

ZEITSCHRIFT FÜR BAUWESEN

HERAUSGEGEBEN IM PREUSSISCHEN FINANZMINISTERIUM

SCHRIFTLITER: INGENIEURBAU RICHARD BERGIUS · HOCHBAU Dr.-Ing. GUSTAV LAMPMANN

78. JAHRGANG

BERLIN, SEPTEMBER/OKTOBER 1928

HEFT 9/10

Alle Rechte vorbehalten.

Die Neubauten der Universitäts-Kinderklinik und der Universitätsklinik für Ohren-, Nasen- und Halskrankheiten in Marburg a. d. Lahn.

Von Regierungsbaurat M. Spielberg, Marburg a. d. Lahn.

Geschichtliches.

Als im Juli 1927 die Philipps-Universität zu Marburg an der Lahn das Fest ihres vierhundertjährigen Bestehens feierte, konnten neben zahlreichen anderen bedeutungsvollen Gaben, die ihr zu diesem Ehrentage überreicht wurden, zwei neue klinische Institute feierlich eingeweiht und ihrer Bestimmung übergeben werden: eine Kinderklinik und eine Klinik für Ohren-, Hals- und Nasenkrankheiten. Beide brachten die Erfüllung seit geraumer Zeit gehegter Wünsche und bedeuteten für die Marburger Medizinische Fakultät insofern eine gewisse Abrundung und Vervollständigung, als nach Errichtung der zu Neujahr 1924 vollendeten neuen Klinik für Haut- und Geschlechtskrankheiten nur noch diesen beiden Lehrfächern eigene, ihren besonderen Belangen angepaßte und zu einem wirtschaftlichen Betriebe auskömmliche Räumlichkeiten fehlten.

Die Kinderklinik.

Was zunächst die Kinderheilkunde betrifft, so war sie bisher als Abteilung der Medizinischen Klinik unter selbständigem Leiter betrieben worden. Dazu standen ihr nur 5 kleine, wenig günstig gelegene Krankenzimmer, die ständig erheblich überbelegt waren, nebst einer kleinen Milchküche innerhalb der Medizinischen Klinik zur Verfügung. Die Poliklinik war in angemieteten Räumen eines abgelegenen, baulich und hygienisch mangelhaften Hauses der Altstadt untergebracht. Für allen übrigen Bedarf, insbesondere an Unterrichtsräumen und Laboratorien, war man auf die Gastfreundschaft der Medizinischen Klinik angewiesen.

Hatte man schon längst die hervorragende soziale Bedeutung einer rationellen Säuglings- und Kinderpflege erkannt und dieser Erkenntnis namentlich in den letzten Jahrzehnten vor dem Kriege in immer steigendem Maße Rechnung getragen, so konnten die verheerenden Folgeerscheinungen des Weltkrieges, die sich bei unserem Nachwuchs nicht zuletzt in einer erschreckenden Ausbreitung von Rachitis, Tuberkulose und Erbsyphilis äußerten, nur um so gebieterischer den weiteren Ausbau aller notwendigen Maßnahmen und Einrichtungen fordern.

Unter diesen Umständen mußte nicht zuletzt in Marburg der damalige Ordinarius der Kinderheilkunde, Professor Dr. Bessau, es als seine wichtigste Aufgabe betrachten, einen durchgreifenden Wandel der hier vorliegenden Mißstände herbeizuführen und mit allem Nachdruck für die Schaffung auskömmlicher räumlicher Grundlagen zur Entwicklung seines Lehrfaches einzutreten. So sehr die Berechtigung dieser Forderungen auch anerkannt werden mußte, so erschwerend stellten sich ihrer Erfüllung doch die trostlosen wirtschaftlichen Verhältnisse der Nachkriegsjahre entgegen, und der Preussische Staat würde sich kaum in der Lage gesehen haben,

an ein so großzügiges Bauvorhaben, wie es hier gefordert und der Sachlage nach geboten war, heranzugehen, wenn ihm nicht von dritter Seite eine bedeutsame Hilfe zuteil geworden wäre.

Es gelang, die Aufmerksamkeit eines Mannes auf das Vorhaben zu lenken, der — ein Deutschamerikaner — bereits anderweit für die Kinderpflege seines alten Heimatlandes vielfach opfermütig eingetreten war. Das entscheidende Verdienst um das Zustandekommen der Kinderklinik ist in deren Eingangshalle auf einer Marmortafel mit folgenden Worten zu dauerndem Gedächtnis festgehalten:

„Diese Klinik verdankt ihr Entstehen in den Jahren 1922 bis 1927 der grundlegenden und opferwilligen Mitarbeit des Ehrenbürgers der Universität Marburg und Ehrendoktors ihrer Medizinischen Fakultät Herrn George D. Horst und seiner Ehefrau Emma Horst geb. Goetz aus Reading in den Vereinigten Staaten von Amerika. Nach ihrem einzigen Kinde erhielt die Klinik den Namen Carolinenhaus.“

Eine erste namhafte Spende Dr. Horsts ermöglichte es, im Herbst 1921 mit den Arbeiten zu beginnen.

Das für den Neubau ausersehene Grundstück erforderte, wie weiter unten dargetan wird, durch die Eigentümlichkeit seiner Lage, von vornherein seine gesamte Bebauung festzulegen und somit die Planung auf eine vollständige, allen Anforderungen auf absehbare Zeit genügende Anlage zu erstrecken. Die Entwürfe hierzu wurden im Winter 1921/22 auf Grund des von Professor Bessau aufgestellten Raumprogramms ausgearbeitet. Ihre Ausführung alsbald in vollem Umfang in Angriff zu nehmen, verbot sich freilich infolge der damals herrschenden wirtschaftlichen Schwierigkeiten und der Unsicherheit der nächsten Zukunft. Was sich mit Hilfe der erwähnten Beihilfe zunächst schaffen ließ, war nur ein kleiner, bescheidener Teil der gesamten Planung, der vorläufig den allerdringendsten Anforderungen Genüge tun und vor allem eine bisher gänzlich fehlende Infektionsstation, dazu behelfsmäßig die unentbehrlichsten Räume für den Direktor und die Verwaltung, eine Küche und einige kleine Laboratorien aufnehmen sollte.

Nachdem die Stadt entgegenkommender Weise das Gesamtgrundstück erworben hatte, um es für den gedachten Bau zur Verfügung zu halten, und den zunächst benötigten Teil von 1200 qm als ihren Beitrag zu dem Vorhaben geschenkt hatte, wurde jener erste Teil, der den kurzen Südflügel der jetzigen Anlage bildet, im Sommer 1922 in Angriff genommen. Schon während der ersten Vorbereitungen des Entwurfs hatte inzwischen der Staat für die Poliklinik und eine allgemeine Kinderstation von 12 Betten in einem angemieteten Privathause gegenüber der Medizinischen Klinik ein Unterkommen geschaffen,

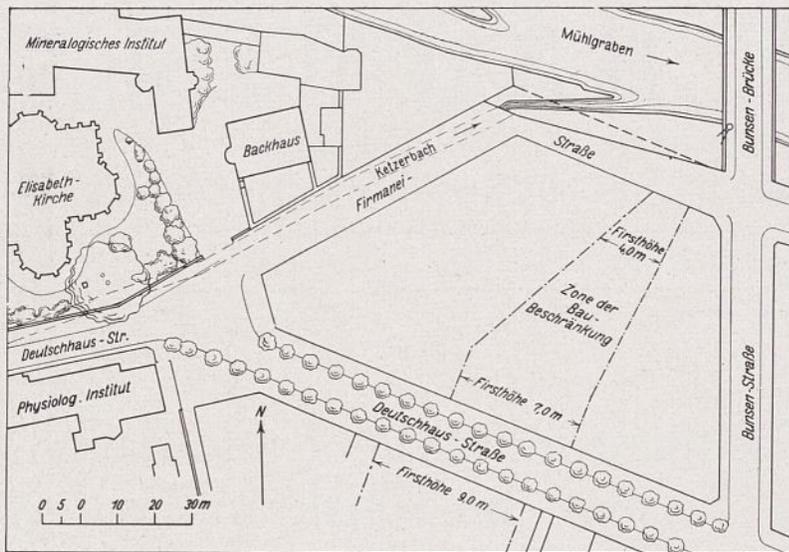


Abb. 5. Lageplan, früherer Zustand.

um möglichst rasch den nächstliegenden Unzulänglichkeiten abzuweichen.

Noch bevor jener erste Bauabschnitt vollendet war, ermöglichte es Dr. Horst durch eine weitere Spende, zu der noch einige andere kleinere Stiftungen hinzutraten, ihn durch Inangriffnahme eines kleinen zweiten Bauabschnittes — die Ecke des Süd- und West-Flügels — zu erweitern, so daß auch noch eine ebenfalls bisher ganz fehlende Einzelzimmerstation und eine kleine Säuglingsstation nebst Milchküche untergebracht werden konnten. Beide Teile, die zusammen etwa ein Fünftel der Gesamtplanung ausmachten, wurden dann zusammen vollendet und am 5. Januar 1924 mit einer kleinen Feier in Betrieb genommen.

War somit den dringlichsten Anforderungen Rechnung getragen und damit in Anbetracht der Zeitverhältnisse viel erreicht, so bestand für eine gedeihliche Entwicklung und erfolgreiche Wirksamkeit der Anstalt doch noch ein erhebliches Erschwernis in dem Umstande, daß ihre Räumlichkeiten sich in zwei weit voneinander entfernten Gebäuden befanden, die einen einheitlichen Betrieb nicht zuließen, und daß ferner der Unterricht noch immer in dem Hörsaal einer anderen Klinik — also an einem dritten Orte — gastweise stattfinden mußte, wodurch die Vorführung von Patienten stark beschränkt war. Das war Grund genug, um die Fortsetzung des begonnenen Werkes schon vor Vollendung der ersten beiden Bauabschnitte energisch zu betreiben. Dieser Aufgabe unterzog sich neben dem von Anfang an unermüdet für die Sache tätigen Universitätskurator Geh. Oberregierungsrat Dr. v. H ü l s e n der inzwischen an die Stelle des Professors Bessau getretene neue Direktor der Klinik Professor Dr. Freudenberg, der auch bei der

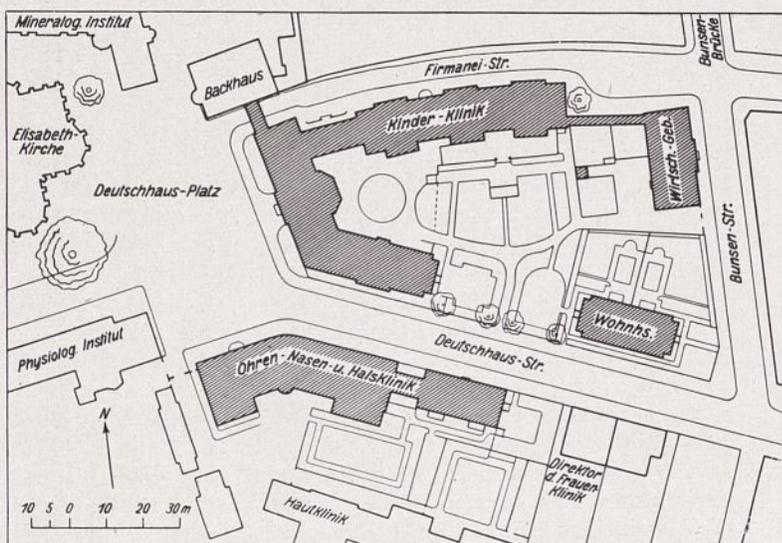


Abb. 6. Lageplan, jetziger Zustand.

weiteren Durcharbeitung der Entwürfe die Belange des Klinikers vertrat und fördernd mitwirkte.

In vollstem Verständnis für die Sachlage und in nicht erlahmender Bereitwilligkeit stellte Dr. Horst einen weiteren erheblichen Beitrag zur Verfügung. Mit dessen Hilfe und der gleichzeitig tatkräftig einsetzenden finanziellen Beteiligung des Staates war es möglich, schon im Herbst 1923 einen neuen, dritten Bauabschnitt in Angriff zu nehmen, der den ganzen Westflügel und einen Teil des Nordflügels — etwa $\frac{2}{5}$ des Gesamtprojekts — umfaßte und im Sommer 1925 vollendet wurde. Hierdurch erhielt die Klinik vor allem ihren eigenen Hörsaal und die endgültigen poliklinischen Räume. Da zugleich unter äußerster Ausnutzung der vorhandenen Räumlichkeiten nun auch die vorerwähnte Kinderstation aus den angemieteten Räumen hierher verlegt werden konnte, waren nunmehr alle Teile der Klinik unter einem Dache vereinigt.

Das bedeutete einen neuen, wesentlichen Fortschritt. Freilich mußten dabei noch manche Mängel und Einschränkungen in Kauf genommen werden, die auch dem hiermit geschaffenen Zustand keine längere Dauer wünschen ließen. Denn nicht nur waren die Laboratorien äußerst knapp und der Küchenbetrieb der inzwischen stark gestiegenen Zahl der Kranken und des Personals kaum noch gewachsen, sondern es mangelte den nur behelfsmäßig untergebrachten Krankenstationen selbst an dem nötigen Raum und vor allem an der Möglichkeit, Luft und Sonne gebührend auszunutzen, weil der ganze eigentliche Krankenflügel und der Garten noch fehlten.

Dr. Horst zögerte nicht, dem Unternehmen seine großzügige Hilfe bis zum Schlusse angedeihen zu lassen, und da inzwischen die Stabilisierung unserer Währung erfolgt war, konnte auch der Staat zuversichtlich daran denken, das nunmehr zum größten Teil vollendete Werk gänzlich zu Ende zu führen. Schon im Sommer 1925 wurden die noch fehlenden Teile als vierter Bauabschnitt in Angriff genommen und bis zum Juni 1927 fertiggestellt.

Nachdem daran anschließend die beiden ersten, zunächst größtenteils behelfsmäßig eingerichteten Bauabschnitte einem inneren Umbau für ihre endgültigen Zwecke unterzogen worden waren, konnte die Gesamtanlage rechtzeitig zum Universitätsjubiläum übergeben werden. Trotz aller anfänglichen Schwierigkeiten war es gelungen, das gesamte, umfangreiche Bauwerk fast unverändert nach der ersten großzügigen Planung ohne Unterbrechungen zu vollenden.

Die Ohren-, Hals- und Nasenklinik.

Die Geschichte der Marburger Universitäts-Klinik für Ohren-, Hals- und Nasenkrankheiten beginnt mit dem Jahre 1890, wo zunächst eine kleine Poliklinik für dieses Sonderlehrfach eingerichtet wurde. Als diese 1896 aus angemieteten Räumen nach der Vollendung der jetzigen Chirurgischen Klinik in ein hierdurch freigewordenes ehemaliges Nebengebäude der letzteren, die sogenannte alte Rosersche Privatklinik, verlegt werden konnte, ergab sich die Möglichkeit, wenn auch im bescheidensten Umfange, eine klinische Station anzugliedern. Durch verschiedene mehr oder weniger behelfsmäßige An- und Umbauten wurden die nötigsten Räume für Unterricht und Untersuchung geschaffen und versucht, die Baulichkeiten im Laufe der Zeit den wesentlichsten Anforderungen der fortschreitenden Wissenschaft anzugleichen, ohne daß es bei den gegebenen Grundlagen möglich gewesen wäre, etwas wirklich Zulängliches zu schaffen. So waren seit 1909 keine wesentlichen baulichen Maßnahmen mehr erfolgt, obwohl die aneinandergeschachtelten Räume dem

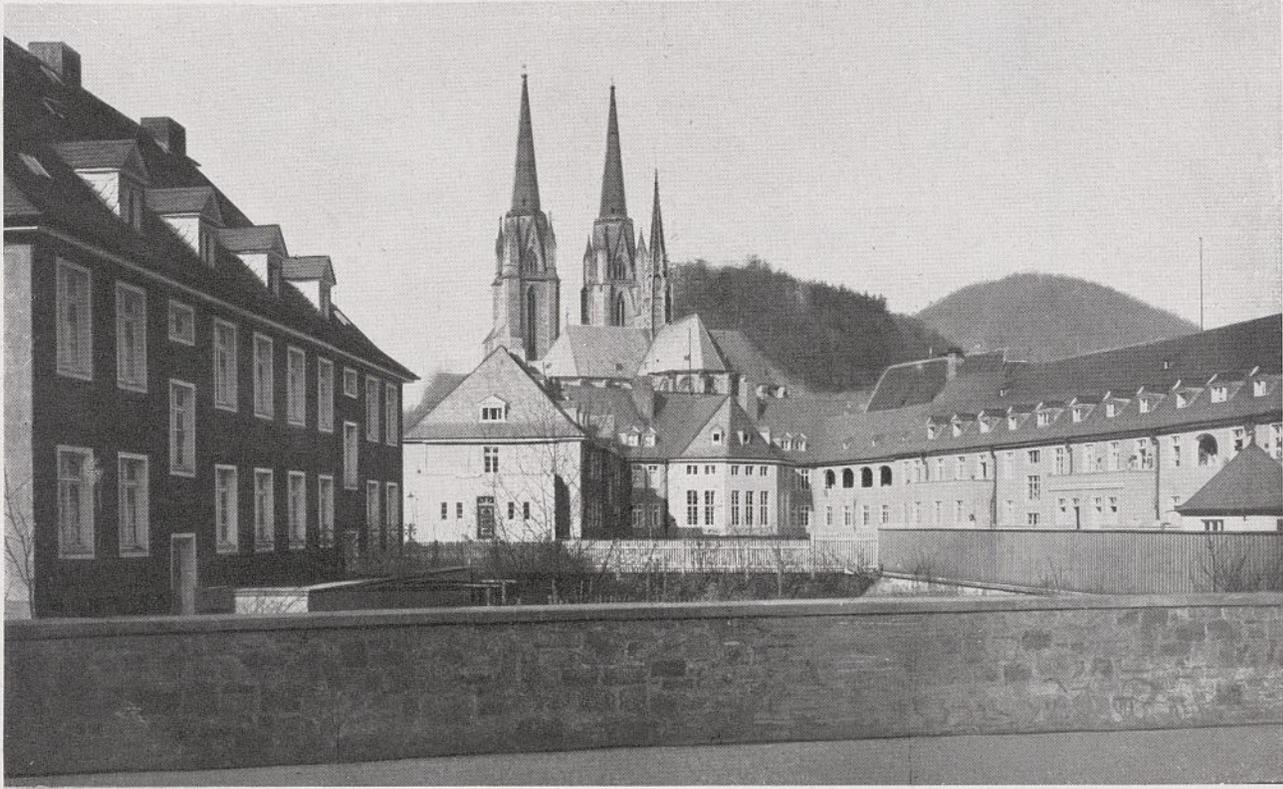


Abb. 7. Kinderklinik. Ansicht von der Bunsenstrasse aus.
Im Hintergrunde die Elisabethkirche.

ständig wachsenden Klinik- und Unterrichtsbetrieb und den modernen hygienischen Forderungen immer weniger entsprachen und ihr baulicher Zustand immer mangelhafter wurde.

Als daher die vom Staate bisher nur unterstützte Anstalt Ende 1922 unter ihrem jetzigen Direktor, Professor Dr. Uffenorde in staatlichen Besitz übernommen worden war, fielen dessen Bemühungen um einen Neubau auf fruchtbaren Boden. Die Staatsregierung verschloß sich nicht der Erkenntnis, daß auf andere Weise nicht mehr geholfen werden könne, und beschloß, im Hinblick auf das Universitätsjubiläum alsbald an die Ausführung heranzutreten, um den Bau der Universität als Festgabe des Preußischen Staates zu übereignen.

Um schon inzwischen dem unangenehmsten Uebelstande, der Unzulänglichkeit der Krankenzimmer, einigermaßen abzuhelfen, wurde während der ersten Vorbereitungen des Neubaus im Garten der alten Klinik eine Döckerbaracke für 12 Betten errichtet, deren Ausstattung so gewählt wurde, daß sie in den Neubau übernommen werden konnte.

Der Neubau selbst wurde im Herbst 1925 begonnen und im Juli 1927 beendet. Das dem Entwurf zugrunde liegende Raumprogramm ist von Professor Uffenorde aufgestellt worden, der auch weiterhin bei der Durcharbeitung und Ausführung des Baues bis in alle Einzelheiten hinein mit besonderer Sorgfalt und Liebe durch Rat und Tat mitwirkte und sein Gelingen förderte.

Die Lage und äußere Gestaltung.

Das Gelände, auf dem die beiden Kliniken liegen und das von der Deutschhausstraße durchschnitten wird, wurde ehemals fast von dem ausgedehnten, von Stall- und Vorratsgebäuden umsäumten Wirtschaftshof der Deutschordenskomturei eingenommen, der erst gegen Ende des vorigen Jahrhunderts völlig verschwunden ist. Als letzter Rest desselben ist das sogenannte „Backhaus“ anzusehen, ein stattlicher mittelalterlicher Fruchtspeicher (Abb. 2), an den nach Norden hin die wenigen weiteren Ueberbleibsel der Ordensniederlassung anschließen, die in der Hauptsache jetzt das Mineralogische- und das Geologische-Institut der Universität beherbergen. Im

Westen erhebt sich der wundervolle Bau der ebenfalls vom Deutschen Orden errichteten Elisabethkirche.

Ausschlaggebend für die Wahl dieses Geländes war der Umstand, daß die beiden Neubauten hier mitten in das schon bestehende Klinikviertel gestellt werden konnten und so den erwünschten Anschluß an die übrigen Institute der Medizinischen Fakultät fanden. Für die Anordnung und Gestaltung der Gebäude mußte die enge örtliche Beziehung zu einer so bedeutsamen Baugruppe, wie sie die Elisabethkirche nebst den übrigen Deutschordensbauten darstellt, von grundlegender Bedeutung sein. In Erkenntnis dieser Notwendigkeit hatte die Stadt Marburg nicht nur die nähere Umgebung der Elisabethkirche einem besonderen Ortsstatut unterstellt, in dem sie sich das Mitbestimmungsrecht bei der äußeren Gestaltung von Neu- und Umbauten sicherte, sondern sie hatte sich auch im Jahre 1920 durch Prof. Pützer-Darmstadt Richtlinien für die Bebauung des in Rede stehenden Geländes aufstellen lassen, deren Beachtung bei dem Entwurf sie forderte.

Allerdings beschränkte sich dieses Gutachten im wesentlichen darauf, den von der Bunsenbrücke sich bietenden schönen Blick auf Schloß und Altstadt durch gewisse Baubeschränkungen innerhalb einer bestimmten Zone freizuhalten (Abb. 5 u. 7). Wenn die Stadt auf dieser Forderung, der trotz aller malerischen Reize des gedachten Durchblickes vom architektonischen Standpunkte aus nur eine verhältnismäßig sekundäre Bedeutung beizumessen ist, bestand, so mag das seine Erklärung in der Erkenntnis finden, daß bei der Bebauung der neueren Stadtteile in den letztvergangenen Jahrzehnten nicht immer die gebührende Rücksicht auf das schöne charakteristische Bild der steil aufgebauten alten Bergstadt genommen worden war.

Für die wichtigere Frage, nämlich die Gestaltung der unmittelbaren Nachbarschaft der Kirche und der Ordensbauten, waren, abgesehen von der aus dem Maßstabe der alten Baulichkeiten sich ergebenden Forderung einer höchstens zweigeschossigen Bauweise, genauere Anhaltspunkte nicht gegeben, wohl aus der Erkenntnis heraus, daß der spitzwinklige Zusammenschchnitt der Deutschhaus- und der Firmaneistraße gegenüber dem Chor der Kirche



Abb. 8. Blick von der Firmanestraße auf die Kinderklinik, das Backhaus und die Elisabethkirche.

(Abb. 5), eine wirklich befriedigende Lösung ohne einschneidende Änderung der vorhandenen Eigentums-
grenzen nicht zuließ.

Hier eine brauchbare Lösung zu ermöglichen, mußte jetzt in erster Linie angestrebt werden. Durch Austausch von Grundstücksteilen zwischen dem Staat, der Stadt und einem angrenzenden Privatbesitzer gelang es, die noch nicht ausgebaute Firmanestraße zu verlegen und in leichter Krümmung hart an das alte Backhaus heranzuführen. So wurde Raum geschaffen, um gegenüber der Kirche eine möglichst langgestreckte Front zu errichten, die sowohl die im Hintergrunde erscheinenden, unruhig und fremd wirkenden gelben und roten Verblendsteinbauten verdeckte als auch die Rückwand für einen hinter der Kirche zu schaffenden ruhigen und klaren Platzraum bildete (Abb. 6). Die Einmündung der Firmanestraße in letzteren wurde mit einem Torbogen überdeckt, um eine möglichste Geschlossenheit der Baumassen zu



Abb. 9. Kinderklinik, Eingang zur Poliklinik von der Firmanestraße aus.

erreichen und den Blick durch die Firmanestraße gegen die Kirche besser zu fassen (Abb. 8 und 10). Bei dem ebenfalls nicht sehr günstigen schiefen Anschnitt der Deutschhausstraße war es leider nicht möglich, eine Änderung vorzunehmen, um den Blick in die leere Perspektive der graden breiten Straße abzufangen. Immerhin konnte der nördliche Bürgersteig um 2 m verschmälert werden, so daß es möglich war, den südlichen Flügel der Kinderklinik, der wegen der darin vorgesehenen Krankenräume nicht unmittelbar an der Straße liegen sollte, fast genau in die Bauflucht zu setzen und die Straßeneinmündung seitlich so eng wie möglich zu fassen.

Als es sich dann später so fügte, daß die südlich der Deutschhausstraße liegenden Grundstücke für die Ohrenklinik erworben werden konnten, lag die Aufgabe, die dieser Bau für die Platzgestaltung erfüllen sollte, fest. Er mußte so weit wie möglich den südlichen Abschluß bilden und zur Milderung des ungünstigen Straßeneinschnittes beizutragen suchen. Zu diesem Zweck ist hier eine ganz gleichmäßige, ruhige Front entwickelt worden, die sich ohne scharfen Knick in allmählicher Rundung weit in die Deutschhausstraße hineinzieht, um die Platzwand möglichst lang erscheinen zu lassen und die Öffnung der Straßenmündung zurückzudrängen (Abb. 1 und 14).

Die Lücke südlich des Chors der Kirche wird durch eine prachtvolle alte Weide mit einer Krone von seltener Stattlichkeit aufs glücklichste geschlossen (Abb. 1). Das von hier aus sich unorganisch östlich vor die Kirche schiebende, größtenteils auch schon stark überständige Buschwerk wurde beseitigt und so die reizvolle Gruppe der alten Ordensbauten zu neuer Geltung gebracht.

Was die übrige Gruppierung der Baulichkeiten anlangt, so wurde sie wesentlich durch die vorhandene Baubeschränkung beeinflusst. Mittels eines niedrigeren, durch Rampenvorbauten belebten Zwischenbaues (Abb. 9) schließt an den Westflügel der Kinderklinik ein langer, der Straße entsprechend gekrümmter nördlicher Flügel an, dessen Straßenfront durch drei Giebelrisalite rhythmisch gegliedert ist (Abb. 10), während seine Südseite sich mit Balkons, Loggien und großer Terrasse nach dem Garten öffnet (Abb. 5 u. 4). Der geforderte Durchblick auf das Schloß wird einerseits durch den Ostgiebel dieses Flügels, andererseits durch den Nordgiebel des an der Nordostecke des Grundstückes sich erhebenden Wirtschaftsgebäudes eingerahmt (Abb. 12).

Das an der Südostecke des Grundstückes befindliche Gebäude enthält Wohnungen für die Direktoren der Kinderklinik und der nahegelegenen Hautklinik. Es wurde 1922/23 von der Stadt in engstem Anschluß an die Gestaltung der Kinderklinik errichtet und später in staatlichen Besitz übernommen. Zwischen ihm und dem Südflügel der Kinderklinik öffnet sich von der Deutschhausstraße aus über eine niedrige Mauer der Blick in den Garten.

Dieser nach Süden völlig freie, nach den anderen Seiten geschützte Garten konnte dank einer Sonderstiftung Dr. Horsts zu einem besonderen Schmuckstück ausgestaltet werden (Abb. 11 u. 15). Von der großen Terrasse des Nordflügels führt zwischen deren an den Kopfen mit zwei Puttengruppen — Werken des Bildhauers Wolfgang Schwartzkopf-Kassel — geschmückten Brüstungen eine kleine Freitreppe in den Garten hinab (Abb. 11). Beiderseits der Treppe vor der Brüstungsmauer ist eine den ganzen Sommer in wechselndem Blütenschmuck stehende Staudenrabatte angelegt. Davor dehnt sich eine große Rasenfläche, die von niedrigen Polyanthosen und Teehybriden umsäumt ist. Die Ecken sind durch Buxuskugeln betont. Mitten in den Rasen schiebt sich ein flaches Planschbecken, dessen beiderseitige Wasserzuläufe von bronzenen Enten — ebenfalls von Schwartzkopf geschaffen — bekrönt sind (Abb. 11 u. 46). Ein mit blühenden Polsterstauden durchwachsender Plattenstreifen bezeichnet die Mittelachse der Anlage. Zu beiden Seiten wird die Rasenfläche durch breite Rabatten von



Abb. 10. Kinderklinik, Ansicht von der Firmanestraße.

Rhododendron und Azalea molis mit Unterpflanzung von Erika eingefast und durch Hainbuchenhecken abgeschlossen. Jenseits des die Anlage von Osten nach Westen durchziehenden Fahrweges sind zwei von immergrünen Ligusterhecken umgrenzte Spielplätze, davon der eine mit Bänken und Sandkasten, angelegt.

Der westlichste, dreiseitig vom Gebäude umschlossene Gartenteil ist in der Tiefenlage des ursprünglichen Geländes liegen gelassen worden, so daß die an ihn stoßenden Räume des Sockelgeschosses etwa ebenerdig liegen und dadurch besser nutzbar sind. Oestlich ist außer zwei zu dem Wohnhause gehörenden Privatgärten ein Wirtschaftshof mit einem Stall für Versuchstiere abgetrennt.

Bei der Ohrenklinik ist der Blick auf die Altstadt dadurch gewahrt, daß an das zweigeschossige Hauptgebäude innerhalb der vorgeschriebenen Zone mittels eines schmalen Zwischenbaues ein kleines eingeschossiges Gebäude angeschlossen ist, das als Isolierhaus dient (Abb. 26). Im Gegensatz zur Straßenseite (Abb. 14 u. 26) sind die Rückseiten der Ohrenklinik lebhafter gegliedert worden (Abb. 16 u. 27). Hier ist auch wieder das Gelände auf der ursprünglichen Tiefe belassen worden, um im Sockelgeschoß ebenerdige Räume zu gewinnen. Da von dem nicht übermäßig reichlichen Freiraum zwischen der Ohrenklinik und der gegenüberliegenden Hautklinik für letztere noch ein Männergarten abgetrennt werden mußte, konnten nur verhältnismäßig bescheidene Gartenanlagen geschaffen werden. Ein Versuchstierstall und Holzschuppen sind in einem angrenzenden Nebengebäude eines anderen Institutes mit untergebracht worden.

Ebenso wie für die Gruppierung der Baulichkeiten mußte auch für deren architektonische Durchbildung die Rücksicht auf die benachbarten Baudenkmäler als wesentlichster Gesichtspunkt gelten und zurückhaltende Schlichtheit am Platze sein.

Um keine Unruhe in die Baugruppe hineinzutragen, sind beide Bauten in der Gesamtwirkung sehr ähnlich gehalten. In den Einzelheiten der Formen und Farben, die bei jedem Bau in sich abgestimmt sind, ist jedoch ein gewisser Wechsel erfolgt, zumal es sich hier nicht um eine in sich geschlossene einheitliche Bauanlage, sondern um zwei verschiedene, nur den gleichen allgemeinen Grundsätzen untergeordnete Gebäude handelt.

Beide Bauten sind in der hier bodenständigen Weise mit Schiefer nach deutscher Art gedeckt. Die Wandflächen der beiden Vollgeschosse sind mit einem gelblich

getöntem, rauh abgeriebenen Kalzitputz überzogen, der bei beiden Bauten etwas verschieden behandelt ist. Der Sockel besteht aus grauem, überscharrierten Steinputz (Vorsatzbeton). Zu dieser Grundstimmung treten bei der Kinderklinik weiße Fensterkreuze mit weißen Umrahmungen und ein weißes Hauptgesims (aus Holz); für die wenigen aus Werkstein hergestellten Teile (Türgewände, Brüstungsabdeckungen, Stufen, Umwehrungsmauer) ist der in der Umgegend gebrochene Sandstein verwendet worden. Die Dachrinnen, Fallrohre und Türflügel sind lebhaft blaugrün, letztere mit schwarz und grau abgesetzt. Die an einzelnen Stellen vorhandenen Schmiedearbeiten (Fenstervergitterungen, Geländer, Laternen) sind mennigrot gestrichen.

Bei der Ohrenklinik sind die Fensterkreuze ebenfalls weiß, jedoch die Umrahmungen, das hier massiv hergestellte Hauptgesims, die Türgewände und Abdeckungen sämtlich aus grauem scharrierten Vorsatzbeton hergestellt. Wo, wie z. B. bei den Stufen, Werkstein verwendet ist, besteht dieser aus grauer Basaltlava. Die Dachrinnen und Fallrohre sind dunkelrot; auf den gleichen Grundton sind die Flügel der Eingangstüren abgestimmt. Die Inschriften an beiden Bauten bestehen aus brünierten, auf den Putz aufgelegten Bronz Buchstaben.

Alles in allem ist hier, wie schon ein Blick auf den Lageplan (Abb. 6) zeigt — unter Zustimmung der beteiligten Stellen, zu denen in diesem Falle auch die städtischen Körperschaften und die Organe der Denkmalpflege gehörten, — eine Lösung gewählt worden, die bewußt von einer selbständigen oder gar monumentalen Wirkung der Bauanlage, von einem Gleichgewicht der Baukörper und Baumassen in sich absieht. So naheliegend eine solche von allgemeinen Grundsätzen aus auch erscheinen mag, so wirkten ihr im vorliegenden Falle die mit dem Bauplatze verknüpften Bedingungen stark entgegen, und wichtiger erscheinen mußte vor allem die Unterordnung unter die Elisabethkirche, deren beherrschende Wirkung unter keinen Umständen beeinträchtigt werden dürfte, vielmehr womöglich noch gesteigert werden mußte.

Allgemeine Konstruktion des Auf- und Ausbaues.

Die allgemeine Bauart ist bei beiden Bauten im wesentlichen die gleiche. Wenn bei der Ohrenklinik von einzelnen bei der Kinderklinik angewendeten Bauweisen abgewichen wurde, so beruht das z. T. darauf, daß bei den ersten Bauteilen der Kinderklinik die Wahl der Bau-



Abb. 11. Kinderklinik, Terrassenaufgang und Planschbecken

stoffe und Ausführungsweisen vielfach durch die wirtschaftlichen Schwierigkeiten der Inflationszeit mitbestimmt wurde, und das einmal Gewählte dann aus Gründen der Einheitlichkeit auch bei den restlichen Bauteilen teilweise beibehalten wurde.

Baugrund und Gründung.

Die jahrhundertelange Benutzung des Geländes als Wirtschaftshof hatte bewirkt, daß die oberen Schichten des Baugrundes in einer Stärke von $1\frac{1}{2}$ bis 2 m aus Anschüttungen verschiedenster Art bestanden, die durchsetzt waren von Resten von Pflasterungen, Mauerwerk und dergleichen. Vorher war diese Gegend ein Sumpfgebiet gewesen, das von der Lahn und dem hier in sie mündenden Ketzerbach in immer wieder sich änderndem Laufe durchflossen und aufgeschwemmt wurde. In vielfältigem Wechsel neben- und übereinander geschobene Schichten von Ton und Lehm — jene von der Lahn, diese vom Ketzerbach herrührend — von wechselnder Mächtigkeit (in Mittel etwa $1\frac{1}{2}$ bis 2 m) bildeten infolgedessen die nächste Lage. In einer Tiefe von 3—4 m unter der Erdoberfläche folgten dann Ablagerungen von außerordentlich festem Kies, dessen wechselnde Zusammensetzung darauf hindeutet, daß auch er schon eine Anschwemmung aus zwei verschiedenen Abflußgebieten darstellt.

Bei der verhältnismäßigen Tiefe, in der der Kies ansteht (im Mittel etwa 5 m unter Straßenkrone und 3 m unter Kellersohle), erwies es sich als untunlich, die Gebäude auf ihn zu gründen. Unter Verwertung der kurz vorher beim Neubau der benachbarten Hautklinik gemachten Erfahrungen wurden vielmehr die Fundamente auf die im allgemeinen verhältnismäßig festen Lehm- und Tonschichten aufgesetzt, unter Zugrundelegung einer rechnerischen Baugrundbelastung von rd. 1,2 kg/qcm. Dies ergab eine durchschnittliche Breite der untersten Bankette von etwa 1,10 m. Die Fundamente bestehen bei der Kinderklinik aus Sandbruchstein, bei der Ohrenklinik aus grobem Kiesbeton (1:10), nur an einigen unzuverlässigen Stellen des Grundes ist Eisenbeton verwendet worden.

Zur Isolierung des aufgehenden Mauerwerks gegen Grundfeuchtigkeit ist starke Asphaltpappe bzw. Bitumengewebe verwendet worden. Mit denselben Stoffen sind auch die im Grundwasserbereich liegenden Heizkeller sowie die Balkone abgedichtet, wobei zur erhöhten Sicherheit noch eine Schicht Zementmörtel mit Ceresitzusatz aufgebracht wurde. Bei einer Anzahl von Räumen im Sockel der Ohrenklinik, die Linoleum- oder Stabfußboden erhalten sollten, ist die ganze Fußbodenfläche mit Bitumengewebe abgedeckt. Die seitlichen Isolierungen gegen das Erdreich bestehen aus Goudronanstrich auf Zementputz.

Mauerwerk und Decken.

Das aufgehende Mauerwerk besteht aus Ziegelsteinen. Für leichte Zwischenwände und die Ausmauerungen im Dachgeschoß sind Schwemmsteine, für ganz dünne Trennwände Bimsdielen mit Eiseneinlage verwendet. In der Kinderklinik sind die Decken des Sockel- und des Erdgeschosses, in der Ohrenklinik auch die des Obergeschosses massiv ausgeführt, und zwar kam im I. und II. Bauabschnitt der Kinderklinik die Berradecke, im III. Bauabschnitt die Wörnerdecke, im IV. Bauabschnitt sowie in der Ohrenklinik die Remydecke zur Anwendung. Die letztgenannte erscheint hinsichtlich der Schallübertragung verhältnismäßig als die günstigste. Ein gewisser Uebelstand besteht bei allen dreien darin, daß das Aufhängen von Beleuchtungskörpern und Apparaten ziemlich viel Umstände macht, indem bei jeder Stemmarbeit große Hohlräume aufgeschlagen werden. Reine Eisenbetondecken finden sich nur über den beiden Hörsälen und über dem Heizkeller der Kinderklinik. Die Obergeschoßdecke bei der Kinderklinik ist als Holzbalkendecke mit Schwartung und Lehmschlag ausgeführt.

Ueber den äußeren Verputz der Wände ist das Nähere bereits gesagt. Der Innenputz aus Weißkalkmörtel besteht nach dem hier üblichen Verfahren aus einem gröberen Unterputz und einer feineren Oberschicht. Alle Ecken sind mit der Flasche ausgerundet, auch die vorspringenden Kanten sind meist abgerundet und im unteren Teile, soweit nicht Kachelbekleidungen ver-

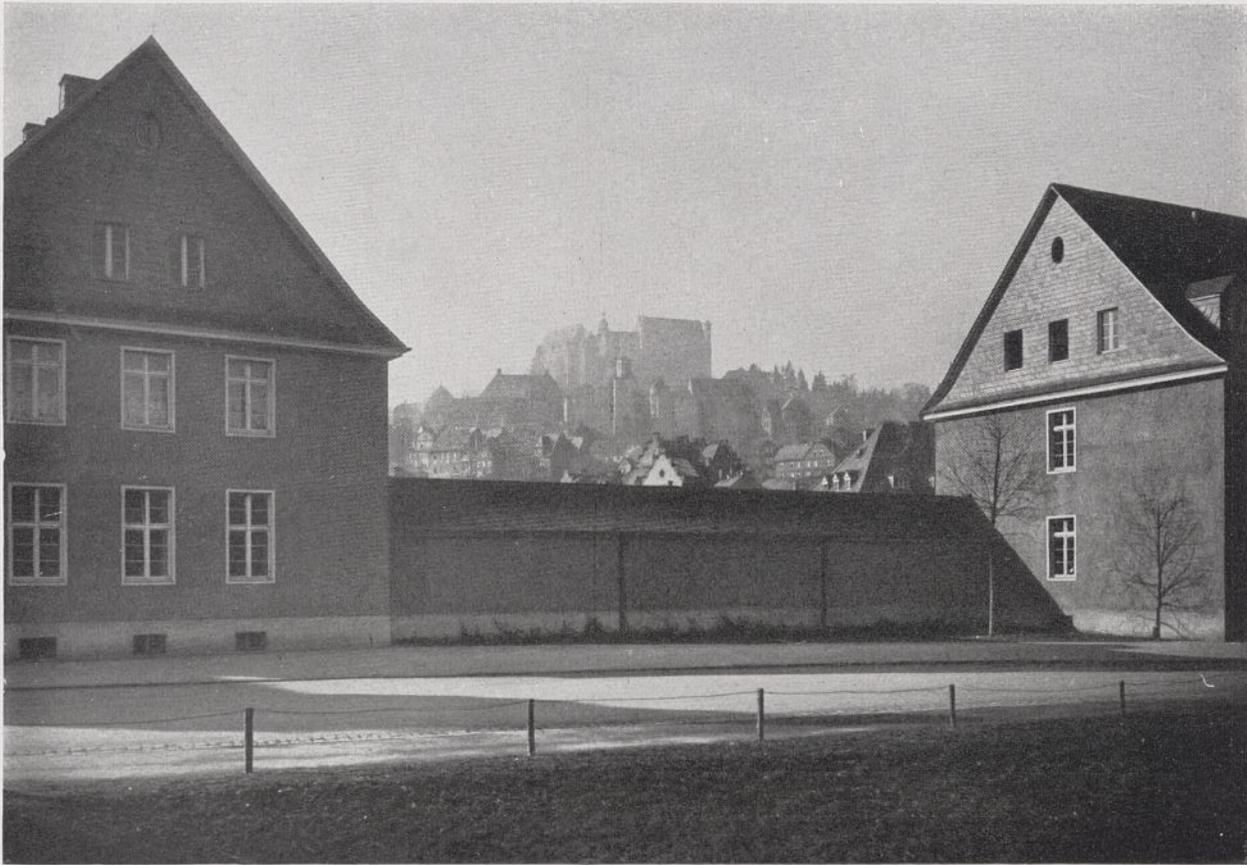


Abb. 12. Kinderklinik, Blick auf das Schloß von der Bunsenbrücke aus.

wendet sind, durch glatte, im Querschnitt viertelkreisförmige Schutzschienen gesichert.

Besondere, an einzelnen Stellen getroffene Maßnahmen werden bei der Beschreibung der einzelnen Räume geschildert.

Die Dächer.

Der aus Holz gezimmerte Dachstuhl ist eine normale Kehlbalkenkonstruktion, bei der sich die bei einem Ausbau des Dachraums nötige Zwischendecke von selbst ergibt, und die vor dem Pfettendache den Vorzug hat, von allen den beliebigen Ausbau störenden oder den freien Dachbodenraum beeinträchtigenden Konstruktionshölzern frei zu sein. Die Kehlbalken sind durch Schwalbenschwanz mit den Sparren verbunden und verbolzt. In der Mitte werden sie von auf die unteren Flurwände aufgesetzten Fachwerkwänden unterstützt; der Längsverband wird durch Windrispen hergestellt. Die Trennwände der einzelnen Zimmer sind, soweit sie nicht auf unteren Wänden ruhen, als Hängewerke ausgebildet.

Die Decke der Dachgeschoßräume ist wieder eine Staakdecke mit Lehm Schlag, die unterseitig mit Spaliertputz bekleidet ist. Die Dachschrägen sind in der Kinderklinik mit Gipsdielen, in der Ohrenklinik mit den sehr leichten und guten Wärmeschutz bietenden Torfoleumplatten ausgesetzt und ebenfalls auf Spalierlatten verputzt. Die Dachschieferung liegt auf Schalung und Teerpappe. Metallanschlüsse sind überall vermieden; nur die segmentförmigen Bekrönungen der Dachgauben auf der Ohrenklinik sind mit Kupfer abgedeckt.

