DIE BAUTECHNIK

19. Jahrgang BERLIN, 31. Januar 1941 Heft 5

Alle Rechte vorbehalten.

Über Bodenuntersuchungen bei Entwurf und Ausführung von Ingenieurbauten.

Von Dr. B. Tiedemann, Berlin.

(Schluß aus Heft 4.)

3. Gut bindige Böden.

Nach den Sandböden, den sogenannten Reibungsböden, besprechen wir nun gleich die ausgesprochen bindigen Böden, die Tonböden, um erst danach auf die dazwischenliegenden schwach bindigen Böden einzugehen. Die Eigenschaften der letzteren lassen sich dadurch in manchem leichter erklären.

Mit Bindigkeit (Haftung, Kohärenz) bezeichnet man in der Bodenkunde die Kraft, mit der die verschiedenartigen Bodenteilchen aneinander haften. Sie ist von besonderer Bedeutung für die Einschätzung der Böden, ganz besonders für bautechnische Zwecke. Die Bindigkeit nimmt mit abnehmender Korngröße zu und ist abhängig vom Wassergehalt des Bodens und dem Gehalt an feinsten kolloiden Teilchen.

Mit Ton bezeichnet man ein Gemenge von kolloidalen, zum Teil deutlich kristallinen Verwitterungsergebnissen aluminiumhaltiger Mineralien (besonders von Feldspaten in den verschiedensten Stufen der Umbildung) mit feinstem Staub mechanisch zerriebener Mineralien, wie Quarz, Glimmer usw., das oft auch von Humusteilchen durchsetzt ist. Die Erforschung des Feingefüges der kolloidalen Tonmasse hat gezeigt, daß zur Zeit wenigstens vier Tonmineralien röntgenoptisch und chemisch unterscheidbar vorliegen: Kaolinit, Montmorillonit, ein „unbekanntes Tonmineral" und Halloysit. Je nach dem Vorherrschen des einen oder anderen Tonminerals ist das Verhalten der Tonböden verschieden. In zu Rutschungen neigenden Böden ist Montmorillonit wiederholt festgestellt worden, ein Tonmineral, das besonders starke Wasserhüllen anlagert[9]).

Ton findet sich weit verbreitet in jüngeren und älteren Schichten:

Mit Schlick und Klei bezeichnet man die alluvialen Tone der Überschwemmungsgebiete großer Flüsse (Flußton, Auebböden) und die schlammigen Absätze der Haffe und der Küsten (Nordseemarschen). Dieser Ton ist zum Teil recht reich an organischen Bestandteilen. Auch der aus stehendem Wasser abgeschiedene, an Kalk (Kalziumkarbonat) oft reiche „Wiesenton" wäre hier zu nennen.

Als Ablagerung des Diluviums (Absätze aus Schmelzwässern in Urstromtälern, Stauseen und im Meere) sind Tone in weiter Verbreitung und großer Mächtigkeit im norddeutschen Flachland anzutreffen.

Als Absatz aus Meeren, auch aus Süßwasserbecken findet sich Ton im Tertiär, in der Kreide und im Jura.

Unter den Begriff Tonböden fallen folgende Bildungen:

Kaolin- oder Porzellanerde. Fast reine Tonmasse. Entsteht durch Einwirkung von Humussäuren oder von kohlensäurehaltigem Wasser aus feldspatreichen kristallinen Gesteinen (Porphyren, Basalten, Graniten) oder auch durch Zersetzung von Feldspaten unter der Einwirkung von Gasen oder Hitze. Große Kaolinlager unter Braunkohlebedeckung (Gegend von Halle) oder unter moorigen Massen. Weißgraue Farbe, erdig, mürbe.

Der gemeine Ton ist, wie oben bereits angegeben, ein Gemenge von Tonmasse mit zahlreichen, zu feinstem Staub zerriebenen Gesteinsteilen verschiedenster Art. Handelt es sich bei Kaolin mehr um Bildungen an Ort und Stelle, so hier um verschwemmte Teile. Je nach dem Verhältnis der Gemengteile sind die Bodeneigenschaften recht verschieden. Fetter Ton, reich an Tonmasse, fühlt sich geschmeidig (fettig) an, magerer Ton rauher infolge Beimengung nicht völlig staubfeiner Gesteinsteile. Seine Farbe ist für gewöhnlich grau, aber auch rötlich, grünlich, bläulich, durch Beimengung von Braunkohlenstaub auch pechschwarz.

