodenphysik wichtigen Sondergebiete der technischen Physik leisten schwedische und norwegische Forscher seit nahezu zwei Jahrzehnten sehr Wesentliches. Die zuverlässige Durchführung von Korngrößenbestimmungen bis zu den allerfeinsten Teilchen ist eine ziemlich schwierige Aufgabe. Für die dazu dienenden Schlämmanalysen<sup>5)</sup> ist eine große Anzahl von verschiedenen Methoden im Gebrauch. Die von Atterberg gegebenen Methoden sind durch das Terzaghische Werk (sowie durch die deutschen Veröffentlichungen von Atterberg selbst) auch in Deutschland genügend bekannt. Dagegen mag über Sven Odens Methode (s. Literatur Nr. 15), die an Genauigkeit und Zuverlässigkeit auch noch heute wohl unübertroffen ist<sup>6)</sup>, nach Grenness einiges gesagt werden.

Oden mißt kontinuierlich die abgesetzten Teilchen. Der Apparat besteht im wesentlichen aus einer empfindlichen Wage, auf deren einer Wagschale sich das Sediment ablagert, wobei die andere Wagschale immer ausbalanciert wird mit Hilfe kleiner Stahlkugeln, die jeweils vermittels eines elektrischen Kontakts und eines Relaisystems automatisch aufgebracht werden. Diese wachsende Belastung wird als Funktion der Zeit automatisch registriert, und Oden hat auf Grund des Stollenschen Gesetzes die Gleichung entwickelt, die aus dieser Kurve die Korngrößenanalyse liefert. Mit diesem Apparat kann ohne Schwierigkeit die Menge der 0,1  $\mu$  Durchmesserpartikel ermittelt werden. Oden hat seinen Apparat für seine kolloidchemischen Tonforschungen benützt. Vor Vornahme der Analyse wird eine von Oden angegebene Vorbehandlung vorgenommen, damit die einzelnen mineralischen Teilchen nicht in Flocken, sondern einzeln im Wasser schwimmen sollen.

Die jetzt aktuelle, genaue quartärgeologische Kartierung von Oslo samt Umgebung, bei welcher eine außerordentlich große Anzahl von Tonanalysen erforderlich ist, hat aber den Bedarf nach einem genügend genauen, aber zugleich erheblich billigeren Apparat fühlbar gemacht, damit gleichzeitig mehrere Proben untersucht werden können. Diese Untersuchungen werden im Mineralogischen Institut der Universität Oslo für die Rohstoffkommission des Norwegischen Staates ausgeführt. Der Leiter des Institutes, Prof. Goldschmidt, hat eine neue sehr einfache Korngrößenanalyse angegeben. Der Apparat, welcher von Ing. Grenness konstruiert und als Pelometer bezeichnet wurde, ist in Abb. 9 dargestellt. Er besteht aus einem Glasschwimmer in einer mit mm-Teilung versehenen Glasröhre und aus einer leichten Kreisplattenscheibe zur Aufnahme des Sedimentes. Der Schwimmer ist so ausbalanciert, daß sich die Scheibe bei 15° C und einer Konzentration von 2 g auf 10 cm unter der Flüssigkeitsoberfläche befindet. Nun werden die Teilchen auf der Scheibe abgesetzt, und das Pelometer sinkt. Die Wege werden an der Skala abgelesen und mit den zugehörigen Zeiten notiert. Die entstehende Zeitwegkurve läßt sich wieder auf Grundlage des Stokesschen Gesetzes zur Korngrößenanalyse auswerten. In bezug auf die Auswertungsmethode und deren mathematische Begründung muß auf die norwegische Originalveröffentlichung (s. Liter. Nr. 19) hingewiesen werden. — Dem Sedimentationsvorgang muß erstens ein Ausscheiden der größten Bestandteile (über 45  $\mu$ ) mit Hilfe eines normierten Sieb-systems, zweitens die Odensche Normalvorbehandlung und schließlich ein genau festgelegtes Umrühren der Flüssigkeit mit einem vom Institut konstruierten und normierten Propeller vorausgeschickt werden.

(Schluß folgt.)

<sup>5)</sup> Es sei nicht verschwiegen, daß man in allerneuester Zeit besonders in Deutschland die Aufschlüsse, die durch Schlämmanalysen über die Korngrößenverteilung gegeben werden, nur mit starkem Vorbehalt anerkennt, da die Form und Massenverteilung sowie auch das spez. Gewicht der verschiedenen Körner den Zusammenhang nicht unerheblich stören können.

<sup>6)</sup> Bei Terzaghi ist diese Methode nur flüchtig erwähnt.

<sup>4)</sup> In Gewichtsprozenten: Wassergewicht/Trockengewicht.