Die Fußböden.

In den Räumen, deren Fußboden starker Beanspruchung, Verschmutzung oder Nässe ausgesetzt ist, wie Eingangshallen, Küchen- und Wirtschaftsräumen, Laboratorien, Operations- und Behandlungsräumen, Bädern und Aborten ist ein massiver Fußbodenbelag aus Terrazzo, Terrazzoplatten oder Fliesen in verschiedenen Mustern und Farben verlegt. Während Fliesen außer in Küchen, Teeküchen usw. vorzugsweise in solchen Räumen verlegt sind, in denen wegen der leichteren Sauberhaltung ein

einfarbiger, heller Fußboden erwünscht war, wie in Operations- und Behandlungsräumen sowie Krankenbädern, wurden Terrazzoplatten namentlich da verwendet, wo sich der Fußboden einer besonderen Raumwirkung einfügen sollte. Die Terrazzoplatte, nach Muster oder Angabe hergestellt, hat vor dem am Bau hergestellten Terrazzo den Vorzug, daß der Belag nicht reißen kann, daß das Gefüge viel dichter ist und die Oberfläche sich viel gleichmäßiger und feiner schleifen läßt, so daß das verwendete Steinmaterial viel schöner zur Geltung kommt. Die zahlreichen dafür in Frage kommenden Steinsorten, für feinere Wirkung namentlich die Marmorarten —, einfarbig oder gemischt in verschiedenen Körnungen, etwa auch mit gefärbtem Zement verwendet, — lassen unendliche Möglichkeiten der Farbwirkung zu, die der beabsichtigten Raumstimmung eingepaßt werden kann. Durch Verwendung besonderer Streifen und Paßstücke in Verbindung mit den gewöhnlich 20×20 bzw. 25×25 cm großen Platten können mannigfache Muster erzielt werden.

Hiervon ist besonders in den beiden Haupteingangshallen Gebrauch gemacht. Wegen der lebendigeren, wärmeren Wirkung dieser Platten gegenüber Fliesen wurden sie auch z. T. in solchen Krankenzimmern, in denen aus hygienischen Gründen ein massiver Fußboden erwünscht war, verlegt, um hier einen wohllicheren Eindruck zu erreichen.

Untergeordnete Nebenräume sind mit einfachem Zementestrich versehen; nur in dem Kleider- und Wäschespeicher über dem Hörsaal der Kinderklinik liegt, um weniger Staubentwicklung zu haben, gefärbter und geölter Gipsestrich. Die große Gartenterrasse und der Platz vor dem Planschbecken sind mit Sohlenhofer Platten belegt.

Das Dachgeschoß der Kinderklinik hat Dielenbelag; die Hausmeisterwohnung und das Aertzteeßzimmer der Ohrenklinik, die im Sockelgeschoß liegen, haben eichenen Stabfußboden in Asphalt.

Im übrigen besteht der Fußbodenbelag außer in der schallsicheren Kabine der Ohrenklinik, von der weiter

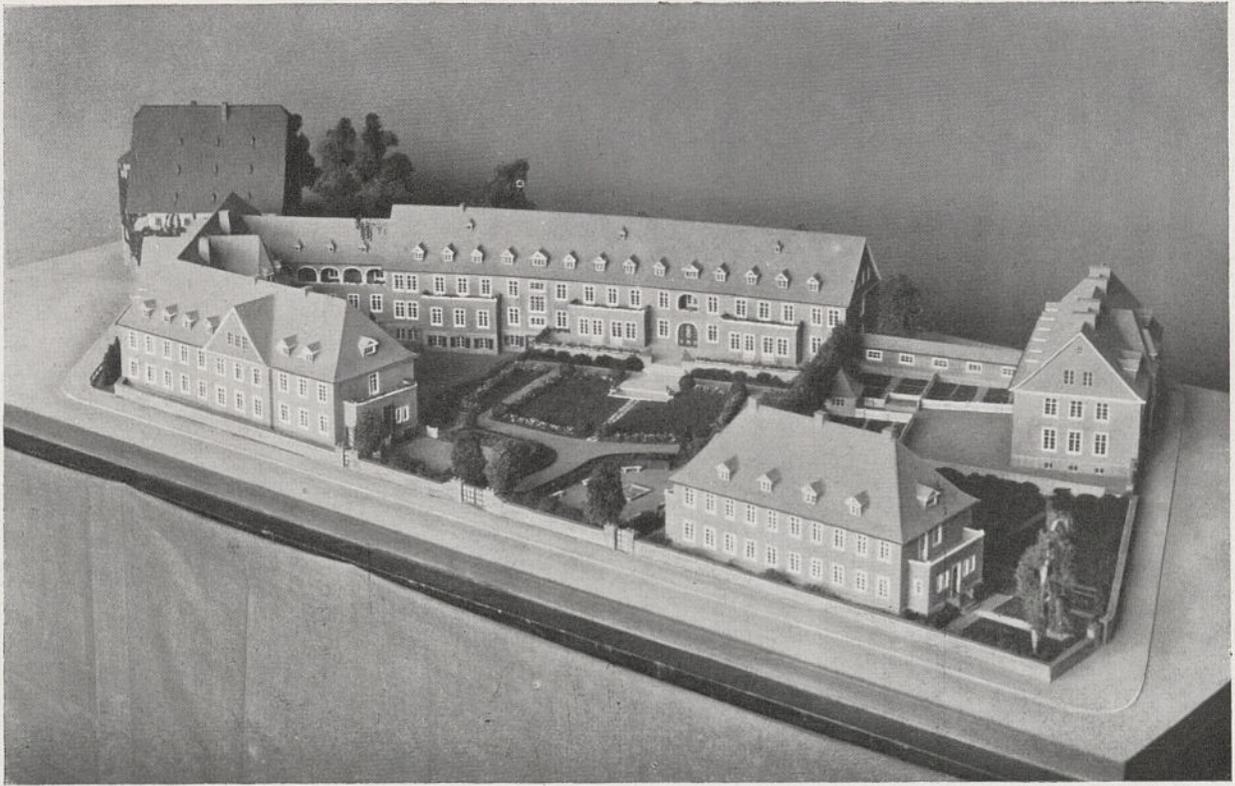


Abb. 15. Kinderklinik, Gesamtansicht von Süden nach dem Modell.

unten die Rede sein wird, aus Linoleum, das im allgemeinen auf einen 5 cm starken Gipsestrich, der auf 5 cm starker Sandbettung ruht, geklebt ist. Nur in nicht unterkellerten Räumen sowie in den Hörsälen, wo die Herstellung einer Sandschüttung infolge der Podeststufen des Gestühls nicht gut möglich war, ist der Gipsestrich durch unmittelbar auf die Betondecke gebrachten Kalzitestrich ersetzt, der sich aber nicht gleich gut bewährt hat. In den Hörprüfungsräumen der Ohrenklinik liegt Korkestrich als Unterlage.

Der Fußboden ist in der Kinderklinik in allen wichtigeren Räumen — namentlich den Krankenstationen, den Operations- und Wirtschaftsräumen —, in der Ohrenklinik durchweg mit einem 12 cm hohen Sockel aus Hohlkehlfliessen an die Wand angeschlossen.

Die Treppen.

Alle Treppen außer den kleinen Dachbodentreppen sind aus Eisenbeton konstruiert. Abgesehen von den in das Sockelgeschoß führenden Läufen in der Kinderklinik, die mit Terrazzo überzogen sind, dient als Stufenbelag Linoleum auf Kalzitestrich. Die Vorderansichten der Stufen, die Wangen und Wandsockel sind mit Terrazzo bekleidet. Während in der Kinderklinik die Vorderkanten der Stufen durch eiserne Treppenstoßschielen geschützt sind, sind in der Ohrenklinik statt dessen Gummistoßkanten gewählt, die außerordentlich geräuschkildernd wirken und sich sehr angenehm begehen. Bei dem untersten Treppenlauf der Haupttreppe in der Ohrenklinik, der unmittelbar neben der schallsicheren Kabine entlang führt, sowie bei der neben dem Hörprüfungszimmer liegenden Nebentreppe sind die Stufen und Podeste ganz mit Gummi bedeckt. Die Geländer sind aus Schmiedeeisen, die Handläufe aus Gasrohr gebildet.

Die Fenster.

Die Größe der normalen Fenster beträgt in der Kinderklinik 1,10×1,85 m, in der Ohrenklinik 1,10×2,00 Meter. Sie sind als vierflügelige Blendrahmenfenster mit feststehendem Kämpfer aus Kiefernholz mit eichenen Wasserschenkeln und Sprossen ausgeführt. Den hiesigen klimatischen Verhältnissen entsprechend waren Doppelfenster in der Hauptsache nur für die Krankenräume erforderlich. In allen wesentlichen Räumen sind Oberlicht-

öffner angebracht, ferner an den Unterflügeln Fensterfeststeller, die den Flügel selbsttätig durch Reibung in jeder Stellung festhalten. Breite Schiebefenster finden sich bei den Loggien der Ohrenklinik.

Soweit nicht in einzelnen Räumen die Fensterlaibungen mit ausgekachelte sind, sind hölzerne Lattebretter mit breiter Schwitzwasserrinne vorhanden. Diejenigen Scheiben, bei denen ein Einblick von außen verhindert werden sollte, sind mit sogenanntem „gehämmertem“ Glase versehen, das den Vorzug hat, sehr lichtdurchlässig zu sein und sich von außen nicht von den übrigen, mit gewöhnlichem Glase geschlossenen Fenstern zu unterscheiden, was namentlich für die gute Wirkung der Straßenfronten von Wichtigkeit war.

Die Türen.

Unter dem Einfluß der Inflationsverhältnisse war in den ersten Bauteilen der Kinderklinik von einer besonderen Ausbildung der Türen abgesehen worden. Sie sind als einfache Acht- bzw. Vierfüllungstüren mit Futter und Bekleidung ausgeführt. Da sich Bedenken hiergegen nicht geltend machten, wurde diese Form der Einheitlichkeit willen auch für die übrigen Bauteile beibehalten. In der Ohrenklinik sind in dieser Weise nur die Türen im Dachgeschoß und der Hausmeisterwohnung hergestellt. Alle übrigen schlagen in eiserne Mannstädt — Zargen und bestehen meist aus einem Rahmen mit nur einer großen Sperrholzfüllung.

Die Operationsraumtüren sind ganz glatte Sperrholzplatten. Für das Direktorzimmer, die Hauptoperationsräume, die Hörprüfungsräume und die Zimmer für Klassenpatienten in der Ohrenklinik haben, um das Hinaus- bzw. Hineindringen unerwünschter Geräusche möglichst zu verhindern, schalldämpfende Türen der Telephonzellen-Baugesellschaft Köln-Ehrenfeld Anwendung gefunden. Sie bestehen aus mehrfachen Schichten von Sperrholz mit isolierenden Zwischenlagen. Im Äußeren sind sie den übrigen Türen gleich ausgebildet. Sie sind im Rahmen 9,5 cm stark und mit doppelten, mit Gummistreifen belegten Fälzen versehen, die in entsprechend profilierte Mannstädtzargen schlagen. Die Unterkante ist durch eine im Rahmen liegende, nach der Fußbodenhöhe einstellbare Leiste mit 5 Gummistreifen abgedichtet. Da eiserne Zargen sich kaum genau im Lot versetzen und nicht nach-



Abb. 14. Ohrenklinik, Nordansicht des Hauptgebäudes.

arbeiten lassen, hat die Dichtung in den Fälzen bei diesen Türen gewisse Schwierigkeiten bereitet. Hölzerne Zargen dürften in solchen Fällen vorzuziehen sein.

Infolge der Inflationsschwierigkeiten waren in den ersten Teilen der Kinderklinik eiserne Türdrücker und Schloßbeschläge verwendet worden; da dieselben aber rasch ein unsauberes Aussehen annahmen, wurden sie in den beiden Hauptgeschossen später durch solche aus Bronze ersetzt. In der Ohrenklinik bestehen sie durchweg aus Messing. Die weniger der Abnutzung unterworfenen Fenstergriffe sind aus schwarz gebranntem Eisen. Der größte Teil der Türschlösser hat doppelte Hauptschlüssel-einrichtung, derart, daß dem Direktor sämtliche Räume, dem Inspektor bzw. der Oberschwester die für diese in Betracht kommenden Räume mit Hilfe eines einzigen Schlüssels zugänglich sind.

Die Heizung.

Jede der beiden Kliniken wird durch eine Niederdruck-Warmwasserheizung erwärmt. Da in beiden Fällen der größte Teil des Sockelgeschosses aus zu beheizenden Räumen besteht, mußten die Kesselräume um etwa 2 m gegen dasselbe vertieft werden, wodurch sich zugleich von selbst die Möglichkeit ergibt, die Kessel aus den im Sockelgeschoß liegenden Kohlenräumen von oben zu beschicken. Die Beschickung erfolgt mit einem zweiräderigen Koksarren, der im Boden eine über die Füllschächte der Kessel passende Klappe hat. Die Hauptvorlaufleitungen befinden sich im oberen Dachboden. Die von dort zu den Heizkörpern führenden Verteilungsleitungen sind ebenso wie die von letzteren zum Rücklauf führenden Sammelleitungen frei vor der Wand geführt. Die Rücklaufleitungen liegen im Sockelgeschoß, teils an den Außenwänden, teils in Fußbodenkanälen. Die Heizkörper sind fast ausnahmslos glatte zweisäulige Radiatoren von verschiedener Höhe, die meist vor den Fenstern angeordnet sind und zur leichteren Reinigung des Fußbodens auf Konsolen ruhen. Durch Absperrschieber in Vor- und Rücklauf können einzelne Teile der Anlagen ausgeschaltet werden. Um die Unannehmlichkeiten zu vermeiden, die entstehen können, wenn eines

geringfügigen Schadens wegen etwa in einem ganzen Gebäudeteil mit mehreren Krankenstationen die Heizung still gelegt werden muß, sind außerdem die einzelnen Fallstränge oben und unten mit Strangventilen versehen. Insbesondere sind die Heizungen der Hörsäle, die während der Weihnachtsferien nicht gebraucht werden, absperrbar.

Wegen seiner entfernten Lage vom Kesselraum des Hauptgebäudes ist das Wirtschaftsgebäude der Kinderklinik nicht an deren Warmwasserheizung angeschlossen. Vielmehr haben die Küchenräume im Erdgeschoß eine besondere Niederdruckdampfheizung mit unterer Verteilung erhalten, die auch den Verbindungsgang mit beheizt, und deren Kesselanlage im Kellergeschoß des Wirtschaftsgebäudes Platz gefunden hat. Die im Obergeschoß liegenden Werkwohnungen haben Ofenheizung.

In nicht beheizten Räumen sind die Rohrleitungen mit 25 mm Kieselgurmasse, Nesselstreifen und Anstrich isoliert. Wegen ihrer Empfindlichkeit ist die Isolierung überall da, wo Beschädigung möglich ist, durch Verschalungen oder Vergitterungen geschützt.

Warmwasserbereitung.

Beide Kliniken besitzen in Verbindung mit der Heizung Warmwasserbereitungsanlagen, die im Hauptgebäude der Kinderklinik einschließlich der Bäder 154 Zapfstellen, in der Ohrenklinik 127 Zapfstellen zu versorgen haben, wofür im ersteren Falle zwei Boiler von je 1500 l, im letzteren Fall ein solcher von 2000 l Inhalt vorhanden ist. Die Hauptzirkulationsleitungen sind mit den entsprechenden Rohren der Heizanlage zusammengeführt und in gleicher Weise isoliert.

Das Wirtschaftsgebäude der Kinderklinik hat eine eigene Warmwasserbereitungsanlage mit einem Boiler von 500 l Inhalt und 8 Zapfstellen, die im Winter von dem Niederdruckdampfkessel der Heizung mit betrieben, im Sommer durch einen besonderen kleinen Kessel erwärmt wird.

Die Nachspeisung erfolgt in der Kinderklinik durch ein im oberen Dachboden stehendes Füllgefäß von 1000 l Inhalt mit 2 Schwimmkugelventilen, während in der

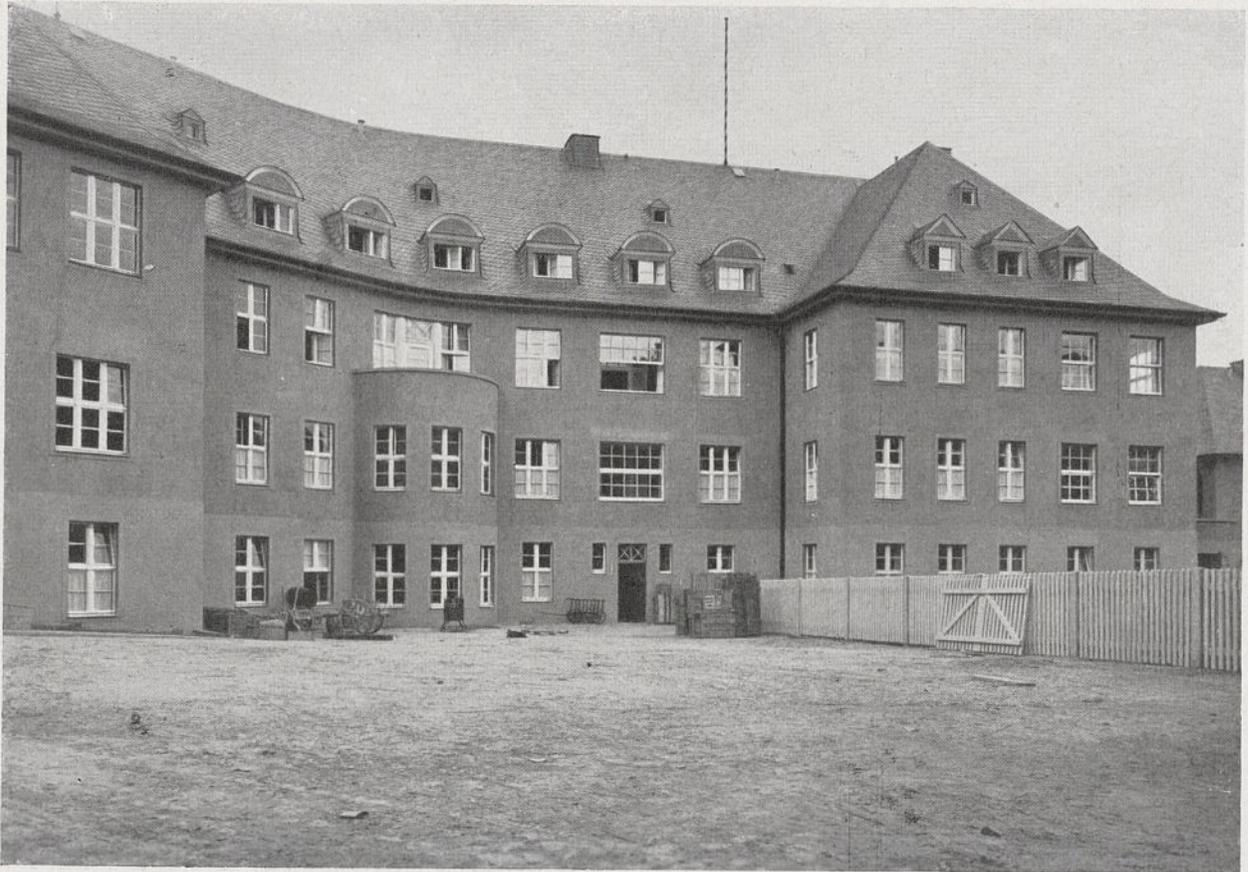


Abb. 15. Ohrenklinik, Südansicht des Hauptgebäudes.

Ohrenklinik der Boiler unmittelbar an die Kaltwasserleitung angeschlossen ist. Für jede Warmwasserbereitungsanlage ist ein besonderer Kessel vorhanden, der auch im Sommer in Betrieb ist, jedoch mit den übrigen Heizkesseln so gekuppelt ist, daß er auch durch einen anderen Heizkessel ersetzt werden kann und umgekehrt.

Die Heizungs- und Warmwasseranlagen der Kinderklinik sind von R. O. Meyer, die der Ohrenklinik von E. Angrick, Frankfurt a. Main, erstellt.

Kaltwasserleitung.

Die Hauptrohre der Kaltwasserleitung liegen frei in den Fluren des Sockelgeschosses unter der Decke. Da diese Räume im Winter größtenteils mit beheizt werden, sind die Rohre zur Verhinderung von Schwitzwasserbildung mit Seidenzopfumwicklung isoliert. Die Verteilungsleitungen liegen meist unter Putz und sind mit Strang-Absperrventilen und, wo nötig, mit Entleerungshähnen versehen.

Entwässerung.

Die senkrechten, aus Gußrohr bestehenden Entwässerungsleitungen sind im Sockelgeschoß mit Reinigungsklappen versehen; für die wagerechten, in Tonrohr verlegten Leitungen sind eine Anzahl Revisionsschächte eingebaut. Da der Fußboden des Sockelgeschosses unter dem höchstmöglichen Kanalrückstau liegt, sind die in diesem Geschoß vorhandenen Fußbodenentwässerungen mit Rückstauverschlüssen versehen, und zwar solchen, die sich sowohl automatisch schließen als auch von Hand bedient werden können. Die Heizkeller sind am tiefsten Punkt des Fußbodens mit einer Sammelgrube versehen, aus der das Wasser mittels einer Wasserstrahlpumpe in die höher gelegene Abflußleitung entleert wird.

Gasleitung.

Das aus dem städtischen Leitungsnetz entnommene Gas verteilt sich ebenfalls von unter Decke des Sockelgeschosses liegenden Hauptsträngen aus nach den einzelnen Räumen. Die Zweigleitungen liegen unter Putz.

Da eine zentrale Versorgung mit Gebrauchsdampf bei den Marburger Universitätsinstituten nicht vorhanden, eine besondere Erzeugung desselben in den einzelnen Gebäuden wegen des zu unregelmäßigen und geringen Bedarfs im allgemeinen aber nicht wirtschaftlich ist, kam die Verwendung von Gas nicht nur für Koch- und Teeküchen, Laboratorien und dergleichen in Frage, sondern mußte auch für die Beheizung aller sonst meist mit Dampf betriebenen Apparate für Desinfektion, Sterilisation usw. herangezogen werden. Wo es aber ohne technische und wirtschaftliche Schwierigkeiten möglich war, ist es vermieden worden, da es nicht nur leicht zu Luftverschlechterung und üblen Gerüchen Anlaß gibt — namentlich wo Schlauchverbindungen erforderlich sind, — sondern weil auch, wie mancherlei Erfahrungen gezeigt haben, trotz aller Rücksichten auf sichere und einfache Bedienung die Gefahr von Explosionen infolge Unachtsamkeit oder Ungeschick des Personals besteht.

Alle Apparate und Kocheinrichtungen sind fest eingebaut und ohne Schläuche mit der Gasleitung fest verbunden. Hinter einem jeden ist ein Absperrventil eingeschaltet, um ihn jederzeit ausbessern oder entfernen zu können. Zu diesem besitzt nur der Heizer den Schlüssel, da sonst gern aus einer falschen Aengstlichkeit heraus dieses Ventil geschlossen und dabei das Absperrventil der einzelnen Brennstellen übersehen wird.

Starkstromanlage.

Den elektrischen Licht- und Kraftstrom beziehen die Kliniken aus dem städtischen Netz, das nach dem Dreileitersystem Gleichstrom von 220 und 440 Volt liefert. In jedem Gebäude geht die Zuleitung von der im Dachgeschoß liegenden Hauptverteilungstafel — die Straßenleitungen liegen oberirdisch an Masten usw. — zu Unterschalttafeln in den einzelnen Geschossen und Gebäudeteilen, von denen die einzelnen Stromkreise abzweigen. Die Lichtstromkreise sind so angeordnet, daß die Brennstellen einer in sich geschlossenen Station oder Abteilung stets auf mehrere Stromkreise verteilt sind und in größeren Räumen (z. B. Hörsälen) ein Teil der Lampen oder die für Tischlampen bestimmten Steckdosen an



Abb. 16. Ohrenklinik, Gartenansicht von Südosten.

einem anderen Stromkreise hängen als die übrigen Lampen, so daß beim Versagen eines Stromkreises die betreffende Abteilung nicht völlig in Dunkelheit gesetzt wird.

Von einigen weiter unten erwähnten Ausnahmen abgesehen dienen als Beleuchtungskörper überall einfache Rohr-, Litzen- oder Zugpendel oder Deckenlampen, die stets staubdicht an die Decke angeschlossen sind. Dies ist größtenteils in der Weise erfolgt, daß auf einen in die Decke eingelassenen Dübel ein Holzring aufgesetzt ist, auf dem der sogenannte Baldachin, der die Anschlußklemmen deckt, angeschraubt ist. Alle Räume, in denen Feuchtigkeit auftreten kann, sind mit wasserdichten Armaturen ausgestattet.

Alle Apparate, Motoren, Transformatoren usw. sind an besondere Kraftstromkreise angeschlossen.

Schwachstromanlagen.

An Schwachstromanlagen sind außer elektrischen Klingeln und Türöffnern an den in Frage kommenden Außentüren vorhanden: in beiden Gebäuden je eine Fernsprechanlage; ferner in der Ohrenklinik eine Lichtsignalanlage und eine Zentraluhrenanlage.

Die Fernsprechanlage ist in beiden Fällen als automatische Selbstanschlußanlage (Wählscheibensystem, Siemens u. Halske) ausgeführt. Sie weist in der Kinderklinik 29, in der Ohrenklinik 21 Sprechstellen auf, von denen einige zugleich als Postnebenanschlüsse ausgebildet sind. Bei der Ohrenklinik sind auch die Wohnungen dreier außerhalb der Klinik wohnender Aerzte angeschlossen, bei der Kinderklinik die auf demselben Grundstück liegende Wohnung des Direktors. Die Hauptstelle befindet sich jeweils beim Pförtner; die Akkumulatoren sowie die Zentralapparatur haben ihren Platz im Sockelgeschoß. Der Raum für erstere ist wegen der Gasentwicklung mit Abluftschacht versehen, der für die letztere besonders trocken und staubfrei gehalten.

Die Lichtsignalanlage in der Ohrenklinik, die den Patienten dazu dient, das Pflegepersonal herbeizurufen, ist insofern mit der Fernsprechanlage ver-

bunden, als sie von derselben Akkumulatorenbatterie gespeist wird.

In jedem Krankenraum befindet sich (in den kleinen Räumen tunlichst nahe am Bett) ein Druckknopf, an dem auch eine Litze mit einer Druckknopfbirne angeschlossen werden kann, um die Bedienung desselben von jeder für den Patienten günstigen Stelle zu ermöglichen. Drückt der Patient auf den Knopf, so leuchtet außen über der Tür seines Zimmers eine kleine Wandlampe auf und zugleich eine der drei in jedem Flur überall sichtbar aufgehängten Richtungslampen, die von roter, grüner und weißer Farbe sind und erkennen lassen, in welcher der drei Krankenstationen (Männer-, Frauen- und Infektionsstation) ein Anruf erfolgt ist. Zugleich ertönt in der Teeküche der betreffenden Station ein Summer. Dieser verstummt und die Lampen erlöschen erst dann wieder, wenn die Schwester auf einen neben der Tür des betreffenden Krankenzimmers angebrachten Knopf drückt. Da des Nachts für alle drei Stationen in der Regel nur eine Nachtschwester anwesend ist, die sich gewöhnlich in der Frauenstation aufhält, so können die Signalanlagen der anderen Stationen auf den dort befindlichen Summer umgeschaltet werden. In der Kinderklinik fehlt eine entsprechende Einrichtung, da hier ein Herbeirufen des Pflegepersonals durch die Patienten nicht in Betracht kommt.

Die Ausführung der Uhrenanlage in der Ohrenklinik ist nach dem Magnetensystem erfolgt. Die Hauptuhr, die im Pförtnerzimmer steht, wird automatisch alle 24 Stunden durch einen an die Starkstromleitung angeschlossen kleinen Motor aufgezogen; sie hat aber eine Laufzeit von 50 Stunden, so daß sie auch bei einem vorübergehenden Aussetzen des Stromes nicht zum Stillstand kommt. Außerdem kann sie im Bedarfsfalle von Hand aufgezogen werden. Die Hauptuhr erzeugt mittels Elektromagneten von Minute zu Minute elektrische Stromstöße, die durch dünne Kabelleitungen zu den Nebenuhren geführt werden und dort die Zeiger jedesmal entsprechend vorrücken lassen. Nebenuhren, einfache flache, von einem passend zum Raum gestrichenen Holzrahmen

umgebene Scheiben, hängen in allen wichtigen Abteilungen des Gebäudes, im ganzen 18 Stück. In der Männer- und Frauenstation ist mitten im Flur je eine solche Uhr mit beiderseitigem Zifferblatt frei aufgehängt.

Druckluftanlage.

Eine Besonderheit der Ohrenklinik ist ferner eine Druckluftanlage, die namentlich zu Behandlungszwecken dient. Die Druckluft wird erzeugt durch zwei elektrisch betriebene Druckluftpumpen, die in einem kleinen Raum des Sockelgeschosses untergebracht sind. Durch automatische Regelung des Motors wird der erzeugte Druck ständig auf der gleichen Höhe von etwa 1 Atm. gehalten. Die kleinere Pumpe versorgt das Inhalatorium, während die größere an ein Leitungsnetz aus Gasrohr angeschlossen ist, das die Operations- und Behandlungsräume, einen Teil der Krankenzimmer und die Laboratorien versorgt. Durch kleine nach dem Grundsatz der Wasserstrahlpumpe eingerichtete Vorsatzapparate kann die Druckluft nach Bedarf auch zur Erzeugung einer Saugwirkung benutzt werden. Von besonderen Saugluftleitungen und Saugpumpen ist abgesehen worden wegen der trotz Vorschaltung von Abscheidungsgefäßen bestehenden Gefahr, daß die Leitungen Schmutz und Krankheitskeime in sich aufnehmen.

Die maschinelle Einrichtung und die bei den betreffenden Räumen noch zu erwähnenden Anschluß-

apparate sind von der Inhabad-Gesellschaft in Charlottenburg geliefert und aufgestellt.

Kühlanlagen.

Zur Frischhaltung leicht verderblicher Lebensmittelvorräte ist jede Klinik in Verbindung mit den Wirtschaftsräumen mit einer automatischen Kühlanlage ausgestattet, und zwar ist je ein Autofrigor der Escher-Wyß-Werke in Lindau a. Bodensee aufgestellt, der bei einer täglichen Betriebszeit von 5 bis 6 Stunden in der Kinderklinik einen Kühlschrank von 4 cbm dauernd auf einer Temperatur von +2 bis 4 Grad Celsius hält. Die Kälterzeugung beruht auf der wechselnden Verdichtung und Verdampfung von Methylchlorid. Die hierdurch abgekühlte Luft wird durch einen Elektroventilator in Umwälzung versetzt. Der Antrieb erfolgt durch einen unmittelbar mit dem Kompressor gekuppelten und mit diesem eingekapselten Motor. Die Kühlschränke sind mit Korkplatten isoliert und innen mit glasierten Plättchen ausgekleidet.

Ein gleichartiger kleinerer Kühlschrank befindet sich in der Milchküche der Kinderklinik. Die Anlage in der Ohrenklinik ist durch eine Maschine zur Erzeugung von Speiseeis und kleinen Mengen gewöhnlichen Eises ergänzt, wofür namentlich bei Halskranken ein besonderer Bedarf besteht.

Die in den Teeküchen verteilten Eisschränke werden durch das städtische Eiswerk mit Eis versorgt.



Abb. 17. Kinderklinik, Haupteingang am Deutschhausplatz.

Lüftungsanlagen.

Besondere Entlüftungsschächte sind nur für diejenigen Räume angelegt, in denen mit einer besonderen Luftverschlechterung zu rechnen war. Außer den Heizräumen, Küchen und Aborten sind dies in besonderen die Höhen-, sonnen- und Röntgenräume, die Laboratorien und Sterilisierräume sowie die Hörsäle. Die Schächte sind größtenteils als gemauerte Kanäle bis in den obersten Dachboden geführt und dort mit einem engmaschigen Drahtnetz überdeckt. Ein Teil von ihnen, bei denen der natürliche Auftrieb nicht genügt, sind oben mit elektrischen Exhaustoren versehen, die durch einen in dem betreffenden Raum befindlichen Schalter in Betrieb gesetzt werden können. Die an Abzugsschränke angeschlossenen Schächte bestehen aus glasiertem Tonrohren und sind über Dach geführt.

Aufzüge.

Unter den allgemeinen technischen Anlagen sind schließlich noch die Aufzüge zu erwähnen.

Die Ohrenklinik verfügt über einen elektrisch betriebenen Personenaufzug, der vom Sockel- bis zum Dachgeschoß durchgeht, um bettlägerige Patienten zu allen Behandlungsräumen usw. befördern zu können. Er ist für 5 Personen bzw. 375 kg Tragkraft berechnet. Die Antriebsmaschine steht im Dach über dem Aufzugsschacht. Aus diesem Grunde ist die Decke des Schachtes durch 5 cm starke Preßkorkplatten isoliert und die darauf ruhende Maschine nochmals auf Korkplatten gelagert.

Außerdem ist ein ebenfalls durch alle vier Geschosse gehender Speiseaufzug vorhanden, der die Küche mit den darüberliegenden Teeküchen der Hauptstationen und der Anrichte des Schwesterneßzimmers verbindet. Bei der erheblichen Hubhöhe wird er, um eine übermäßige Inanspruchnahme des Personenaufzugs für kleine Lasten zu vermeiden, ebenfalls elektrisch betrieben und hat 75 kg Tragkraft.

In der Kinderklinik kam ein Personenaufzug nicht in Betracht, da Transporte kranker Kinder in ein anderes Geschloß nur selten in Frage kommen und dann ohne besondere Mühe über die Treppe stattfinden können. Zwei Speiseaufzüge, einer vom Erd- zum Obergeschoß für die Verteilung der aus der Kochküche kommenden Speisen, der andere vom Sockel- bis zum Obergeschoß zur Verbindung der Milchküche mit den Stationen, sind bei der geringeren Hubhöhe als Handaufzüge mit endlosem Seil für 50 kg Tragkraft ausgebildet.

Die Ausgestaltung und Einrichtung der Innenräume.

Bei der Ausgestaltung und Ausstattung der Innenräume mußten die aus der Zweckbestimmung der Neubauten sich ergebenden Grundsätze in erster Linie maßgebend sein. Neben den besonderen Anforderungen für Untersuchung, Behandlung und Pflege der Kranken, für Forschung und Unterricht hatten die allgemeinen hygienischen Rücksichten an erster Stelle zu stehen. Hierfür in Betracht kommende Maßnahmen sind zum Teil bereits bei der Beschreibung der konstruktiven Bauausführung erwähnt worden.

Wenn dem gegenüber jeder besondere, lediglich auf Schönheitsrücksichten beruhende Aufwand zurückzutreten, ja als nicht dem Wesen der Gebäude entsprechend zu vermeiden war, so durfte das andererseits nicht dazu führen, die Ausgestaltung der Räume nur vom Standpunkte der nüchternen Zweckmäßigkeit zu bestimmen. Die psychische Einwirkung der nächsten Umgebung auf den Menschen ist insbesondere bei Kranken, deren Stimmung durch ihr Leiden beeinträchtigt ist, ein Faktor, der für ihr Allgemeinbefinden durchaus nicht außer Acht gelassen werden darf. Nächstdem wird auch allgemein das erzieherische Moment nicht abzuleugnen sein, indem ein Raum um so rücksichtsvoller und schonender von seinen Benutzern behandelt wird, je ansprechender und gefälliger er wirkt.

Als wesentliches Ausdrucksmittel in dieser Hinsicht kam unter den vorliegenden Umständen nur die Farbe in

Betracht und zwar der einfache Anstrich in Verbindung mit dem Fußbodenbelag und den Wandkacheln, soweit diese in der Ohrenklinik aus hygienischen Gründen in etwas größerem Umfange angewendet werden konnten.

In der Kinderklinik wurden entsprechend der Farbenfreudigkeit der Kinder ziemlich frische und in den aneinander stoßenden Räumen mannigfaltig wechselnde, in Rücksicht auf die Durchblicke jedoch zueinander abgestimmte Töne angewendet, während in der Ohrenklinik die Farbenstimmung zwar ebenfalls in klaren, aber ruhigeren und gedämpfteren Tönen gehalten ist, um der erhöhten Reizbarkeit mancher, namentlich schwerer leidender Patienten Rechnung zu tragen. Den oberen Abschluß des Wandanstrichs bildet im allgemeinen ein schmaler dunkler Streifen und darüber ein breiteres Band, dessen mehr oder weniger gegensätzlich gewählte Farbe die beabsichtigte Gesamtwirkung unterstützt. Um die Räume trotz der nicht sehr großen Geschoßhöhen möglichst frei und licht zu halten, sind die Decken in der Regel weiß; eine leichte Tönung ist nur da erfolgt, wo Blendung oder Reflexwirkung vermieden werden sollte, wie in den Krankenzimmern der Ohrenklinik und bestimmten Behandlungsräumen.

Türen und Möbel sind, um die wechselnden Wandanstriche zusammenzuhalten, die Möbel auch, um ihre Verwendung in verschiedenen Räumen nicht zu erschweren, einheitlich gestrichen; und zwar in den Krankenzimmern und Behandlungsräumen weiß mit schwarz und dunkelgrau abgesetzt, in anderen Räumen, die eine weniger empfindliche Farbe verlangten, teils in einem neutralen grau, mit weiß belebt, teils in anderen ruhigen Tönen wie blaugrau mit weiß im Wirtschaftsgebäude der Kinderklinik oder mattgrün mit weiß im Dachgeschoß der Ohrenklinik.

Nur in einigen wenigen Räumen, die eine gewisse Hervorhebung beanspruchten, ist um ein geringes über dies einfache System hinausgegangen, was bei der Beschreibung dieser Räume erwähnt werden wird.

Was die Einrichtung der Räume in bezug auf ihre praktischen Zwecke anlangt, so weisen beide Kliniken bei den meisten Räumen erhebliche Verschiedenheiten auf. Das ist nicht nur in dem Umstande, daß in der einen nur Kinder, in der anderen vorzugsweise Erwachsene gepflegt werden, begründet, sondern beruht vor allem in der Verschiedenartigkeit der zur Behandlung kommenden Leiden und der vorzugsweise angewendeten Behandlungsmaßnahmen, die für eine Ohren-, Hals- und Nasenklinik wesentlich spezialisiertere und kompliziertere technische und apparative Einrichtungen verlangen als für eine Kinderklinik. Hierzu kommen die durch örtliche und räumliche Umstände veranlaßten Unterschiede. Die wichtigsten Räume und Raumgruppen sollen daher im folgenden für jede Klinik getrennt besprochen werden.

Die Räume der Kinderklinik.

(Abb. 18 bis 22).

Der Haupteingang (Abb. 17 und 20) liegt im Nordflügel und wird von der Firmancestraße erreicht. Durch ihn betritt man die kleine Haupteingangshalle die mit dem Haupttreppenhaus verbunden ist. Neben der schon erwähnten Gedenktafel, die aus Travertin mit aufgelegten brünierten Bronzebuchstaben besteht, bildet ihren Hauptschmuck ein aus 6 Teilen bestehender Fries spielender Kinder, der von Ernst Fey in Berlin geschaffen ist. Die Farbenstimmung ist sehr leicht gehalten: die Wandflächen taubenblau, von warmgrauen pilasterartigen Streifen gefaßt; der Fries ebenfalls grau in grau gemalt und mit schwarzen Leisten eingefasst; das Holzwerk der Türen hell gelblich lasiert, in den in Wischtechnik behandelten Füllungen in die goldbraunen Töne des Travertins hinüberspielend; die Decke weiß, der Fußboden aus Marmorterrazzoplatten, in warm gelblichem und mattrotem Ton gemustert mit schwarzem Fries und Wandsockel. Die anschließende

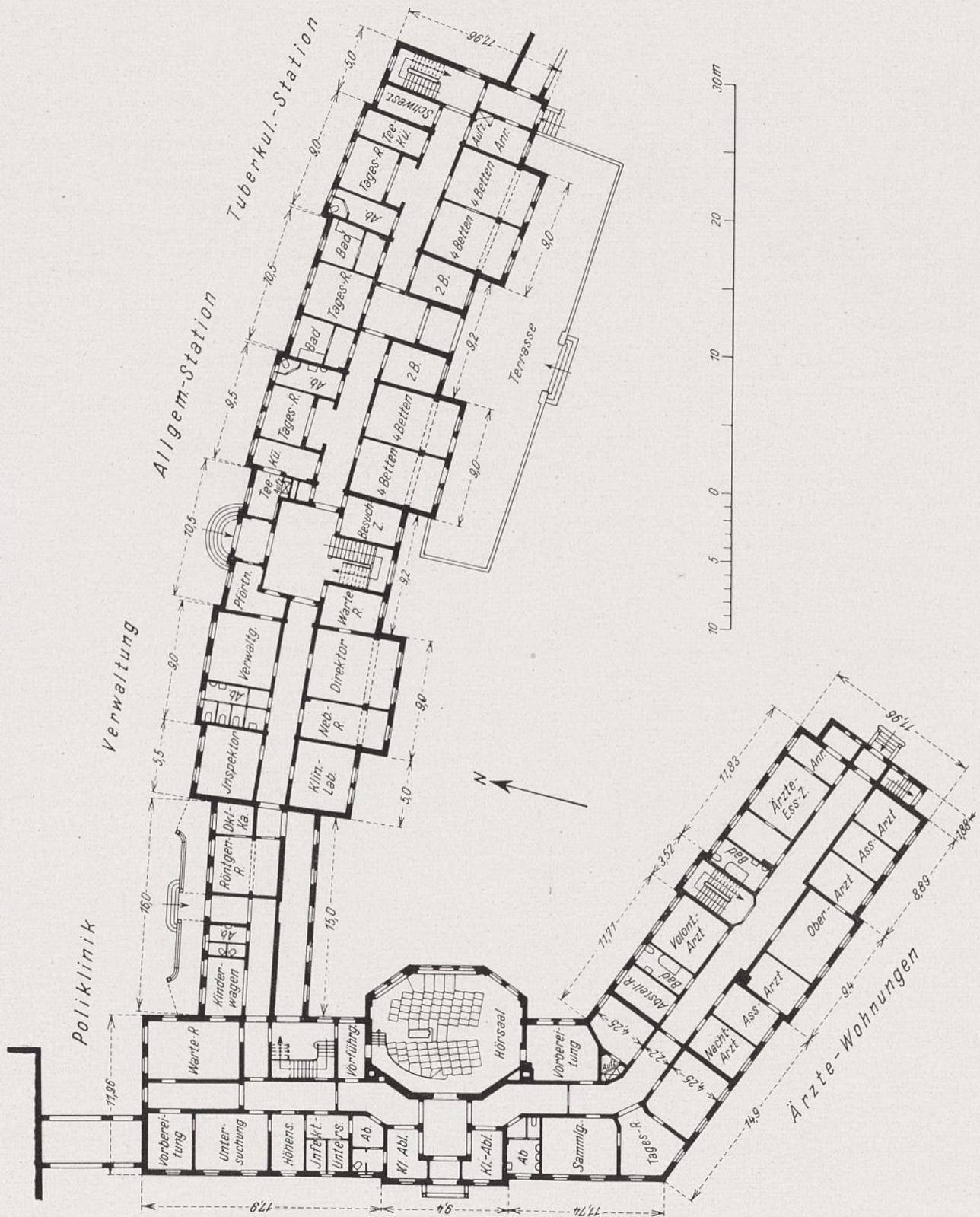


Abb. 18. Kinderklinik, Grundriß des Erdgeschosses.

Treppe hat ein lebhaft grünes, einfach verziertes Schmiedeeisengeländer und weiße gespachtelte Wände. Die Halle im Obergeschoß ist in denselben Tönen gehalten wie die untere, nur etwas einfacher.

Unmittelbar von dieser Halle aus erreicht man die Hauptkrankenstationen, und zwar im Erdgeschoß östlich die Tuberkulose- und die allgemeine Station, im Obergeschoß östlich die Säuglings- und westlich die Einzelzimmer-(Privat-)station.