Lehm ist ein durch feinstes Brauneisenerz gelb bis braun gefärbter Ton mit mehr oder minder reichlichen Beimengungen von Sand und Staub. Man unterscheidet Verwitterungslehm, wie Geschiebelehm und Lößlehm (s. später) und verschwemmte Lehme, wie Gehängelehm und Auelehm.

Als Letten bezeichnet man schwach geschieferte Tone älterer Schichten (Braunkohlenletten des Tertiär, Feuerletten des Keupers usw.)

Mergel sind bindige Böden, die kohlensauren Kalk als Gemengteil enthalten: Tonmergel, Lehmmergel (auch bei schwach bindigen und humosen Böden mit Kalkgehalt spricht man von Mergel, Sandmergel, Schluffmergel, Moormergel usw.). Bei recht hohem Kalkgehalt (mehr als 60% $CaCO_3$) spricht man von Kalkmergel. Entsprechend der Zugehörigkeit zu den geologischen Schichten spricht man von Rötmergel, Keupermergel, Kreidemergel usw.

Sehr weit verbreitet im norddeutschen Flachlande ist der Geschiebemergel, die Grundmoräne des Inlandeises der Diluvialzeit. Er setzt sich zusammen aus Bruchstücken der Oberflächengesteine Fennoskandiens im Gemenge mit dem vom Grunde der Ostsee mitgerissenem Steingeröll, alles auf dem weiten Förderwege je nach Härte des Gesteins mehr oder weniger zerkleinert, abgerollt, zermahlen. Die Zusammensetzung des Geschiebemergels ist daher nicht nur gesteinskundlich von größter Mannigfaltigkeit, sondern auch in bezug auf seine Körnung. In ihm finden sich Gesteinstrümmer aller Körnungen von den größten Blöcken und Steinen bis zu Kies, Sand, Schluff und Ton, alles gut abgerollt und ineinander gewirkt. Die Hauptmasse bildet meist der Sand, der aber immer mit stärkeren oder geringeren Mengen von Ton durchsetzt ist, eingebettet in dieser Hauptmasse liegen dann größere „Geschiebe". Je nach dem Vorherrschen des einen oder anderen Anteils bezeichnet man den Boden als tonigen (stark tonigen) oder sandigen (stark sandigen) Geschiebemergel. Der Kalkgehalt beträgt 3 bis 12%, kann auch auf 20 und mehr steigen. Der Geschiebemergel verwittert oberflächlich zu Geschiebelehm. Infolge Zersetzung durch Frost und Auslaugung durch Tagewässer werden lösliche Bestandteile, vor allem der Kalk, fortgeführt. Auch sind die Eisenverbindungen dort zu Oxydhydrat verändert, so daß die graue Farbe des Geschiebemergels in gelbbraune und rostige Farbtöne übergeht.

Die Haupteigenschaft des Tones ist seine große Bildsamkeit, er ist innerhalb bestimmter Feuchtigkeitsgrenzen gut bildsam (plastisch), d. h. er bildet einen knet- und formbaren Teig und läßt sich zu Drähten ausrollen. Je mehr die Nebenbestandteile, z. B. Quarz, Glimmer usw. vorwiegen, um so mehr verliert der Ton die den Kaolin auszeichnende Eigenschaft der Bildsamkeit (Plastizität). Der Bildsamkeitsbereich eines Tones wird begrenzt einmal durch die Fließgrenze, die den Wassergehalt angibt, bei dem die Formbarkeit aufhört und der Boden schon bei leichter Erschütterung anfängt, breiig auseinanderzufließen, dann durch die Rollgrenze, die den Wassergehalt angibt, bei dem die Formbarkeit aufhört und der Boden bei dem Versuch, ihn in 3 mm starke Drähte auszurollen, zu zerkrümeln beginnt. Der Unterschied der beiden Wassergehaltszahlen gibt die Bildsamkeitszahl (Plastizitätszahl). Der Grad der Bildsamkeit (Plastizität) eines Tonbodens hängt auf das engste zusammen mit Art und Anteil der kolloidalen Tonmasse, wird allerdings auch durch den Gehalt an Humusstoffen beeinflußt. Die Bildsamkeit tritt nur in Erscheinung, wenn die Kolloide feucht, also von Flüssigkeitshüllen umgeben sind. Je nach der Art des vorherrschenden Tonminerals ist die Wasseranlagerung verschieden.