Sämtliche Krankenzimmer öffnen sich nach Süden gegen den großen Garten und sind im Erdgeschoß mit einer großen Terrasse, im Obergeschoß mit Loggien und Balkons verbunden, um Luft und Sonne im weitesten Maße ausnutzen zu können.

Bei ihrer Anlage ist durchweg von der Anordnung größerer Krankensäle abgesehen worden. Die größten Zimmer sind für 4—6, die Mehrzahl jedoch nur für 2—3

Betten bestimmt. Zur Erleichterung der Uebersicht und Beaufsichtigung sind die Zimmer — abgesehen von der Einzelzimmerstation — größtenteils gruppenweise mit breiten, fest verglasten Fenstern in den Zwischenwänden versehen und die zum Flur führenden Türen in der oberen Hälfte verglast. Letztere Maßnahme ermöglicht auch, während der Besuchszeiten die Kinder ihren Angehörigen zu zeigen, ohne daß letztere die Krankenzimmer selbst betreten müssen, was namentlich bei den Säuglingen infolge ihrer besonderen Empfänglichkeit für Infektionen als wichtig angesehen wird. Für diejenigen Fälle, in welchen ein unmittelbares Zusammensein der Patienten mit den Angehörigen unbedenklich erscheint, ist ein besonderes Besuchszimmer eingerichtet.

Außer den Betten, die in 5 verschiedenen Größen beschafft sind, besteht die Einrichtung eines Krankenzimmers im wesentlichen aus folgenden Teilen: Ein

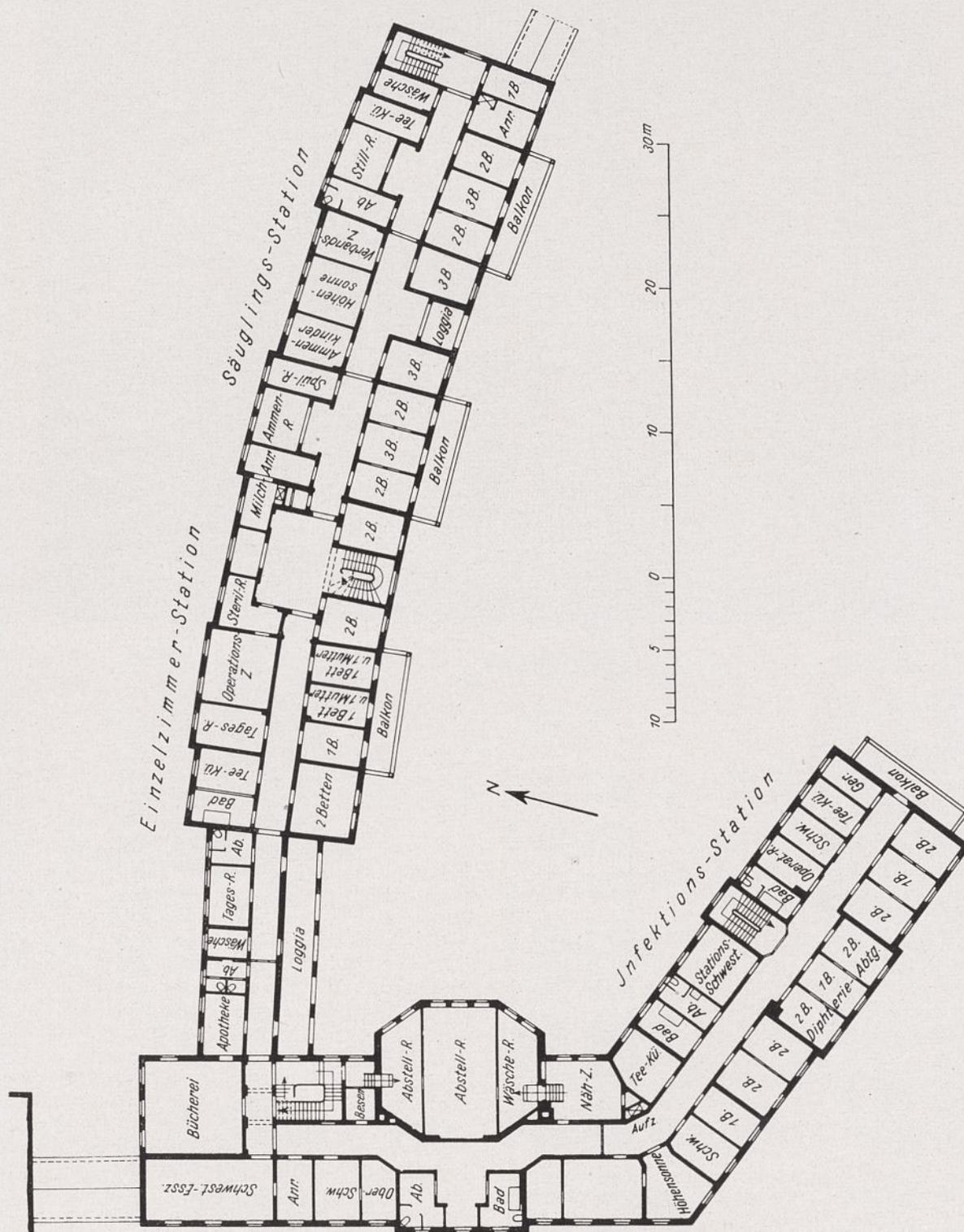


Abb. 19. Kinderklinik, Grundriß des Obergeschosses.

Washbecken mit warmem und kaltem Wasser; über demselben beiderseits der Zapfhähne befindet sich eine Anzahl mit Nummern gekennzeichnete Haken zur Aufnahme der für jeden Patienten besonders vorhandenen Reinigungsgeräte (Waschlappen, Nagelbürste, Nagelscheere usw.), darüber eine Konsolplatte aus Glas mit aufklappbarem vernickelten Rand. Eine Kommode mit Schubfächern für Wäsche, deren Platte, dreiseitig mit Randleisten versehen und mit einem Wachstuchkissen belegt, zum Umkleiden und Zurechtmachen der kleineren Kinder dient. Für jeden Patienten ist ferner ein Wand-schränkchen mit Drahtgazefüllung in der Tür, für die zum persönlichen Gebrauch dienenden Medikamente und Geräte angebracht. Für die Allgemeinbeleuchtung ist in der Mitte ein Zuppendel, außerdem noch über der Kommode eine Wandlampe vorhanden. Mehrere Steckkontakte sind an den Wänden verteilt, um Wärme- oder Behandlungs-

apparate oder besondere Lampen anschließen zu können. Auch die Terrasse und die Balkons sind mit Steckdosen versehen, da bei geeigneter Witterung vielfach Kinder auch im Winter, mit elektrischen Wärmeapparaten ausgerüstet, im Freien liegen.

In sämtlichen Zimmern der Säuglingsstation befindet sich außer dem Waschbecken noch eine auf Konsolen an der Wand angebrachte Badewanne, an deren Zulauf nach Bedarf eine Schlauchbrause angeschlossen werden kann (Abb. 25). Dafür fehlen in dieser Station besondere Badezimmer; nur in einem Nebenraum ist eine Zapfstelle mit Fußbodenabfluß dazu eingerichtet, um in besonderen Fällen tragbare Badewannen füllen und entleeren zu können.

Die Badewannen der übrigen Stationen sind eingekachelt, ebenso die Wände der Baderäume halbhoch mit Kacheln bekleidet.



Abb. 20. Ansicht von der Firmaneistraße.

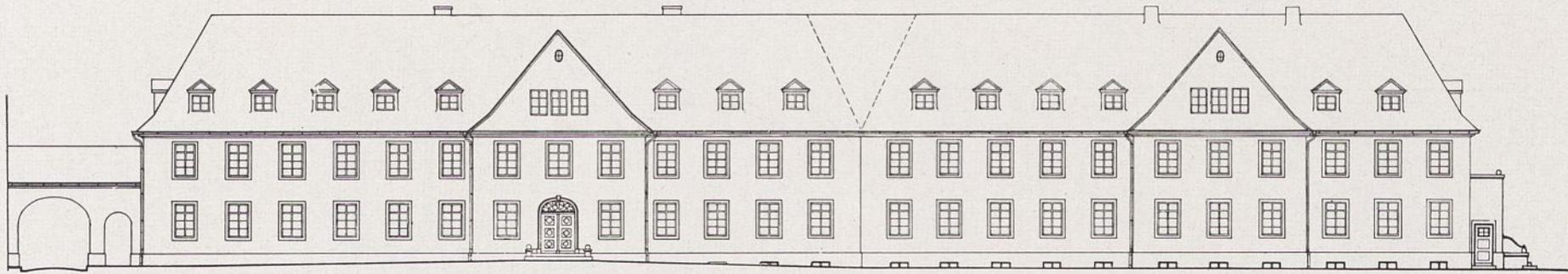
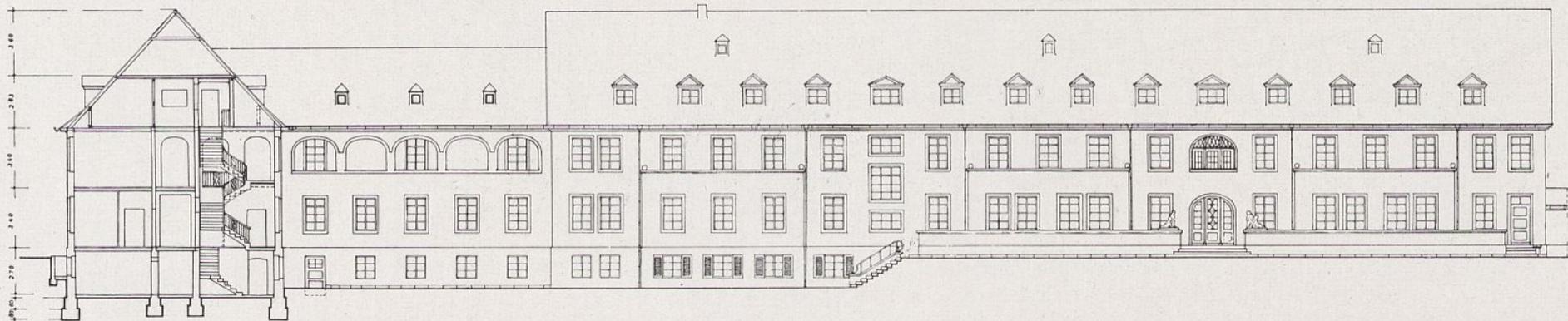


Abb. 21. Ansicht vom Deutschhausplatz.



MASSTAB 1:100

Abb. 22. Gartenansicht von Süden mit Querschnitt.

Abb. 20 bis 22. Kinderklinik, Ansichten und Schnitt.

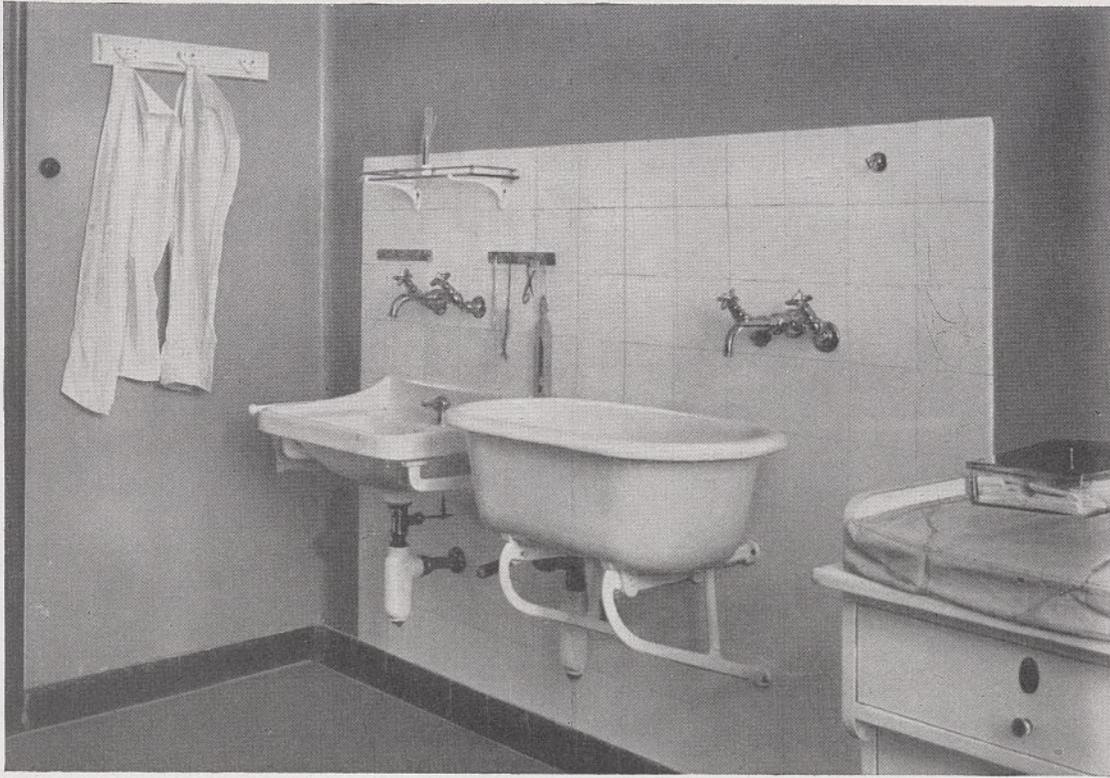


Abb. 25. Kinderklinik, Wasch- und Badeeinrichtung in einem Säuglingszimmer.

Die Teeküchen besitzen je einen kleinen gasgeheizten Wärmeschrank mit 1 bis 2 Kochstellen auf der Platte, einen Eisschrank, einen Anrichtetisch mit Fächern und Borden für Geschirr und Geräte, ein zweiteiliges Spülbecken mit Ablaufbrett und einen Ausguß. Die besonders beanspruchten Wandteile sind gekachelt.

In den Vorräumen der Aborte sind außer gewöhnlichen Ausgüssen große Fäkalienausgüsse mit Spülung angebracht. In der Allgemeinen und der Tuberkulosestation befinden sich ferner Wandschränke zur Aufbewahrung von Stuhlabgängen. Diese sind massiv aus Mauerwerk oder Beton hergestellt, im Inneren mit Kacheln bekleidet und durch Zwischenböden aus Rohglas geteilt. Sie sind mit luftdicht in Gummifalz schlagenden eisernen Türen versehen und an je einen vom Keller zum Dach gehenden Luftschacht angeschlossen, der unten in den Schrank ein- und oben wieder ausmündet.

Die Infektionsstation, die getrennt von allen übrigen Stationen am Obergeschoß des Südflügels liegt, ist im allgemeinen in gleicher Weise eingerichtet. Drei besonders für Diphtheriefälle bestimmte Räume sind, um sie mit Dämpfen erfüllen zu können, mit massivem Fußboden, allseitigem Oelfarbenanstrich und wasserdichten elektrischen Armaturen versehen. Die Infektionsabteilung dient auch als Quarantänestation für die Aufnahme in die anderen Stationen.

Für die Stationen im Nordflügel sind zwei Hörsalons vorhanden, eine weitere für die Infektionsstation, die auch ein eigenes kleines Operationszimmer enthält.

Die planmäßige Gesamtbettenzahl beträgt 60. Da jedoch die Belegung der einzelnen Stationen ständig schwankt und ein Austausch freier Betten unter den Stationen aus praktischen und hygienischen Gründen nicht zugänglich ist, sind noch 25 Reservebetten vorhanden.

Das Hauptoperationszimmer liegt im Mittelpunkt, an das Haupttreppenhaus anschließend, im Obergeschoß des Nordflügels. Infolge seiner nicht besonders starken Inanspruchnahme konnte es einfach ausgestattet werden. Die Wände sind bis Türhöhe mit weißen Kacheln belegt; die Türe selbst ist aus einer glatten Sperrholzplatte gefertigt. Der Fußboden besteht aus hellen Fliesen. Der in der Mitte stehende Operationstisch wird von 5 an der Decke verteilten Kugelspiegellampen (Zeiß) beleuchtet. Die Instrumente werden in einem freiaufgestellten Schrank aus Eisen und Glas aufbewahrt. Für die

Ärzte sind 2 Waschbecken vorhanden, die mit Armhebelbetätigung für den auf Strahl oder Brause umstellbaren Zulauf und mit Kniehebelbetätigung für den Ablauf versehen sind. Mit dem Armhebel ist abweichend von der meist üblichen Anordnung keine Mischbatterie, sondern ein einfaches Durchgangsventil verbunden, da es wesentlich erschien, daß der Arzt die Stärke des Wasserzulaufes selbst regeln kann, während für die Temperatur desselben eine allgemeine Regelung als genügend angesehen wurde. Diese erfolgt durch die Operationschwester mittels einer in die gemeinsamen Zuläufe beider Becken eingeschalteten Mischbatterie. Da die aus einem im Dachboden aufgestellten Füllgefäß gespeiste Warmwasserleitung im Obergeschoß nur einen Druck von etwa $\frac{1}{4}$ Atmosphäre besitzt, das Rohrnetz der Kaltwasserleitung jedoch einen solchen von etwa 4 Atm., war es nötig, für die vorgenannte Mischeinrichtung ein besonders kleines Kaltwasserfüllgefäß aufzustellen, das sich im Dachboden in gleicher Höhe mit dem Warmwasserfüllgefäß befindet.

Der ebenfalls mit Kacheln und Fliesen ausgelegte Vorraum des Operationszimmers enthält einen Instrumentensterilisator und einen Verbandstoffsterilisator sowie einen Apparat für sterile Kochsalzlösung, sämtlich mit Gas betrieben.

Im Erdgeschoß schließen sich westlich an die Haupteingangshalle noch diejenigen Räume an, die ebenfalls im Mittelpunkt der Anlage untergebracht werden mußten: die Räume für den Pförtner und die Verwaltung, das Amtszimmer des Direktors mit einem Vorzimmer und einem Privatlaboratorium, ferner das klinische Laboratorium und weiterhin das Röntgenzimmer, das so gelegt ist, daß es auch von der Poliklinik aus bequem benutzt werden kann.

Das Röntgenzimmer ist für diagnostische Zwecke eingerichtet. Die Apparatur ist von den Reiniger-Weifa-Werken geliefert. Die Umformermaschine ist, um Geräusche fern zu halten und Beunruhigungen der zu untersuchenden Kinder zu vermeiden, in einem unmittelbar darunterliegenden Raum des Sockelgeschosses untergebracht. Ein mit Elektroventilator versehener Abluftschacht sorgt für den nötigen Luftwechsel. Die Wände und Türen sind mit Schwerebleiplatten bzw. Bleieinlage strahlensicher gemacht. Eine für Stand- und Schalenentwicklung eingerichtete Dunkelkammer schließt sich an. Die Fensterverdunkelung ist hier — wie auch bei allen

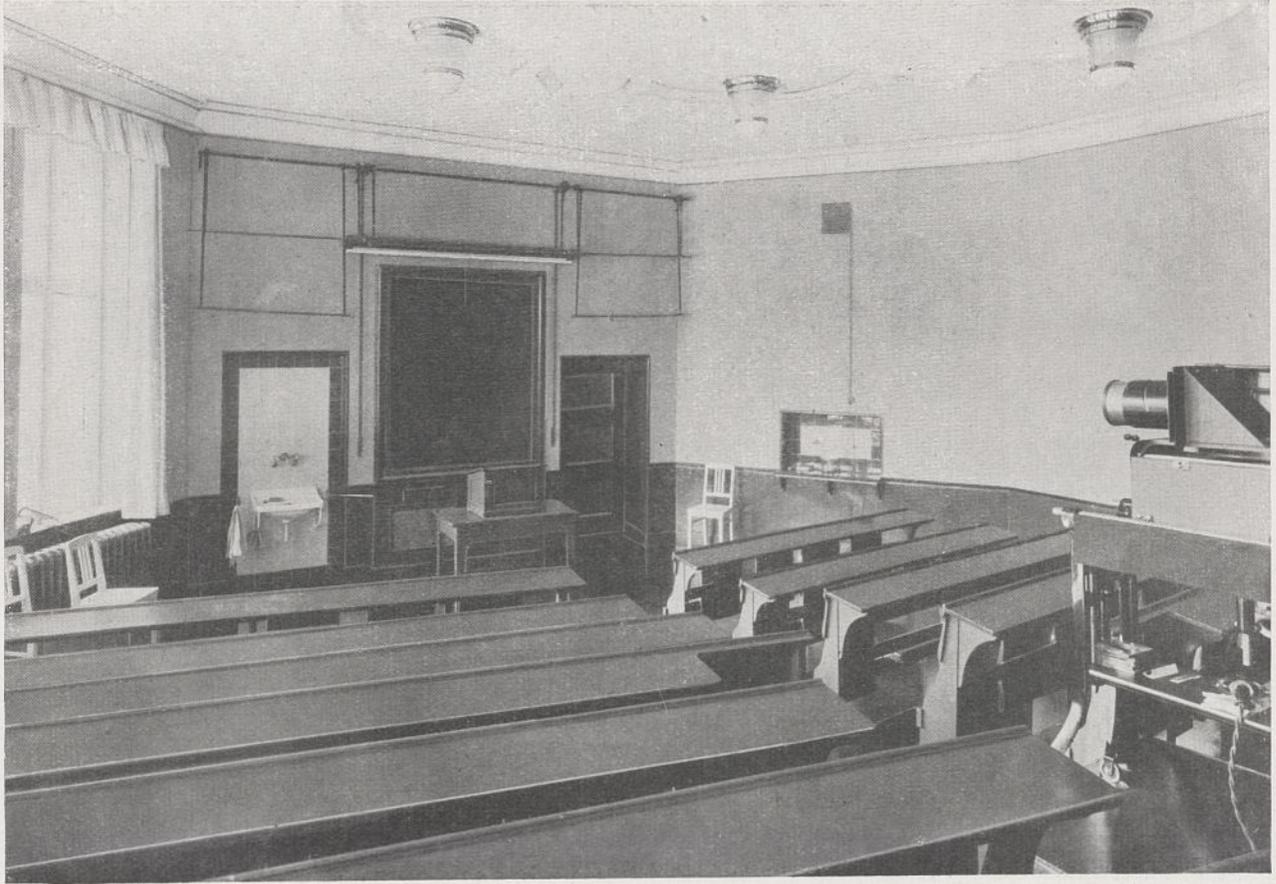


Abb. 24. Kinderklinik, Hörsaal.

anderen photographischen Dunkelkammern beider Kliniken — dadurch in einfacher und lichtsicherer Weise erreicht, daß Doppelfenster angeordnet sind, deren innere Flügel an Fälzen mit Filzstreifen abgedichtet und statt mit Glas mit dünnen Sperrholzplatten geschlossen sind. In einer derselben ist eine durch einen schwarzen Tuchvorhang abzudunkelnde Rubinglasscheibe eingelassen.

In der Mitte des Zwischenbaues zwischen Nord- und Westflügel liegt der Eingang der Poliklinik (Abb. 9). Er ist mit Rampen versehen, um bequem mit Kinderwagen hineingelangen zu können. An ihn schließt sich ein Abstellraum für letztere, der von dem dahinter liegenden Warteraum durch ein Fenster überblickt werden kann. Diese Räume sind sämtlich mit Terrazzobelag versehen, während die übrigen Linoleum aufweisen. Auf den Warteraum folgt ein Auskleideraum, der namentlich für die hier stattfindenden Schulkinderuntersuchungen bestimmt ist, sodann ein Vorbereitungszimmer und das Hauptuntersuchungszimmer sowie das Höhensonnenzimmer. Den Schluß bilden zwei besonders abgetrennte kleine Räume für die Untersuchung infektiös erkrankter Kinder, um diese nach Möglichkeit aus den anderen Räumen fernhalten zu können.

Die Poliklinik dient zugleich als Aufnahmestation für die Klinik; ferner finden hier die Sprechstunden der Mutterberatungsstelle statt.

Den im mittleren Teile des Westflügels liegenden Hörsaal erreichen die Studenten unmittelbar vom Deutschhausplatze aus durch eine Vorhalle (Abb. 18), die als Kleiderablage eingerichtet ist. Der Hörsaal selbst (Abb. 18 und 29) ist im Grundriß als längliches Achteck gestaltet. Er hat etwa 80 Plätze auf mäßig ansteigenden Sitzreihen. Zwischen den letzten Sitzreihen hat ein Projektionsapparat für Dia- und Episkopie (Leitz-Wetzlar) seinen Platz, der durch Vorschalten eines Mikroskops mit besonderem Objektiv auch zur Mikroprojektion verwendbar ist. Die Projektionsfläche ist ein aufrollbarer Leinenschirm, der vor die zweiteilige Wandtafel herabgelassen wird. Beiderseits der Wandtafel befinden sich an Gurten hochziehbare, mit beweglichen Haken versehene Stangen, die zum

Aufhängen von Bildtafeln dienen. Ein Waschbecken für den Vortragenden und ein Wandtischchen mit Gas- und elektrischem Anschluß für Demonstrationsversuche, beide in ausgekachelten Nischen, sowie ein Schaukasten für Röntgendiapositive vervollständigen die Einrichtung. Die Fenster haben gruppenweise gekuppelte, von Hand zu bedienende Verdunklungsvorhänge.

Die farbige Behandlung des Hörsaales ist auf grün gestimmt; die Wände sind in Leimfarbe licht-blaugrün gestrichen, ein 1 m hoher gespachtelter Wandssockel und alles Holzwerk ist in Oelfarbe dunkelgrün gehalten, wobei die Füllungen der Türen und der seitlichen Gestühlsbrüstung hell gelbgrün in Wischtechnik behandelt und die Profile mit schwarz, grau und Orange abgesetzt sind. Den Fußboden bedeckt mattgrünes Linoleum. Die Tischplatten des Gestühls sind schwarz. Die Decke ist weiß; an ihr sind in einer angetragenen sechsstrahligen Profilierung 6 Deckenlampen verteilt. Um die Farben von Krankheitserscheinungen erkennen zu können, wurde ein möglichst tageslichtfarbenes Licht gewünscht. Es wurden daher als Beleuchtungskörper sog. Reinlichtlampen beschafft, die aus einem etwa kegelförmigen Teil von intensiv blauem Glase und einer unteren Schale von Opalglass bestehen. Bei den vorgenommenen Beleuchtungsversuchen ergab sich aber infolge der grünen Tönung des ganzen Saales eine grünliche Lichtwirkung, die nicht brauchbar war. Es wurden daher die auch unschön wirkenden schreiend blauen, oberen Glashüllen durch solche aus farblosem Mattglas ersetzt und nur die Opalschale zur Filterung des unmittelbar nach unten fallenden Lichtes belassen. Hierdurch ist im Verein mit der Reflexwirkung der Wände usw. eine dem Tageslicht gut nahekommende Beleuchtung erzielt worden.

Für die Bücherei ist ein großer Raum im Obergeschoß vorhanden, der zugleich als Lesezimmer dient.

Die Laboratorien befinden sich im Sockelgeschoß des Südflügels, und zwar die eigentlichen Arbeitsräume nach dem vertieften Teile des Gartens zu, so daß sie etwa ebenerdig liegen. Es sind ein chemisches, ein bakteriologisches und ein Stoffwechsel-Laboratorium vorhanden. Jedes ist in der Mitte mit einem freistehenden



Abb. 25. Kinderklinik, Kochküche.

Arbeitstisch ausgestattet, der Anschlüsse für Gas und elektrischen Strom, Zapfhähne für warmes und kaltes Wasser und säurefeste Ausgüsse besitzt. An der Fensterseite sind niedrige Arbeitstische für mikroskopische Arbeiten usw. angeordnet. Das Stoffwechsellaboratorium hat außerdem einen Abzugsschrank mit Wasser- und Gasanschluß. Für das chemische Laboratorium ist ein besonderer Abzugsraum mit Digestorium vorhanden. Außerdem sind hier noch ein Wägezimmer, ein Raum für Thermostaten und Räume für Tierversuche untergebracht.

Ein Raum für Lichtbildaufnahmen mit Seiten- und Oberlicht nebst Dunkelkammer befindet sich im Dachgeschoß des Nordflügels.

Die für die allgemeine Verpflegung dienenden Küchenräume nehmen das Erdgeschoß des Wirtschaftsgebäudes ein (Abb. 55 bis 56). Die geräumige Kochküche (Abb. 25) enthält einen freistehenden, halb für Kohlen-, halb für Gasfeuerung eingerichteten Kochherd und einen Wärmeschrank mit zwei weiteren Gaskochstellen. An einer Schmalseite befinden sich eine Reihe Maschinen zum Kneten, Reiben, Schneiden und Mahlen, die an eine durch einen Motor betriebene im tischartigen Unterbau liegende Transmissionswelle angeschlossen sind. Außerdem ist eine kleine Diätküche, ebenfalls mit einem kombinierten Gas- und Kohlenherd ausgestattet, vorhanden. Zwischen beiden liegt der Spülraum, an der anderen Seite der Kochküche der Putzraum für Gemüse und Kartoffeln, ein Raum für die Annahme der Lebensmittellieferungen und Vorratsräume. Sämtliche Räume haben massiven Fußboden, Küchen-, Spül- und Putzraum, außerdem Kachelbelag in halber Wandhöhe. Im Keller darunter liegen weitere Vorratsräume, von denen einer die schon besprochene Kühlanlage enthält.

Einen hiervon völlig getrennten Betrieb bildet die Milchküche, die im westlichen Sockelgeschoß des Nordflügel — die Haupträume ebenerdig — untergebracht und mit den Stationen durch einen Speiseaufzug verbunden ist. Die hier zubereitete Milch dient nicht nur dem Bedarf der Klinik selbst, sondern wird auch an Privatpersonen zur Säuglingspflege abgegeben, weshalb die Küche mit einem vom Haupteingang der Klinik leicht

zu erreichenden Ausgaberaum versehen ist. Außerdem wird hier die gesamte übrige Säuglingsnahrung hergestellt.

Neben dem mit Gas- und Kohlenherd ausgestatteten Küchenräumen liegt ein Spülraum mit einer großen Spülwanne, die mit einer durch das zufließende Wasser betriebenen Einrichtung zum Reinigen der Milchflaschen versehen ist.

Gegenüber liegt außer einigen Vorratsräumen der Sterilisiererraum mit einem Lautenschlägerschen, durch einen gasgeheizten Dampfkessel betriebenen Milchsterilisator, weiter der Kühlraum, der außer der schon erwähnten automatischen Kühlanlage und einem weiteren Eisschrank eine große mit Brauseeinrichtung versehene Kühlwanne enthält. Alle diese Räume sind mit Fliesenboden und halbhoher Wandkachelung ausgestattet.

Zur Entkeimung infizierter Wäsche, Kleider und Bettstücke dient ein Lautenschlägerscher Desinfektionsapparat, der in der Südwestecke des Hauptgebäudes untergebracht ist und mit einem gasgeheizten Dampfkessel betrieben wird. Für die allgemeine Wäschereinigung sind keine Anlagen eingerichtet, da sie durch eine unweit gelegene, allen Universitätskliniken gemeinsam dienende Waschanstalt erfolgt. Nur für kleine, für die maschinelle Reinigung zu empfindliche Stücke — namentlich Säuglingswäsche — ist ein mit Spülwanne und Gaskocherichtung versehener Raum vorhanden, in dem diese Stücke von Hand ausgewaschen werden können. Ferner ist im Anschluß an einen ausgekachelten, von den Hauptstationen herabführenden Wäsche-Abwurfschacht im Sockel des Nordflügels eine elektrisch betriebene Spüleinrichtung geschaffen, in der stark verunreinigte Wäschestücke, insbesondere die Stuhlwindeln der Säuglinge, mechanisch soweit vorgereinigt werden, daß ihr Transport zur Waschanstalt bzw. ihre weitere Reinigung von Hand möglich ist.

Im Vergleich mit anderen, vorzugsweise Erwachsene aufnehmenden Krankenanstalten erfordert eine Kinderklinik eine verhältnismäßig große Zahl von Hilfskräften und bedarf dementsprechend besonders zahlreicher Personräume.

Abb. 26. Ansicht von der Deutschhausstraße.



Abb. 27. Hofansicht.



226

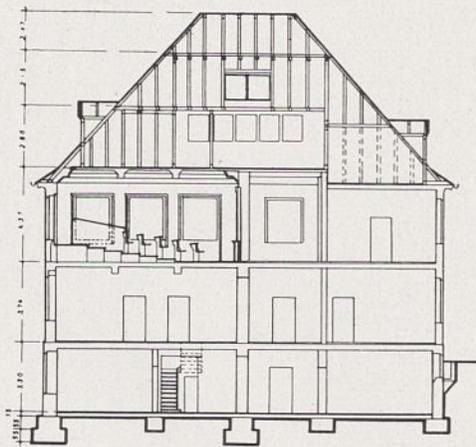


Abb. 28. Querschnitt.



Abb. 29. Seitenansicht.

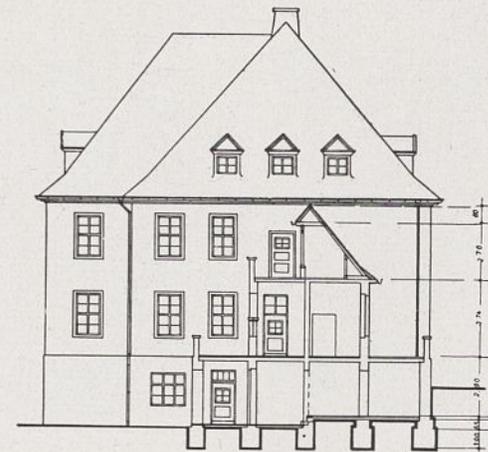


Abb. 30. Schnitt durch den Verbindungsbau.

Abb. 26 bis 50. Ohrenklinik, Ansichten und Schnitte.

Abb. 31. Obergeschoß.

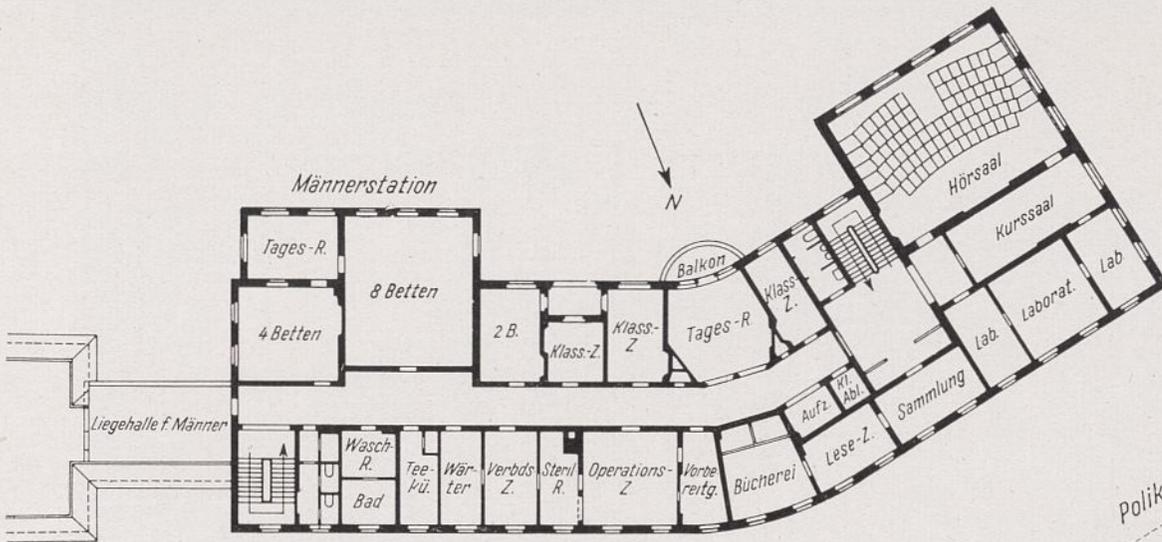


Abb. 32. Erdgeschoß.

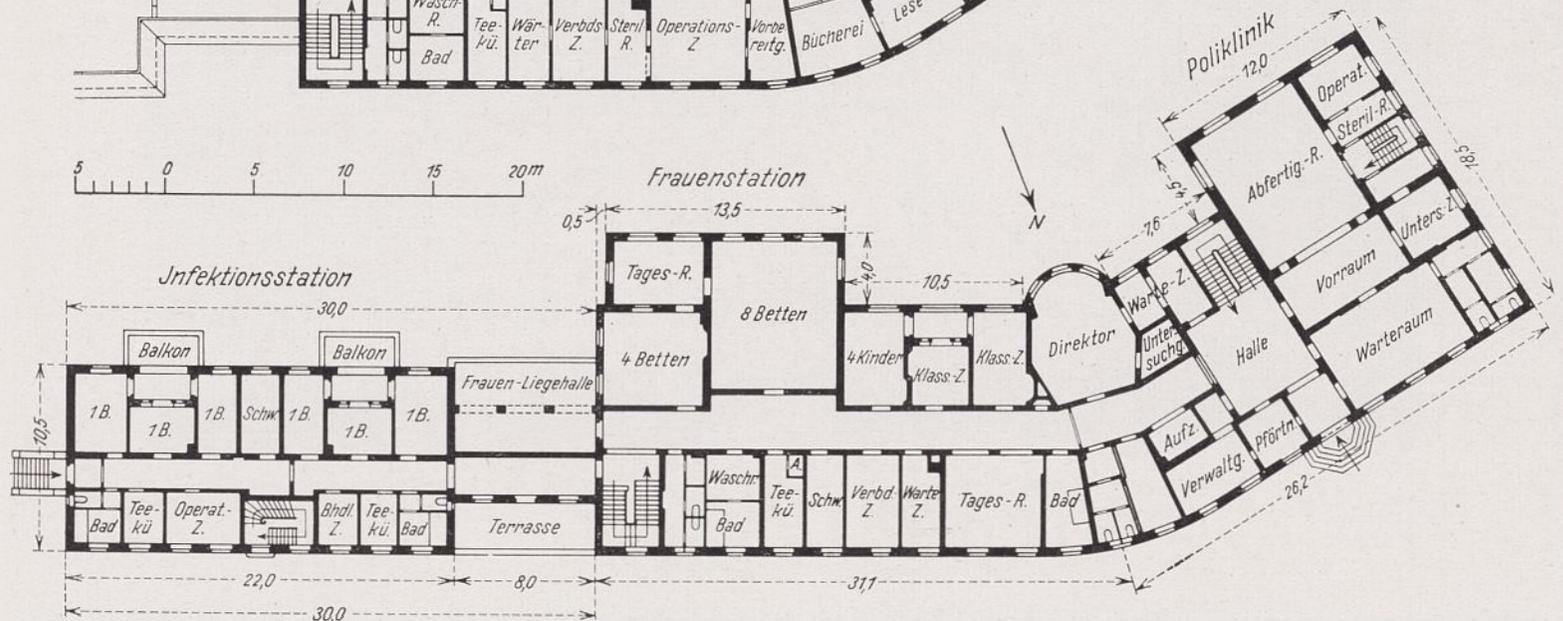


Abb. 31 und 32. Ohrenklinik, Grundrisse des Erd- und Obergeschosses.



Abb. 33. Straßensicht.

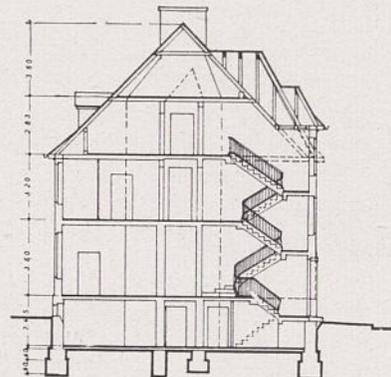


Abb. 34. Querschnitt.

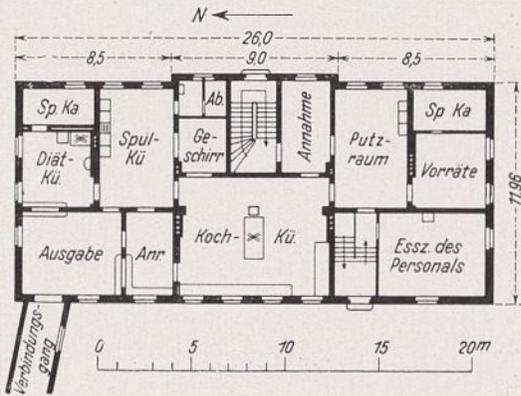


Abb. 35. Grundriß des Erdgeschosses.

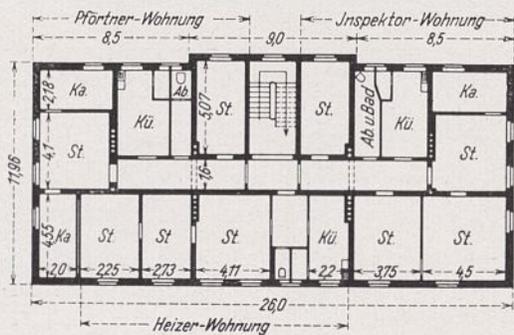
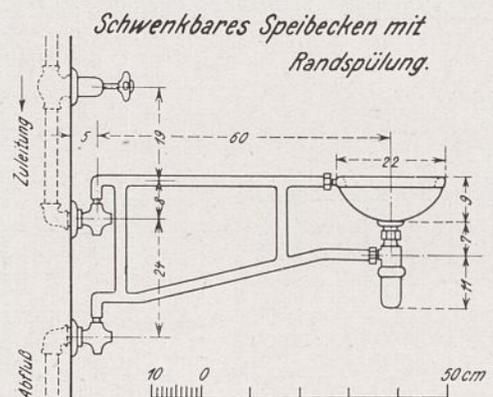
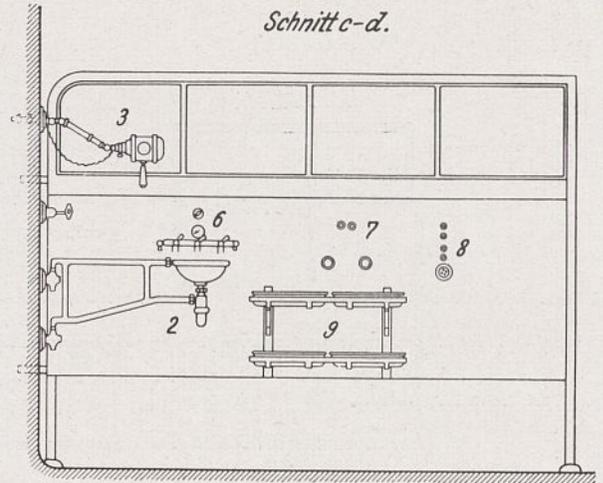
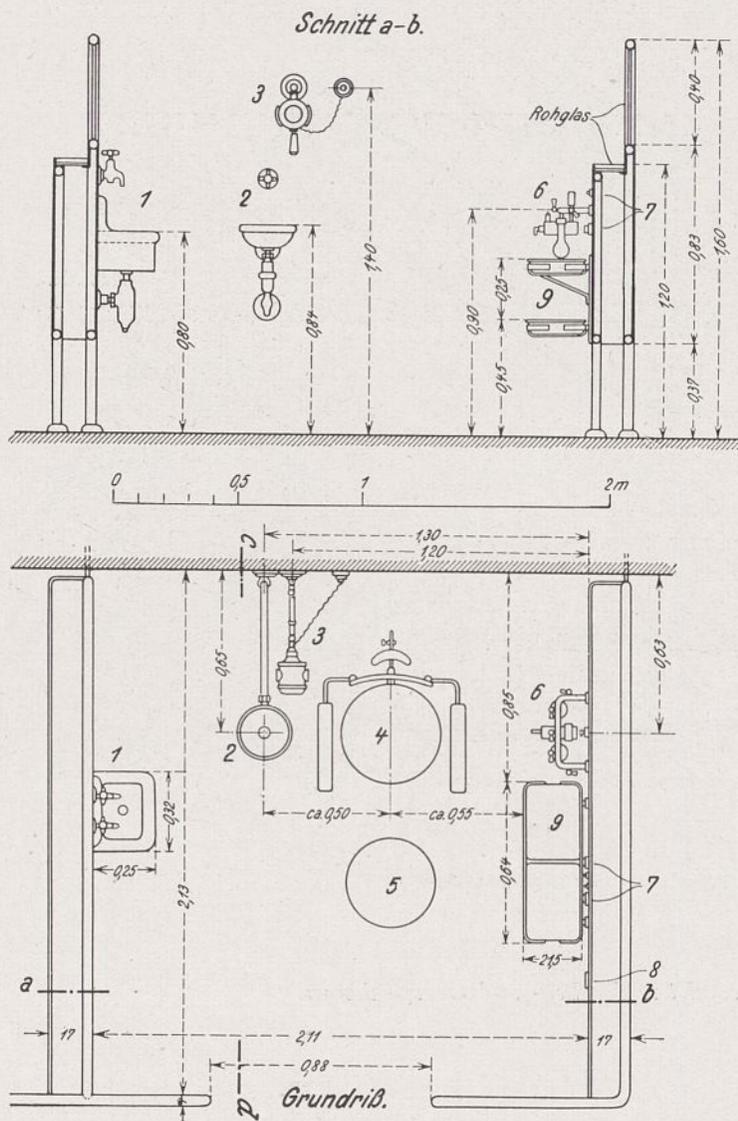


Abb. 36. Grundriß des Obergeschosses.

Abb. 33 bis 36. Wirtschaftsgebäude.



- 1 Ausgußbecken
- 2 Speibecken
- 3 Untersuchungsleuchte
- 4 Stuhl des Patienten
- 5 Drehsessel des Arztes
- 6 Druck- u. Saugluftbatterie
- 7 Schalter für Haustik u. Endoskopie
- 8 Steckdosen
- 9 Instrumentenschalen.

Abb. 57. Untersuchungsabteil der Poliklinik.

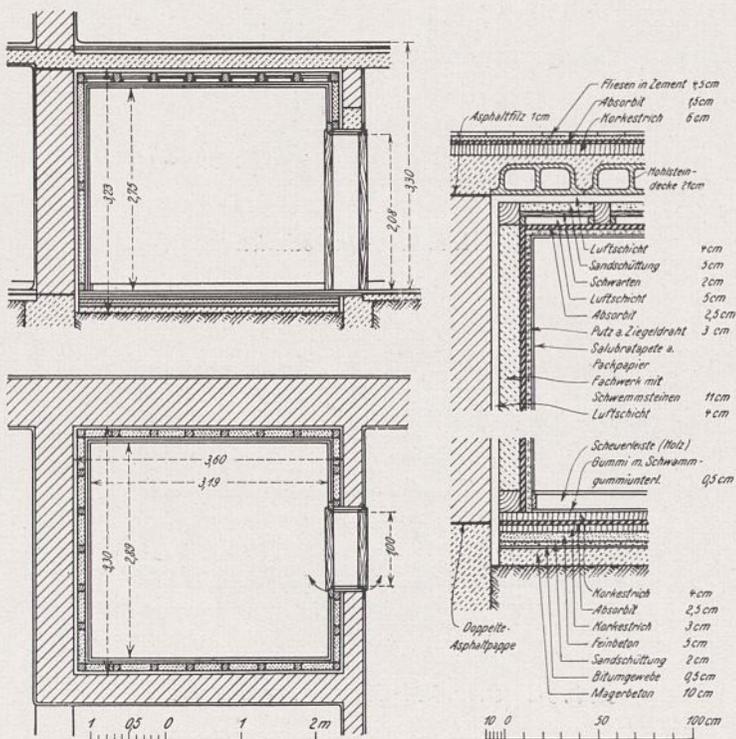


Abb. 58 links. Schallsichere Kabine.

Abb. 59 unten. Untersuchungsleuchte.

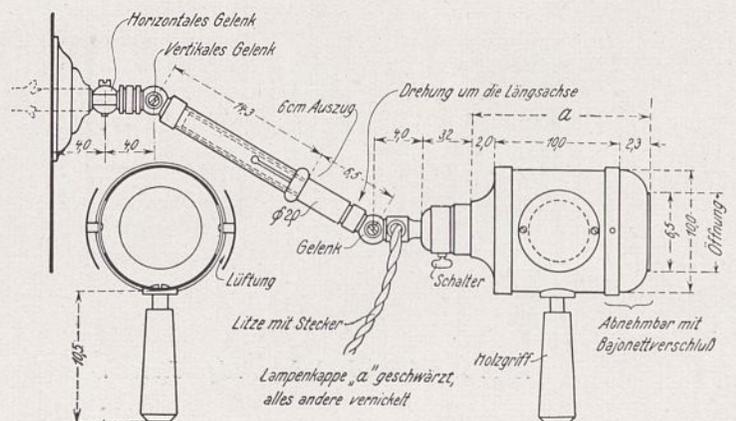




Abb. 40. Ohrenklinik, Untersuchungsabteil der Poliklinik.

Für unverheiratete Aerzte sind eine Anzahl Wohn- und Schlafzimmer im Erdgeschoß des Südflügels eingerichtet, mit denen auch das Speisezimmer der Aerzte verbunden ist. Das geräumige Speisezimmer der Schwestern liegt möglichst zentral im Obergeschoß des Westflügels. Beide Speiseräume sind mit Anrichterräumen verbunden, die ähnlich wie die Teeküchen der Stationen ausgestattet sind. Nahe dem Schwesterneßzimmer befinden sich auch Wohn- und Schlafzimmer der Oberschwester. Sämtliche übrigen Schwestern sowie die Haus- und Küchenmädchen haben ihre Zimmer im Dachgeschoß des Hauptgebäudes. Das Eßzimmer des Hauspersonals befindet sich nahe der Küche im Wirtschaftsgebäude, das im Obergeschoß noch drei Familienwohnungen (Werkwohnungen) für den Inspektor, den Pfortner und den Heizer enthält.

Die Räume der Ohren-, Hals- und Nasenklinik.
(Abb. 26 bis 52).

Die Haupteingangshalle, die man vom Deutschhausplatz (Abb. 26) aus betritt, dient für den gesamten Verkehr des Publikums und der Studierenden. In Rücksicht auf diese starke Beanspruchung ist sie, ebenso wie die zum Obergeschoß führende Haupttreppe, an den Wänden in etwa zwei Drittel der Höhe mit Kacheln bekleidet. Der Fußboden der Halle besteht aus Marmorterrazzoplatten, der Treppenbelag aus Linoleum, beides von mattroter Farbe, während die Wände und die Türen in blaugrünen Tönen gehalten sind.

Im unmittelbaren Anschluß an diese Halle nimmt den ganzen westlichen Teil des Erdgeschosses die Poliklinik ein.

Das Wartezimmer, das von dem der Halle vorgelagerten Windfang erreicht werden kann und mit besonderen Aborten verbunden ist, hat Fliesenfußboden. Die Wände sind mit Oelfarbe gestrichen. Zwei ausgekachelte Wandnischen enthalten Speibecken.

Von ihm aus betritt man den großen Abfertigungsraum. Der vordere Teil desselben enthält die

Waschgelegenheit für die Aerzte, einen Apparat für Kochsalzlösung und einen elektrisch betriebenen Trockensterilisator. Im Hauptteil sind durch 1,60 m hohe Wände sieben Untersuchungs- und Behandlungsabteile geschaffen. Die normale Einrichtung eines solchen Abteils ist die folgende (Abb. 37 u. 40).

Für den Patienten ist ein mit Kopfstütze versehener verstellbarer Drehstuhl vorhanden, dessen Armlehnen von der Rücklehne aus frei auskragen, so daß es auch möglich ist, quer auf dem Stuhl zu sitzen. Davor steht ein Drehsessel für den Arzt, beide aus weiß emailliertem Eisen mit Holzsitzen. Links neben dem Kopf des Patienten befindet sich die Untersuchungs Lampe, darunter ein Speibecken; auf der anderen Seite sind an der Wand, vom behandelnden Arzt bequem mit der rechten Hand erreichbar, eine Druckluftbatterie, Instrumentenschalen und ein Pantostat angeordnet. Auf der gegenüberliegenden Seitenwand befindet sich ein Ausgußbecken mit warmem und kaltem Wasser. Links vom Patienten steht ferner auf schrägem Gestell ein Eimer mit Siebeinsatz zur Aufnahme verbrauchter Verbandstoffe.

Die Arme der Untersuchungs Lampen (Abb. 39), nach Angabe des Klinikdirektors und der Bauleitung konstruiert, sind ausziehbar und mittels einer Kombination verschiedener Gelenke nach allen Richtungen verstellbar, so daß die Lampe genau auf die jeweils erforderliche Reflexrichtung des Stirnspiegels eingestellt werden kann. Als Lichtquelle, die bis auf eine vordere Oeffnung in eine gehörig belüftete Kapsel eingeschlossen ist, dient eine 75kerzige Opal-Nitra-Lampe.

Das ganz vernickelte Speibecken ist an einem seitlich drehbaren Kragarm befestigt und mit Randspülung versehen. Als Zu- und Ablauf dienen die obere bzw. untere Strebe des Kragarms, so daß Schlauchverbindungen vermieden sind.

Die Druckluftbatterie hat fünf Anschlußstellen, an denen Saug- und Druckluft entnommen, sowie durch angelegte Glaskolben nebst entsprechenden Schlauchansätzen Lösungen von Medikamenten in feinsten Verneblung —



Abb. 41. Ohrenklinik, Waschnische in einem Klassenzimmer.

an Stelle von Einpinselungen — appliziert werden können. Die Regelung während des Gebrauches geschieht mit einem Fußhebelventil. Eine eingebaute elektrische Heizvorrichtung ermöglicht es, die Flüssigkeiten nach Bedarf vorzuwärmen.

Die vier Instrumentenschalen aus Nickelin, zwei obere für saubere, zwei untere für gebrauchte Instrumente, ruhen auf eisernen Konsolen.

Die Trennwände, aus Eisenrohr und Blech hergestellt, stehen auf etwa 40 cm hohen Füßen; darüber sind diejenigen, an welchen Apparate angebracht sind, bis zur Höhe von 1,20 m als doppelte Wände von 17 cm Stärke gebildet, innerhalb deren die Apparatur des Pantostats und die Zu- und Ableitungen für Druckluft und Wasser eingebaut sind. Darüber hinaus bis zu 1,60 m Höhe setzen sie sich als einfache mit Rohglas verglaste Wände fort, so daß auf einer Seite ein mit Glasplatten abgedeckter Absatz entsteht, der zum Abstellen notwendiger Geräte dient. Von einer Versorgung der Abteile mit Gas ist aus den schon genannten Gründen abgesehen worden; zum Anwärmen der Spiegel usw. dienen Spirituslämpchen.

In der geschilderten Weise sind 4 der vorhandenen Abteile eingerichtet. Das eine, das besonders geräumig ist, dient dem Leiter der Poliklinik und enthält auch noch einen eingebauten Schreibtisch für eine Schreibhilfe, um bei der Aufnahme und Feststellung des Befundes die nötigen Aufzeichnungen und Berichte machen zu können. Von den 5 übrigen ist eine dem Klinikdirektor vorbehalten, während die beiden anderen für die behandelnden Assistenzärzte bestimmt sind. Die drei restlichen Abteile, die keine Pantostat- und Drucklufteinrichtung haben, stehen Volontärärzten, Praktikanten usw. zur Verfügung.

Zur Erzeugung des für die Pantostaten nötigen Wechselstromes ist in dem für die Druckluftmaschine dienenden Raum ein Umformer aufgestellt.

Der gesamte Abfertigungs-Raum ist, um störende Lichtreflexe zu vermeiden, in halber Wandhöhe mit matten grünlichen Fliesen bekleidet; die oberen Wände und die Decke sind in ähnlichem Ton gestrichen, der Fußboden ist mit hellgrauen Platten belegt.



Abb. 42. Ohrenklinik, großes Operationszimmer.

In unmittelbarer Verbindung mit dem Abfertigungsraum stehen ein Raum für Allgemeinuntersuchungen, ein Dunkelzimmer sowie ein Sterilisiererraum mit einem in einen Abdampfschrank eingebauten Instrumentensterilisator. An den letztgenannten Raum schließt sich ein kleines Operationszimmer an mit einem in die Zwischenwand eingebauten, von beiden Seiten zugänglichen Instrumentenschrank. Diese beiden Räume haben ebenfalls Fliesenbelag auf Fußboden und Wänden. Die sämtlichen poliklinischen Behandlungsräume sind mit Verdunklungseinrichtung versehen.

Eine kleine Nebentreppe verbindet die Poliklinik unmittelbar mit den auch vom Haupttreppenhaus bequem zu erreichenden allgemeinen Behandlungs- und Untersuchungsräumen, die im westlichen Teil des Sockelgeschosses untergebracht sind.

Hier liegt zunächst ein großer, 11 m langer Raum für Hörprüfungen mit der Sprache. In diesem befindet sich auch für Untersuchungen des Vestibularapparates eine mit Geschwindigkeitsregulierung versehene Drehscheibe, die durch einen in den Fußboden versenkten Elektromotor betrieben wird. Von diesem Raum zugänglich ist eine schallsichere Kabine für Hörprüfungen mit der Stimmgabel.

Da beide Räume unmittelbar unter dem stark benutzten poliklinischen Abfertigungsraum liegen, waren besondere Maßnahmen zur Schallisolierung nötig. Die Decken und aufgehenden Mauern ruhen auf 1 cm starken Asphaltfilzplatten; außerdem ist der gesamte Fußboden des Abfertigungsraumes und des anschließenden Operationszimmers unter dem Fliesenbelag mit einer Lage von 1,5 cm starken Absorbierplatten versehen, die über der schallsicheren Kabine noch durch eine 6 cm starke Schicht Korkestrich verstärkt ist. Die schallsichere Kabine (Abb. 58) selbst ist noch weiter dadurch gesichert, daß innerhalb der gemauerten Umfassungswände ein freistehendes, mit dem übrigen Gebäude in keiner Verbindung stehendes Fachwerkgerüst errichtet ist, das mit Schwemmsteinen ausgemauert bzw. an der Decke mit Sandschüttung auf Schwarten gefüllt und mit Ab-

sorbitplatten bekleidet ist. Letztere sind mit Drahtgewebe überspannt, verputzt und mit Salubratapete auf starker Papierunterlage beklebt. Der Fußboden, dessen Unterbeton durch eine offene Fuge von dem übrigen Bauwerk getrennt ist, hat über mehreren Schichten von Korkestrich und Absorbit einen Gummibelag mit Schwammgummiunterlage.

Das Hörprüfungszimmer, dessen aus Linoleum bestehender Fußboden ebenfalls auf Korkestrich liegt, ist gegen den Flur mit einer in doppelten, gummigedichteten Falz schlagenden schalldämpfenden Tür abgeschlossen. Der Zugang zur schallsicheren Kabine besteht aus 2 solchen hintereinander geschalteten Türen. Die in der Nähe befindlichen Treppenläufe sind mit Gummi belegt. Um die im Raum selbst entstehenden Schallreflexe zu vernichten, ist das Hörprüfungszimmer an den Decken und Wänden mit einem lockeren Stoffbehang versehen, der leicht abzunehmen und waschbar ist.

Ferner befinden sich hier zwei Inhalationsräume, die von dem schon genannten Maschinenraum aus mit Druckluft versorgt werden. Beide sind an Wänden und Fußboden mit Fliesenbelag versehen, an der Decke mit Oelfarbe gestrichen. Der eine, als Raum-inhalatorium dienend, hat in der Mitte einen Zerstäubungsapparat, der andere weist drei Plätze für Einzelinhalationen auf.

Daneben liegt das mit Höhensonne, Solluxlampen usw. ausgestattete Bestrahlungszimmer.

Das weiter östlich untergebrachte Röntgenzimmer ist zunächst nur für diagnostische Zwecke mit einem Polydor der Siemens-Reiniger-Veifa-Werke ausgestattet. Es ist mit Verdunklungseinrichtung versehen und allseitig rot gestrichen. Einerseits ist es mit einem Schaltraum verbunden, von dem ein kleiner Warteraum abgetrennt ist, andererseits mit der Dunkelkammer. Gegen beide ist es mit Schwerspatbekleidung der Wände, Bleieinlage bzw. Bleiglas in den Türen strahlensicher isoliert.

Ein kleines phonetisches Laboratorium, ein mit zwei gasgeheizten Autoklaven (Lautenschläger) ausgestatteter Verbandstoff-Sterilisiererraum und ein kleiner Tieroperationsraum beschließen die Reihe der in diesem Gebäudeteil untergebrachten Räume.

Im östlichen Teile des Hauptgebäudes liegen die beiden Hauptkrankeinstationen, und zwar im Erdgeschoß die Frauen — und Kinder —, im Obergeschoß die Männerstation.

In jeder Station sind die beiden größeren Krankenzimmer mit einem gemeinsamen, nach Süden gelegenen Tagesraum verbunden, der im Winter heizbar, im Sommer durch Öffnen der breiten Schiebefenster in eine Loggia verwandelt werden kann und auch zur Einnahme der Mahlzeiten dient. Die kleineren Krankenzimmer, die größtenteils als Klassenzimmer dienen, sind in jeder Station zu je dreien an eine kleine verglaste Loggia angeschlossen. Außerdem ist für jede Station in dem östlichen Zwischenbau eine halb offene, halb überdeckte Liegeterrasse vorhanden.

Die Zimmer der Klassenpatienten enthalten je ein kombiniertes Wasch- und Gurgelbecken, das in einer ausgekachelten Nische untergebracht ist (Abb. 41). Auch die größeren Krankenzimmer enthalten nur ein Waschbecken und getrennt davon ein Speibecken, da für die nicht bettlägerigen Patienten ein besonderer Waschraum vorgesehen ist, der auch mehrere Gurgelbecken enthält. Speibecken sind überhaupt in allen von Patienten benutzten Räumen vorhanden.

Die Wände sind in den allgemeinen Stationszimmern mit Oelfarbe gestrichen. In den Klassenzimmern sind abwaschbare Salubratapeten in verschiedenen Streifenmustern verwendet, zu denen die Farbe der Kacheln in den Waschnischen jedesmal abgestimmt ist. Steckkontakte zum Anschluß von elektrischen Apparaten oder Tischlampen sind überall an den Wänden verteilt. Je ein kleines Krankenzimmer in der Männerstation und



Abb. 45. Ohrenklinik, Laboratorium.

Frauenstation enthält einen an die Druckluftanlage angeschlossenen Verneblungsapparat, um den Raum mit medikamentösen Dämpfen erfüllen zu können. Dementsprechend sind diese Räume mit massiven Fußböden und Kachelbekleidung an den unteren Wandteilen, im übrigen allseitig mit Oelfarbenanstrich versehen.

Die Teeküchen sind ähnlich wie in der Kinderklinik mit eingebautem, zugleich als Geschirrschrank dienenden Anrichtetisch, Eisschrank, Wärmeschrank mit Gaskochstelle und Spülbecken ausgestattet. Außerdem enthalten sie noch Trockensterilisatoren, in denen das Geschirr nach der mechanischen Reinigung entkeimt wird, eine Maßnahme, die nach den bisherigen Beobachtungen zur Verhütung von Infektionen innerhalb der Klinik in der erhofften Weise beiträgt.

Die Teeküchen, Wasch- und Baderäume und Aborte haben Fliesenfußböden und Kachelbelag an den unteren Wandteilen. Letzterer ist auch auf den Fluren der Krankenstationen durchgeführt. Zur Aufbewahrung der Wäsche und Gerätschaften sind in den Fluren jeder Station mehrere eingebaute Schränke vorhanden, von denen einer, mit Rohglasplatten ausgekleidet, zur Aufnahme nicht gebrauchter Stehbecken und Urinflaschen dient. Zur Reinigung der letzteren sind die in der Station vorhandenen Fäkalienausgüsse mit entsprechenden Spülvorrichtungen ausgestattet.

Für die Krankenaborte sind Sitze aus sogenanntem „Belcolith“ gewählt, einer elfenbeinfarbenen, harten Preßmasse, die keinen Schmutz aufzusaugen vermag und gegen Nässe unempfindlich ist, so daß die Sitze leicht in hygienisch einwandfreiem Zustande und gutem Aussehen zu halten sind.

Die Infektionsstation, die in dem eingeschossigen östlichen Anbau liegt, besteht aus zwei selbständigen Abteilungen, von denen die östliche, mit unmittelbarem Zugang von außen versehene, im besonderen für Diphtherie-, Scharlach- und Masernfälle, die westliche für Kehlkopftuberkulose bestimmt ist. Hier sind sämtliche Räume einschließlich des Flures mit massiven Fußböden versehen und in halber Wandhöhe gekachelt. Alle Krankenzimmer

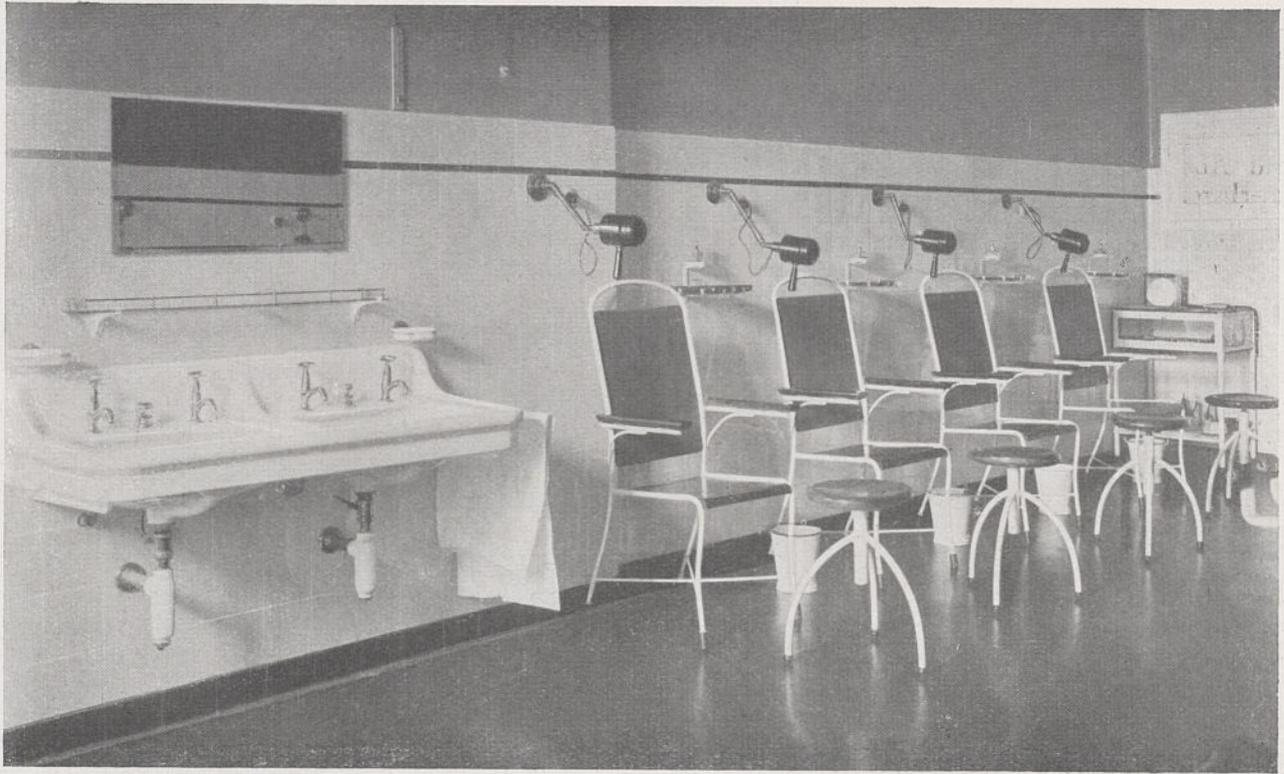


Abb. 44. Ohrenklinik, Kurssaal.

haben Anschluß an die Druckluftleitung zur Anbringung von Zerstäubungsapparaten. Jede Abteilung hat Tee-küche, Abort und Bad für sich, die erstgenannte außerdem ein kleines Operations-, die andere ein Behandlungszimmer, deren Einrichtung im wesentlichen den entsprechenden Räumen des Hauptgebäudes entspricht. Im Anschluß an die Krankenzimmer sind halb offene, halb überdeckte Liegeplätze angeordnet.

Die Zahl der planmäßigen Betten aller drei Stationen beträgt 41, wovon 4 Kinderbetten sind. Doch lassen sich im ganzen bis zu 50 Betten unterbringen.

Die Operationsabteilung besteht aus vier miteinander verbundenen, nach Norden liegenden Räumen im Obergeschoß des Hauptgebäudes. Die Reihe beginnt mit dem Wasch- und Vorbereitungsraum der Aerzte, der außer Schränken zur Aufbewahrung von Operationsmänteln, Gummischürzen usw. und einem Spülausguß für grobe Abgänge drei glatte Waschbecken enthält. Die Regelung des Wasserzulaufes erfolgt in gleicher Weise wie im Operationssaale der Kinderklinik. Da in der Ohrenklinik Kalt- und Warmwasserleitung unter gleichem Druck stehen, stellten sich hier wie auch bei allen sonstigen Aertzwashbecken, keine Schwierigkeiten entgegen. Der über den Waschbecken befindliche Spiegel ist seitlich verschiebbar und gibt eine Oeffnung frei, die den Einblick in den Operationsraum gestattet. Hier sind auch alle Ventile und Schalter für die Zuleitungen im großen Operationsraum angebracht, um diesen möglichst frei von schwer zu säubernden Teilen zu halten.

Im großen Operationsraum (Abb. 42) selbst finden sich an den Wänden nur einige Steckkontakte der Lichtleitung, ein Wechselstromstecker für Diathermiebehandlung sowie nahe dem Operationstisch Entnahmestellen für Druck- und Saugluft. In die Zwischenwand nach dem benachbarten Sterilisiererraum ist ein beiderseits zugänglicher Instrumentenschrank eingebaut. Die Beleuchtung besteht wie in der Kinderklinik aus 5 Zeiß'schen Kugelspiegellampen, die durch eine sechste auf Stativ montierte ergänzt werden können. Die Heizkörper können durch Umschaltung an den die Warmwasserbereitung betreibenden Heizkessel angeschlossen werden, so daß dieser Raum auch außerhalb der allgemeinen Heizperiode auf die hier erforderliche Temperatur gebracht werden kann.

Das Sterilisierzimmer enthält ein großes Digestorium mit Instrumentensterilisator, einen Apparat zur Bereitung

steriler Kochsalzlösung und einen Trockensterilisator (sämtlich von Lautenschläger). Ein kleines Operationszimmer für besondere Eingriffe schließt sich an.

In Verbindung mit diesen Räumen steht das Verband- und Nachbehandlungszimmer der Männerstation, das zwei Behandlungsplätze von ähnlicher Einrichtung aufweist, wie sie im Abfertigungsraum der Poliklinik vorhanden sind, nur daß wegen des beschränkten Raumes die Trennwände fehlen. Ein gleicher Raum befindet sich in der Frauenstation.

Alle diese Räume haben weißen Fliesenbelag auf den Fußböden; die Wände sind in Mannshöhe, — im großen Operationsraum bis zur Decke hinauf —, gekachelt und zwar in den beiden Operationszimmern unter entsprechender Tönung der Decke zur Vermeidung von Blendung blaugrau, in den anderen Räumen weiß bzw. elfenbeinfarbig. Sämtliche Fenster sind mit Verdunkelungsanlage versehen, die im Operationszimmer zwischen den Doppelfenstern laufen.

Auch das Direktorzimmer, dessen Vorzimmer unmittelbar von der Eingangshalle im Erdgeschoß erreicht wird, ist mit einem kleinen, den übrigen Behandlungsräumen entsprechend eingerichteten Untersuchungsraum verbunden.

Der Hörsaal (Abb. 45), im westlichen Teil des Obergeschosses gelegen, hat auf radial angeordneten, mäßig ansteigenden Bänken über 100 Plätze. In der Mitte der hinteren Bankreihen ist die Projektionseinrichtung eingebaut. Sie besteht aus einem Apparat für dia- und episkopische Projektion und einem zweiten Apparat für die hier viel angewandte Mikroprojektion (Zeiß-Winkel, Göttingen). Als Bildschirm dient eine $2,5 \times 2,5$ m große Wandfläche, die mit Feinputz überzogen und mattweiß gestrichen ist. Vor ihr laufen an Gegengewichten zwei je $2,5 \times 0,90$ m große Wandtafeln, die hinter eine Brüstung versenkt werden können. An einer Seitenwand sind in einer ausgekachelten Nische zwei Waschbecken, gegenüber ein Ausguß angebracht. Die Heizkörper sind, durch Fußbodenklappen zugänglich, in dem mit vergitterten Zu- und Abluftöffnungen versehenen Hohlraum unter dem Gestühlspodium untergebracht. Die Verdunkelungsanlage für die 7 großen, an 2 Seiten liegenden Fenster wird elektrisch betätigt. Der Antriebsmotor und die Wellen liegen über dem Hörsaal

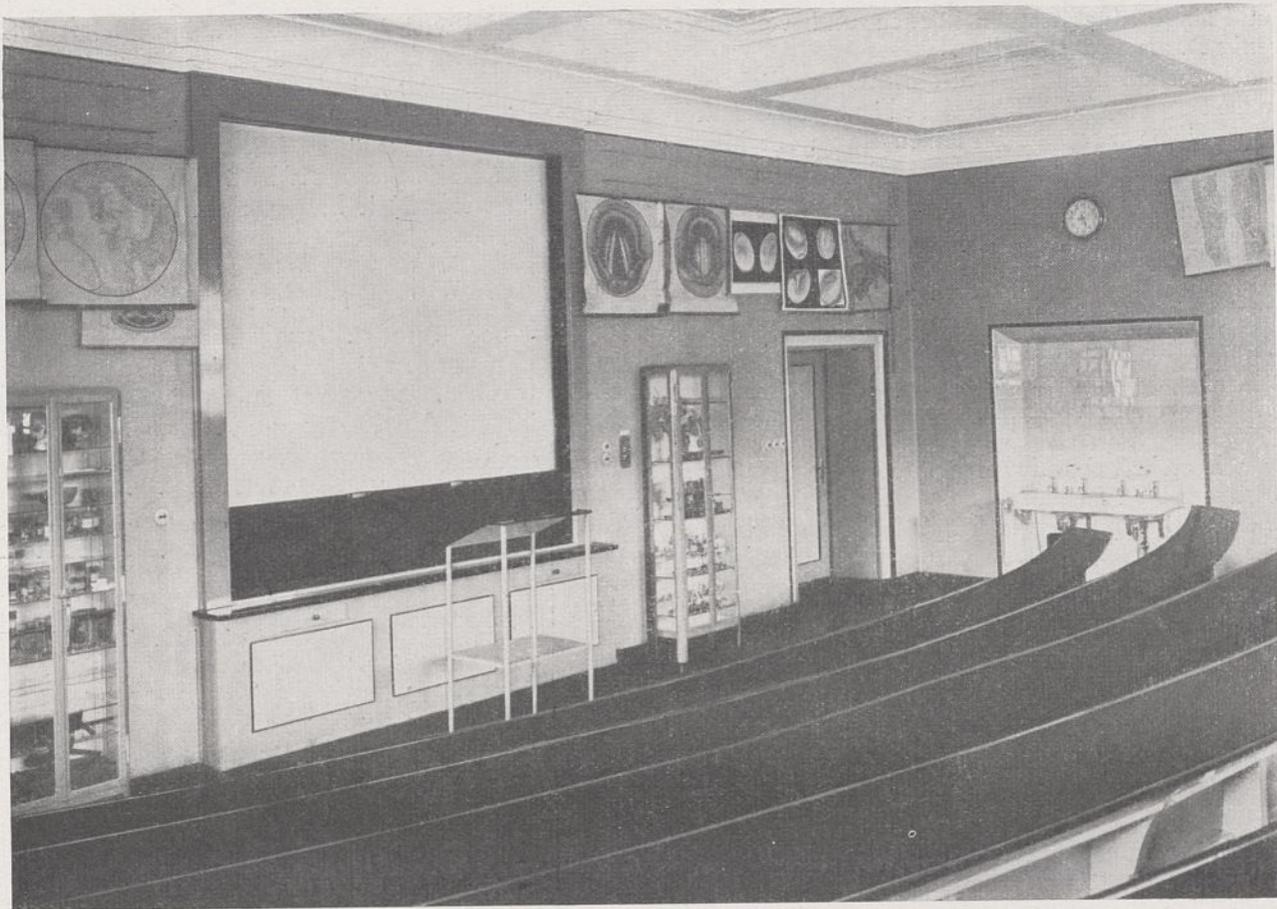


Abb. 45. Ohrenklinik, Hörsaal.

im Dachboden. Die übrigen im Gebäude vorhandenen Verdunklungseinrichtungen werden mittels Gurtaufzug von Hand bedient. Die Ausführung erfolgte durch die Firma Rich. Komarek u. Ko.-München.

Aus konstruktiven Gründen ist die zur Erhöhung des Raumes in das Dach steigende Decke in 12 Kassetten aufgeteilt; ebenso viele schalenförmige Beleuchtungskörper mit seidennatten Glasschirmen geben ein gleichmäßig verteiltes Licht. Die Decke ist weiß, die Wände sind mattblau, Gestühl und Türen in grauen Tönen gestrichen.

Für den Unterricht war die Möglichkeit vorzusehen, sehr zahlreiche, ständig wechselnde Bildtafeln aufhängen zu können. Die hierfür meist übliche Einrichtung, die Anordnung von mit Haken versehenen wagerechten Stangen, die mit Gurten oder Schnüren an Rollen auf- und niedergezogen werden, hat den Nachteil, daß sie leicht in Unordnung gerät und den Raumeindruck, namentlich wenn sie in großem Umfange angewendet werden muß, sehr stört. Hier ist daher statt dessen eine Lösung gewählt worden, die den Vorzug großer Einfachheit und Unauffälligkeit hat und trotzdem sehr bequem zu bedienen ist. An allen für die Aufhängung von Anschauungsbildern in Frage kommenden Wandflächen ist in passender Höhe — nahe der Decke — ein 6 mm starker Eisendraht gespannt, der alle 80 cm von kleinen, 10 cm vor die Wand ragenden Stützen gehalten wird. Die Bildtafeln haben in der Mitte ihres oberen Querstabes einen Haken und werden mit Hilfe eines Stockes, der in eine entsprechend gebogene Gabel endigt, aufgehängt und abgenommen. Im Hörsaal sind an den beiden fensterlosen Wänden zwei solcher Drähte in $\frac{1}{2}$ m Abstand angebracht, um die Tafeln höher oder niedriger hängen zu können. Die Drähte sind unauffällig im Wandton gestrichen.

Der mit dem Hörsaal in Verbindung stehende Kursaal (Abb. 44) hat 12 Plätze für Spiegelübungen der Studierenden. Jeder Platz besteht aus dem Armlehnstuhl für den Patienten, dem Drehstuhl für den Untersuchenden, einer Untersuchungs Lampe der schon beschriebenen Art, einem konsolartigen Halter für zwei kleine Instrumentenschalen und ein Spirituslämpchen sowie einem

kleinen Abfalleimer. Ueber den Plätzen sind die Längswände zum Aufhängen von Bildtafeln eingerichtet. Zwei Waschbecken, ein Ausguß und eine kleine Wandtafel aus weißem Mattglas vervollständigen die Einrichtung. Vor dem zu verdunkelnden Fenster ist ein Platz für besondere Demonstrationen des leitenden Arztes; hier hat auch ein Brünningsches Polylaryngoskop Aufstellung gefunden. Gegen störende Reflexe sind die Wände mattrot gestrichen und auch die Decke leicht getönt.

Nach Norden liegen im westlichen Obergeschoß drei Laboratorien (Abb. 45). An sämtlichen Fensterwänden ziehen sich Tische entlang, die mit Plätzen für mikroskopische Arbeiten versehen sind. In die schwarz gebeizten Eichenholzplatten sind weiß unterlegte Glasplatten und kleine Ausgußbecken mit Zapfhahn eingelassen. Der mittlere, größte Raum enthält ferner einen freistehenden, zweiseitigen Arbeitstisch in der Mitte, der mit Anschlüssen für elektrischen Strom, Gas, Druckluft, warmes und kaltes Wasser ausgestattet ist und seitlich säurefeste Ausgußbecken mit Abtropfbrettern besitzt. An der rückseitigen Längswand befinden sich Digestorium, Brutschränke und Spülbecken. Auch die beiden anderen Räume sind mit säurefesten Spülbecken sowie mit Sammlungsschränken für mikroskopische Präparate ausgestattet. Sämtliche Möbel stehen auf massiven Sockeln, die mit Fliesenhohlkehlen an den mit Platten belegten Fußboden anschließen. Die Wände sind im unteren Teile gekachelt.

Von der oberen Flurhalle, die als Kleiderablage für die Studenten eingerichtet ist, wird ferner ein kleines Sammlungszimmer erreicht, an das sich Bücherei und Lesezimmer anschließen. Der hintere Teil des Lesezimmers ist zu einem großen, bis zur Decke reichenden Wandschrank ausgebaut, der durch einen wagerechten Zwischenboden und eine senkrechte Mittelwand in vier mit Schiebetüren verschlossene Abteile geteilt ist. Die oberen Abteile werden durch eine anzuhängende Leitertreppe erreicht. In diesem Schrank werden die Bildtafeln mit ihrem Haken an längsdurchlaufenden Stangen senkrecht zur Rückwand aufgehängt, so daß sie, ohne abgenommen zu werden, bequem durch-

gesehen und eingeordnet werden können und verhältnismäßig wenig Raum beanspruchen.

Im Dachgeschoß befindet sich ein mit Oberlicht versehenes photographisches Atelier mit Dunkelkammer und einem besonderen kleinen Raum für Mikrophotographie.

Die Küche liegt im östlichen Teile des Sockelgeschosses. Der große, für Gas- und Kohlenfeuerung eingerichtete, freistehende Kochherd wird ergänzt durch einen Gasbrat- und Backofen, einem niedrigen sogenannten Tischkocher für große, schwere Töpfe und einem Wärmeschrank. Ferner sind eine Anzahl elektrisch betriebener Küchenmaschinen vorhanden. Speiseaufzug, Kühlraum und weitere Vorratsräume schließen unmittelbar an.

Das Dachgeschoß des Hauptgebäudes ist wieder zum größten Teil zu Personalräumen, — Zimmer für Aerzte, Laborantinnen, Schwestern und Hausmädchen — ausgebaut. Das Aerzteßzimmer, das mit einem überdeckten Sitzplatz verbunden ist, liegt im Sockelgeschoß nahe der Küche. Im Sockel des Infektionsgebäudes ist ebenerdig eine Hausmeisterwohnung untergebracht.

Entwurf und Bauausführung.

Die Oberleitung lag bei beiden Neubauten in Händen des Ministerialrats Dr. med. et phil. h. c. Schindowski. Die Aufsicht seitens der Provinzialbehörde übten nacheinander Regierungsbaurat Bode und Oberregierungs- und -baurat Trümpert aus. Die ersten Vorarbeiten wurden von dem damaligen Vorstand des Hochbauamts I, Regierungsbaurat Leyn, geleistet. Die Aufstellung des endgültigen Entwurfs und die Bauausführung waren dem Verfasser übertragen, dem zeitweise der Regierungsbaumeister Dieckert, sowie die Regierungsbauführer Textor, Nordmann und Kling zur Seite standen.

Für die wichtigsten Sonderanlagen sind die ausführenden Firmen bereits genannt. Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, daß bei den übrigen Arbeiten und Lieferungen in Anbetracht der besonderen Bedeutung, die die Marburger Universität auch für das wirtschaftliche Leben der Stadt besitzt, das ortsansässige Handwerk und Gewerbe in erster Linie herangezogen wurde.

Baukosten.

Kinderklinik.

Da der 1. und 2. Bauabschnitt in der Inflationszeit ausgeführt worden sind, lassen sich hierfür genaue Kosten nicht angeben. Berechnet man seinen Jetztwert durch Vergleich mit den Kosten des 3. und 4. Bauabschnitts, so ergeben sich als Kosten der gesamten Bauanlage:

Für den Auf- und Ausbau rd.	774 000 RM
Für die Außenanlagen rd.	50 000 RM
Für die innere Einrichtung rd.	166 000 RM
zusammen rd.	990 000 RM

Hierzu kommen noch rd. 12 000 RM als Sonderstiftung Dr. Horst's für reichere Ausgestaltung des Gartens usw. Für Instrumente und Apparate sind ferner im ganzen rd. 20 000,— RM aufgewendet worden.

Ohrenklinik.

Die Kosten haben betragen:	
Für den Auf- und Ausbau rd.	512 000,— RM
Für die Außenanlagen rd.	55 000,— RM
Für die innere Einrichtung rd.	135 000,— RM
zusammen rd.	680 000,— RM

Hierzu kommen für Instrumente und Apparate noch rd. 71 000,— RM.

Auf ein cbm umbauten Raumes betragen die eigentlichen Baukosten bei beiden Bauten rd. 56,— RM.



Abb. 46. Kinderklinik, Figur am Planschbecken.
Bildhauer Wolfgang Schwartzkopf, Kassell.

NACHTRAG ZU HEFT 7 (JULI).

Um- und Erweiterungsbau der Staatsoper in Berlin.

Zu Seite 182: Die Oberaufsicht über die Bauleitung oblag seit 1. Dezember 1927, nach dem Ausscheiden des Geheimen Oberbaurats D. e. h. Fürstenau, dem

Oberregierungs- und -baurat Kaßbaum (Hochbauabteilung des preußischen Finanzministeriums).

Zu Seite 166: Die vom Atlantic-Verlag der Schriftleitung zur Verfügung gestellten Stöcke stammen aus der im Verlage erschienenen Festschrift „185 Jahre Staatsoper.“
Die Schriftleitung.

Über die Rutschungen in Rosengarten bei Frankfurt a. d. Oder.

Von Reichsbahnrat Karl Maria Backofen, Stettin.

(Schluß von Seite 206.)

Die Untersuchungen über die Ursachen der Rutschungen.

1. Allgemeines. Das Gelände hinter der 125 m langen Rutschung steigt von der großen Betonbrücke langsam an und erreicht am Lärmstangenberg seine höchste Höhe von 117 ü. d. M. Bis zu dieser Höhe hatte sich in den vergangenen Jahren der abbröckelnde Boden emporgefressen und war in eine Neigung von 1 : 5 übergegangen. Unmittelbar hinter dem jetzigen Rutsch fällt das Gelände allmählich ab und erreicht ca. 250 m dahinter in einer schmalen, länglichen Mulde seinen tiefsten Punkt. Sie steigt aus einer Höhe von 102 ü. d. M. in östlicher Richtung bis zu 108,65 an und bildet hier in einer kleinen Anhöhe den Gegenpol zum Lärmstangenberg (Abb. 11). Beide Erhebungen, ungefähr 450 m von einander entfernt, liegen unmittelbar an der Bahnböschung.

Innerhalb dieser Linie dürfte noch der gesamte Boden abrutschen, sofern die Böschung nicht vorher reguliert wird. Der Rutsch 1925 stand 15 Jahre fest; die jetzt noch stehende Böschung westlich der Betonbrücke km 75,3 wird auch noch einige Jahre standhalten, bis auch ihre Rutschstunde geschlagen haben wird.*)

Angesichts des Rutsches 1925 mit seinen überraschenden Folgen wäre dem Einschnitt Rosengarten nicht gedient, wollte man nur die abgerutschten Massen beseitigen und die Gleise freigraben. Es mußte nach den Ursachen gesucht werden.

*) Inzwischen ist auch dieser Teil nach des Verfassers Entwurf abgeböschet worden.

Im Befund 1902 wurde von Wasser gesprochen. Das Gutachten 1912 erwähnt, daß der ganze Verband durch Querverwerfungen und durch die auf ihm zirkulierenden Wasser gestört sei; das Gutachten von 1925 spricht in noch ausführlicherer Weise von Tonmulden im Hinterlande, die mit Wasser angefüllt seien. — Ist Wasser tatsächlich vorhanden und wo, das war die erste Frage.

In den Gutachten kehren immer wieder Gleit- oder Rutschflächen. — Sind diese Flächen nachweisbar, war die zweite Frage für den Verfasser.

Demnach war der Untergrund an der Rutschung selbst, der Rutschkante, wo das Wasser ja überfließen mußte, und die Mulde zu untersuchen. Bohrungen und Schächte waren hierzu die Hilfsmittel. Vorausgeschickt wird, daß die Bohrungen von Spezialfirmen ausgeführt wurden unter Aufsicht eines Ingenieurgeologen. Dieser fertigte zusammen mit dem Verfasser geologische Querprofile für die Zwecke der Eisenbahnverwaltung, also im Hinblick auf die später zu ergreifenden Baumaßnahmen an, die die Grundlagen abgaben für die vom Verfasser getroffene Unterscheidung zwischen bröckligem, amorphem und blättrigem Ton, sowie für die Unterscheidung der Geol. Land.-Anst. Berlin zwischen verwittertem und unverwittertem Ton. Der Ingenieurgeologe hatte unter Kontrolle des Verfassers das Bohrgut sorgfältig zur weiteren fachmännischen Begutachtung in Kästen zu sammeln, zu beschriften und ihm zu übergeben. Gleich von Anfang zog man obengenannte Anstalt zu den geologischen Arbeiten zu.