Wird ein feuchter Tonkörper getrocknet, so schwindet er, kolloidreiche Tone werden dabei rissig. Beim Verdunsten des Porenwassers treten Kapillarkräfte auf, die die Bodenteilchen fest aneinanderziehen, der Ton erfährt eine Verdichtung, er schrumpft. Ist der Grad der Verdichtung erreicht, der der Größe der auftretenden Kapillarkräfte entspricht, dann findet auch bei weiterem Austrocknen eine Raumänderung nicht mehr statt. Die Größe der auftretenden Kapillarkräfte ist abhängig von der Feinheit des Bodens. Der Wassergehalt, bei dem der Ton beim Austrocknen zu schrumpfen aufhört, wird als Schrumpfgrenze bezeichnet (Atterbergsche Zustandsgrenzen). — Nach Vorschlag von Scheidig[10]) werden für die Zustandsformen bindiger Böden folgende Bezeichnungen gewählt. Liegt ein Boden mit seinem Wassergehalt unter, der Schrumpfgrenze, so wird er als „hart" bezeichnet, zwischen Schrumpf-

[9]) Näheres in R. Seifert, J. Ehrenberg, B. Tiedemann, K. Endell, U. Hofmann, D. Wilm: Bestehen Zusammenhänge zwischen Rutschneigung und Chemie von Tonböden? Mitteil. d. Preuß. Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Heft 20, Berlin 1935, Eigenverlag, und in K. Endell, W. Loos, H. Meischeider, V. Berg: Über Zusammenhänge zwischen Wasserhaushalt der Tonminerale und bodenphysikalischen Eigenschaften bindiger Böden. Veröffentl. des Instituts der Deutschen Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik an der Techn. Hochschule Berlin, Heft 5, Berlin 1935, Julius Springer.

[10]) Kögler, F., und A. Scheidig, Baugrund und Bauwerk, 2. Aufl. S. 53. Berlin 1939, Wilh. Ernst & Sohn.

und Ausrollgrenze als „halbfest". Der Bildsamkeitsbereich zwischen Roll- und Fließgrenze wird in vier gleiche Teile geteilt, die mit „steif-", „weich-", „sehr weich-" und „flüssigbildsam" benannt werden. Mit einem Wassergehalt oberhalb der Fließgrenze ist der Boden „flüssig". Die festgestellten Zustandsgrenzen und der Wassergehalt des Bodens im ungestörten Zustande werden zweckmäßig als Balkenschaubild aufgetragen (Abb. 8). Man erhält so einen guten Anhalt für das erste Ansprechen und Einschätzen der Bildsamkeit und der Zustandsform des Tones.

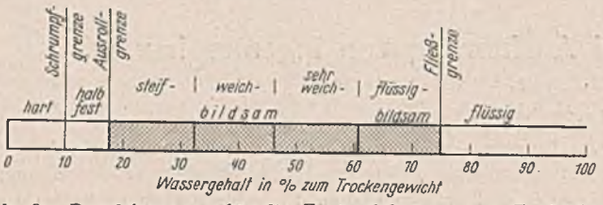


Abb. 8. Bezeichnungen für die Zustandsformen von Tonböden.

Als Behelfsregel gilt nach DIN 1054, § 4, Tafel 1, Anm. 2:

Breiig ist ein Boden, der in der geballten Faust gepreßt zwischen den Fingern hindurchquillt.