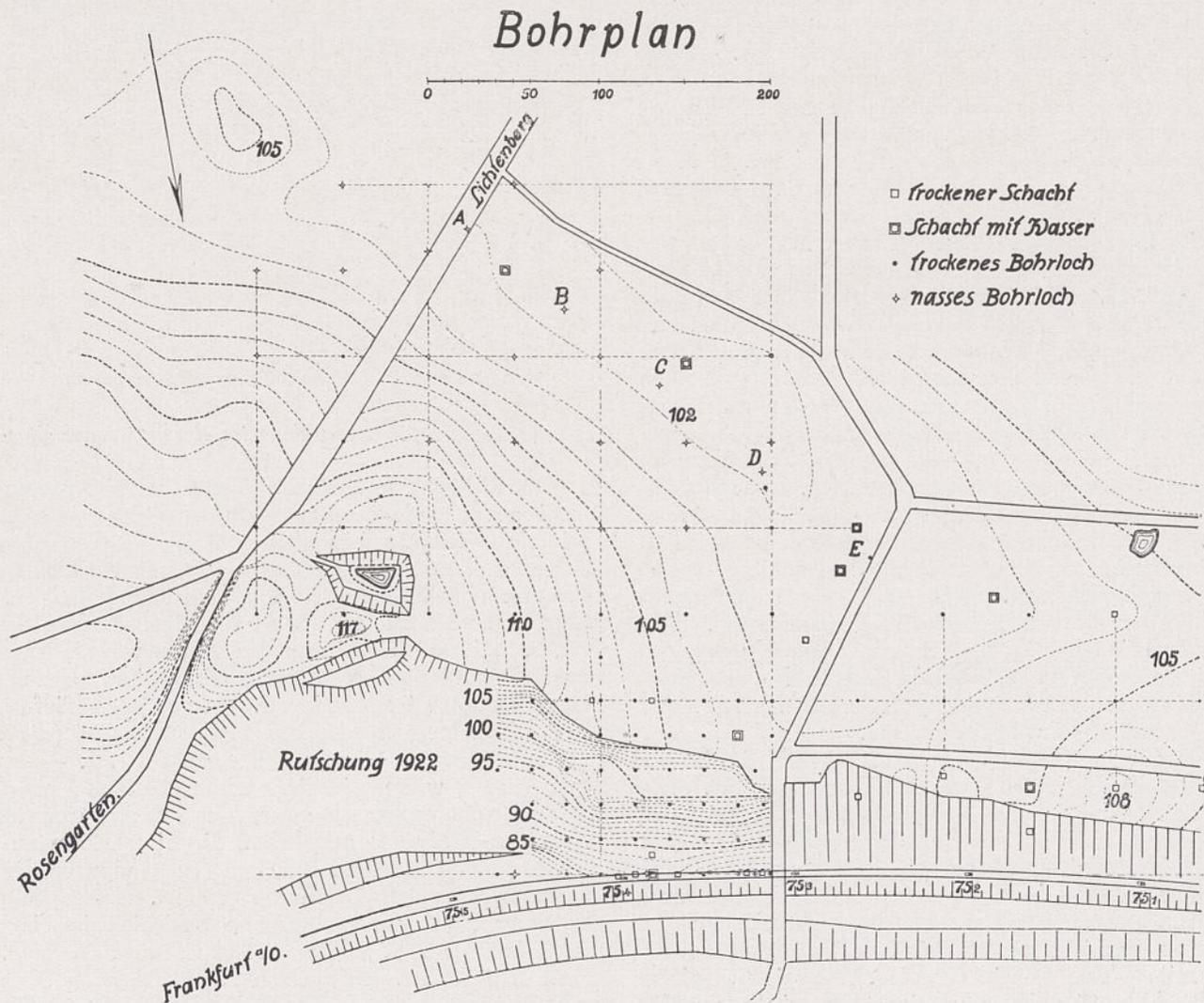


Abb. 11. Bohrungen und Schächte im Rutschgebiet.

Es waren also alle Vorkehrungen getroffen, um die Ergebnisse der Bodenaufschlüsse auszuwerten. — Die Bohrungen wurden durch Schächte ergänzt. Bohrungen geben ein gutes Bild über die Lagerung der Formationen. Für einen Bau von derartiger Wichtigkeit wie Rosengarten genügen sie jedoch nicht. Die Schächte geben durch ihren unmittelbaren Einblick in das Erdinnere die beste Grundlage in bautechnischer Hinsicht ab. Es sind ca. 5700 lfdm Bohrungen und ca. 520 lfdm Schächte hergestellt worden.

2. Bohrungen. Die ersten Meter zum Einsetzen des ersten Rohres wurden mit dem Tellerbohrer gebohrt; im Ton mit der Schappe oder dem Spiralbohrer; in Sanden mit der Schlammbüchse; bei sehr festgelagerten Sanden mit dem Sandbohrer und dem Kolbenklappeneimer; im harten Geschiebemergel wurde gemeißelt oder gesprengt.

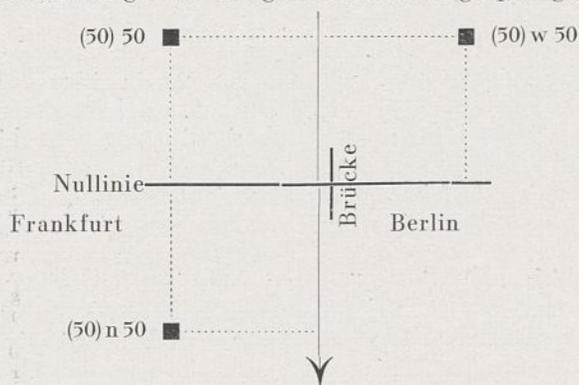


Abb. 12. Bezeichnung der Aufschlüsse.

Das Bohrsystem (Abb. 12) baut sich auf einer Nulllinie, die ungefähr mit der Gleisachse identisch ist, auf. Die Bohrpunkte und Schächte werden mit den Koordinaten in Beziehung gebracht und benannt. Die vertikale Beziehung wird durch eine Klammer ausgedrückt, z. B. (50) 10. Hiermit soll ein Punkt bezeichnet werden, der 10 m von der horizontalen und 50 m von der vertikalen Achse entfernt liegt. Die Punkte, die nördlich oder westlich liegen, bekommen außerdem noch das Zeichen n oder w. — Das Rutschgebiet wurde mit Bohrungen 20 m im Geviert belegt. Sie gehen östlich der Brückenachse 160 m und südlich von der Nulllinie 100 m weit. — Die Bohrungen im Hintergelände reichen 550 m tief in einem Geviert von je 50 m. Das von Bohrungen und Schächten belegte Gebiet umfaßt ungefähr 90 000 qm.

1. Die Bohrungen im Eisenbahnplanum und Rutschgebiet mußten wichtige Aufschlüsse zeitigen. Abb. 11. Hier konnte am ersten die Frage nach den Rutschstufen und dem Wasser beantwortet werden. Der Verfasser nahm an, daß sich beim Bohren die abgerutschten von den fest gelagerten Tonmassen würden unterscheiden lassen, um so mehr, als die Gutachten sogar aufgelöste Rutschzonen unterstellten. Aus dem mehr oder weniger starken Bohrwiderstand ergab sich auch, daß die Tone im Rutschgebiet verschiedene Festigkeit hatten. Der Rutschton erbohrte sich leichter als der darunter liegende festgelagerte. Hieraus konnte folgendes geschlossen werden:

1. Der auflagernde Ton ist über dem festgelagerten in Bewegung geraten. Hier war das Wasser auch reichlicher versammelt als im festgelagerten. Der Unterschied beträgt ungefähr 5—7 Gewichtsprozent.
2. Die angenähert bestimmte Oberfläche des festgelagerten Tones ist gleichzeitig die Rutschfläche. Sie verläuft ganz unregelmäßig.

Die Preußische Geologische Landesanstalt Berlin bezeichnet den abgerutschten Ton mit „verwitterten“. Solange hierfür nicht die bodenphysikalischen Beweise erbracht werden, kann dieser Annahme nicht beigetreten werden. Die chemischen und die Untersuchungen auf Korngrößen und Porenvolumen reichen hierfür nicht aus. Vielmehr muß gesagt werden, daß die Eigenschaften des Rutschtones noch nicht bekannt sind und er deshalb vom Verfasser mit „X-Ton“ bezeichnet wird. Wieweit dieser Ton greift, gibt Abb. 15 an. — Im einzelnen wird über die Bohrungen noch folgendes gesagt:

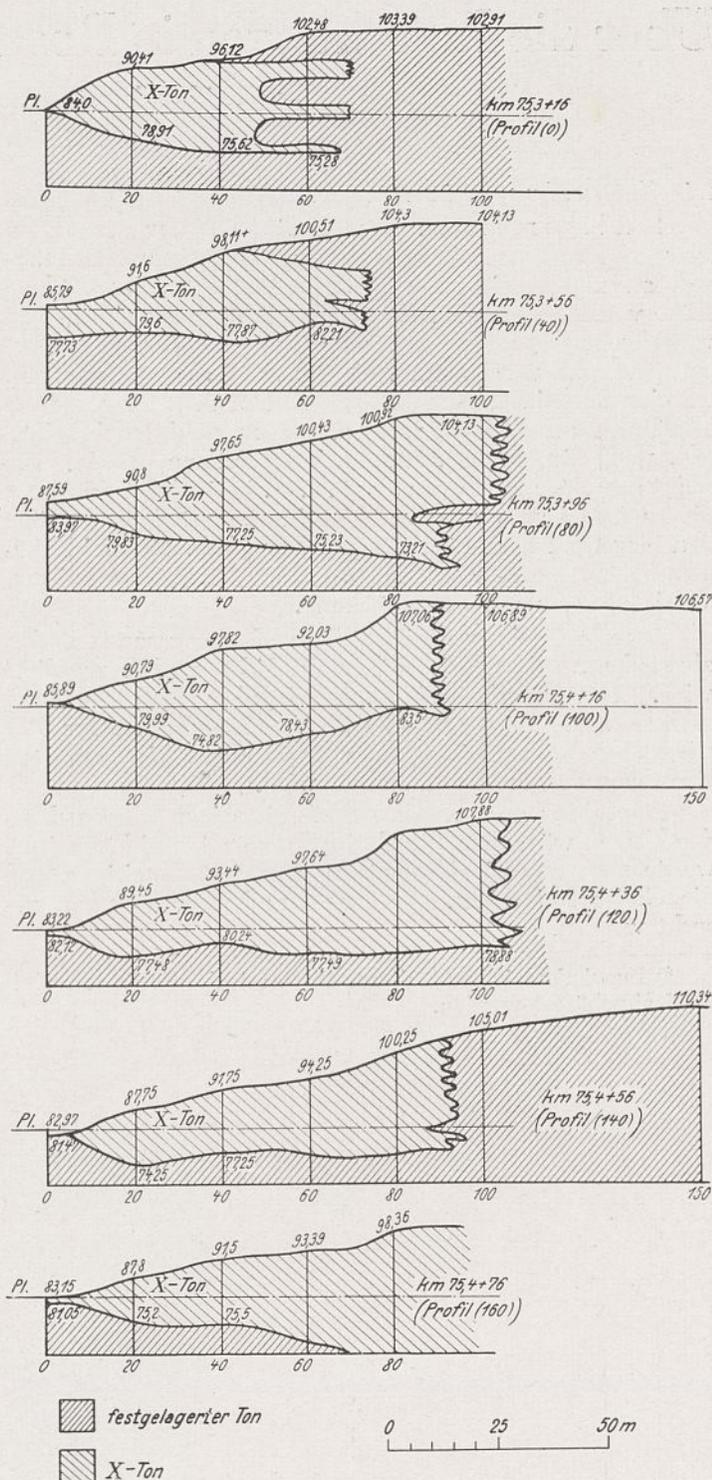


Abb. 15 Profile der X-Tone im Rosengartener Einschnitt.

Das Längsprofil der Bohrungen im Bahnplanum zeigt zwei auffallende Senkungen aus bröckligem Tonmergel. Die eine Senkung reicht bei Bohrloch (40) 0 bis 6 m unter Schienenoberkante. Die Rutschung selbst bildet über dem Planum eine Erhebung von 4,5 m Höhe und ca. 110 m Länge. Der Tonmergel zeigt die Eigenschaften der Probe Nr. 5. Die blättrige Form des Tones, wie sie unmittelbar unter dem Planum angetroffen wurde, ist jedoch nicht vorherrschend; er ist plastischer. In größeren Tiefen ist der Ton von feinem Schief durchsetzt; hier finden sich auch Einlagerungen des bröcklichen Tones Nr. 1. — Im Bohrloch (150) 0 wurden in einer Tiefe von 50, 25 bis 51, 25 m unter Gelände grauschwarze, stark tonige und treibende Sande, Schliefsande angebohrt, die bis 20, 25 m auftrieben (Abb. 14). — Auch im Bohrloch (70) 0 wurden diese Einlagerungen treibender Sande erbohrt. Diese 56 m tiefe Bohrung ergab wasserführende Schichten in einer Tiefe von 57,87 bis 59,87 und von 53,02 m unter Gelände. Auch diese Schichten verzeichneten einen Auftrieb bis zu 29,9 und 39,7 m. Zwischen den Bohrlöchern (70) 0 und (150) 0 sind vier weitere eingeschaltet. Die andauernden Nach-

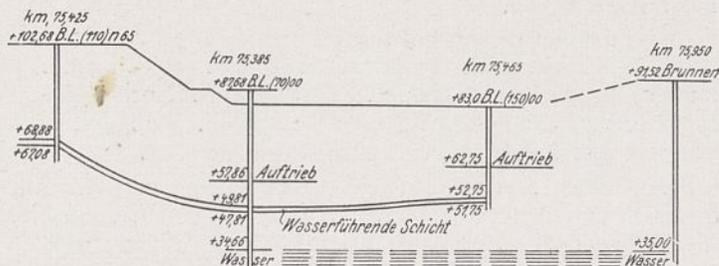


Abb. 14. Schnitt durch die Bohrlöcher (110) n 65; (70) 0; (150) 0 und einen Brunnen bei der Station Rosengarten.

rutschungen verhinderten jedoch ein allzu tiefes Bohren. Die Bohrrohre wurden stets umgeknickt. Der Einfachheit und Uebersichtlichkeit halber wurden trotzdem in der Abb. 14 die wasserführenden Schliefschichten als zusammengehörig betrachtet. — Rechts bei km 75,95, ungefähr 64 m von der Bahnsteigmitte entfernt, also 500 m weiter nach dem Odertale zu befindet sich ein Brunnen, der in einer Tiefe von 55 m ü. d. M. Wasser spendet. Das tiefste Wasser im Bohrloch (70) 0 ist bei 54,66 m ü. d. M. Es mag dahingestellt sein, ob beide Wasserspiegel eine Verbindung haben. — Die wasserführenden Schliefsande wären also in der Lage, den Ton darüber zu befeuchten und zum Schwellen zu bringen. Sie könnten auch als Ausgleichschicht bei den Gleichgewichtsbewegungen des Einschnittes wirksam sein.

Die weiteren Bohrungen im Rutschgebiet ergaben den schwarzgrauen bröckligen Ton, der zum Teil unter das Planum greift, darunter den grauschwarzen blättrigen Ton. Die Trennfläche beider Tone geht zum Teil unter das Planum und fällt von der Nulllinie aus nach Süden ins Rutschgelände ab. — Weiter nach Süden im Hintergelände verläuft der Ton noch etwa 200 bis 250 m unter etwa 10 m Sand und Geschiebemergel, nach Süden einfallend und seine Mächtigkeit verringern. Wasser wurde im Rutschgebiet nicht gefunden, weder in den oberen Schichten noch in den tiefer gelagerten Sanden und Kiesen. — Der X-Ton läuft im Profil 80 südlich der Nulllinie größtenteils aus und geht zum Teil in grauschwarzen Ton und zum Teil in blättrigen Ton und zum Teil in schliefdurchsetzten Ton Nr. 2 über. Aus dieser Tatsache könnte man schließen, daß der bröckliche Ton eine Umwandlung des blättrigen Tones ist, der am Rande der Rutschung mit ziemlicher Genauigkeit seinen Uebergang in fester gelagerte Tone findet.

2. Die Bohrungen im Gelände. Im Gelände ergaben Bohrungen bis zu einer Durchschnittstiefe von 25 m das Anstehen von Tonen, z. T. blättrig, z. T. stark kalk- und schliefdurchsetzt; darunter gelagerte Sand- und Kiesschichten, die z. T. ins Rutschgelände einkeilen. — Beim Abbohren der Talmulde wurden einige wasserführende Schichten festgestellt, die z. T. einen Auftrieb zu verzeichnen hatten. Die verschiedenen Einstellungen des Wasserspiegels in den einzelnen Bohrungen lassen vermuten, daß das Wasser keinen Zusammenhang hat, oder aber, daß durch die Einlagerung von Ton- und Lehmschichten die wasserführenden Schichten gestört sind, d. h. ihren Zusammenhang mit den benachbarten Schichten stellenweise verlieren.

Man könnte annehmen, daß die z. T. stark sandigen Tone im Laufe einer geraumen Zeit die Niederschlags- und Tageswasser durchdringen lassen und sich in den tiefen Kies- und Sandmassen sammeln, um sich nach Sättigung ins Rutschgelände zu ergießen.

Da aber die mächtigen Sand- und Kiesschichten vollkommen trocken waren, so ist damit zu rechnen, daß sie noch nie derart angereichert waren, daß eine Wasserabgabe überhaupt möglich wäre. — Die wasserbringenden Bohrlöcher sind im Bohrplan (Abb. 11) eingekreist.

Die Bohrungen nach dem Einschnitte zu, vor allem an der Rutschkante, waren alle trocken. — Ein geologischer Querschnitt durch die Talmulde widerlegt den Gedanken des Gutachtens 1925, daß sich dort ein unterirdisches

Becken befindet, das den Einschnitt durch Ueberlauf des Wassers speise.

Die Bohrungen westlich der Betonbrücke in 100 und 150 m Entfernung von der Nulllinie ergaben auch hier das Anstehen des blättrigen, z. T. stark kalk- und schliefdurchsetzten Tones, ferner wasserführende Schichten, die aber nicht einem durchgehenden Grundwasserstrom zuzuschreiben sind. Wie hinter der Rutschung im Gelände, so stellt sich auch hier der Wasserspiegel in den verschiedenen Bohrungen verschieden ein.

Typisch ist das Ergebnis des Bohrloches 100 w (50), in dem die erste wasserführende Schicht bis 16,20 m unter Gelände in stark tonigem Sand aufhört und die darunter liegenden Kiese trocken erbohrt wurden. Die zweite wasserführende Schicht ist ebenfalls toniger Sand, der bis 21,80 m ansteht. In der ersten Schicht ist also das Wasser durch den eingelagerten Ton in der feinen Sandschicht gegen das Nachdringen des Wassers in die unten gelagerten Kiese abgesperrt, so daß diese als auch die noch tiefer gelagerte Geröllschicht trocken erbohrt wurde. — Ein Ausfließen des Wassers nach dem Einschnitt ist nach den Untersuchungen ausgeschlossen.

Eine Tiefbohrung von 61,20 m — Bohrloch 45 w (51) — brachte als Bohrgut nur den grauschwarzen Ton zutage. Wasser wurde auch hier nicht gefunden.

Die Bohrungen am Nordhang des Bahneinschnittes zeigten ein Anstehen von Sanden bis zu einer Durchschnittstiefe von 58 m unter Gelände, d. h. 20 m unter dem Planum des Gleises Berlin—Frankfurt a. d. O. Die Tone fallen am Nordhang steil ab, von Sanden überlagert. In einer Tiefe von 58,80—40,60, d. h. 14,72—16,52 m unter Planum trat in das Bohrloch 65 N (110) eine wasserführende Schicht. Diese Schicht auf 68,88 m ü. d. M. dürfte im Zusammenhang stehen mit der wasserführenden Schicht 49,81 im Bohrloch 00 (70) und an dem Auftrieb bis 57,86 beteiligt sein. Die ideale Verbindung der wasserbringenden Bohrlöcher 00 (70); 65 n (110); 00 (150); Bohrloch km 75,950, 64 m rechts von der Bahnsteigmitte würde das Bild Abb. 14 ergeben.

5. Das Ergebnis der Bohrungen. Die Bohrungen haben folgendes Ergebnis gezeitigt:

Die in den Gutachten 1912, 1914 und 1925 vertretenen Einfallsschichten sind nicht vorhanden. — Kalkschichten, wie Rutschflächen im Sinne abfallender gleichmäßiger Ebenen bestehen auch nicht. — Gleitflächen, deren Oberflächen durch Wasser geschmiert sind, konnten nicht nachgewiesen werden. Es ergab sich hingegen unter der Böschung eine unregelmäßige, bald fallende, bald steigende Trennungsfläche zweier, dem Ansehen und der Festigkeit nach verschiedener Tone. — Wasser wurde weder in der Rutschung, noch, als nach dem Einschnitt zulaufend, in dem unmittelbaren Einflußgebiet für den Einschnitt festgestellt.

4. Die Schächte. Um die Bodenformation in einer größeren Fläche freizulegen und so deren Zusammenhang besser beurteilen zu können, als auch die Wasserverhältnisse und deren Aenderungen längere Zeit beobachten zu können, war es notwendig, eine Reihe von Schächten in den unbekanntem Untergrund niederzubringen. Sie wurden auf bergmännische Art abgeteuft, durch Einbau von Leitern besteigbar gemacht, mit elektrischer Beleuchtung versehen, da ihre Herstellung zum Teil mit Lebensgefahr verbunden war, wie z. B. an der Rutschkante und in der Rutschung und — wo notwendig — mit Tiefpumpen ausgestattet. Seitliche Schlitze in der Ausbohrung ließen jederzeit die Bodenart erkennen.

Die im Planum der beiden Gleise Berlin—Frankfurt a. d. O. niedergebrachten Schächte 0 (15); 0 (25); 0 (55); 0 (90); 0 (70) ergaben grauschwarzen, blättrigen Ton ohne jegliche außerordentliche Durchfeuchtung. Im Schacht 0 (80) wurde bis 3,60 unter Gelände grauschwarzer bröcklicher Ton gefunden, wo man auch die verworfene Faschine, die sich bei der Bewegung um ungefähr 45° gedreht hatte, fand (Abb. 15). In diesem Querschnitt war die Stauung

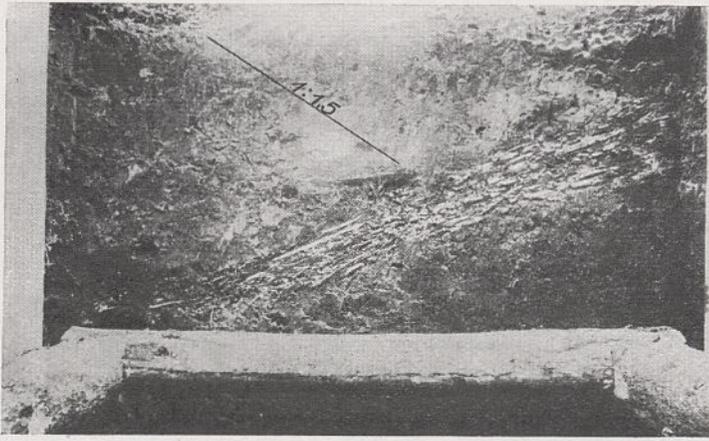


Abb. 15. Verschleppte und gedrehte Faschine.
In der Neigung 1:1,5 lag die Faschine vor dem Rutsch.



Abb. 16. Der letzte Ausläufer des Rutsches auf dem Planum.



Abb. 17. Die freigelegte Zunge des Rutsches.



Abb. 18. Das hintere Bohrrohr ist an der Grenze zwischen festem und lockerem Ton umgeknickt (Rutschfläche).

der Rutschmassen am wirksamsten. Beweis: der völlig zerschrottete Ton.

Der in der Rutschung bei 11 (71) abgeteufte, 4 m tiefe Schacht brachte auch den grauschwarzen, bröckligen Ton zutage, darunter den Ton Nr. 5 festgelagert. Nach längerer Beobachtung sammelte sich hier Wasser an. Es rührt wohl von der Entspannung der Poren des Tones her.

An der Abrißkante der Rutschung wurden die Schächte 79 (20); 100 (70) und 100 (105) abgeteuft, um hier in unmittelbarer Nähe der Rutschung die Wasserverhältnisse beobachten zu können.

5. Das Ergebnis der Schächte kann kurz so gefaßt werden: Die Schächte gewährten einen genauen Einblick in die Bodenformationen, besonders an der Stelle, die am wichtigsten für die weiteren Vorkehrungen zur Verhütung von Rutschungen war: die Böschungskante. Es ist einwandfrei bewiesen worden

- a. daß die Formation des Rutschgebietes außerordentlich wechsellagert und gestört ist;
- b. daß von einer idealen Lagerung der Schichten, wie in den Gutachten angenommen, nicht gesprochen werden kann;
- c. daß Gleitschichten als Ursachen für die Rutschungen nicht in Frage kommen;
- d. daß kein Wasser von hinten dem Einschnitt zufließt;
- e. daß der in Bewegung geratene „X-Ton“ von dem fester gelagerten Ton zu unterscheiden ist.

6. Filterversuch.

Bei den Voruntersuchungen wurde der Gedanke laut, das Wasser, das sich nach den Gutachten 1925 unter der Talmulde finde und den Einschnitt anreichere, unterirdisch durch einen Stollen abzuführen. Zu diesem Zweck wurde bei 4,50 m Tiefe im Schacht 550 (155) eine wasserführende Schicht mittels eines Filters in eine tiefere Sandschicht abgeführt, die das Wasser sehr begierig aufnahm, womit der Beweis erbracht war, daß eine unterirdische Abführung des Wassers durch einen Stollen wohl möglich sei. — Die Schächte in der Talmulde zeigten verschiedene wasserführende Ströme in verschiedenen Höhenlagen. Es war wichtig, zu wissen,

- a. wohin das Wasser in der Talmulde eigentlich fließt;
- b. ob nicht doch eine versteckte Möglichkeit das Wasser nach dem Einschnitt führt.

Diese beiden Fragen sollten mit farbigem Wasser gelöst werden. Verwandt wurde Uraninpulver der I. G. Farbenindustrie A.-G., Leverkusen. Dieses grüne Pulver soll in einer vielfachen Millionstel-Verdünnung noch intensiv leuchten. Am Absturz des Rutsches wurden einige Bohrlöcher für diesen Versuch ausgewählt. In sandigen Formationen baute man Filter ein. Durch diese poröse Erweiterung des Bohrrohres sollte das farbige Wasser seinen Weg auf Schichten, die vermutet wurden, in die noch offenen, ebenfalls mit einem Filter versehenen Bohrrohre der Rutschung finden. Das für den Versuch nötige Wasser wurde aus dem Einschnitt 25 m hoch gepumpt und mittels Abstellhähne nach Bedarf in die Filter abgelassen, vorher jedoch beträchtliche Mengen Uraninpulver dem Wasser beigegeben. Der Versuch währte mehrere Tage. Das farbige Wasser hatte also Gelegenheit, die Gleitflächen aufzusuchen und hier auszufließen. Das Uraninwasser konnte jedoch in keinem Filter nachgewiesen werden, woraus der Verfasser schließt: 1. Die wasser aufnehmenfähigen Schichten waren so hungrig, daß der Einfluß des Wassers der Menge nach zur Sättigung und Abgabe an die vermuteten Gleitflächen nicht ausreichte. Es wäre hier unmittelbar der Beweis für die völlige Passivität der ganz trockenen Schichten erbracht, die an der Rutschung nicht beteiligt sein können. 2. Selbst wenn der Kalk im Tonmergel die Uraninfarbe zersetzen sollte, müßte die Flüssigkeit an irgendwelchen Stellen des offenen Absturzes oder den Filtern in den Bohrungen aufgetreten sein. Es zeigte sich, mit Ausnahme einer Stelle, 10 m nördlich des Schachtes (20) 79, sonst nirgends eine Spur von Feuchtigkeit. Es ist möglich, daß diese

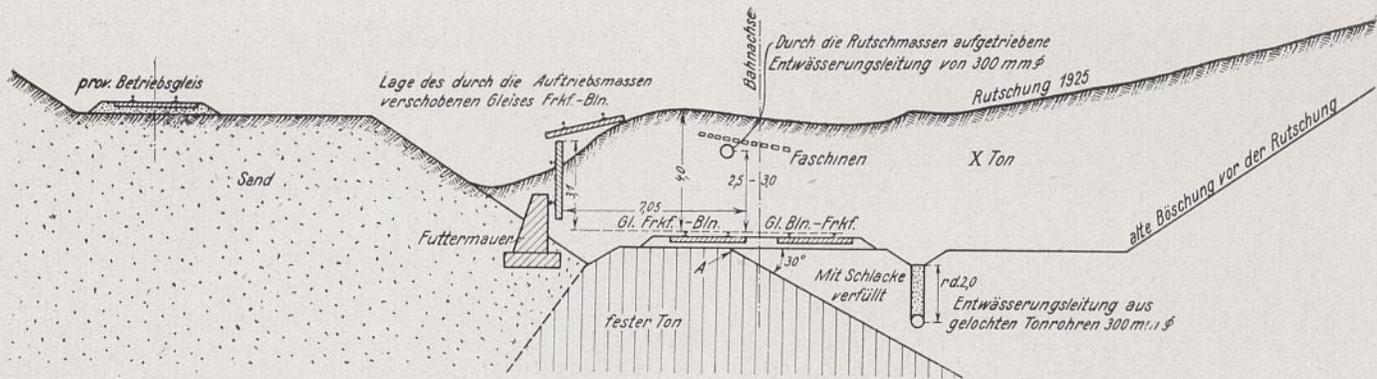


Abb. 19. Querschnitt durch die Rutschstelle km 75,585.

Stelle gespeist wurde durch das Labyrinth von Ablösungsflächen, die sich im Geschiebelehm befinden.

Derselbe Versuch mit Uraninpulver wurde in der Talmulde gemacht. Hier lagen die Verhältnisse anders. Wasserführende Schichten kreisten unter der Mulde in jeder Höhenlage. Der Verfasser führte in einen solchen Grundwasserstrom Uraninpulver ein. Das Wasser trug die grüne Farbe fort und mußte in irgendeiner Filterbohrung erscheinen. Auf diese Weise hätte man die Richtung des Wasserstromes verfolgen können. — Leider fiel dieser Versuch negativ aus, da der Kalk wahrscheinlich hier die Farbe zersetzte. Versteckte Wasserbahnen nach dem Einschnitt konnten jedenfalls nicht nachgewiesen werden.

Deutung der Rutschung.

1. Allgemeines.

Pollack unterscheidet in seinem hier mehrfach angezogenen Werke über „Rutschungen im Glazialen“ unter besonderem Hinweis auf die früheren Rutschungen in Rosengarten: Staffelbrüche, Verschiebungsrisse, stufenförmige Zerrungsrisse, sekundäre Abrisse, parallelepipedische Trennungen und Umstülpungen. In den Photographien auf Taf. XII des genannten Werkes zeigt er, wie sich die einzelnen Arten nach seiner Meinung ausgewirkt haben.

Man kann die verschiedenen Arten der Bodenbewegungen im Ton oder Lehm danach beurteilen, ob sie eine natürliche oder künstliche Gleitfläche aufweisen. In Rosengarten rutschte die Böschung auf einer Gleitfläche ab, die sich infolge der Bewegung erst bildete⁴⁾. Wir haben es also hier mit einem Ausrutsch zu tun. Daß diese Gleitfläche besteht, ist durch die Bohrungen erwiesen. Es sollte sich jedoch noch ein weiterer untrügerlicher Beweis zugesellen: In dem Maße, wie man den Boden unten an den Gleisen entfernte, rutschte der Böschungsboden nach. Eine Anschauung hiervon gibt nachstehende Tabelle.

Tabelle IV.
Nachrutsche während des Baues.

Lfd. Nr.	Datum	Abbeförd. Massen insgesamt	Massen zw. d. Rutschungen
1	12. 2. 1926	4 622 cbm	} 2 982 cbm 14 012 cbm 14 440 cbm 21 329 cbm 42 149 cbm
2	25. 2. 1926	7 604 cbm	
3	20. 3. 1926	21 616 cbm	
4	10. 4. 1926	36 056 cbm	
5	24. 4. 1926	57 385 cbm	
6	28. 5. 1926	99 554 cbm	

Nachrutsche während des Baues.

Zwischen dem Rutsch 1 und 2 wurden die Massen beseitigt, die sich an vielerlei Stellen angesammelt hatten. — Zwischen den Rutschen 2 und 4 wurden die Massen unten am Rutsch beseitigt. — Vom Rutsch 4 an wurde die Rutschung oben entlastet und dementsprechend mehr Massen abbefördert. Die Zahlen zwischen den Rutschen 2

und 4 geben also ungefähr an, wieviel Boden unten zu entfernen war, damit sich der Rutschfladen wieder in Bewegung setzte. Es wäre müßig, von der Zahl 14 000 rückwärts auf den Druck zu schließen. Denn an einer Stelle ist mehr weggenommen als an der anderen; ferner ist der Boden nicht an allen Punkten gleich hart und wasserdurchsetzt, also nicht überall gleichschwer. Es wurde aber durch diese gewollten Bewegungen der Nachweis von Flächen gegeben, auf denen der Fladen abgeht. Die Rutschung Rosengarten ist also einem Ausrutsch gleichzusetzen. Die Böschung ist ausgerutscht.

2. Gleit- oder Rutschflächen in Rosengarten 1925.

Die Art des Rutsches wird in seinem Ausläufer dargestellt durch die Abb. 19. Im Querschnitt km 75,585 stauchte sich die Rutschung an einer ca. 80 cm hohen Futtermauer und der Nordböschung des Umfahrgleises, drehte das Gleis Frankfurt a. d. O.—Berlin um 90°, hob das Gleis Berlin—Frankfurt um 4,5 m seitlich hoch und versetzte die Entwässerungsleitung 4,5 m seitlich und 4,5 m senkrecht. Die Abbildungen 16 bis 18 und 20 zeigen, wie der dunkle Rutschfladen über den hellen Sand des Planums sich geschoben hat.

Einen Aufschluß über die Art und Tiefe der Rutschfläche geben einige Bohrrohre, die in der Rutschung niedergelassen wurden. Bei den Nachrutschungen bogen sich einige Rohre an der Stelle um, wo sich der bewegende Boden auf dem festgelagerten abschiebt, siehe Abb. 18. Das mittlere zwischen zwei krummen Rohren blieb unberührt. Es wäre natürlich verkehrt, aus dem Knickpunkt der Rohre zu schließen, daß diese Punkte geometrische Oerter für die gesamte Rutschfläche seien. Sie gelten nur für den entsprechenden Querschnitt; in einem anderen Querschnitt ist die Rutschfläche höher oder tiefer. Bewiesen wird allerdings durch die umgebogenen Rohre, daß ein Teil des Bodens abrutschte, ein anderer festgelagert war.

Während jedes Nachrutsches zeigten sich neue Gleitflächen in allen Neigungen, Richtungen und Bodenarten. Es wurden folgende Neigungen gemessen: 1 : 0,77; 1 : 0,85; 1 : 0,9; 1 : 1,1; 1 : 1,54; 1 : 2,2; 1 : 2,5. Das Mittel ist 1 : 1,47. Man könnte hieraus schließen, daß die Hauptgleitfläche parallel zur Böschung 1 : 1,5 laufe. Dieser Schluß wäre jedoch verkehrt.

Die gefundenen Zahlen haben einen ganz relativen Wert. Sie geben nichts mehr und nichts weniger an, als daß die Böden in der Lage sind, nach jedem Winkel Rutsch- oder Gleitflächen auszubilden.

Am Fuße des Rutsches stieg der Mergelfladen sogar senkrecht in die Höhe unter Ausbildung von senkrechten Gleitflächen (Abb. 23 und 24). Diese Gleitflächen haben mit den großen Rutschflächen des Rutschbodens, die sich während der Bewegung erst bilden, nichts zu tun. Dies hier sind sogenannte „Harnische“, die zu Millionen ursprünglich vorhanden sind und sich auswirken, je nachdem die Umstände es erfordern. Kommen die Mergelböden im Großen in Bewegung, so vergesellschaften sich die Millionen Harnische und bilden einzelne größere geschmierte Filme heraus (Abb. 21). Stehen die Filme einen

⁴⁾ Siehe auch Fußnote auf S. 206.



Abb. 20. Nährutschung III vom 25. 2. 1926, Gleitflächen am Fuß.

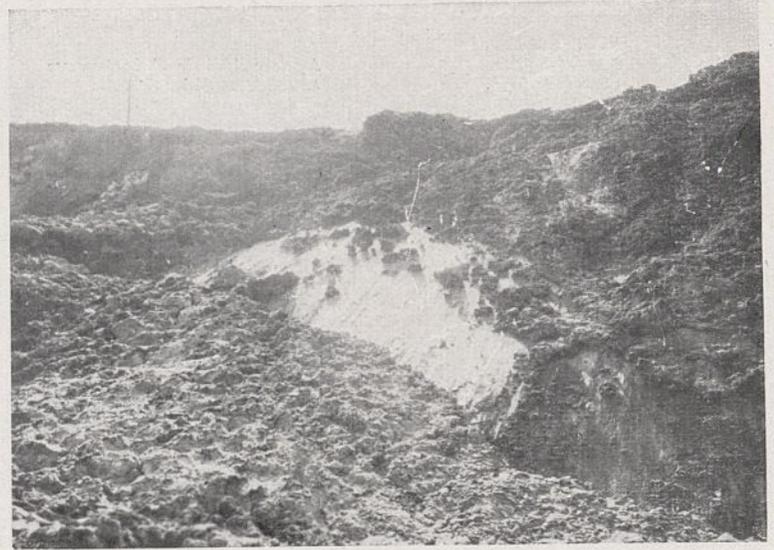


Abb. 21. Vergesellschaftung der kleinsten Gleitflächen zu einer großen.

Tag an der Luft, so wird die Oberfläche stumpf und der Glanz verliert sich, um einer vollkommenen Aufbröckelung des Mergelbodens Platz zu machen (Abb. 22).

Wiederum verschieden von den Gleitflächen im Mergelboden sind die Trennungsfächen im Geschiebemergel und -lehm. Auch diese Bodenart hat das Bestreben, sich zu lockern und abzugehen, wenn ihr der Halt entzogen wird, nur auf eine ganz andere Art als der Mergel. Der Geschiebelehm und -mergel ist zu vergleichen einem schlecht durchgekneteten Teig. Ein solcher Teig wird dadurch gekennzeichnet, daß vergleichsweise ganz dünne Filme Mehl als Schleier in die Masse eingesprengt sind und als Trennmittel wirken. Nach solchen Flächen lösen sich genannte Bodenarten ab. Daß sie vorhanden sind und sich nicht erst während der Bewegung bilden, wie bis jetzt in Fachkreisen angenommen wird, wurde durch einen Versuch im Gelände erwiesen. In einem Schacht wurde künstlicher Einsturz herbeigeführt, wodurch diese Flächen in die Erscheinung traten (Abb. 24). Wissenschaftlich ist diese Erscheinung noch nicht durchgeprüft. Es ist möglich, daß diese Flächen auf die verschieden starke Drücke der früheren überlagernden Eisberge zurückzuführen sind, oder daß einer vollständigen Durchknetung des Teiges gewisse Substanzen, über deren Zusammensetzung noch Klarheit geschaffen werden muß, im Wege waren. Jedenfalls ist mit der Tatsache zu rechnen, daß der Geschiebemergel Ablösungsflächen, der Tonmergel hingegen Gleitflächen aufweist.

5. Hebungerscheinungen.

Eigentümlicherweise hatte der Rutschboden im Dezember 1925 scheinbar das Planum gehoben, und zwar um ungefähr 4,5 m. Diese Tatsache gab zu den schwerwiegendsten Ueberlegungen Anlaß. War es doch nicht das erste Mal, daß der Ton eine solche Neigung gezeigt hatte. Im Jahre 1914 hob eine Rutschung die Sohle an und stülpte das Materialgleis nebst den daraufstehenden Wagen um (Abb. 8, S. 204). Auch in der Nähe von Rosengarten, in einem Einschnitt von nur 5 m Tiefe, hob sich das Planum an (km 79,2 der Strecke Berlin—Frankfurt). — Bei km 76,5 derselben Strecke fing der Ton ebenfalls an, von unten nach oben zu schieben. — Das Planum an der Rutschstelle hob sich so oft, als man unten am Gleis Boden wegnahm. Von dieser Hebung konnte der Verfasser schließen 1. auf das Schwellen des Tones, 2. auf eine Initialspannung, 3. auf einen statischen, nachrechenbaren Schub der Rutschmassen.

4. Schwellen des Tones.

In der Literatur ist diese Eigenschaft des Tones noch recht wenig bekannt. Der erste, der in der deutschen Fachwelt darauf hingewiesen hat, ist Terzaghi. Nach ihm bedingt örtliche Schrumpfung durch Wärme oder Be-

seitigung des Kapillardruckes zufolge Durchfeuchtung im Boden. Sekundärspannungen, die viel bedeutender, als die durch Eigengewicht hervorgerufenen Beanspruchungen und in vielen Fällen für das Auftreten von Einschnittsrutschungen verantwortlich zu machen sind. Die Sprengwirkungen des Tones werden von Terzaghi mit 542 kg/qm angegeben und durch Versuche festgelegt. Bei diesen Zahlen wäre natürlich ein Einschnitt, der vom Schwellen des Tones heimgesucht wird, nicht zu halten, auch nicht durch die gewaltigsten Bauwerke; insofern war natürlich die Schwellfrage eine der wichtigsten. Wurde doch in den Bohrlöchern (70) 00, (150) 00 und (65) n 110 Wasser mit gespanntem Spiegel gefunden. Ohne Zweifel feuchtet dieser gespannte Wasserspiegel den Ton von unten an und erregt ihn zum Schwellen. Es wäre nicht von der Hand zu weisen, daß diese Schwellung sich in der Rutschbewegung ausdrückt und weiter wirksam sein wird, so daß man der Rutschungen niemals Herr sein würde. Leider war es nicht möglich, die Eigenart des Tones auf Schwellen hin näher zu untersuchen, weil die nötigen Apparate fehlten. Da die Hebung des Planums in diesem Ausmaße sonst im Rosengartener Einschnitte aber nicht bemerkt wurde, verlor sie als naturgemäß an Gewicht und wurde durch eine Beobachtung bald geklärt.

5. Initialspannung.

Es kommt nach Terzaghi häufig vor, „daß sich eine Bodensorte von bestimmter Beschaffenheit in einem Geländeabschnitt als recht stabil erweist, während sie in einem anderen, scheinbar ähnlich beschaffenen Abschnitt nach erfolgtem Eingriff in Bewegung gerät. Dieser Umstand läßt vermuten, daß der Grad der Neigung zu Rutschen nicht bloß von der Bodenbeschaffenheit und der Geländeform, sondern auch von einem dritten, weniger augenfälligen Faktor abhängt, einer Anfangsspannung, die bereits vor dem Einschnitt des Bodens seit Jahrzehntausenden vorhanden und je nach der Örtlichkeit verschieden ist. Wenn eine ursprünglich zusammenhängende Tonmasse durch Erosion in Hügel zerschnitten wird, so ändert sich ihr Wassergehalt, der abhängig ist von der veränderten Drucktemperatur und der Durchfeuchtung im Boden, und diese Veränderung erzeugt im Ton Spannungen, die mit denen eines erkaltenden Gußstückes verglichen werden können. Wo diese Spannung am größten ist, ist natürlich die Neigung zu Rissen am größten. Mit der Rißbildung ist der erste Anstoß zu Bodenbewegung gegeben.“

Hiernach dürfte die Initialspannung als eine der Hauptursachen für die Rutschung in Rosengarten angesehen werden. Im Jahre 1911 traten doch schon die Rutschungen ein, als die Atmosphärlinien noch nicht Zeit gefunden hatten, durch die Böschung auf den Ton einzuwirken. Die scheinbar unlösbare Frage nach der



Abb. 22. Senkrechte Gleitflächen in blättrigen Ton am Fuß der Rutschung. Nachrutschung IV vom 22. 5. 1926.

Initialspannung klärte der Verfasser im Mai 1926, als es gelungen war, das Planum von den Rutschmassen frei zu machen.

6. Keine Hebung des Planums.

Nachdem man oben genügend Boden weggenommen hatte, hörten die Nachrutschungen auf und der Boden auf dem Planum der Gleise konnte in aller Ruhe beseitigt werden. Man war darauf gefaßt, nicht das frühere Planum anzutreffen, sondern den grauschwarzen, blättrigen, mit Harnischen durchzogenen, festen Tonmergel, der scheinbar ständig aus der Tiefe herausgetreten war. Zur großen Ueberraschung kam jedoch zum Teil das frühere Planum zu Tage mit seinem Steinschlag und dem darunter vormals eingebrachten Sand. Das Planum selbst war also gar nicht senkrecht von unten nach oben gehoben worden; der Rutschboden hatte nur seitlich unter das Planum gegriffen und die Hälfte des Planums umgestülpt, so daß es von oben aus den Anschein hatte, als ob der Boden aus dem Untergrund hervorgequollen wäre. Die Abb. 16, 17 u. 18 geben ein deutliches Bild von dieser Beobachtung. Der dunkle zungenförmige Fladen, der über die weiße Masse gekrochen ist, gibt photographisch an, wie der Mergel im Winkel von ca. 55° das Planum in der Mitte ergriffen hatte. Der Sand unter der anderen Hälfte des Planums — vor Jahren zum Schutz der Bettung eingefüllt — liegt unversehrt da; der beste Beweis dafür, daß die Gleise nicht infolge einer Schwellung hochgehoben wurden. — In derselben Weise arbeitete sich das Planum bei jedem Nachrutsch hoch. — Die Abb. 15 gibt einen Querschnitt durch die höchste Stelle der Rutschung. Das ehemalige, unter dem Bahnplanum liegende Tonrohr wurde durch die nachdrückenden Rutschmassen hochgehoben und seitwärts geschoben; das Gleis Frankfurt—Berlin sieht man in senkrechter Lage, während das Gegengleis von der Erd-druckkomponente auf den Rutschbuckel gesetzt wurde. Die Gleitfläche mit dem Austritt A konnte festgestellt und eingezeichnet werden, als das Planum freilag. Damit war die Theorie über einen gespannten Wasserspiegel oder ein Schwellen des Tones für die Rutschung Rosengarten hinfällig.

7. Statische Nachprüfung des Erd-rutschs nach Dr.-Ing. Kirchhoff.

Die Trennfläche zwischen blättrigem und festgelagertem Ton nimmt in den geologischen Querprofilen drei verschiedene Formen an (Abb. 25). 1. Die Trogform in den Querschnitten 0, 10, 20, 50, 60, 100. Der tiefste Punkt liegt ungefähr 9 m unter und 40 m südlich vom Bahnplanum (Abb. 25a). 2. Die Schalenform in den Querschnitten 40, 50 und 120. Die Trennungsfläche verläuft unter dem Planum annähernd wagerecht (Abb. 25b). 3. Eine frei in der Tiefe liegende Fläche, die nach Süden abfällt. Der tiefste Punkt liegt ungefähr 10 m unter und 80 m südlich vom Planum (Abb. 25c). Für die statische

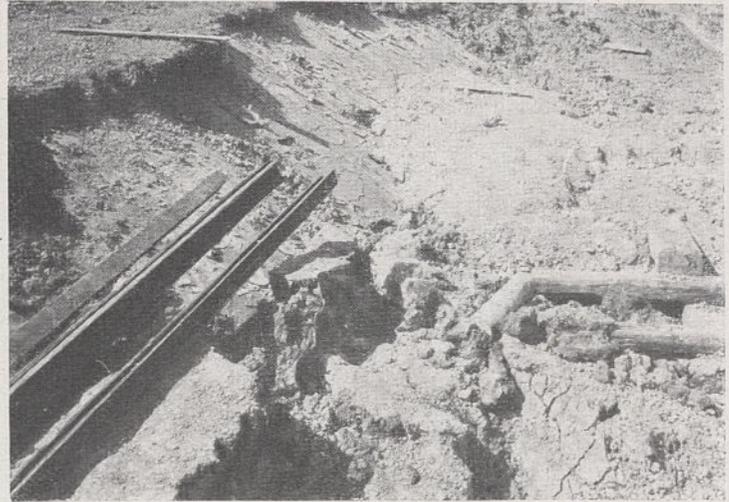


Abb. 25. Zusammengeschrumpfte, ehemals spiegelnde, Gleitfläche von der Nachrutschung VI, am 27. 4. 1926.

Untersuchung sind die gefundenen Trennflächen nach dem Gelände zu durch Punktieren fortgesetzt.

Abbildung 25d zeigt die statische Wirkung der Bodenmassen bei der Trogform. Der Erdkörper ABCD hat das



Abb. 24. In der oberen Hälfte die freigelegten Ablösungsflächen im Geschiebelehm.

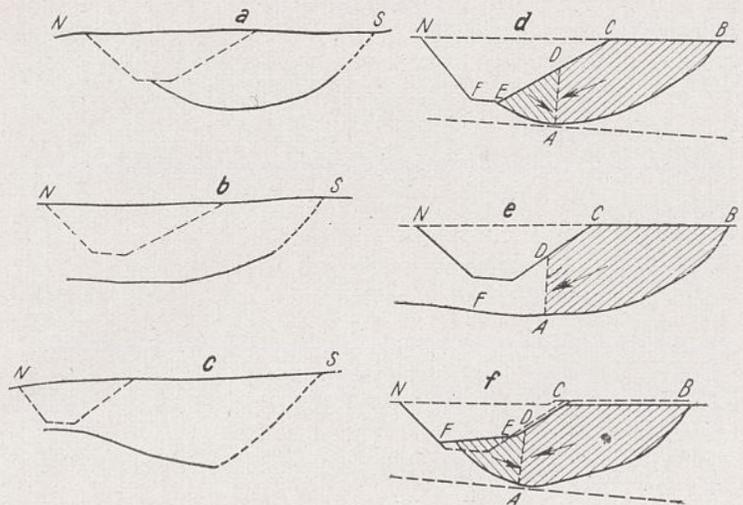


Abb. 25. Querschnitte für die Kräftewirkung im Rutsch.



Abb. 26. Schollenbildung bei einem früheren Rutsch in Rosengarten.

Bestreben, der Schwerkraft folgend, auf der Linie AB nach Norden abzurutschen. Er wird im labilen Gleichgewicht gehalten erstens durch den Gegendruck des Erdkörpers ADE, zweitens durch die Reibung der Trennfläche.

Die Störung des stabilen Gleichgewichtes aller Querschnitte, die nach der Abb. 25d ausgebildet sind, ist bedenklich. In Abb. 25e wirkt dem abrutschenden Erdkörper lediglich die Reibung entgegen, daneben etwas der Widerstand der nördlichen, stehenden Böschung. Die Masse des Erdkörpers ABCD ist größer als der dem Abrutsch widerstehende Erdkörper.

Die Störung des Gleichgewichtes kann entstehen 1. durch Gewichtsvermehrung des abrutschenden Erdkörpers; 2. durch Verminderung der Reibung an der Trennfläche; 3. durch Gewichtsverminderung oder Lockerung des kleinen Erdkörpers ADE; durch die Erschütterungen der Eisenbahnzüge. — Eine Gewichtsvermehrung tritt ein, sobald die im Tone entstandenen Risse dem Wasser den Eintritt in den Boden öffnen und dieser die Feuchtigkeit aufnimmt. — Der Abriß in der Rutschfläche entstand, da sich dem Abrutsch hier der geringste Widerstand entgensetzte. — Der kleine Erdkörper wurde durch nicht beabsichtigte Bewässerung gelockert und widerstandslos gemacht. — Täglich verkehren ungefähr 100 Züge im Einschnitt und erschüttern den Boden ziemlich stark.

Die Rutschung hat also nach diesen Voraussetzungen und nach der Beobachtung eine Form nach Abb. 25d angenommen. Der abrutschende Boden vermehrte den widerstehenden und brachte den Rutsch zum Stehen, bis der Gleichgewichtszustand erreicht war. So oft der kleine Erdkörper in einem gewissen Umfange abgegraben war, setzte eine Nachrutschung ein, der beste Beweis für die Richtigkeit der statischen Theorie. Die Erdmassen mußten nicht nur eine wagerechte, sondern auch eine senkrechte Bewegung ausführen, was wiederum durch die Beobachtung belegt ist. Den Zustand kurz nach der Rutschung zeigt das Querprofil als Abb. 19 und die Phot. 17 u. 18. Aus diesen Kronzeugen geht mit aller Deutlichkeit hervor, daß das Planum nicht einfach überschüttet worden ist; das Gleis Berlin—Frankfurt lag vielmehr auf der Rutschung, muß also samt dem Planum hochgehoben sein. Das Gleis Frankfurt—Berlin ist nur mit den Südenden seiner Schwellen von der Rutschung erfaßt und senkrecht aufgestellt worden. Von einem Tiefdruck dergestalt, daß der Druck tief von unten als Folge einer Schwellung oder einer Anfangsspannung wirkt, kann keine Rede sein.

Im Planum traten schräg aufwärts gerichtete Kräfte auf, die sehr erheblich sind. Die resultierende Kraft für einen Meter Tiefe und 7,5 m Verteilungsbreite beträgt

$$R = 254 \text{ t} \begin{cases} \text{V-Komponente} = 125 \text{ t} \\ \text{H-Komponente} = 197 \text{ t} \end{cases}$$

Bei der ersten Rutschung wurde das Planum um 4,5 m gehoben. 4,5 m haben ein Gewicht von $P = 4,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,6 = 11,7 \text{ t}$. Um eine Masse von $7,5 \cdot 4,5 \text{ cbm}$ Boden zu heben, ist, wenn auftretende Reibung und Kohäsion mit $\frac{2}{5}$ berücksichtigt werden, eine Kraft erforderlich von

$$P = 7,5 \cdot 11,7 + \frac{2}{5} \cdot 7,5 \cdot 11,7 = 122,85 \text{ t}.$$

Die errechnete Kraft von 125 t stimmt also recht gut mit der beobachteten überein.

Endergebnis der Untersuchung als Ausgangspunkt für den neuen Baugedanken.

Der Verfasser wies bereits auf die früheren Bemühungen hin, den Einschnitt und die Böschungen zu entwässern. Dies geschah nach dem Muster der Bahnstrecke Annaberg—Dt.-Krawarn.⁵⁾ Man legte nach Bedarf in die Tonböschungen Sickerschlitze bis 9 m Tiefe, unterbrach sie durch Beobachtungsschächte und führte das aufkommende Wasser in den Bahneinschnitt. Dort legte man unter dem Bahngraben ein Hauptsicker an, auf dessen Sohle ein Tonrohr mit seitlichen Oeffnungen lag, das das zukommende Wasser aus der Höhe und von der Seite auffangen und der Vorflut entsprechend abführen sollte. So war ein regelrechtes System von Wasserabzugsgräben geschaffen. Man ahnte jedoch nicht, daß die Sohle der Seiten- und Hauptsicker das Wasser weiter in die Tiefe führten und den Mergelboden, der entwässert werden sollte, aufweichte, d. h. bewässerte. Die Schlitze wirkten also wie eine Bewässerung und entzogen dem Boden durch Aufweichung den inneren Halt. Das Tonrohr im Einschnitt unter dem Bahngraben hatte in bedenklicher Weise die Rutschung vorbereitet; die mit Schlacke angefüllten Sicker wässerten die Einschnittsohle bis zu einer Tiefe von 6 m systematisch an; außerdem brachten die regelrecht angelegten Faschinen der Böschung Wasser zu. Es wurden Faschinen angetroffen, die von Wasser getroffen; ferner hatten sich bis 15 m tiefgehende, abgestorbene Wurzeln der Lupinen mit Wasser vollgesogen, d. h., diese Wurzeln leiteten das Oberflächenwasser an den Wandungen hinunter in den Ton; ferner dienten die langen Wurzeln der Weidenstecklinge dazu, die Feuchtigkeit bequem dem Mergelboden zuzuführen und sogar die auf der Höhe des Lärmstangenberges stehenden Bäume trugen ihr Teil zu den Rutschungen bei, indem auch ihre Wurzeln das Wasser nach unten brachten. Alle diese

⁵⁾ Siehe Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1922, Heft 7.

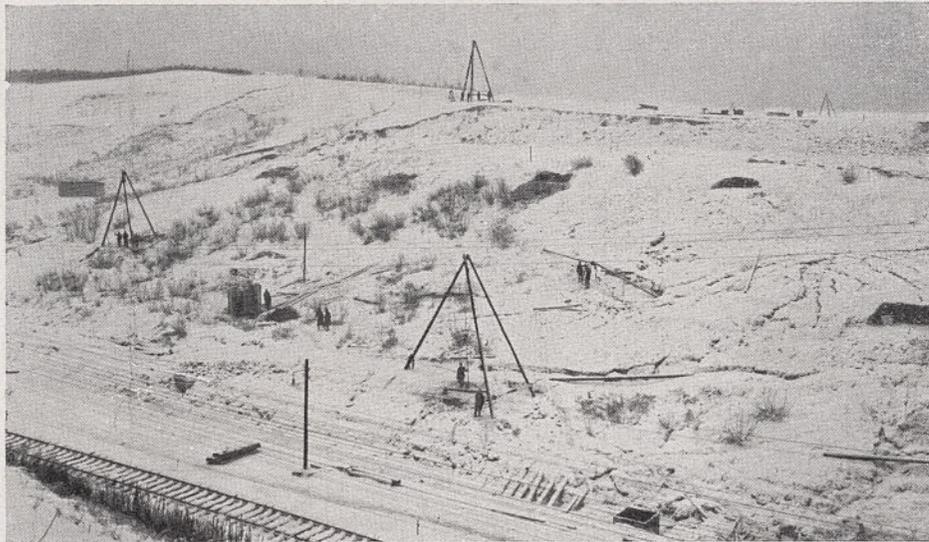


Abb. 27. Radial verlaufende Risse bei der Rutschung am 27. 12. 1925, rechts.

Umstände im Verein mit der besonderen Eigenschaft des Mergels, wasseraufspeichernd zu wirken, waren die Hauptursache für die Rutschungen seit 1911. Wie der Ton in Rosengarten arbeitete, sei hier kurz nach der Theorie von Terzaghi angegeben. „Infolge örtlicher Durchfeuchtung und nachfolgender Austrocknung bilden sich hinter dem Böschungsrandschrumpfrisse. In diese Risse dringt das Regenwasser ein. Der Ton schwillt durch Wasseraufnahme und vertieft und erweitert die Risse durch Sprengwirkung. Dadurch wird die Masse zunächst in prismatische Blöcke zerspalten. Die im oberen Teil der Böschung befindliche Tonmenge kann sich ungehindert ausdehnen und wird abgeschert. Durch die Spalten dringt Wasser in die Abscherisse und trennt den Block vom Untergrund. Der Block wird senkrecht hochgehoben. Unter dem Einfluß des Schwellendruckes sammelt sich unter allen Blöcken Wasser mit Ton, und auch die prismatischen Blöcke erfahren nunmehr eine Zerklüftung, die sich in ein Haufwerk von Fragmenten verwandelt. Diese einzelnen Teile sind untereinander durch weiche Lagen voneinander getrennt. Das Endergebnis des Vorganges besteht im Zusammenbruch des labil gewordenen Haufwerkes. Der in den Scherrissen ansammelnde flockige Ton wirkt im Augenblick des Zusammenbruches als Schmiermittel, denn er kommt im Augenblick des Zusammenbruches unter Druck und an Stelle der statischen Reibung tritt die hydrodynamische. Die zerborstenen Schollen gleiten auf schwach geschmierten Scherflächen abwärts.“

Schollen als parallelepipedische Körper wurden schon im Jahre 1914 beobachtet. In Abb. 26 ist zu sehen, wie sie nur an der oberen Böschung unversehrt sind. Weiter unten sind sie durch die Bewegung zerrieben. Die Natur hat sich jedoch an diese Formen nicht gebunden. Sie arbeitet auch nach Radien (Abb. 27). Von einem Mittelpunkt aus gehen die Risse radial nach außen und hemmen gewisse Sektoren von dem Untergrund ab. — Bei einem Nachrutsch im April 1926 öffneten sich auf dem oberen Plateau konzentrische Rißringe (Abb. 28). Die Terzaghische Theorie ist also zu erweitern. Die Risse treten in der Gestalt auf von Parallelepipedons, Rhomben, Sektoren und Ringen. Die innere Wirkungsweise ist bei allen Formen dieselbe; sie drückt sich aber entsprechend dem Untergrund verschieden aus. Die Parallelepipedons und Rhomben entstehen auf gleichmäßig geneigter Rutschfläche. Die Sektoren begegnen in ihrem gemeinsamen Anfangspunkt dem größten Widerstand in Form von harten Tonbuckeln. Die konzentrischen Ringe deuten auf eine besonders widerstandslose Stelle in dem Untergrund hin. Die Rutschung fand hier statt nach folgender schematischen Skizze.

Das Ergebnis der Untersuchungen kann dahin zusammengefaßt werden: Nicht wasserführende Schichten, nicht ein-

fallende Bodenschichten, nicht Gleitflächen haben die Rutschungen in Rosengarten seit 1911 herbeigeführt, sondern die im Ton selbst allmählich reif gewordenen Zustände, die bei geringem Anlaß die Massen in Bewegung brachten. Der im Naturzustand festgelagerte Tonmergel änderte durch Einwirkung der Atmosphärien seine Eigenschaften. Frost und Wasser, Hitze und Luft öffneten den Boden in tiefen Rissen und gelangten hier zur Auswirkung in natürlicher Weise, so wie andererseits künstlich der Boden durch Pflanzen und Sickerschlitz für das Wasser zugänglich gemacht wurde. Seit 1½ Jahrzehnt lag die angerissene Böschung wund da. Kein Schutz wehrte den Atmosphärien, in die tausendfachen Haufwerke von zertrümmerten Tonmassen einzudringen. Zum andern liegt der Anlaß zu der Rutschung in der Beweglichkeit des an und für sich fest gelagerten, blättrigen, nicht druckhaften Tones. Die primäre Ursache jedoch ist bis jetzt noch nicht erkannt worden.

Die neue Bauaufgabe.

1. Allgemeines. Die neue Böschung des Einschnittes wird künftig vor den Einflüssen der Atmosphäre durch eine 70 cm starke Sandschicht und eine 50 cm starke Mutterbodenschicht geschützt. Diese beiden Schichten sollen



Abb. 28. Konzentrisch verlaufende Risse bei dem Nachrutsch VI am 24. 4. 1926.

erstens als Wärmeisolator dienen. Der Frost wird nicht tiefer als 1 m unter Gelände wirksam werden und das Frieren des Mergels verhüten. Die zweite Aufgabe beider Schichten ist die eines Wasserakkumulators.

Die Böschung des großen Rutsches im Jahre 1922 hat sich im Laufe der Jahre auf 1:5 eingestellt. Es ist das Zweckmäßigste, diesen Naturvorgang zu beachten und die Böschung überall, wo man es mit dem rutschgefährlichen Ton zu tun hat, mit 1:5 anzulegen. Diese Maßnahme auf den ganzen Rosengartener Einschnitt angewandt, bedingt natürlich große Kosten. Die Kosten einer Verlegung der Bahnstrecke wurden auch erwogen. Um von Frankfurt nach Berlin zu kommen, muß man aber auf jeden Fall die Wasserscheide überqueren, und es ist sehr wahrscheinlich, daß ein Einschnitt an anderer Stelle dieselben Schwierigkeiten mit sich bringen wird, als die, welche in Rosengarten zum großen Teil doch überwunden sind. — Man dachte auch daran, die Strecke auf die Länge von ungefähr 1 Kilometer in einen Tunnel zu legen, dessen Gewölbe überschüttet wird. — Auch ein Trog mit seitlichen Stützwänden wurde in den Bereich der Möglichkeit gezogen. Alle diese Vorschläge, zu denen noch eine Unzahl anderer zu rechnen sind, wurden jedoch abgelehnt, da eine möglichst einfache Lösung der Aufgabe angestrebt wurde. Als einfachste und gleichzeitig wirksamste erkannte man die Abflachung der Böschung. Man setzte mit anderen Worten die Natur in ihre Rechte ein.

Die Böschung selbst ist geschützt mit einer 70 cm starken Sand- und 50 cm starken Mutterbodenschicht, wie oben erwähnt. Die Stärke von 1 m schützt erstens den Mergel vor dem Auffrieren und dem nachfolgenden Auftauen, was erfahrungsgemäß die Rutschungen herbeigeführt hatte; vor der Hitze mit den damit auftretenden klaffenden Rissen; zweitens wirken Sand und Mutterboden als Wassersammler und als Wasserablasser. Man rechnet damit, daß von den Niederschlägen ein Drittel verdunstet, ein Drittel von dem Pflanzenwuchs aufgenommen wird und ein Drittel versickert. Durch eine besondere Pflanzenmischung wird erreicht, daß die Pflanzendecke möglichst dicht ist. Der Regen wird also zum größten Teil oben abfließen, vielleicht 50 Prozent. Weitere 30 vH werden von den Pflanzen aufgenommen und die restlichen 20 Prozent werden von dem Sand aufgesammelt. Hier findet das Wasser Verwendung zum Feuchthalten des Mergels, der infolgedessen keine Risse bilden kann. Ein geringer Prozentsatz gelangt zum Abfluß. Diese Menge kann aber keinen Schaden anrichten, da sie nicht in den Mergel eindringen wird. Wie oben betont, ist natürlich die Beschaffenheit der Decke von ausschlaggebender Bedeutung.

2. Der Mutterboden. Der zu verwendende Mutterboden enthält 11,6 Prozent kohlensauren Kalk, ist

also als außerordentlich kalkreich anzusprechen. Ihm wird auf ein Kubikmeter eine Vorratsdüngung von 100 g Kali 42 prozentig und 100 g Thomasmehl gegeben. Um die Erde zu lockern, wird sie mit Stallmist versetzt. Außerdem entwickeln sich durch den natürlichen Dünger die unentbehrlichen Bakterien. In dieser Konsistenz auf die Böschung gebracht, ist der Mutterboden sofort ein geeigneter Nährboden für den Samen.

5. Das Saatgut. Als Saatgut wird gewählt:

Ausläufertreibender Rotschwengel . . .	40	Pfund
Weißklee	16	„
Deutsches Weidelgras	30	„
Geh. Schottenklee	10	„

auf 10 000 Quadratmeter. — Bei der Wahl der Pflanzen wird darauf geachtet, daß sie nicht zu tief wurzeln, wie z. B. die perennierende Lupine. Die Wurzeln dürfen nicht in den Mergelboden hinabreichen, sonst würden sie das Himmelswasser dem rutschgefährlichen Boden zuführen. — Der Rotschwengel wurzelt flach und gibt eine dichte Rasendecke, so daß das Wasser gut abfließen kann und erst gar nicht in den Mutterboden oder Sand eindringt. Zusammen mit etwas Klee wird die Mischung den späteren Dauerbestand bilden. — Das deutsche Weidelgras entwickelt sich schneller und bleibt vornehmlich in den ersten Jahren. — Die beiden Kleearten ergänzen den Grasbestand in erwünschter Weise. — Sehr empfehlenswert ist es, später die Böschungen zweimal im Jahre zu mähen und verhältnismäßig kurz zu halten.

4. Der Sand. Im Einschnitt Rosengarten besteht die Möglichkeit, Sand zu gewinnen und für die Böschungen zu verwenden. Trotzdem die Verwendung dieses Sandes zu vermeiden, da derselbe früher auf dem Mergel abgerutscht ist. Würde man ihn auf den Böschungen einbringen, so käme er, wie früher, unter dem Einfluß von Wasser ins Rutschen. Es ist zum Teil ein sehr feiner Sand, der staubt und, mit Wasser angemacht, ins Fließen kommt. Zwar besitzt er eine erhebliche Wasserkapazität, aber nicht die genügende Standfestigkeit, wenn seine Auflage von einem feinen Wasserfilm durchzogen wird. Es sollte deshalb auswärtiger Sand gewählt werden, ein schärferer Sand, der durch seine innere Reibung einer Bewegung nicht so leicht nachgibt.

Die genauen praktischen Untersuchungen sind im Gange. Aus ihnen wird hervorgehen, wieviel Wasser der gewählte Sand aufzunehmen vermag, bis er gesättigt ist, und wie er sich auf der feuchten Mergelunterlage bewährt.

Die Sanddecke und der Mutterboden werden auf die Böschung sofort nach ihrer Fertigstellung gebracht. Auf diese Weise wird die Einwirkung der Atmosphäre von vornherein unmöglich gemacht. Die Mutterbodendecke

Entwässerung des Einschnittes

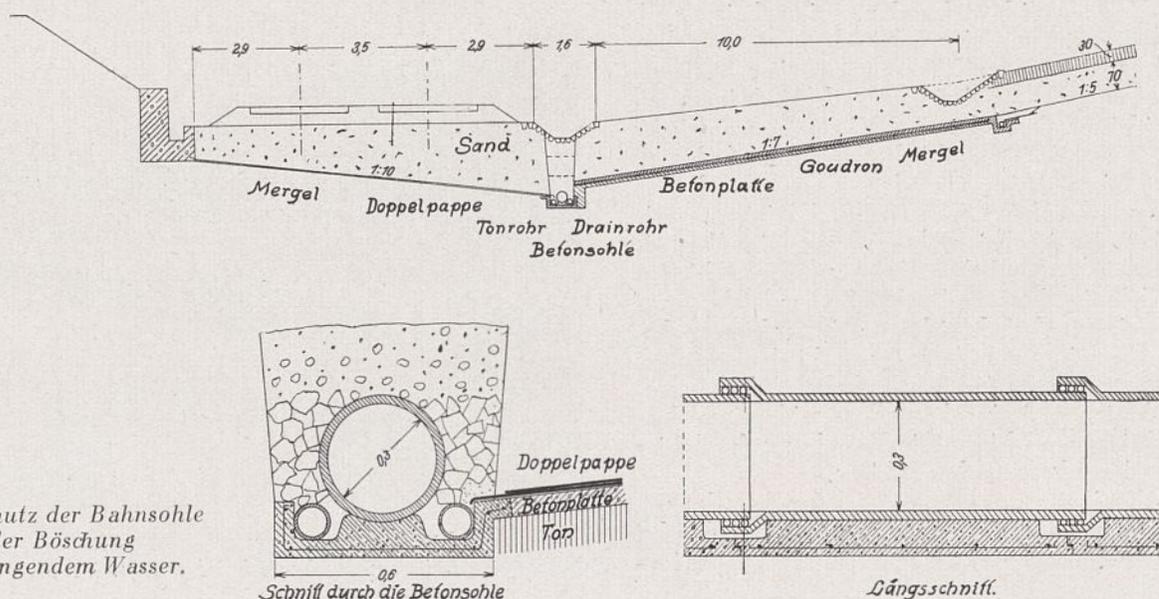


Abb. 29. Schutz der Bahnsohle und der Böschung vor eindringendem Wasser.



Abb. 50. Einbringen der offenen Betonsohle.

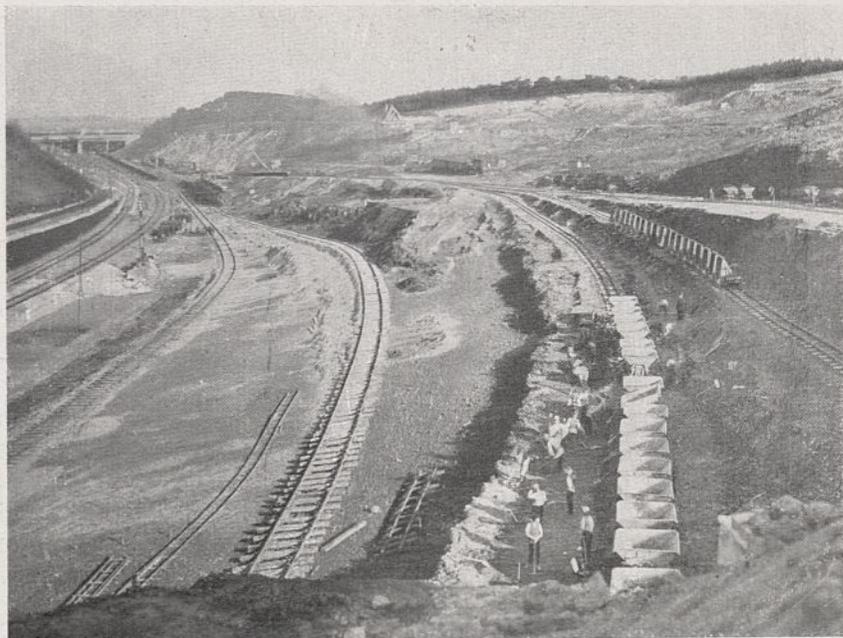


Abb. 52. Abflachung der Böschung auf 1:5.

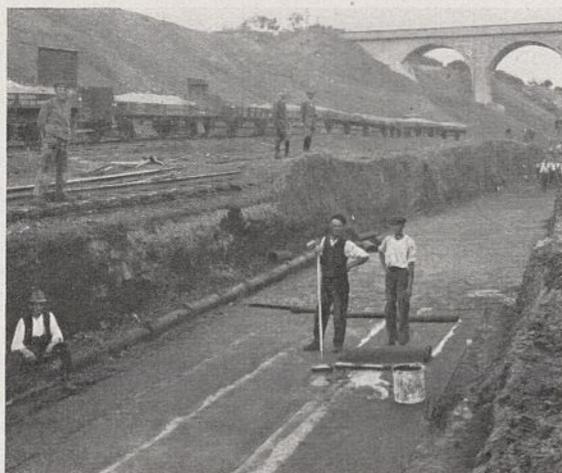


Abb. 51. Dachpappe unter den Gleisen.

wird ferner befestigt durch abgestochenen Rasen, der gitterförmig die Böschung bedecken wird. Die offenen Stellen des quadratischen Gitters werden mit Mutterboden ausgefüllt und berast.

5. Die Entwässerung des Einschnittes am Fuß der Rutschung. Wie bewiesen, ist die richtige Entwässerung des Böschungsfußes von ausschlaggebender Bedeutung. Der Böschungsfuß war der wunde Punkt in der früheren Baumethode. Der Fuß mitsamt dem Planum wird außerdem in geeigneter Weise vor eindringendem Wasser geschützt, nach demselben Grundgedanken, wie bei der Böschung (Abb. 29). Der Einschnitt nimmt erstens das Böschungswasser auf. Soweit es auf dem Rasen abfließt, tritt es in den gepflasterten Längsgraben. Er ist im Brechpunkt der Böschungsneigung 1:5 und dem Vorland 1:10 längs der Bahn angelegt. An geeigneter Stelle fließt er in das Haupttonrohr unter dem Bahngraben. Soweit Wasser zwischen Sand und gewachsenem Mergelboden abfließt, tritt es auf eine Betonplatte über, geht von hier aus in eine wasserdichte Betonsohle und folgt dann der Vorflut.

6. Die Betonplatte. Die Betonplatte befindet sich unter dem 10 m breiten und ungefähr 125 m langen Vorland. Es ist für etwaige, aber ganz unwahrscheinliche spätere Rutschungen angelegt worden. Hier können sich die ankommenden Bodenmengen stauen, ohne den Eisenbahnbetrieb zu gefährden. — Um nun an den Erdarbeiten zu sparen, wurde die Böschung nicht bis zum Planum mit 1:5 durchgeführt, sondern erfuhr unter dem Schnitt des 1:10 geneigten Vorlandes mit der Böschung einen Bruch. Von hier aus hat die Betonplatte eine Neigung 1:7. Mit Quersfugen versehen, besteht sie aus zwei Lagen, die voneinander durch einen Gudronaufstrich getrennt sind. Die oberste Platte ist ebenfalls mit Gudron abgedichtet. Das Wasser kann nicht in den Mergelboden unter der Platte eindringen.

7. Die offene Betonsohle. Die Abb. 29 läßt die Konstruktion der offenen Betonsohle erkennen. Sie

wird außerhalb der Baugrube mit einer Eisenarmierung gestampft und in Längen von 1 m eingebracht (Abb. 50). Dieser Sohle, die gudroniert ist, fließt auch das Wasser zu, das durch das Planum unter die Gleise tritt und auf eine Doppelpappe, die zweimal gudroniert ist, stößt. Unter den Gleisen wurde die Doppelpappe (Abb. 51) gewählt, weil die Baugrube nur kurze Zeit dem Betrieb entzogen werden konnte und diese Art der Abdeckung verhältnismäßig schnell beendet ist. Die Pappe hat eine Neigung von 1:10 und hängt in die Rinne über. — Die Betonsohle ist schon längere Zeit in Tätigkeit und entspricht voll und ganz den Erwartungen, die man an sie und die benachbarten Abdeckungen gestellt hatte. Der ständige, reichliche Wasserdurchfluß durch die Betonsohle läßt erkennen, wieviel Wasser früher einfach nicht abgeführt, sondern dem Mergel zugeführt worden ist.

8. Das Tonrohr. Der Einschnitt ist aber auch Träger der West-Ost-Entwässerung, die durch die große Betonbrücke läuft und in ihrer Tiefenlage bestimmt ist. Diese Entwässerung führt durch ein neu angelegtes 50 cm Tonrohr, das auf Stützen auflagert (Abb. 29 und 50). Die Stützen sind mit der offenen Betonsohle zusammen betoniert und haben an beiden Enden eine Unterbrechung, in die die Flanschen bequem hineinpassen, um von dem überlastenden Boden entlastet zu sein. Diese Tonrohrleitung ist von der Betonsohle sonst vollkommen unabhängig und führt ihr Wasser selbständig ab, ohne mit dem Sohlenwasser in Berührung zu kommen. Ueber dem Tonrohr wird außerdem ein gepflasterter Bahngraben hergestellt, der das übliche Wasser aufnimmt. Der Fuß des verhängnisvollen Rutsches ist also mehrfach gesichert:

1. Durch ein 10 m breites Vorland neben dem Planum.
2. Durch eine doppelte Betonplatte südlich des Hauptsickers.
3. Durch eine Doppelpappe unter den Bahngleisen.
4. Durch eine unterirdische Rinne am äußersten südlichen Ende der Betonplatte.
5. Durch einen Böschungsgraben.
6. Durch einen Bahngraben.
7. Durch eine Tonrohrleitung.
8. Durch eine unterirdische, offene Betonsohle.

Eine gewissenhafte Ausführung wird die Maßnahmen als richtig in die Erscheinung treten lassen. Die Abb. 52 läßt die Abflachung der Böschung auf 1:5 im Baustadium erkennen.*)

*) Vorstehende Arbeit war z. T. im März 1926, vollständig im Oktober 1926 abgeschlossen. Alle Aufnahmen sind nach des Verfassers Angaben hergestellt.

Über die Knickung gerader Stäbe durch Eigengewicht und Einzellasten.

Von Privatdozent Dr.-Ing. Karl Karas in Brünn.

Wenn ein Stab oder eine Säule durch Einzellasten auf Knicken beansprucht wird, so liegen die Verhältnisse in der größten Zahl der Fälle so, daß man das Eigengewicht des Stabes oder der Säule gegen die Lasten, die sie aufzunehmen haben, vernachlässigen kann. Wenn man sich dieser bedeutenden Vereinfachung der Rechnungen meistens auch mit vollem Rechte bedient, so sind andererseits doch auch Fälle denkbar, in denen das Eigengewicht des tragenden Teiles mit der Last, die er aufzunehmen hat, sehr wohl vergleichbar ist, ja sogar ein Mehrfaches dieser Last betragen kann. In diesen Fällen ist man also genötigt, den Einfluß des Eigengewichts auf die Tragfähigkeit des betreffenden Konstruktionsteiles mit zu berücksichtigen und die Ausweichgefahr, die sowohl durch die Einzellast, als auch durch das Eigengewicht allein herbeigeführt werden kann, beim gleichzeitigen Einwirken beider Lastgrößen zu ermitteln. Dabei zeigt es sich dann, daß an der Grenze zwischen stabilem und instabilem Gleichgewicht der kritische Wert der einen Lastgröße durch den kritischen Wert der anderen Lastgröße beeinflusst wird, mit anderen Worten, daß sich Zusammenhänge zwischen den kritischen Werten der beiden die Instabilität hervorrufenden Lastarten ergeben, die die stabilen und labilen Belastungsgebiete deutlich voneinander scheiden. Die vorliegende Arbeit soll nun diese Zusammenhänge für zwei der einfachsten und vielleicht auch wichtigsten aus der großen Zahl der möglichen Fälle klarlegen, nämlich einmal für eine vertikale, unten fest eingespannte, am oberen Ende freie Säule, und das anderemal für einen vertikalen, am oberen und unteren Ende einfach festgehaltenen Stab, wobei in beiden Hauptfällen außer der Beanspruchung durch das Eigengewicht noch die durch eine Einzellast in verschiedener Höhe hinzukommt. Um auch in diesem beschränkteren Bereich die Zahl der zu berechnenden Fälle noch weiter einzuschränken, sei festgesetzt, daß in beiden Fällen der Angriffspunkt der Last $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{4}$ der Höhe des Stabes vom unteren Ende entfernt liegen und daß in jedem dieser vier Fälle die Einzellast gleich einhalb-, ein-, eineinhalb-, zweimal dem ganzen Eigengewicht des Stabes sein möge; hierbei ist das Netz der berechneten Fälle dicht genug, um sowohl den Einfluß der Lasthöhe als auch den der Lastgröße auf die gesamte Stablänge verfolgen zu können. Das Problem führte im ersten Hauptfall für die Auslenkung auf eine Differentialgleichung dritter Ordnung, im zweiten Hauptfall auf eine solche vierter Ordnung, die beide leicht durch konvergente Potenzreihen integriert werden können. Die Beachtung der Grenzbedingungen liefert als Stabilitätsbedingung im ersten Fall eine Determinante dritter Ordnung, im zweiten eine solche sechster Ordnung, von denen jedes Element eine unendliche konvergente Reihe — abgesehen von etwaigen Nullen an deren Stelle — darstellt. Während nun der erste Hauptfall noch unter Aufwendung großer Rechenarbeit bewältigt werden kann, ist das für den zweiten Hauptfall auf Grund des erwähnten Tatbestandes begreiflicherweise unmöglich, und muß also hier zu Näherungsverfahren geschritten werden, die auch im ersten Hauptfalle bereits zur Aufsuchung der ungefähren Lage der Nullstellen vorzügliche Dienste leisten. Es sind dies das Verfahren von H. Hencky¹⁾ und das von S. Timoschenko²⁾,

deren sich der Verfasser bereits in einer früheren Arbeit³⁾ mit Erfolg bedient hatte. Sie liefern nämlich die Näherungswerte so, daß die nach H. Hencky ermittelten stets unter der kritischen Lastgrenze bleiben, während die nach S. Timoschenko gewonnenen stets darüber liegen, so daß durch gleichzeitige Anwendung beider ein erwünschtes Interwall abgegrenzt wird, innerhalb dessen die wahren kritischen Lastwerte liegen müssen, wie die strengere Berechnung zeigt⁴⁾. Nachdem also im ersten Abschnitt die Anwendung der beiden Näherungsverfahren auf die vorliegenden Fälle gezeigt und die Näherungswerte ermittelt wurden, sind im zweiten Abschnitt die strengeren Lösungen durch Integration mittels Reihen gegeben; im dritten Abschnitt sind Beispiele zu den vorliegenden Belastungsfällen gegeben und die Anwendung der gewonnenen Zahlentafeln gezeigt.

1. Die Ermittlung der Näherungswerte.

a) Erster Hauptfall: Vertikale, unten fest eingespannte, am oberen Ende freie Säule.

Es sei zunächst das Verfahren von Hencky auf diesen Fall angewandt. Da es für den Fall der Belastung durch Eigengewicht allein in ³⁾ breiter auseinandergesetzt wurde, kann es hier kürzer gefaßt werden. Die elastische Gelenkkette, die zum Ersatz des Stabes herangezogen wurde, ist durchweg in diesem Fall dreigliedrig, da sie dann als Stabilitätsgleichung keine höhere Determinante als von dritter Ordnung liefert. Ist s die Länge eines Kettengliedes, M_i das Biegemoment des Stabes an der Stelle des Gelenkes i und $\Delta\varphi_i$ der Winkel, den die beiden im Gelenk i aneinanderstoßenden Kettenglieder nach der Verzerrung miteinander einschließen, so besteht nach Hencky die Gleichung:

$$\Delta\varphi_i = \frac{M_i}{EJ} \cdot s, \quad (1)$$

worin E den Elastizitätsmodul des Stabmaterials, J das kleinste Trägheitsmoment von dessen Querschnitt, also EJ seine Biegesteifigkeit bedeuten. Ist dabei i ein Endgelenk und außerdem eingespannt, so muß — wie z. B. im Falle des Gelenkes o in Abb. 2 links — auf der rechten Seite der Gleichung 1 noch der Faktor $\frac{1}{2}$ hinzutreten, so daß in diesem Falle folgt:

$$\Delta\varphi_o = \frac{1}{2} \frac{M_o}{EJ} \cdot s, \quad (2)$$

worin M_o das im Gelenk o wirkende Einspannmoment bedeutet. Den Querschnitt des Stabes und damit auch dessen Trägheitsmoment setzen wir für alle Fälle als konstant voraus. Ist ferner mit der dimensionslosen Zahl ξ_{i-1} die Auslenkung des Gelenkes $i-1$ gleichgesetzt $s \cdot \xi_{i-1}$, ebenso die der Gelenke i und $i+1$ gleich $s \cdot \xi_i$ bzw. $s \cdot \xi_{i+1}$, so besteht ferner noch die kinematisch-geometrische Gleichung

$$\Delta\varphi_i = \xi_{i-1} - 2\xi_i + \xi_{i+1} \quad (3)$$

Die Gleichungen 1 bis 3 sind die Grundgleichungen für die Anwendung des Henkyschen Verfahrens für den Fall gerader, auch bei der Verzerrung torsionsfrei bleibender Stäbe. Ist nun γ das Gewicht für die Längeneinheit des Stabes, so trägt bei gleichmäßiger Verteilung jede Hälfte eines Kettengliedes s das Gewicht $\frac{1}{2} \gamma s$ zur Belastung

¹⁾ Ueber die angenäherte Lösung von Stabilitätsproblemen im Raum mittels der elastischen Gelenkkette. Der Eisenbau, 11. Jahrg. 1920, Heft 24, S. 457 ff.

²⁾ Sur la stabilité des systèmes élastiques. Annales des ponts et chaussées, Fasc. 3—5, 1915; insbesondere Fasc. 3, pag. 515.

³⁾ Ueber die Knickung gerader Stäbe durch ihr Eigengewicht. Zeitschrift für Bauwesen 1925, S. 86 ff.

⁴⁾ Man vergl. ³⁾; so werden die Arbeiten, auf die im folgenden öfter Bezug genommen werden muß, kurz angeführt werden.