Weich ist ein Boden, der sich leicht kneten läßt.

Steif ist ein Boden, der nur schwer knetbar ist, sich aber in der Hand zu 3 mm dicken Walzen ausrollen läßt, ohne zu reißen oder zu bröckeln.

Halbfest ist ein Boden, der beim Versuch, ihn zu 3 mm dicken Walzen auszurollen, zwar bröckelt und reißt, der aber doch noch feucht ist und deshalb dunkel aussieht.

Hart ist ein Boden, der ausgetrocknet ist und deshalb hell aussieht und dessen Schollen in Scherben zerbrechen.

Als Steifegrad (Konsistenzzahl) k gilt der Ausdruck

$$k = \frac{\text{Fließgrenze} - w}{\text{Bildsamkeitszahl}},$$

worin w der Wassergehalt des Bodens ist in % des Trockengewichtes.

Mit den Bezeichnungen nach Scheidig ist bei

$k = 0$ bis 0,25 der Boden flüssig,
$= 0{,}25$ „ 0,50 sehr weich,
$= 0{,}50$ „ 0,75 weich,
$= 0{,}75$ „ 1,00 steif,
$= > 1{,}00$ halbfest.

Die Bildsamkeitszahlen liegen bei fetten, hochbildsamen Böden im allgemeinen, sofern es sich um Mineralböden handelt, zwischen 35 bis 70, bei Böden mit reichlich organischen Beimengungen liegen die Werte höher. Noch gut bildsame Böden, wie magere Tone und Lehme, zeigen Plastizitätszahlen von 12 bis 35. Auf die Bestimmung der Zustandsgrenzen im Prüfraum wird später eingegangen.

Tonböden in halbfester und steifbildsamer Zustandsform gelten im allgemeinen noch als guter Baugrund. Die zulässige Bodenbeanspruchung ist abhängig von dem Setzungsmaß, das man für das einzelne Bauvorhaben zulassen kann und ist von Fall zu Fall zu bestimmen. Eingehende Angaben enthalten die Richtlinien für die zulässige Belastung

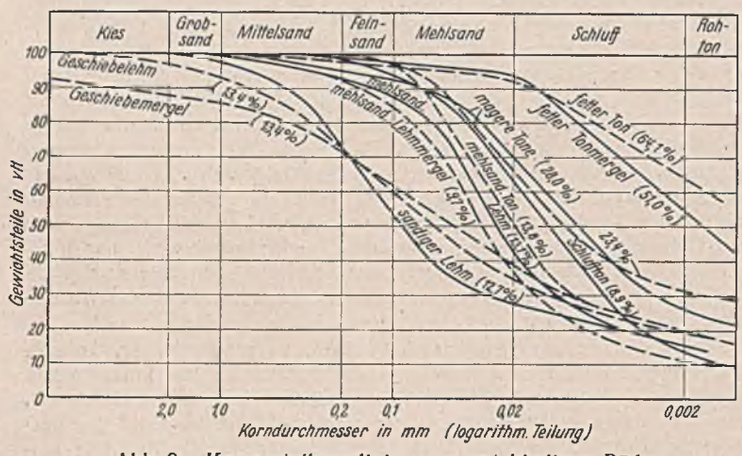


Abb. 9. Kornverteilungslinien von gut bindigen Böden.
Neben der Benennung der Böden ist in Klammern die Bildsamkeitszahl (Plastizitätszahl) angegeben.

des Baugrundes und der Pfahlgründungen (DIN 1054)[11]. In Abb. 9 sind einige Beispiele für die Kornzusammensetzung gut bindiger Böden gegeben.

[11]) Bautechn. 1940, Heft 49, S. 561, und Ztrlbl. d. Bauv. 1940, als Beilage zu Heft 39 und mit einem erläuternden Aufsatz von Oberregierungs- u. -baurat Wedler in Heft 40, S. 655. Beides zusammen als Sonderdruck im Verlag von Wilh. Ernst & Sohn, Berlin W9, erschienen.