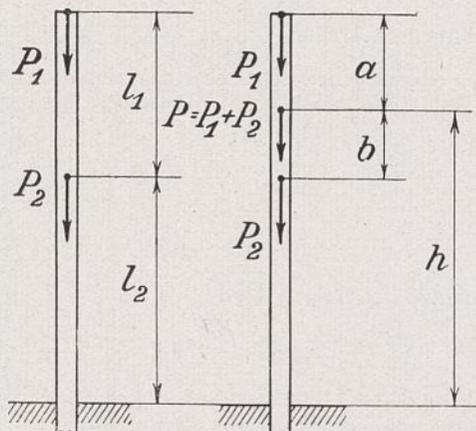


Abb. 1.

jedes angrenzenden Gelenkes bei, so daß sich in den Abb. 2 bis 5 in den Gelenken 1 und 2 je γs , am oberen Ende des Stabes jedoch die Belastung $\frac{1}{2} \gamma s$ vorfindet. Nimmt man nun zunächst an, daß sich außer dem Eigengewicht noch eine Einzellast P in $\frac{1}{4} l$ vom unteren Ende o — unter l die ganze Stablänge verstanden — befinden möge, so muß man diese Last P , da sich an dieser Stelle kein Gelenk befindet, auf die beiden Nachbargelenke o und 1 verteilen. Man könnte diese Schwierigkeit durch Einführung ungleich langer Kettenglieder oder auch durch Einführung einer viergliedrigen Ersatzkette umgehen. Da die erstere Möglichkeit zu ungenauen Werten liefert, die andere aber wegen der entstehenden Determinante vierter Ordnung einen viel zu großen Rechenaufwand erfordern würde, der in gar keinem Verhältnis zum erreichten Genauigkeitsgrad stünde, wurde lieber der Weg der Verteilung der Last P auf die beiden Nachbargelenke betreten. Eine statische Verteilung, wie beim Eigengewicht, wo ja das Gewicht eines Kettengliedes bloß einen Bruchteil der Gesamtbelastung beträgt, kommt hier ebenfalls nicht in Frage, wenn man genauere Näherungswerte erhalten will. Nun hat F. Wittenbauer⁵⁾ für einen Stab konstanten Querschnitts, der unten vertikal eingespannt ist und der in einer Höhe l_2 die Last P_2 , in einer Höhe $l_1 + l_2$ aber außerdem noch die Last P_1 trägt, als Knickbedingung die Beziehung hergeleitet (vgl. Abb. 1): $\cot \mu \cot \nu = \frac{m}{n}$, worin $m = \sqrt{\frac{P_1}{EJ}}$ und $n = \sqrt{\frac{P_1 + P_2}{EJ}}$, ferner $\mu = m l_1$, $\nu = n l_2$ bedeuten. (Gl. 8 der letzteren Abhandlung⁶⁾). Setzt man hierin nach Abb. 1 $l_1 = a + b$, $l_2 = h - b$, so erhält man die Gleichung:

$$\cot \left[(a+b) \sqrt{\frac{P_1}{EJ}} \right] \cot \left[(h-b) \sqrt{\frac{P}{EJ}} \right] = \sqrt{\frac{P_1}{P}},$$

worin $P_1 + P_2 = P$ gesetzt wurde. Schließlich kann man dafür nach einigen Umformungen auch schreiben:

$$\left. \begin{aligned} (a+b) \sqrt{\frac{P_1}{EJ}} \operatorname{tg} \left[(a+b) \sqrt{\frac{P_1}{EJ}} \right] &= x \operatorname{tg} x \\ &= (a+b) \sqrt{\frac{P}{EJ}} \cot \left[(h-b) \sqrt{\frac{P}{EJ}} \right] \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

⁵⁾ Die Knicklast mehrfach befestigter Stäbe, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ingenieure, 1902, S. 501 und: Die Verallgemeinerung der Euler'schen Knicklast ebenda 1905, S. 245. Die in letzterer Arbeit abgeleitete Gl. 14) kann nur als eine Näherungslösung angesprochen werden, da sie unter der Voraussetzung erhalten wurde, daß das Eigengewicht eines Stabstückes den Stab ebenso beansprucht, wie eine gleich große Einzellast im Schwerpunkt des Stabstückes angreifend. Man vgl. F. Jassinski: Recherches sur la flexion des pièces comprimées, Annales des ponts et chaussées 1894 oder auch ³⁾ oder ¹⁰⁾.

⁶⁾ Man vgl. auch: J. Dondorff: Die Knickfestigkeit des geraden Stabes mit veränderlichem Querschnitt und veränderlichem Druck, ohne und mit Querstützen. Dissertation Aachen, Düsseldorf 1907, wo man auch weitere hierher gehörige Literaturangaben findet.

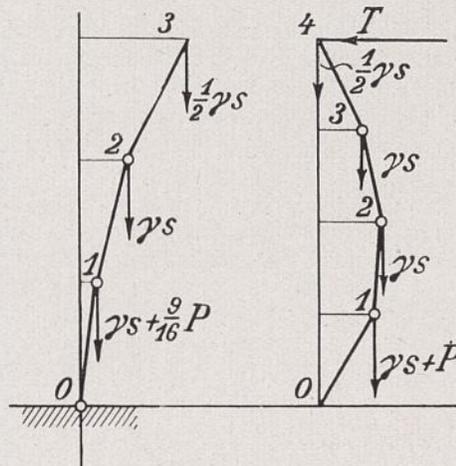


Abb. 2.

worin $(a+b) \sqrt{\frac{P_1}{EJ}} = x$ gesetzt ist. Da rechts alles bekannt ist, liefert diese Gleichung x und damit die obere Teillast P_1 , woraus auch die untere $P_2 = P - P_1$ folgt. Die so ermittelten Lasten P_1 in der Höhe $h + a$ angreifend und P_2 in der Höhe $h - b$ angreifend beanspruchen den Stab ebenso wie die Last $P = P_1 + P_2$, die in der Höhe h angreift. Gl. 4 ist also zunächst für die verschiedenen Höhenlagen der Last P auszuwerten.

1. Ist $h = \frac{1}{4} l$, so ist: $b = \frac{1}{4} l$, $a = \frac{1}{12} l$, also gibt Gl. 4 $x \operatorname{tg} x = \infty$, $x = \frac{\pi}{2}$, also:

$$\frac{l}{3} \sqrt{\frac{P_1}{EJ}} = \frac{\pi}{2}, \quad P_1 = \frac{9}{4} \pi^2 \frac{EJ}{l^2};$$

nun ist $P = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{EJ}{(l/4)^2}$, also folgt: $P_1 = \frac{9}{16} P$. P_2 im Gelenke o angreifend, beansprucht den Stab nicht.

2. Ist $h = \frac{1}{2} l$, $a = b = \frac{1}{6} l$, so gibt Gl. 4:

$$x \operatorname{tg} x = \frac{l}{3} \cdot \sqrt{\frac{P}{EJ}} \cot \left[\frac{l}{3} \sqrt{\frac{P}{EJ}} \right];$$

nun ist in diesem Falle: $P = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{EJ}{(l/2)^2} = \pi^2 \frac{EJ}{l^2}$, womit folgt: $x \operatorname{tg} x = \frac{\pi \sqrt{5}}{9}$, wofür man durch Auflösung dieser transzendenten Gleichung sehr genau: $x = 0,70728$ findet das man sehr genau durch $x = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ersetzen kann. Es folgt:

$$P_1 = \frac{9}{2} \frac{EJ}{l^2} = \frac{9}{2\pi^2} P \sim \frac{9}{20} P.$$

$P_2 = P - P_1 = \frac{11}{20} P$, wobei $\pi^2 \sim 10$ gesetzt wurde, was bei Näherungsrechnungen stets gestattet ist.

3. Ist $h = \frac{3}{4} l$, $a = \frac{l}{4}$, $b = \frac{l}{12}$, so gibt Gl. 4:

$$x \operatorname{tg} x = \frac{l}{3} \sqrt{\frac{P}{EJ}} \cot \left[\frac{2l}{3} \sqrt{\frac{P}{EJ}} \right] = \frac{2\pi}{9} \cot \frac{4\pi}{9},$$

da in diesem Falle $P = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{EJ}{\left(\frac{3}{4} l\right)^2} = \frac{4\pi^2}{9} \cdot \frac{EJ}{l^2}$ ist. Es ergibt sich $x = 0,54310$, also:

$$P_1 = 9 \cdot 0,54310^2 \cdot \frac{EJ}{l^2} = 1,06 \frac{EJ}{l^2} = \frac{1,06 \cdot 9}{4\pi^2} P \sim \frac{1}{4} P$$

und

$$P_2 \sim \frac{3}{4} P.$$

In diesem letzten Fall sagt also das Ergebnis, daß man — da die Last P und die Knoten 2 und 3 sehr weit von der Einspannstelle entfernt sind — keinen merklichen Fehler macht, wenn man P einfach statisch nach dem Hebelgesetz in die beiden Nachbarknoten zerlegt. Je näher

man aber der Einspannstelle o kommt, umso mehr weicht die unter Voraussetzung gleicher Knickbeanspruchung ermittelte Zerlegung von der statischen ab. Die unter 1 bis 3 gewonnenen Ergebnisse werden wir nun der Henkyschen Näherungsrechnung zu Grunde legen. Ist also die Einzelast P in der Höhe $h = \frac{1}{4} l$ angreifend, so hat man die in Abb. 2 ersichtliche Knotenbelastung für die weitere Rechnung anzunehmen. Damit folgt:

$$\left. \begin{aligned} M_0 &= \gamma s^2 \left(\xi_1 + \xi_2 + \frac{1}{2} \xi_3 \right) + \frac{9}{16} P s \cdot \xi_1 \\ M_1 &= \gamma s^2 \left[(\xi_2 - \xi_1) + \frac{1}{2} (\xi_3 - \xi_1) \right] = \gamma s^2 \left(-\frac{5}{2} \xi_1 + \xi_2 + \frac{1}{2} \xi_3 \right) \\ M_2 &= \gamma s^2 \cdot \frac{1}{2} (\xi_3 - \xi_2) = \gamma s^2 \left(-\frac{1}{2} \xi_2 + \frac{1}{2} \xi_3 \right) \\ \Delta \varphi_0 &= \frac{1}{2} \frac{M_0 s}{EJ} = \xi_1 \quad (\text{nach Gl. 2 und 3}) \\ \Delta \varphi_1 &= \frac{M_1 s}{EJ} = -2\xi_1 + \xi_2 \\ \Delta \varphi_2 &= \frac{M_2 s}{EJ} = \xi_1 - 2\xi_2 + \xi_3 \end{aligned} \right\} (5) \quad (\text{nach Gl. 1 und 3})$$

Führt man nun die Gleichungen für $\Delta \varphi_0, \Delta \varphi_1, \Delta \varphi_2$ durch Einführung der Momente M_0, M_1, M_2 weiter aus und bedient sich hierbei der auch für die späteren Fälle gültigen Abkürzungen

$$\frac{\gamma s^3}{EJ} = u, \quad \frac{P s^2}{EJ} = v,$$

wobei also u und v dimensionslose Zahlengrößen darstellen, so erhält man die drei linearen, homogenen Gleichungen bezüglich der den Auslenkungen der Gelenke proportionalen Zahlen ξ_1, ξ_2, ξ_3 :

$$\begin{aligned} \xi_1 \left(-u - \frac{9}{16} v + 2 \right) + \xi_2 (-u) + \xi_3 \left(-\frac{u}{2} \right) &= 0 \\ \xi_1 \left(\frac{5}{2} u - 2 \right) + \xi_2 (-u + 1) + \xi_3 \left(-\frac{u}{2} \right) &= 0 \\ \xi_1 (1) + \xi_2 \left(\frac{u}{2} - 2 \right) + \xi_3 \left(-\frac{u}{2} + 1 \right) &= 0 \end{aligned}$$

Da in diesen Gleichungen die ξ_1, ξ_2, ξ_3 bloß dann von Null verschiedene Werte annehmen können, wenn die Determinante dieses Gleichungssystems verschwindet, so erhält man, zwischen u und v oder zwischen Eigengewicht des Stabes und der Einzellast in $\frac{1}{4} l$ angreifend, an der Grenze zwischen stabilem und instabilem Gleichgewicht folgenden näherungsweise gültigen Zusammenhang zwischen den kritischen Werten der beiden Belastungsarten:

$$120u^3 + 27u^2v - 544u^2 - 90uv + 608u + 36v - 128 = 0.$$

Läßt man die Einzellast P weg, setzt also $v = 0$, so folgt $15u^3 - 68u^2 + 76u - 16 = 0$ in Übereinstimmung mit der entsprechenden Gleichung in ³⁾, welche mit der Wurzel

$$u = 0,2735 \quad \frac{\gamma l^3}{EJ} = 7,58$$

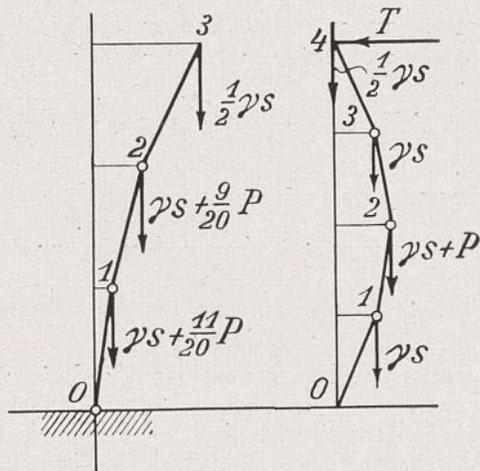


Abb. 5.

statt des genauen Wertes $\frac{\gamma l^3}{EJ} = 7,8573$ für die Knickung einer Säule durch ihr Eigengewicht lieferte. Sieht man hingegen vom Eigengewicht der Säule ab und setzt dementsprechend $u = 0$, so bleibt:

$$v = \frac{32}{9} = \frac{P s^2}{EJ}, \quad \text{also: } P = \frac{32}{9} \frac{EJ}{s^2} = 52 \frac{EJ}{l^2},$$

da hier $s = \frac{1}{5} l$ ist⁷⁾. Da der genaue Wert der Eulerschen Knicklast in diesem Falle wegen

$$h = \frac{1}{4} l P = 4\pi^2 \frac{EJ}{l^2} = 59,478 \frac{EJ}{l^2}$$

(Zahlentafel 6) beträgt, so ist hier die Übereinstimmung eine schlechte, was darin seinen Grund hat, daß in diesem Falle zur Bestimmung der Knicklast P , welche im Knoten 1 angreift, bloß eine eingliedrige Ersatzkette zu Grunde liegt. Will man die Werte für $\frac{\gamma l^3}{EJ}$ bzw. $\frac{P l^2}{EJ}$ für die eingangs erwähnten Fälle $P = 0,5 \gamma l, 1,0 \gamma l, 1,5 \gamma l, 2,0 \gamma l$ wissen, so muß man in obige Gleichung wegen $s = \frac{1}{5} l$ setzen: $v = \frac{5}{2} u, 5u, \frac{9}{2} u, 6u$ und erhält dafür die in Zahlentafel 1 für $h = \frac{1}{4} l$ unter H angegebenen Werte, die die untere Grenze des erwähnten Intervalls angeben, in welchem die wahren Knickwerte liegen müssen.

Für $h = \frac{1}{2} l$ gilt Abb. 5. Man findet die einzelnen Gelenkmomente zu:

$$\begin{aligned} M_0 &= \gamma s^2 \left[\xi_1 + \xi_2 + \frac{1}{2} \xi_3 \right] + P s \left(\frac{11}{20} \xi_1 + \frac{9}{20} \xi_2 \right) \\ M_1 &= \gamma s^2 \left[(\xi_2 - \xi_1) + \frac{1}{2} (\xi_3 - \xi_1) \right] + P s \frac{9}{20} (\xi_2 - \xi_1) \\ M_2 &= \gamma s^2 \cdot \frac{1}{2} (\xi_3 - \xi_2), \end{aligned}$$

während die Ausdrücke für $\Delta \varphi_0, \Delta \varphi_1, \Delta \varphi_2$ ganz analog dem früheren Fall zu bilden sind. Wie früher findet man schließlich die Gleichung:

$$150u^3 + 105u^2v + 18uv^2 - 680u^2 - 344uv - 36^2v + 760u + 188v - 160 = 0,$$

die wieder für $v = 0$ in obige Gleichung für die Eigengewichtsbelastung allein übergeht. Setzt man hingegen $u = 0$, so folgt: $9v^2 - 47v + 40 = 0$ mit $v = 1,072$ als kleinerer positiver Wurzel, der eine Knicklast von

$$P = 9 \cdot 1,072 \frac{EJ}{l^2} = 9,65 \frac{EJ}{l^2}$$

entspricht⁷⁾; wegen $h = \frac{1}{2} l$ ist hier der genaue Wert der

⁷⁾ In den Zahlentafeln 1, 2, 6 stehen die entsprechenden Näherungs- bzw. genauen Werte in der Zeile $P = \infty \gamma l$, also da hier $\gamma = 0$ ist, unter $\frac{P l^2}{EJ}$.

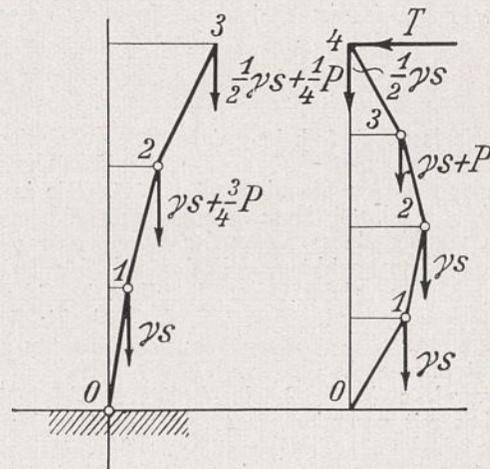


Abb. 4.

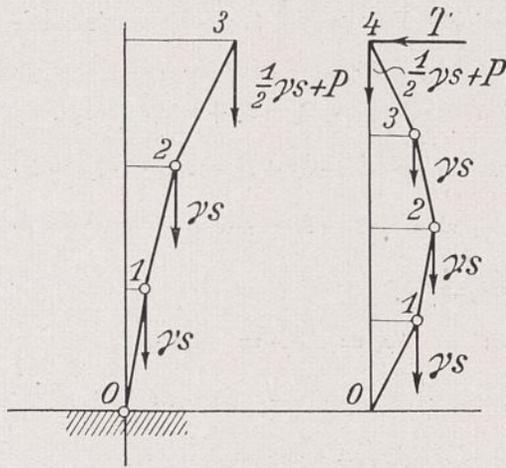


Abb. 5.

Knicklast $P = \pi^2 \cdot \frac{EJ}{l^2} = 9,870 \frac{EJ}{l^2}$ (Zahlentafel 6!), der mit dem eben ermittelten Näherungswert in bereits besserer Uebereinstimmung als im früheren Fall steht. Wie früher wurden dann die bezüglichen Zahlenwerte in der Zahlentafel 1 ermittelt. Für $h = \frac{5}{4}l$ gilt Abb. 4, und es folgen die Gelenkmomente zu:

$$M_0 = \gamma s^2 \left(\xi_1 + \xi_2 + \frac{1}{2} \xi_3 \right) + P s \left(\frac{5}{4} \xi_2 + \frac{1}{4} \xi_3 \right)$$

$$M_1 = \gamma s^2 \left[(\xi_2 - \xi_1) + \frac{1}{2} (\xi_3 - \xi_1) \right] + P s \left[\frac{5}{4} (\xi_2 - \xi_1) + \frac{1}{4} (\xi_3 - \xi_1) \right]$$

$$M_2 = \gamma s^2 \cdot \frac{1}{2} (\xi_3 - \xi_2) + P s \cdot \frac{1}{4} (\xi_3 - \xi_2)$$

und wieder wie früher die Gleichung:

$$30u^3 + 47u^2v + 24uv^2 + 4v^3 - 136u^2 - 142uv - 36v^2 + 152u + 84v - 32 = 0,$$

die für $v = 0$ wieder die Knickgleichung für Eigengewichtsbelastung allein liefert und für $u = 0$ übergeht in: $v^3 - 9v^2 + 21v - 8 = 0$ mit $v = 0,4706$ als kleinster positiver Wurzel, der die Knicklast

$$P = 9 \cdot 0,4706 \frac{EJ}{l^2} = 4,24 \frac{EJ}{l^2}$$

entspricht, die in guter Uebereinstimmung mit der genauen Knicklast $P = \frac{4\pi^2}{9} \frac{EJ}{l^2} = 4,386 \frac{EJ}{l^2}$ steht. Für $h = l$ gilt Abb. 5, und es folgt:

$$M_0 = \gamma s^2 \left(\xi_1 + \xi_2 + \frac{1}{2} \xi_3 \right) + P s \cdot \xi_3$$

$$M_1 = \gamma s^2 \left[(\xi_2 - \xi_1) + \frac{1}{2} (\xi_3 - \xi_1) \right] + P s (\xi_3 - \xi_1)$$

$$M_2 = \gamma s^2 \left[\frac{1}{2} (\xi_3 - \xi_2) \right] + P s (\xi_3 - \xi_2)$$

und wie früher die Gleichung:

$$15u^3 + 46u^2v + 36uv^2 + 8v^3 - 68u^2 - 128uv - 48v^2 + 76u + 72v - 16 = 0,$$

die für $u = 0$ liefert: $v^3 - 6v^2 + 9v - 2 = 0$ mit $v = 0,26795$ und

$$P = 9 \cdot 0,26795 \frac{EJ}{l^2} = 2,41 \frac{EJ}{l^2}$$

in guter Uebereinstimmung mit dem hier geltigen genauen Knickwert

$$P = \frac{\pi^2}{4} \frac{EJ}{l^2} = 2,467 \frac{EJ}{l^2}$$

Man entnimmt sowohl diesen Spezialwerten als auch einem Vergleich der Werte unter H in Zahlentafel 1 mit den genau geltigen Werten in Zahlentafel 6, daß die so erhaltenen Näherungswerte, wie eingangs erwähnt, stets unterhalb der genauen Knickwerte bleiben. Näherungswerte, die über den wahren Werten liegen, erhalten wir nach dem Vorgange von W. Ritz, indem wir für die

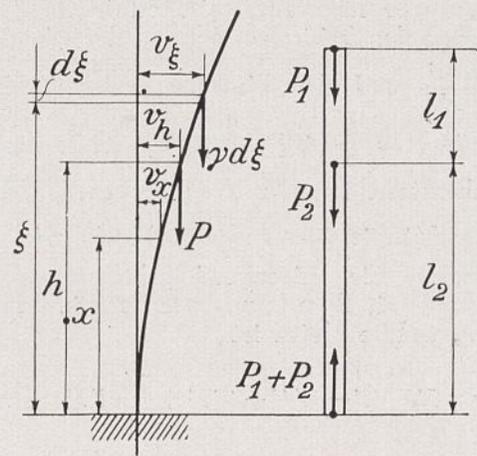


Abb. 6.

Verzerrung v beliebige Funktionen von x (Abb. 6) ansetzen, die die Grenzbedingungen des vorliegenden Falles erfüllen, und sodann sowohl die Formänderungsarbeit

$$\frac{1}{2} EJ \int_0^l v''^2 dx,$$

als auch die Arbeit der äußeren Kräfte berechnen und beide einander gleichsetzen. Sind noch Freiwerte in den Ansätzen von v , so kann man sich durch passende Wahl derselben, wie in ³⁾ gezeigt ist, den wirklichen Verhältnissen so eng anpassen, als es die gewählten Ansätze überhaupt gestatten. Hier wurde von einer derartigen Verschärfung der so gewonnenen Näherungswerte durchweg Abstand genommen, da die erhaltenen Näherungswerte, die durchweg genauer sind, als die nach dem Henckyschen Verfahren erhaltenen, für die Abschätzung der genauen Werte ausreichen dürften. Die Arbeit der äußeren Kräfte setzt sich zusammen aus der Arbeit der

Einzellast P , nämlich $P \cdot \frac{1}{2} \int_0^h v'^2 dx$, da sich der Angriffspunkt der Last P während der Verzerrung um $\frac{1}{2} \int_0^h v'^2 dx$

senkt, wie man leicht erweisen kann. Die Arbeit der Eigengewichtsbelastung ist in ³⁾ angegeben zu:

$$\frac{1}{2} \gamma \int_0^l (l-x) v'^2 dx,$$

so daß wir schließlich die Gleichung erhalten:

$$EJ \int_0^l v''^2 dx = \gamma \int_0^l (l-x) v'^2 dx + P \int_0^h v'^2 dx \quad (5)$$

Für den ersten Hauptfall lauten wegen der Wahl des Koordinatenursprungs und der Einspannung daselbst (Abb. 6) die Grenzbedingungen: $v = v' = 0$ für $x = 0$ und $v'' = 0$ für $x = l$, denen der aus ³⁾ entnommene Ansatz $v = c(10l^3x^2 - 5lx^4 + 2x^5)$ offenbar genügt. c bedeutet darin einen unbestimmten Freiwert, der aber weiterhin nicht in die Rechnung eingeht. Man findet leicht:

$$\int_0^h v'^2 dx = c^2 \left[\frac{4}{5} l^6 h^3 - \frac{8}{5} l^4 h^5 + \frac{2}{5} l^3 h^6 + \frac{4}{7} l^2 h^7 - \frac{1}{2} l h^8 + \frac{1}{9} h^9 \right]$$

und damit liefert Gl. 5 für:

$$h = \frac{1}{4}l: 7,4286 EJ = 0,9444 \gamma l^3 + 0,0973 Pl^2,$$

$$h = \frac{1}{2}l: 7,4286 EJ = 0,9444 \gamma l^3 + 0,6491 Pl^2,$$

$$h = \frac{3}{4}l: 7,4286 EJ = 0,9444 \gamma l^3 + 1,6801 Pl^2,$$

$$h = l: 7,4286 EJ = 0,9444 \gamma l^3 + 2,9127 Pl^2.$$

Hier ist also der näherungsweise ermittelte Zusammenhang zwischen den kritischen Werten der Eigengewichtsbelastung $\frac{\gamma l^3}{EJ}$ und der Einzellast $\frac{Pl^2}{EJ}$ durchwegs ein linearer. Für $P = \frac{1}{2}\gamma l, \gamma l, \frac{3}{2}\gamma l, 2\gamma l$ findet man hieraus die in Zahlentafel 1 unter F angegebenen Werte. Insbesondere folgt für $P = 0: \frac{\gamma l^3}{EJ} = 7,866$ wie in ³⁾ als Näherungswert für Eigengewichtsbelastung, während für $\gamma l = 0$ und mit Berechnung der Formänderungsarbeit von 0 bis h , welche gleich ist

$$EJ \int_0^h v'^2 dx = EJ \left[4l^6 - 8l^4 h^2 + 4l^3 h^3 + \frac{36}{5} l^2 h^4 - 8lh^5 + \frac{16}{7} h^6 \right]$$

sich für P der Reihe nach die Werte ergeben (Zahlentafel 1): $P = 46 \frac{EJ}{l^2} = 2,87 \frac{EJ}{h^2}, 10,53 \frac{EJ}{l^2} = 2,64 \frac{EJ}{h^2}, 4,41 \frac{EJ}{l^2} = 2,48 \frac{EJ}{h^2}, 2,55 \frac{EJ}{l^2} = 2,55 \frac{EJ}{h^2}$, welche durchwegs über dem Eulerschen Knickwert

$$P = \frac{\pi^2}{4} \frac{EJ}{h^2} = 2,467 \frac{EJ}{h^2}$$

bleiben.

Die verschieden gute Uebereinstimmung mit dem genauen Knickwert erklärt sich daraus, daß eben die verschieden langen Stücke des Ansatzes für v , die der Berechnung des jeweiligen Näherungswertes zugrundeliegen, im Mittel sich verschieden gut an die wirklich stattfindende Verzerrung anpassen.

b) Zweiter Hauptfall: Vertikaler, an beiden Enden einfach festgehaltener Stab; Enden also frei drehbar.

Wollen wir hier zunächst wieder das Henckysche Verfahren anwenden, so wählen wir hier eine viergliedrige Ersatzkette, die wieder zur Bestimmung der Knicklasten auf Determinanten dritter Ordnung führt. Da wir hier wieder die Einzellast P in $h = \frac{1}{4}l, \frac{1}{2}l, \frac{3}{4}l, l$ vom unteren Ende entfernt angreifen lassen, so entfällt hier im Gegensatz zum früheren Fall eine Zerlegung der Kraft P nach den einzelnen Gelenkpunkten; hingegen müssen wir (Abb. 2 bis 5) jetzt am oberen Ende eine Transversalkraft T hinzufügen, welche die Unverschieblichkeit dieses

Endes bewirkt. Für $h = \frac{1}{4}l$ erhalten wir nach Abb. 2:

$$\left. \begin{aligned} M_0 &= \gamma s^2(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3) + Ps \cdot \xi_1 & - T \cdot 4s &= 0, \\ \text{woraus: } T &= \frac{1}{4} \gamma s(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3) + \frac{1}{4} P \xi_1 & \text{folgt.} \\ M_1 &= \gamma s^2 \left[(\xi_2 - \xi_1) + (\xi_3 - \xi_1) - \frac{1}{2} \xi_1 \right] & - T \cdot 3s \\ M_2 &= \gamma s^2 \left[(\xi_3 - \xi_2) - \frac{1}{2} \xi_2 \right] & - T \cdot 2s \\ M_3 &= \gamma s^2 - \frac{1}{2} \xi_3 & - T \cdot s \end{aligned} \right\} (6)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Ferner ist: } \Delta \varphi_1 &= \frac{M_1 s}{EJ} = -2\xi_1 + \xi_2 \\ \text{(wegen } \xi_4 = 0): \Delta \varphi_2 &= \frac{M_2 s}{EJ} = \xi_1 - 2\xi_2 + \xi_3 \\ \Delta \varphi_3 &= \frac{M_3 s}{EJ} = \xi_2 - 2\xi_3 \end{aligned} \right\} \text{nach Gl. 1 und 3}$$

Es ist $M_0 = 0$, da am unteren Ende keinerlei Einspannung herrscht. Setzt man nun T in $M_1 M_2 M_3$ und letztere in $\Delta \varphi_1 \Delta \varphi_2 \Delta \varphi_3$ ein, so erhält man bezüglich $\xi_1 \xi_2 \xi_3$ folgende drei linearen homogenen Gleichungen, worin u und v dieselbe Bedeutung wie früher besitzen:

$$\begin{aligned} \xi_1 \left(\frac{13}{4} u + \frac{3}{4} v - 2 \right) + \xi_2 \left(-\frac{u}{4} + 1 \right) + \xi_3 \left(-\frac{u}{4} \right) &= 0 \\ \xi_1 \left(\frac{1}{2} u + \frac{1}{2} v + 1 \right) + \xi_2 (2u - 2) + \xi_3 \left(-\frac{1}{2} u + 1 \right) &= 0 \\ \xi_1 \left(\frac{1}{4} u + \frac{1}{4} v \right) + \xi_2 \left(\frac{1}{4} u + 1 \right) + \xi_3 \left(\frac{3}{4} u - 2 \right) &= 0 \end{aligned}$$

Das Verschwinden der Determinante dieses Gleichungssystems ergibt die Gleichung:

$$88u^3 + 23u^2v - 340u^2 - 80uv + 320u + 56v - 64 = 0.$$

Für Eigengewichtsbelastung allein, also $v = 0$, geht diese Gleichung wieder in die entsprechende von ³⁾ über mit $\frac{\gamma l^3}{EJ} = 17,54$ als Lösung. Für die Last P allein, also $u = 0$, folgt $v = \frac{8}{7}$, also

$$P = \frac{8}{7} \frac{EJ}{s^2} = \frac{8 \cdot 16}{7} \frac{EJ}{l^2} = 18 \cdot 3 \frac{EJ}{l^2},$$

da jetzt $s = \frac{1}{4}l$ ist. Diese Werte von Einzellasten ohne Eigengewicht gestatten in diesem Falle eine genaue Berechnung, die zur Kontrolle sehr erwünscht ist und die später folgen soll. Im übrigen wurde diese Gleichung wieder für $P = \frac{1}{2}\gamma l, \gamma l, \frac{3}{2}\gamma l, 2\gamma l$, also für $v = 2u, 4u$,

Zahlentafeln 1 und 2.

$P = x\gamma l$	$h = 0$		$h = \frac{1}{4}l$				$h = \frac{1}{2}l$				$h = \frac{3}{4}l$				$h = l$					
	F	H	F	H	F	H	F	H	F	H	F	H	F	H	F	H	F	H		
x	$\frac{\gamma l^3}{EJ}$	$\frac{\gamma l^3}{EJ}$	$\frac{\gamma l^3}{EJ}$	$\frac{Pl^2}{EJ}$																
$\frac{1}{2}$	7,87	7,38	7,48	3,74	6,95	3,48	5,85	2,92	5,05	2,52	4,16	2,08	3,88	1,94	3,09	1,55	2,95	1,47		
1	7,87	7,38	7,13	7,13	6,50	6,50	4,66	4,66	4,22	4,22	2,83	2,83	2,70	2,70	1,93	1,93	1,84	1,84		
$\frac{3}{2}$	7,87	7,38	6,81	10,22	6,07	9,10	3,87	5,80	3,47	5,20	2,14	3,22	2,04	3,06	1,40	2,10	1,33	2,00		
2	7,87	7,38	6,52	13,04	5,68	11,36	3,31	6,62	2,98	5,96	1,72	3,45	1,65	3,30	1,10	2,20	1,05	2,09		
∞	—	—	—	46,00	—	32,00	—	10,53	—	9,65	—	4,41	—	4,24	—	2,55	—	2,41		
$\frac{1}{2}$	19,75	17,54	14,00	7,00	11,92	5,95	13,17	6,58	11,68	5,84	12,45	6,22	10,98	5,49	9,88	4,94	9,19	4,60		
1	19,75	17,54	10,82	10,82	8,96	8,96	9,88	9,88	8,80	8,80	9,09	9,09	7,94	7,94	6,58	6,58	6,20	6,20		
$\frac{3}{2}$	19,75	17,54	8,83	13,25	7,26	10,90	7,90	11,85	7,02	10,53	7,15	10,72	6,23	9,34	4,94	7,41	4,66	7,00		
2	19,75	17,54	7,45	14,90	6,04	12,08	6,58	13,17	5,85	11,70	5,90	11,80	5,12	10,24	3,95	7,90	3,74	7,48		
∞	—	—	—	23,90	—	18,30	—	19,75	—	17,70	—	16,84	—	14,36	—	9,89	—	9,38		

6u, 8u ausgewertet, und in Zahlentafel 2 sind die entsprechenden Näherungswerte unter H zu finden.

Ebenso folgt für $h = \frac{1}{2}l$ nach Abb. 3:

$$M_0 = \gamma s^2(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3) + Ps\xi_2 - T \cdot 4s = 0,$$

woraus $T = \frac{1}{4}\gamma s(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3) + \frac{1}{4}Ps\xi_2$ folgt.

$$M_1 = \gamma s^2\left[(\xi_2 - \xi_1) + (\xi_3 - \xi_1) - \frac{1}{2}\xi_1\right] + Ps(\xi_2 - \xi_1) - T \cdot 3s$$

$$M_2 = \gamma s^2\left[(\xi_3 - \xi_2) - \frac{1}{2}\xi_2\right] - T \cdot 2s$$

$$M_3 = \gamma s^2 - \frac{1}{2}\xi_3 - T \cdot s.$$

Nach längerer Rechnung ergibt sich wie früher die Gleichung:

$$44u^3 + 27u^2v + 4uv^2 - 170u^2 - 84uv - 10v^3 + 160u + 40v - 32 = 0,$$

die wieder für $v = 0$ in die bereits abgeleitete Gleichung für Eigengewichtsbelastung allein übergeht. Für $u = 0$ folgt $v^3 - 4v + \frac{16}{5} = 0$, also: $v = 2 - \frac{2}{5}\sqrt{5} = 1,1056$

und $P = 16 \cdot 1,1056 \frac{EJ}{l^2} = 17,7 \frac{EJ}{l^2}$ (8). Für $\frac{3}{4}l$ folgt nach Abb. 4:

$$M_0 = \gamma s^2(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3) + Ps\xi_3 - T \cdot 4s = 0,$$

woraus: $T = \frac{1}{4}\gamma s(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3) + \frac{1}{4}Ps\xi_3$

$$M_1 = \gamma s^2\left[(\xi_2 - \xi_1) + (\xi_3 - \xi_1) - \frac{1}{2}\xi_1\right] + Ps(\xi_3 - \xi_1) - T \cdot 3s$$

$$M_2 = \gamma s^2\left[(\xi_3 - \xi_2) - \frac{1}{2}\xi_2\right] + Ps(\xi_3 - \xi_2) - T \cdot 2s$$

$$M_3 = \gamma s^2 - \frac{1}{2}\xi_3 - T \cdot s$$

Es folgt die Gleichung:

$$88u^3 + 101u^2v + 36uv^2 + 4v^3 - 340u^2 - 240uv - 40v^2 + 320u + 104v - 64 = 0,$$

die für $u = 0$ übergeht in: $v^3 - 10v^2 + 26v - 16 = 0$ mit $v = 0,897$ als brauchbarer Wurzel, die

$$P = 16 \cdot 0,897 \frac{EJ}{l^2} = 14,36 \frac{EJ}{l^2}$$

liefert (Zahlentafel 2).

Schließlich ergibt sich für $h = l$ nach Abb. 5:

$$M_0 = \gamma s^2(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3) - T \cdot 4s = 0$$

und somit: $T = \frac{1}{4}\gamma s(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3)$

$$M_1 = \gamma s^2\left[(\xi_2 - \xi_1) + (\xi_3 - \xi_1) - \frac{1}{2}\xi_1\right] - Ps\xi_1 - T \cdot 3s$$

$$M_2 = \gamma s^2\left[(\xi_3 - \xi_2) - \frac{1}{2}\xi_2\right] - Ps\xi_2 - T \cdot 2s$$

$$M_3 = \gamma s^2 - \frac{1}{2}\xi_3 - Ps \cdot \xi_3 - T \cdot s$$

und die Gleichung:

$$22u^3 + 43u^2v + 24uv^2 + 4v^3 - 85u^2 - 96uv - 24v^2 + 80u + 40v - 16 = 0,$$

die für $u = 0$ ergibt: $v^3 - 6v^2 + 10v - 4 = 0$ mit $v = 0,5858$

als kleinster positiver Wurzel. Dies liefert $P = 9,58 \frac{EJ}{l^2}$ in Übereinstimmung mit Hencky (a. a. O. Seite 459).

Zur Anwendung des Verfahrens mittels der Formänderungsarbeit hat man sich wieder der Gleichung 5 zu bedienen. Die Grenzbedingungen lauten nach 3):

$$v_0 = v_l = v_0'' = v_l'' = 0,$$

denen der ebenfalls dort angegebene Ansatz:

$$v = c(l^3x - 2lx^3 + x^4)$$

8) Da $17,7 \frac{EJ}{l^2} \sim 17,54 \frac{EJ}{l^2}$, folgt $P \sim \gamma l$, also eine Einzelast in der Mitte des an den Enden frei gelagerten Stabes angreifend beansprucht diesen annähernd wie sein Eigengewicht. Der unten ausgesprochene Satz erfährt also durch das Henkysche Verfahren seine Bestätigung.

entspricht. Damit folgt:

$$\int_0^h v'^2 dx = c^2 \left[l^5 - 4l^3 h^2 + 2l^2 h^3 + \frac{36}{5} l^2 h^4 - 8lh^5 + \frac{16}{7} h^6 \right],$$

womit Gl. 5 für $h = \frac{1}{4}l, \frac{1}{2}l, \frac{3}{4}l, l$ ergibt:

$$\text{für } h = \frac{1}{4}l: 24EJ = 1,2143\gamma l^3 + 1,0027Pl^2$$

$$h = \frac{1}{2}l: 24EJ = 1,2143\gamma l^3 + 1,2143Pl^2$$

$$h = \frac{3}{4}l: 24EJ = 1,2143\gamma l^3 + 1,4259Pl^2$$

$$h = l: 24EJ = 1,2143\gamma l^3 + 2,4286Pl^2$$

Für $P = 0$ folgt aus allen diesen Gleichungen: $\frac{\gamma l^3}{EJ} = 19,75$ in Übereinstimmung mit dem in 3) angegebenen Näherungswert.

Diese Gleichungen wurden wieder für

$$P = \frac{1}{2}\gamma l, \gamma l, \frac{3}{2}\gamma l, 2\gamma l$$

ausgewertet, und in Zahlentafel 2) sind die Ergebnisse unter F eingetragen.

Vernachlässigt man jedoch in diesen Gleichungen das Eigengewicht, setzt also $\gamma = 0$, so ergibt sich der Reihe nach:

$$P = 23,9 \frac{EJ}{l^2}, 19,75 \frac{EJ}{l^2}, 16,84 \frac{EJ}{l^2}, 9,89 \frac{EJ}{l^2},$$

die ebenfalls in Zahlentafel 2 in der Zeile $F = \infty \gamma l$ eingetragen sind. Der zweite der hier angegebenen Werte liefert das interessante Näherungsergebnis (man vgl. 8)): Ein vertikaler Stab, dessen Enden einfach festgehalten, sonst aber widerstandslos drehbar sind, kann — wenn von der Beanspruchung durch das Eigengewicht abgesehen wird — eine in seinem Schwerpunkt angreifende Einzellast aufnehmen, die höchstens gleich dem Eigengewicht des Stabes ist. Diese interessanten, bei Vernachlässigung des Eigengewichtes erhaltenen Näherungswerte für die Einzellast P können, wie bereits erwähnt, genauer berechnet und kontrolliert werden, und zwar durch Anwendung einer in 5) abgeleiteten Formel von F. Wittenbauer. In dessen zweiter dort angegebener Arbeit findet sich für den aus Abb. 6 hervorgehenden Belastungsfall und mit den in Abb. 6 angegebenen Bezeichnungen die dort mit 5 bezeichnete Gleichung, wobei also die Stabenden einfach festgehalten, sonst aber drehbar zu denken sind:

$$(P_1 + P_2) \sqrt{\frac{P_1}{EJ}} \cot\left(l_1 \sqrt{\frac{P_1}{EJ}}\right) + P_1 \sqrt{\frac{P_1 + P_2}{EJ}} \cot\left(l_2 \sqrt{\frac{P_1 + P_2}{EJ}}\right) = \frac{P_2^2}{P_1 l_1 + P_2 l_2},$$

worin $l = l_1 + l_2$ ist, Man findet nach einiger Umformung mit der abkürzenden Bezeichnung:

$$y = l_2 \sqrt{\frac{P_1 + P_2}{EJ}}; \frac{y}{l_2} \cot y = \frac{P_2^2}{P_1^2 l_1 + P_1 P_2 l_2} - \frac{P_1 + P_2}{P_1} \sqrt{\frac{P_1}{EJ}} \cot\left(l_1 \sqrt{\frac{P_1}{EJ}}\right).$$

Hierin kann man sowohl den Bruch, als die cot, in Reihen entwickeln, wodurch man nach Wegheben eines Gliedes erhält:

$$\frac{y}{l_2} \cot y = -\frac{l}{l_1^2} + \frac{P_1 l^2}{P_2 l_1^3} - \frac{P_1^2 l^3}{P_2^2 l_1^4} + \dots - \frac{1}{l_1} + \frac{l_1}{3} \frac{P_1}{EJ} + \frac{l_1}{3} \frac{P_2}{EJ} + \frac{l_1^3}{45} \frac{P_1^2}{E^2 J^2} + \frac{l_1^3}{45} \frac{P_1 P_2}{E^2 J^2} + \dots$$

Läßt man nun hierin P_1 zu Null konvergieren, so wird $y = l_2 \sqrt{\frac{P_2}{EJ}}$, und es folgt für y die transzendente

Gleichung:

$$\frac{l_1}{3l_2} \cdot y^2 - y \cot y = \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^2 + 2 \left(\frac{l_2}{l_1}\right) \quad (6)$$

deren kleinste positive Wurzel die kleinste Knicklast P_2 liefert. Für $h = \frac{1}{4}l$ ist z. B. $l_1 = \frac{3}{4}l$, $l_2 = \frac{1}{4}l$, also $\frac{l_2}{l_1} = \frac{1}{3}$, und somit folgt aus Gl. 6 $y^2 - y \cot y = \frac{7}{9}$ mit $y = 1,1409$ als kleinster positiver Wurzel, welche

$$P = 16 \cdot y^2 \cdot \frac{EJ}{l^2} = 20,822 \frac{EJ}{l^2}$$

ergibt, da hier $l_2 = \frac{1}{4}l$ ist. Für $h = \frac{1}{2}l$ ergibt Gl. 6 ebenso: $y^2 - 5y \cot y = 9$ und $y = 2,1603$ und

$$P = 4y^2 \frac{EJ}{l^2} = 18,667 \frac{EJ}{l^2};$$

steht der Stab nur unter der Beanspruchung durch sein Eigengewicht bei den gleichen Randbedingungen, so entnimmt man aus der in ³⁾ angeführten Arbeit: $\frac{\gamma l^3}{EJ} = 18,569$

als strenge gültige Lösung, was also für das höchste zulässige Eigengewicht $\gamma l = 18,569 \frac{EJ}{l^2}$ ergibt. Aus der

Vergleichung der beiden strenge gültigen Koeffizienten 18,667 und 18,569 ergibt sich der hohe Grad der Annäherung des obigen Näherungsergebnisses. Schließlich

findet man für $h = \frac{3}{4}l$ aus Gl. 6

$$y^2 - 9y \cot y = 155 \quad \text{mit } y = 2,956$$

als kleinster positiver Wurzel, der

$$P = \frac{16}{9} y^2 \frac{EJ}{l^2} = 15,326 \frac{EJ}{l^2}$$

entspricht. Für $h = l$, also $l_1 = 0$, $l_2 = l$ ergibt Gl. 6: $\cot y = -\infty$, also $y = \pi$ und

$$P = \pi^2 \frac{EJ}{l^2},$$

also wieder die Eulersche Knicklast für diesen Fall. Vergleicht man die hier mitgeteilten genauen Werte mit den Näherungswerten in Zahlentafel 2, so sieht man, daß sie tatsächlich in das Intervall zu liegen kommen, das dort durch die Werte unter H und F abgegrenzt ist; diese Bestätigung ist um so erwünschter, als für diesen Fall von der genauen Berechnung wie im ersten Fall aus dem Grunde Abstand genommen werden mußte, weil die hier nötigen, außerordentlich langwierigen Berechnungen bei weitem die Kraft eines Einzelnen übersteigen würden. Man entnimmt den Zahlentafeln 1 und 2, daß die Näherungswerte im Durchschnitt um 2 bis 9 v H von ihrem Mittelwert abweichen. Eine Verbesserung wäre also erwünscht. Beim Verfahren von H. Hencky kann sie bloß dadurch erzielt werden, daß man zu mehrgliedrigen Ersatzketten übergeht, wodurch aber die Rechenarbeit unverhältnismäßig anwachsen würde. Beim Verfahren mittels der Formänderungsarbeit aber könnte man, wie in ²⁾ und ³⁾ geschehen, in den Ansatz für die Auslenkung Freiwerte aufnehmen und diese dann so bestimmen, daß die Knicklast ein Minimum wird oder so, daß der Ausdruck $J = L_i - L_a$ einen extremen Wert annimmt, worin L_i die Formänderungsarbeit, L_a die Arbeit der äußeren Kräfte bedeutet ⁹⁾.

⁹⁾ Also nicht der Ausdruck $L_i - 2L_a$, der bloß dann zu einem Extremum zu machen ist, wenn L_a die Freiwerte linear enthält, was bei Stabilitätsproblemen nicht der Fall ist, da sie hier quadratisch auftreten. In einer Arbeit über die kritischen Tourenzahlen rasch umlaufender Wellen hat der Verfasser hiervon mit großem Vorteil Gebrauch gemacht. H. D. I.-Mitteilungen in der Tschechoslow. Republik 1928, Heft 5, 6, 7. Man vgl. hierzu: H. Lorenz, Z. d. V. d. J. 1915, S. 545, ferner Th. Pöschl, Armierter Beton 1912, derselbe Autor in Zeitschr. f. d. gesamte Turbinenwesen 1915, sowie in der Broschüre: Berechnungen von Behältern, Springer, Berlin 1915; ebenso H. Melan, Zeitschr. d. öst. Ing. u. Arch. Vereins 1917, S. 610 ff. A. Stodola, Schweiz. Bauztg. 1914. Wendet man auf J die Lagrange-Eulersche Ableitung an, so erhält man die Differentialgleichung des Problems, wie z. B. Th. Pöschl in der „Berechnung von Behältern“, Springer 1915, deutlich gezeigt hat. Hat man umgekehrt zuerst die Differen-

Von der Durchführung einer genaueren Bestimmung der Näherungswerte wurde jedoch hier aus dem Grunde abgesehen, weil für die Fälle, um die es sich hier handelt, die für den zweiten Hauptfall ermittelten Näherungswerte zur Abschätzung der Größe der kritischen Last ausreichen dürften (man vergleiche das Beispiel zum Schluß), während für den ersten Hauptfall ohnehin strengere Lösungen im folgenden Abschnitt erzielt werden konnten.

2. Strengere Lösung durch Integration mittels Reihen.

Ist am oberen Ende keine Transversal- oder Haltekraft T vorhanden, wie beim ersten Hauptfall, so gilt für die Auslenkung v , wie in ³⁾ gezeigt, folgende Differentialgleichung:

$$EJ \frac{d^3 v}{dx^3} + (l-x)\gamma \frac{dv}{dx} = 0 \quad (7)$$

die bereits A. G. Greenhill ¹⁰⁾ bei seiner erstmaligen Untersuchung über die Knickung einer durch ihr Eigengewicht beanspruchten vertikalen Säule gewonnen und durch Besselsche Funktionen integriert hatte. Sie entstand durch Ableitung der Gleichung der elastischen Linie:

$$EJ \frac{d^2 v}{dx^2} = M = \int_x^l (v_\xi - v_x) \gamma d\xi$$

nach x , worin v_ξ die Auslenkung eines Elementes vom Gewicht $\gamma d\xi$ und v_x die Auslenkung des Querschnittes mit der Abszisse x bedeutet (Abb. 6). Sie gilt offenbar bloß für jene Stellen des Stabes, die unter Eigengewichtsbelastung allein stehen, also für die Stellen x von h bis l , wenn die Einzellast P in einer Höhe h über dem unteren Ende des Stabes angreift. Für die Stellen $x < h$ muß im Ausdruck für das Moment M noch der Einfluß der Einzellast P berücksichtigt werden. Bedeutet v_h die Auslenkung des Angriffspunktes von P (Abb. 6), so ist für $x < h$ das Moment

$$M = P(v_h - v_x) + \int_x^l (v_\xi - v_x) \gamma d\xi$$

und durch Ableitung nach x ergibt sich dann die Differentialgleichung:

$$EJ \frac{d^3 v}{dx^3} + P \frac{dv}{dx} + (l-x)\gamma \frac{dv}{dx} = 0 \quad (8)$$

Die Differentialgleichungen 7 und 8 geben in den beiden Feldern des Stabes, die durch den Angriffspunkt der Last P getrennt werden, die Gesetze an, denen die Auslenkung v genügen muß. Gleichung 8 kann auch in folgender Form geschrieben werden:

$$EJ \frac{d^3 v}{dx^3} + \left(\frac{P}{\gamma} + l-x\right) \gamma \frac{dv}{dx} = EJ \frac{d^3 v}{dx^3} + (l-x)\gamma \frac{dv}{dx} = 0 \quad (9)$$

und hat also die Form von Gleichung 7, wenn man statt der dort gültigen Länge l des Stabes die durch h die Einzellast P beeinflusste fingierte Stablänge $l_1 = l + \frac{P}{\gamma}$ einführt. Um die Gleichung 7 zu integrieren, machen wir den Ansatz:

$$v = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \dots + a_n x^n + \dots$$

und werden sogleich zur Rekursionsformel:

$$a_n = \frac{\gamma}{EJ} \left[\frac{n-3}{n(n-1)(n-2)} a_{n-3} - \frac{l}{n(n-1)} a_{n-2} \right]$$

tialgleichung hergeleitet, so kann man diese als Eulersche Differentialgleichung auffassen und das zugehörige bestimmte Grenzintegral suchen, das dann zu einem Extremum zu machen ist; so z. B. A. Nádai, Z. d. V. d. J. 1915, K. Federhofer, der Eisenbau 9. Jahrg. 1918, derselbe Autor: Sitzungsberichte der Wiener Akademie der Wissenschaften, Abt II a, 154. Bd. 1925 und der Verfasser: H. D. I.-Mitteilungen des Hauptvereins deutscher Ingenieure in der tschechoslow. Republik 1927.

¹⁰⁾ Cambridge, Phil. Soc. Proc. vol. 4 (1881) S. 65. Man vgl. auch die kritische Erörterung seiner Theorie von C. Chree, Cambridge, Phil. Soc. Proc. vol. 7 (1892), sowie A. E. H. Love, Lehrbuch der Elastizität, deutsch von A. Timpe, Teubner, Leipzig und Berlin 1907, S. 487, oder R. Mayer, Die Knickfestigkeit, Springer, Berlin, 1921, S. 55.

geführt, mittels deren sich die Lösung ergibt:

$$v = a_0 + a_1 E + a_2 F,$$

worin mit $m = \frac{\gamma}{EJ}$ bedeuten:

$$\left. \begin{aligned} E &= x - \frac{lm}{3!} x^3 + \frac{m}{4!} x^4 + \frac{l^2 m^2}{5!} x^5 - \frac{4lm^2}{6!} x^6 + \frac{4m^2 l^4 m^3}{7!} x^7 \\ &+ \frac{9l^2 m^3}{8!} x^8 - \frac{28lm^3 - l^4 m^4}{9!} x^9 + \frac{28m^3 - 16l^3 m^4}{10!} x^{10} \\ &+ \frac{100l^2 m^4 - l^5 m^5}{11!} x^{11} - \frac{280lm^4 - 25l^4 m^5}{12!} x^{12} \\ &+ \frac{280m^4 - 260l^3 m^5 + l^6 m^6}{13!} x^{13} + \dots \\ F &= 2 \left[\frac{x^2}{2!} - \frac{lm}{4!} x^4 + \frac{2m}{5!} x^5 + \frac{l^2 m^2}{6!} x^6 - \frac{6lm^2}{7!} x^7 \right. \\ &+ \frac{10m^2 - l^3 m^3}{8!} x^8 + \frac{12l^2 m^3}{9!} x^9 - \frac{52lm^3 - l^4 m^4}{10!} x^{10} \\ &\left. + \frac{80m^3 - 20l^3 m^4}{11!} x^{11} + \frac{160l^2 m^4 - l^5 m^5}{12!} x^{12} - \frac{600lm^4 - 30l^4 m^5}{13!} x^{13} + \dots \right] \end{aligned} \right\} (10)$$

Analog ergibt die Integration von Gleichung 9:

$$v = a_3 + a_4 E_1 + a_5 F_1 \quad (11)$$

worin E_1, F_1 aus E, F hervorgehen, wenn man darin überall l durch l_1 ersetzt. a_0 bis a_5 sind 6 Integrationskonstanten, die aus den Grenzbedingungen ermittelt werden müssen. Zunächst kann man das Koordinatensystem mit seinem Ursprung in den unteren Endpunkt des Stabes verlegen und dadurch stets bewirken, daß die Konstante $a_3 = 0$ ist, was aus Gleichung 11 folgt, wenn man darin $x = v = 0$ setzt. Da aber wegen der Einspannung für $x = 0$ auch $\frac{dv}{dx} = 0$ sein muß, so folgt, daß $\left(\frac{dF_1}{dx}\right)_0 = 0$ ist, daß auch $a_4 = 0$ sein muß. Somit reduziert sich Gleichung 11 auf:

$$v = a_5 F_1 \dots \quad (12)$$

Die weitere Bedingung, daß im unteren Stabende auch keine Querkräfte auftreten dürfen, daß also $\left(\frac{d^3 v}{dx^3}\right)_{x=0} = 0$ sein muß, ist keine wesentliche Bedingung mehr, sondern ist von selbst erfüllt, wie man erkennt, wenn man in Gleichung 9 $\frac{dv}{dx} = 0$ setzt; das Verschwinden der Querkraft an der Einspannstelle führt also zur selben Gleichung: $a_4 = 0$, wie die Einspannung selbst. Eine analoge Bemerkung gilt bezüglich des Verschwindens der Querkraft am oberen Stabende, wie man sofort erkennt, wenn man in Gleichung 7 für $x = l$ einsetzt. Hingegen sind wesentlich die Bedingungen, daß an der Stelle der Einzellast P die elastischen Linien beider Felder, für welche bezüglich die Gleichungen 10 und 11 gelten, sowohl ohne Sprung, als auch ohne Knick, als auch ohne Sprung des Biegemomentes, also ohne Sprung des Krümmungsradius aneinanderstoßen müssen, wozu noch als weitere wesentliche Bedingung die tritt, daß am oberen Stabende keine Biegemomente auftreten dürfen, also $\left(\frac{d^2 v}{dx^2}\right)_{x=l} = 0$ sein muß. Mit Rücksicht auf die Gleichung 12 lauten diese Bedingungen in Gleichungen, worin der Index h oder l den Wert angibt, der in $EFF_1 \frac{dE}{dx} \frac{dF}{dx}$ usw. für x einzusetzen ist, folgendermaßen:

$$\begin{aligned} a_5(F_1)_h &= a_0 + a_1(E)_h + a_2(F)_h \\ a_5\left(\frac{dF_1}{dx}\right)_h &= a_1\left(\frac{dE}{dx}\right)_h + a_2\left(\frac{dF}{dx}\right)_h \\ a_5\left(\frac{d^2 F_1}{dx^2}\right)_h &= a_1\left(\frac{d^2 E}{dx^2}\right)_h + a_2\left(\frac{d^2 F}{dx^2}\right)_h \\ 0 &= a_1\left(\frac{d^2 E}{dx^2}\right)_l + a_2\left(\frac{d^2 F}{dx^2}\right)_l \end{aligned}$$

Es treten $a_1 a_2 a_5$ allein in den drei letzten Gleichungen auf, die also zur Berechnung dieser Konstanten ausreichen müssen. Da sie linear und homogen sind, können diese Konstanten bloß dann von Null verschiedene Werte annehmen — was nötig ist, wenn überhaupt eine Verzerrung, also ein Knicken eintreten soll — wenn die

Determinante des Systems dieser drei Gleichungen verschwindet, was ergibt:

$$\begin{vmatrix} \left(\frac{dF_1}{dx}\right)_h \left(\frac{dE}{dx}\right)_h \left(\frac{dF}{dx}\right)_h \\ \left(\frac{d^2 F_1}{dx^2}\right)_h \left(\frac{d^2 E}{dx^2}\right)_h \left(\frac{d^2 F}{dx^2}\right)_h \\ 0 \left(\frac{d^2 E}{dx^2}\right)_l \left(\frac{d^2 F}{dx^2}\right)_l \end{vmatrix} = \Delta = 0 \quad (13)$$

Gleichung 15 stellt die den weiteren Rechnungen zugrundeliegende Knickgleichung dar. Die erste der oben angeschriebenen Gleichungen ist nicht mehr wesentlich, denn sie gestattet bloß, die Integrationskonstante a_0 zu berechnen, falls $a_1 a_2 a_5$ bereits bekannt sind, in die Stabilitätsbedingung Gleichung 15 geht sie jedoch nicht ein und scheidet deshalb aus den weiteren Rechnungen aus. Aus Gleichung 15 ist ersichtlich, daß der Einfluß der Höhe h des Angriffspunktes der Einzellast P sich bloß in den Elementenreihen der beiden ersten Horizontalzeilen, der Einfluß der Größe von P sich überdies bloß in den ersten Elementenreihen dieser beiden Zeilen äußert. Nach diesen am meisten veränderlichen Elementenreihen wollen wir also die Determinante Gleichung 15 entwickeln¹¹⁾. Zuvor sei jedoch Gleichung 15 für spezielle Werte geprüft. Ist $P = 0$, also bloß Eigengewicht vorhanden, so ist $l_1 = l, F_1 = F$, wodurch nach einigen Umformungen Gleichung 15 übergeht in:

$$\left(\frac{d^2 F}{dx^2}\right)_l \cdot \begin{vmatrix} \left(\frac{dF}{dx}\right)_h \left(\frac{dE}{dx}\right)_h \\ \left(\frac{d^2 F}{dx^2}\right)_h \left(\frac{d^2 E}{dx^2}\right)_h \end{vmatrix} = 0$$

In diesem Produkte kann aber die Determinante nicht verschwinden, denn das würde bedeuten, daß an der Stelle $x = h$ sowohl die Tangentenrichtung, als die Krümmung der elastischen Linie Null sein, diese selbst also ihre unverzerrte Gestalt erhalten haben sollte, was eben bei Verzerrung durch Knickung nicht eintritt. Also bleibt: $\left(\frac{d^2 F}{dx^2}\right)_l = 0$ in Uebereinstimmung mit³⁾, was als erste Nullstelle: $\frac{\gamma l^3}{EJ} = 7,8575$ lieferte (man vergleiche hiermit Zahlentafel 1 und 6 die Werte unter $h = 0$). Ist hingegen $P \neq 0$, aber $h = l$, so folgt aus Gleichung 15 ebenso:

$$\left(\frac{d^2 F_1}{dx^2}\right)_l \cdot \begin{vmatrix} \left(\frac{dE}{dx}\right)_l \left(\frac{dF}{dx}\right)_l \\ \left(\frac{d^2 E}{dx^2}\right)_l \left(\frac{d^2 F}{dx^2}\right)_l \end{vmatrix} = 0,$$

worin aus dem gleichen Grunde wie früher die Determinante nicht verschwinden kann. Also bleibt für den Fall einer vertikalen Säule, die außer durch ihr Eigengewicht noch durch eine Einzellast auf ihrem oberen Ende belastet ist, die Bedingung:

¹¹⁾ Wollte man ebenso den 2. Hauptfall behandeln, so hätte man statt Gl. 7 wegen der nunmehr wirkenden Transversalkraft T die Differentialgleichung:

$$EJ \frac{d^3 v}{dx^3} - T + (l-x)\gamma \frac{dv}{dx} = 0$$

und eine analoge Gleichung statt Gl. 9. Differenziert man beide Gleichungen nach x , so erhält man zwei analoge Gleichungen, deren eine lautet:

$$EJ \frac{d^4 v}{dx^4} + \gamma(l-x) \frac{d^2 v}{dx^2} - \gamma \frac{dv}{dx} = 0,$$

wie in³⁾ dargetan ist, wo auch die dieser letzten Gleichung entsprechende Lösung: $v = a_1 E + a_2 F + a_3 G$ entwickelt ist. Da die dort angegebene Reihe F mit der jetzt in Gl. 10 angegebenen identisch ist, so geht die frühere Lösung in die jetzige über, wenn man dort $a_3 = -a_1 \frac{lm}{6}$ setzt, wie man sich leicht gliedweise überzeugt; dies kann als wertvolle Kontrolle unserer Reihen angesehen werden. Die Beachtung der nunmehr gültigen Grenzbedingungen führt, wie bereits erwähnt, auf eine Determinante 6. Ordnung, die aber hier nicht mehr angeschrieben werden soll, da es auf diesem Wege aussichtslos erscheint, zu besseren Lösungen zu gelangen. Eine geeignete Methode wurde vor⁹⁾ angedeutet.

$$\left(\frac{d^2 F_1}{dx^2}\right)_{x=l} = 0 \quad (14)$$

Diesen Fall, für den sich also die Determinante Gleichung 13 in Gleichung 14 vereinfacht, hat bereits A. G. Greenhill in seiner unter ¹⁰⁾ erwähnten Abhandlung untersucht (man vgl. R. Mayer, Die Knickfestigkeit a. a. O.). — Entwickelt man nun Gleichung 15, so erhält man

$$\left(\frac{dF_1}{dx}\right)_h \left[\left(\frac{d^2 E}{dx^2}\right)_h \cdot \left(\frac{d^2 F}{dx^2}\right)_l - \left(\frac{d^2 F}{dx^2}\right)_h \cdot \left(\frac{d^2 E}{dx^2}\right)_l \right] - \left(\frac{d^2 F_1}{dx^2}\right)_h \left[\left(\frac{dE}{dx}\right)_h \cdot \left(\frac{d^2 F}{dx^2}\right)_l - \left(\frac{dF}{dx}\right)_h \cdot \left(\frac{d^2 E}{dx^2}\right)_l \right] = 0$$

Besonders einfach gestalten sich hierin die Reihen

$$\left(\frac{d^2 E}{dx^2}\right)_l \quad \text{und} \quad \left(\frac{d^2 F}{dx^2}\right)_l,$$

da sich hier, wenn man zuerst E und F zweimal nach x differenziert und hiernach $x = l$ einsetzt, stets gleich hohe Potenzen der dimensionslosen Größe

$u = \frac{\gamma l^3}{EJ}$ ¹²⁾ zusammenziehen lassen. Man erhält, wenn man bloß bis zu Gliedern mit u^4 geht, wobei die dritten Dezimalstellen noch verlässlich sind:

$$\left(\frac{d^2 E}{dx^2}\right)_l = \frac{1}{l} \left[-\frac{u}{2!} + \frac{4u^2}{5!} - \frac{28u^3}{8!} + \frac{280u^4}{11!} - \dots \right] \quad \text{und} \quad \left(\frac{d^2 F}{dx^2}\right)_l = 2 \left[1 - \frac{u}{3!} + \frac{4u^2}{6!} - \frac{28u^3}{9!} + \frac{280u^4}{12!} - \dots \right] \quad (15)$$

Das Gesetz, nach welchem diese Reihen fortschreiten würden, ist leicht zu erkennen. Setzt man ferner $x = h = \alpha \cdot l$, so ergeben sich aus Gleichung 10 die weiteren in Gleichung 15 auftretenden allgemeineren Reihen:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_h = 1 - \frac{u}{3!} (3\alpha^2 - \alpha^3) + \frac{u^2}{6!} (30\alpha^4 - 24\alpha^5 + 4\alpha^6) - \frac{u^3}{9!} (504\alpha^6 - 648\alpha^7 + 252\alpha^8 - 28\alpha^9) + \frac{u^4}{12!} (11880\alpha^8 - 21120\alpha^9 + 13200\alpha^{10} - 3360\alpha^{11} + 280\alpha^{12})$$

$$\left(\frac{dF}{dx}\right)_h = 2l \left[\alpha - \frac{u}{4!} (4\alpha^3 - 2\alpha^4) + \frac{u^2}{7!} (42\alpha^5 - 42\alpha^6 + 10\alpha^7) - \frac{u^3}{10!} (720\alpha^7 - 1080\alpha^8 + 520\alpha^9 - 80\alpha^{10}) + \frac{u^4}{13!} (17160\alpha^9 - 34320\alpha^{10} + 24960\alpha^{11} - 7800\alpha^{12} + 880\alpha^{13}) \right]$$

$$\left(\frac{d^2 E}{dx^2}\right)_h = \frac{1}{l} \left[-\frac{u}{2!} (2\alpha - \alpha^2) + \frac{u^2}{5!} (20\alpha^3 - 20\alpha^4 + 4\alpha^5) - \frac{u^3}{8!} (336\alpha^5 - 504\alpha^6 + 224\alpha^7 - 28\alpha^8) + \frac{u^4}{11!} (7920\alpha^7 - 15840\alpha^8 + 11000\alpha^9 - 3080\alpha^{10} + 280\alpha^{11}) \right]$$

$$\left(\frac{d^2 F}{dx^2}\right)_h = 2 \left[1 - \frac{u}{3!} (3\alpha^2 - 2\alpha^3) + \frac{u^2}{6!} (30\alpha^4 - 36\alpha^5 + 10\alpha^6) - \frac{u^3}{9!} (504\alpha^6 - 864\alpha^7 + 468\alpha^8 - 80\alpha^9) + \frac{u^4}{12!} (11880\alpha^8 - 26400\alpha^9 + 21120\alpha^{10} - 7200\alpha^{11} + 880\alpha^{12}) \right] \quad (16)$$

Ist $x = h = l$, also $\alpha = 1$, so gehen die letzten zwei der Gleichungen 16 in die Gleichungen 15 über. Führt man außer α noch die Größe β mittels der Gleichung $l_1 = \beta \cdot l$ ein, so folgen schließlich noch die allgemeinsten Reihen:

$$\left(\frac{dF_1}{dx}\right)_h = 2l\alpha - \left[\alpha - \frac{u}{4!} (4\beta\alpha^3 - 2\alpha^4) + \frac{u^2}{7!} (42\beta^2\alpha^5 - 42\beta\alpha^6 + 10\alpha^7) - \frac{u^3}{10!} (720\beta^3\alpha^7 - 1080\beta^2\alpha^8 + 520\beta\alpha^9 - 80\alpha^{10}) + \frac{u^4}{13!} (17160\beta^4\alpha^9 - 34320\beta^3\alpha^{10} + 24960\beta^2\alpha^{11} - 7800\beta\alpha^{12} + 880\alpha^{13}) \right]$$

$$\left(\frac{d^2 F_1}{dx^2}\right)_h = 2 \left[1 - \frac{u}{3!} (3\beta\alpha^2 - 2\alpha^3) + \frac{u^2}{6!} (30\beta^2\alpha^4 - 36\beta\alpha^5 + 10\alpha^6) - \frac{u^3}{9!} (504\beta^3\alpha^6 - 864\beta^2\alpha^7 + 468\beta\alpha^8 - 80\alpha^9) + \frac{u^4}{12!} (11880\beta^4\alpha^8 - 26400\beta^3\alpha^9 + 21120\beta^2\alpha^{10} - 7200\beta\alpha^{11} + 880\alpha^{12}) \right] \quad (17)$$

Ist keine Einzellast P vorhanden, so ist $l_1 = l$, also $\beta = 1$ und damit gehen die Gleichungen 17, wie man sich leicht überzeugt, in die zweite und vierte der Gleichungen 16 über. Ist insbesondere $x = h = l$, also $\alpha = 1$, so geht die zweite der Gleichungen 17 über in:

$$\left(\frac{d^2 F_1}{dx^2}\right)_l = 2 \left[1 - \frac{u}{3!} (3\beta - 2) + \frac{u^2}{6!} (30\beta^2 - 36\beta + 10) - \frac{u^3}{9!} (504\beta^3 - 864\beta^2 + 468\beta - 80) + \frac{u^4}{12!} (11880\beta^4 - 26400\beta^3 + 21120\beta^2 - 7200\beta + 880) \right] \quad (18)$$

In den Gleichungen 16 und 17 kann α in Übereinstimmung mit Zahlentafel 1 die Werte $\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, 1$ an-

nehmen, während $\beta = \frac{l_1}{l} = \frac{\gamma}{\gamma} + l = x + 1$, wo x den in Zahlentafel 1 ersichtlichen Wert hat. Also nimmt β in den Gleichungen 17 und 18 die Werte: $\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2}, 3$ an.

Es wurde nun so eingerichtet, daß Gleichung 15 also die Determinante Δ , für je drei der mutmaßlichen Wurzel, wie sie das Intervall der Zahlentafel 1 angab, benachbarte Werte ermittelt wurde. In Zahlentafel 5 sind die Reihen Gleichung 15 und 16 für $\alpha = \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}$ ausgewertet, da für $\alpha = 1$ nach Gleichung 14 bloß Gleichung 18 ausgewertet zu werden braucht. Dabei wurden die Reihen bloß für jene Ziffernwerte von u berechnet, für welche man ihre Funktionswerte zwecks Berechnung von Δ benötigt.

Für dieselben Werte von α und die oben angegebenen Werte β sind nun in Zahlentafel 4, die also zwei Eingänge hat, die Gleichungen 17 berechnet. Die Werte der Zahlentafeln 5 bis 5 können einer Interpolation zugrundegelegt werden, falls andere Werte der Größen α und β vorliegen, als sie für die Berechnung dieser Zahlentafeln angenommen wurden. Die Bezeichnung am Kopfe z. B. $\left(\frac{d^2 E}{dx^2}\right)_l$ soll

darauf hinweisen, daß bloß die dimensionslosen Klammerausdrücke der Gleichungen 15, 16, 17 tafelmäßig berechnet wurden. Zahlentafel 5 gibt endlich die Werte von Δ selbst und Zahlentafel 6 die durch quadratische Interpolation ¹³⁾ ermittelten genauen Werte von $u = \frac{\gamma l^3}{EJ}$.

Man entnimmt ihr, daß diese genauen Werte in der Tat stets in das in Zahlentafel 1 durch die beiden Näherungsverfahren abgegrenzte Intervall hineinfallen und somit eine neue Bestätigung für die eingangs erwähnte vorteilhafte Eigenschaft dieser beiden Näherungsverfahren liefern. Ohne diese vorherige näherungsweise Bestimmung der Wurzelwerte wäre ihre schärfere Ermittlung, wie sie in diesem Abschnitt gezeigt wurde, wohl nur mit sehr großem Aufwand an Rechenarbeit gelungen, da man die Reihen der Gleichungen 15 bis 17 und damit die Determinante Δ für viel mehr Werte von u hätte zunächst probeweise ermitteln müssen. Zahlentafel 6, die ebenfalls zwei Eingänge hat, stellt tafelmäßig den eingangs erwähnten Zusammenhang zwischen den kritischen Werten von Eigengewicht und Einzellast dar. Gleichung 18 in Verbindung mit Gleichung 14 braucht nicht ebenfalls tabellarisch ausgewertet zu werden, sondern es könnten die Wurzelwerte u direkt nach dem Newtonschen Verfahren gefunden und damit eine nachträgliche Interpolation erspart werden. Die bezüglichen Wurzelwerte finden sich ebenfalls in Zahlentafel 6 unter $h = l$. Im übrigen braucht wohl den leicht verständlichen Zahlentafeln keine weitere Erläuterung hinzugefügt zu werden.

3. Berechnung einiger Beispiele.

Um die Anwendung der Zahlentafeln zu zeigen und die Art der Fragestellung, wie sie hier vorkommen kann, etwas zu erläutern, seien einige Beispiele durchgerechnet.

¹²⁾ Früher wurde mit u die Größe $\frac{\gamma s^3}{EJ}$ bezeichnet; ein Grund zu Verwechslungen liegt jedoch nicht vor. Die Reihen der Gleichungen 16 bis 18 sind bloß bis zu jenen Gliedern angeschrieben, deren numerische Auswertung für die erstrebte Genauigkeit bis zu 4 Dezimalen von Bedeutung war, und dann abgebrochen werden.

¹³⁾ Man vgl. H. v. Sanden, Praktische Analysis, Teubner Leipzig-Berlin 1914, S. 64.

Zahlentafel 5.

u	$\left(\frac{d^2 E}{dx^2}\right)_i \cdot l$		$\left(\frac{dE}{dx}\right)_h$			$\left(\frac{dF}{dx}\right)_h : 2l$			$\left(\frac{d^2 E}{dx^2}\right)_h \cdot l$			$\left(\frac{d^2 F}{dx^2}\right)_h : 2$			u
	$\alpha = \frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$		
1	-0,4674	0,8388		0,7953			0,7068			-0,4437			0,8631	1	
2	-0,8721	0,6883		0,7982	0,6026		0,4693	0,6651		-0,7050	-0,8389		0,8383	0,7336	2
3	-1,2182	0,5480		0,7021	0,4216		0,4544	0,6248		-1,0247	-1,1881		0,7611	0,6111	3
4	-1,5094	0,4174		0,6091	0,2519		0,4398	0,5860		-1,3233	-1,4935		0,6863	0,4955	4
5	-1,7492	0,2963	0,8600	0,5191	0,0931	0,2388	0,4254	0,5485	-1,0448	-1,6015	-1,7575	0,8727	0,6139	0,3865	5
6	-1,9412	0,1841	0,8328	0,4322		0,2366	0,4114		-1,2422	-1,8597		0,8479	0,5437		6
7	-2,0887	0,0805	0,8058	0,3482		0,2344	0,3975		-1,4358	-2,0987		0,8234	0,4758		7
8	-2,1948	-0,0149	0,7791			0,2322			-1,6257			0,7991			8

Zahlentafeln 4 und 5.

u	$\left(\frac{dF_1}{dx}\right)_h : 2l \quad \beta = 1,5$			2			2,5			3			u
	$\alpha = \frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	
1									0,6093			0,5786	1
2						0,5414			0,4849		0,3930	0,4316	2
3			0,5341			0,4512		0,3708	0,3755		0,3450	0,3067	3
4			0,4711		0,3664	0,3694		0,3325			0,3003		4
5		0,3796	0,4123		0,3366			0,2964					5
6	0,2291	0,3577		0,2217	0,3082						0,2142		6
7	0,2257	0,3366		0,2172							0,2074		7
8	0,2223			0,2127							0,2008		8

u	$\left(\frac{d^2 F_1}{dx^2}\right)_h : 2$									$\left(\frac{d^2 F_1}{dx^2}\right)_h : 2$			u
	$\alpha = \frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	
1									0,4906			0,3783	1
2						0,2748			0,0791		0,4058	-0,0959	2
3			0,2776			-0,0067		0,2946	-0,2458		0,1594	-0,4437	3
4			0,0863		0,2801	-0,2406		0,1036			-0,0562		4
5		0,3595	-0,0828		0,1330			-0,0674			0,5894		5
6	0,7605	0,2513		0,6758	-0,0021			0,5939			0,5147		6
7	0,7226	0,1494		0,6255				0,5321			-0,4423		7
8	0,6852			0,5762				0,4720					8

u	$\Delta : 4$									$\Delta : 4$			u
	$\alpha = \frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	
1									-0,4703			-0,3593	1
2						-0,2396			-0,0485		-0,2924	+0,1223	2
3			-0,2255			+0,0488		-0,1409	+0,2790		-0,0234	+0,4689	3
4			-0,0267		-0,0799	+0,2841		+0,0656			+0,1968		4
5		-0,0953	+0,1458		+0,0823			+0,2382			-0,1356		5
6	-0,1411	+0,0344		-0,0997	+0,2216			-0,0597			-0,0212		6
7	-0,0385	+0,1494		+0,0017				+0,0401			+0,0769		7
8	+0,0542			+0,0914				+0,1267					8

a) Zum ersten Hauptfall:

Es sei ein breitfüßiges T-Eisen der Profil-Nr. 10/5 von $l = 12$ m Länge gewählt. Man entnimmt den Profiltabellen ¹⁴⁾ $\gamma = 9,5$ kg/m und $J_{\min} = 18,7$ cm⁴. Ist ferner noch $E = 2\,150\,000$ kg/cm², so folgt:

$$u = \frac{\gamma l^3}{EJ} = \frac{0,095 \cdot 1728000000}{2150000 \cdot 18,7} = 4,08,$$

und man sieht daraus, da $4,08 < 7,857$ ist, daß diese Säule durch ihr Eigengewicht allein nicht gefährdet ist, wenn man allerdings hier von der Einführung eines Sicherheitsgrades absieht. Nun soll diese Säule in einer Höhe $h = 6$ m bzw. $h = 9$ m, also in der Hälfte, bzw. drei Viertel ihrer Gesamthöhe noch Einzellasten aufnehmen, und zwar so, daß entweder nur die Last in $h = 6$ m oder nur jene in $h = 9$ m Höhe die Säule beansprucht. Man soll diese Lastgrößen unter gleichzeitiger Beachtung der Eigengewichtsbeanspruchung ermitteln. Zunächst entnimmt man den Werten u der Zahlentafel 6, daß für $h = \frac{1}{2}l$ der Wert x zwischen 1

und 1,5, für $h = \frac{3}{4}l$ zwischen 0,5 und 1 liegen muß

Eine quadratische Interpolation ¹⁵⁾ im ersten und eine lineare (hier vollkommen ausreichende) im zweiten Fall ergibt: $x = 1,21$ bzw. 0,52; da nun das Gesamtgewicht γl der Säule gleich ist: $9,5 \cdot 12 = 114$ kg, so folgt die Größe der Einzellast P für $h = 6$ m zu $P = 1,21 \cdot 114$ kg = 139 kg, für $h = 9$ m zu: $P = 0,52 \cdot 114$ kg = 59,2 kg. Würde man auf die Eigengewichtsbeanspruchung keine Rücksicht nehmen, so erhielte man P nach der gewöhnlichen Eulerschen Formel:

$$P = \frac{\pi^2 EJ}{4 h^2},$$

also im Falle $h = 6$ m: $P = 276$ kg, im Falle $h = 9$ m: $P = 123$ kg, und man sieht aus dem Vergleich beider Wertepaare, daß man dadurch zu einer viel zu hohen Tragfähigkeit der Säule geführt würde.

Schwieriger zu beantworten ist die Frage nach der Länge einer Säule, die unter Beachtung der Eigengewichtsbeanspruchung eine bestimmt vorgegebene Einzellast tragen soll. Es werde z.B. die Höhe einer Säule vom Querschnitt obigen T-Profils gesucht, die an ihrem oberen

¹⁴⁾ Man vgl. etwa „Hütte“, 21. Aufl., 1. Band, S. 661.

Zahlentafel 6.

$P = \alpha \gamma l$	$h = 0$		$h = \frac{1}{4} l$		$h = \frac{1}{2} l$		$h = \frac{3}{4} l$		$h = l$		
	$\frac{\gamma l^3}{EJ}$	$\frac{\gamma l^3}{EJ}$	$\frac{Pl^2}{EJ}$	$\frac{\gamma l^3}{EJ}$	$\frac{Pl^2}{EJ}$	$\frac{\gamma l^3}{EJ}$	$\frac{Pl^2}{EJ}$	$\frac{\gamma l^3}{EJ}$	$\frac{Pl^2}{EJ}$	$\frac{\gamma l^3}{EJ}$	$\frac{Pl^2}{EJ}$
$\frac{1}{2}$	7,837	7,403	3,701	5,724	2,862	4,145	2,072	3,069	1,534		
1	7,837	6,982	6,982	4,475	4,475	2,817	2,817	1,896	1,896		
$\frac{3}{2}$	7,837	6,582	9,873	3,664	5,496	2,131	3,196	1,371	2,056		
2	7,837	6,203	12,406	3,097	6,194	1,718	3,436	1,073	2,146		
∞	—	—	39,478	—	9,870	—	4,386	—	2,467		

Ende die Last $P = 100$ kg tragen soll. Hier ist wegen des unbekanntes l (Höhe der Säule) auch x unbekannt, und man ist also genötigt, zunächst willkürliche Annahmen versuchsweise zu machen, die man natürlich so treffen wird, daß die Rechnungen sich möglichst vereinfachen. Wählen wir also z. B. $x = 1$, so ist $G = \gamma l = 100$ kg, also $l_a = 10,5$ m (der Index a soll auf die willkürliche Annahme hinweisen). Für $x = 1$ finden wir aber in Zahlentafel 6 unter

$$h = l: u = \frac{\gamma l^3}{EJ} = 1,896$$

Dies gestattet jetzt, l zu berechnen; wir finden

$$l_b = \sqrt[3]{\frac{1,896 \cdot 2150000 \cdot 18,7}{0,095}} = 927 \text{ cm} = 9,27 \text{ m}$$

Hätten wir mit der willkürlichen Annahme $x = 1$ die richtige Wahl getroffen, so hätte sich $l_b = l_a$ ergeben. Wir wiederholen also die Rechnung mit einer zweiten Annahme $x = 1,5$, also $G = \gamma l = 67$ kg, $l_a = 7$ m, wozu wir aus Zahlentafel 6 für $h = l$ den Wert $u = 1,571$ entnehmen und damit neuerdings

$$l_b = \sqrt[3]{\frac{1,571 \cdot 2150000 \cdot 18,7}{0,095}} = 835 \text{ cm} = 8,35 \text{ m}$$

berechnen. Durch analytische oder graphische lineare Interpolation finden wir jetzt den wahren Wert der Länge l leicht zu $l = 8,85$ m, also

$$G = \gamma l = 84 \text{ kg}, \quad x = \frac{P}{\gamma l} = \frac{100}{84} = 1,19,$$

wozu durch quadratische Interpolation aus den Werten unter $h = l$ der Zahlentafel 6 folgt: $u = 1,724$, womit man den Wert $l = 8,85$ m kontrollieren kann:

$$l = \sqrt[3]{\frac{1,724 \cdot 2150000 \cdot 18,7}{0,095}} = 898 \text{ cm} = 8,98 \text{ m}$$

Die geringe Abweichung gegen den Wert $l = 8,85$ m erklärt sich daraus, daß wir nur zwei Annahmen machten und deshalb zur Ermittlung der Länge l bloß linear interpolieren konnten, und es ist klar, daß man durch mehrere unabhängige Annahmen auch diesen noch verbliebenen kleinen Fehler noch verkleinern kann. Würde man auch hier vergleichsweise auf die Beachtung der Eigengewichtsbeanspruchung verzichten, so erhielte man nach der gewöhnlichen Eulerschen Formel:

$$l = \sqrt{\frac{\frac{\pi^2}{4} \cdot 2150000 \cdot 18,7}{0,095}} = 996 \text{ cm} = 9,96 \text{ m}$$

also — wie voraussuchen — einen zu großen Wert.

b) Zum zweiten Hauptfall:

Es sei wie in ³⁾ eine Leiter von $\gamma = 7,2$ kg/m laufendem Gewicht und $EJ = 2160$ kgm² Biegesteifigkeit ihrer Tragholme gegeben (entsprechend $E = 100000$ kg/cm²

für Holz). Ihre gesamte Länge l sei 12 m, ihr Gewicht $G = \gamma l$ ist somit 86,4 kg. Es ist gefragt, wie hoch diese Leiter ein Mann, dessen Gewicht wir gleich dem der Leiter annehmen können, emporsteigen kann, wenn auch die Eigengewichtsbeanspruchung der Leiter beachtet werden soll. Zunächst findet man:

$$u = \frac{\gamma l^3}{EJ} = \frac{7,2 \cdot 1728}{2160} = 5,75.$$

Aus Zahlentafel 2 entnimmt man für $h = l$ und $x = 1$ daß $5,75 < 6,20$, also kleiner als die untere Grenze des wahren Wurzelwertes für u ist. Der Mann wird also bis zum oberen Ende der Leiter emporsteigen können. Rechnet man aber mit nur doppelter Sicherheit bezüglich der Nutzlast, setzt also $P = 170$ kg, so ist $x = 2$, und man sieht aus Zahlentafel 2, daß dann der Wert 5,75 zwischen den Werten 5,90 und 5,12 für $h = \frac{3}{4} l$ zu liegen kommt und daß daher die zulässige Höhe, bis zu welcher der Mann die Leiter emporsteigen darf, falls mit doppelter Sicherheit gerechnet würde, gleich ist: $h = \frac{3}{4} l = 9$ m.

Würde man auch hier das Eigengewicht vernachlässigen, so läge der Fall der Abbildung 6 mit $P_1 = 0$ vor, und man hätte also bloß nötig, die dazu gehörige transzendente Gleichung 6, in der wegen $l_1 = l - l_2$ als einzige Unbekannte l_2 aufträte, nach dieser Unbekannten aufzulösen. Man kann aber statt dessen auch die Lasten berechnen, die die Leiter in $h = \frac{3}{4} l$ und in $h = l$ ertragen kann, und dann näherungsweise genau genug durch lineare Interpolation die wahre Höhe des Angriffspunktes der gegebenen Last $P = 170$ kg wie folgt ermitteln: Für $h = \frac{3}{4} l$ folgt nach den früher angegebenen Beziehungen:

$$P = 15,326 \frac{EJ}{l^2} = 230 \text{ kg},$$

für $h = l$ folgt:

$$P = \pi^2 \cdot \frac{EJ}{l^2} = 148 \text{ kg}.$$

Für $P = 170$ kg ergibt sich also als Höhe des Lastangriffspunktes: $h = 10,85$ m, also wieder ein zu hoher Wert, wie sich aus dem Vergleich mit dem unter Beachtung der Eigengewichtsbeanspruchung ermittelten Wert $h = 9$ m ergibt.

Zusammenfassung. Es wird für den Fall des vertikalen, am unteren Ende fest eingespannten, am oberen Ende frei beweglichen Stabes und für den Fall des vertikalen, an beiden Enden einfach festgehaltenen Stabes der Einfluß der Eigengewichtsbeanspruchung auf die Tragfähigkeit des Stabes nachgewiesen. Mittels zweier Näherungsverfahren werden in beiden Fällen die kritischen Wurzelwerte auf bestimmte Intervalle eingegrenzt, im ersteren Fall überdies noch die Wurzelwerte durch Integration der entsprechenden Differentialgleichung mittels Reihen genauer festgelegt. Durch ausgewählte Beispiele wird gezeigt, daß die Nichtbeachtung der Eigengewichtsbeanspruchung in manchen Fällen auf eine zu hohe Einschätzung der Tragfähigkeit des Stabes führen kann.

Bemerkt möge zum Schlusse noch werden, daß man durch Anwendung der beiden hier verwendeten Näherungsverfahren den praktisch wichtigen Fall der Berechnung der Gittermasten mit Seilabspannung, wobei allerdings mehrere Einzellasten neben der Eigengewichtsbelastung wirksam sind, wenn auch nicht streng, so doch mit jeder erwünschten Genauigkeit berechnen kann.





Vogelschau auf die Gesamtanlage von Norden.



Vogelschau auf die Gesamtanlage von Westen.

DIE GROSSMARKTHALLE IN FRANKFURT AM MAIN.
Architekt Baudirektor Professor Elsaesser.

Zeitschrift für Baugesen. 78. Jahrgang 1928. Heft 11.