4. Schwach bindige Böden.

Wir haben die nicht bindigen und die gut bindigen Böden besprochen und kommen nun zu der Übergangsgruppe zwischen beiden, den schwach bindigen Böden. Als praktisches Unterscheidungsmerkmal hatten wir für die Abgrenzung der einzelnen Gruppen angegeben: Proben nicht bindiger Böden zerfallen beim Trocknen, Proben schwach bindiger Böden backen beim Trocknen zusammen, lassen sich danach aber mehr oder weniger schwer zwischen den Fingern zerreiben, gut bindige Böden werden beim Trocknen hart und fest.

Von den reinen Sandböden gibt es in der Natur alle Übergänge zu den Tonböden, Lehmböden und Mergeln. Man spricht von einem schwach tonigen Sand (Feinsand, Mehlsand), von einem tonigen, einem stark tonigen Sand oder stark sandigen Ton, je nach Gehalt an Rohton und der damit verknüpften Bindigkeit. Entsprechendes gilt bei Lehmbeimengungen und Gehalt an Mergel: z. B. stark lehmiger Feinsand oder schwach mergeliger Mehlsand. Feste Grenzen lassen sich für die einzelnen Gruppen nicht festlegen, da, wie wir oben gesehen haben, die Bindigkeit eines Bodens nicht allein bestimmt ist durch die Menge des Rohtongehalts, sondern durch die Art der in ihm enthaltenen Tonmasse. Auch zeigt für gewöhnlich bei dem gleichen Tongehalt ein Sandboden mit großer innerer Oberfläche (also von feinem und feinstem Korn) geringere Bindigkeit als ein Sandboden von z. B. Mittelkorn mit einer weit geringeren inneren Oberfläche.

Von besonderer Art sind die Staub- und Schluffböden, sie bereiten erdbautechnisch und wasserbautechnisch oft große Schwierigkeiten; sie fließen in Böschungen schon bei geringem Strömungsdruck des Porenwassers breiartig auseinander. Die vorherrschenden Gemengteile dieser Böden liegen im Kornbereich 0,06 bis 0,002 mm. Es handelt sich größtenteils um vom Winde ausgesonderte Ablagerungen wie z. B. den Löß oder um Ausschlämmungen aus Gletscherablagerungen wie Flottlehme (Flottsande). Zu nennen wäre hier auch die im oberschlesischen Bergbau gefürchtete Kurczawka, ein toniger Schluffsand bis Schluffton.

Gerade bei den schwach bindigen Böden bestehen oft Zweifel, zumal wenn sie wassererfüllt sind, ob sie als Bauwerksträger geeignet sind, wie sie sich beim Abbau verhalten werden, wie ihre Standfestigkeit in Unterwasserböschungen ist und ähnliches. Es ist deshalb von großem Wert, das Verhalten dieser Böden schon während der Schürfungen und Bohrungen eingehend zu beobachten und ihre Kornzusammensetzung richtig anzusprechen. Das Aufschütteln der Probe im Prüfglas, wie wir es für die erste Untersuchung der nicht bindigen Böden empfahlen, führt hier nicht mehr zum Ziele. Diese Böden haben oft einen Rohtongehalt von 10 bis 20% und bedürfen dann zur Kornfeststellung schon einer besonderen Aufbereitung; auch genügt der kurze Fallweg im Prüfglas nicht, um die verschiedenen feinen Kornanteile hinreichend voneinander zu trennen. Hier hat Spoerel[12]) nun ein Baustellen-Schlämmverfahren entwickelt. Dem Schlämmgut wird „Leitkorn" beigemengt, das sind Sande des Fein- oder Mehlsandbereichs von bestimmter Körnung, verschieden angefärbt. Das Ganze wird in einem Fallrohr von etwa 0,8 m Länge ausgesondert. Mit Hilfe des „Leitkorns", das sich als farbiger Streifen in dem abgesetzten Schlämmgut einstellt, lassen sich die vorherrschenden Korngruppen der feinen und feinsten Sande nach Korndurchmesser und anteilsmäßig leicht abschätzen (Abb. 10). Die tonhaltigen Teile,

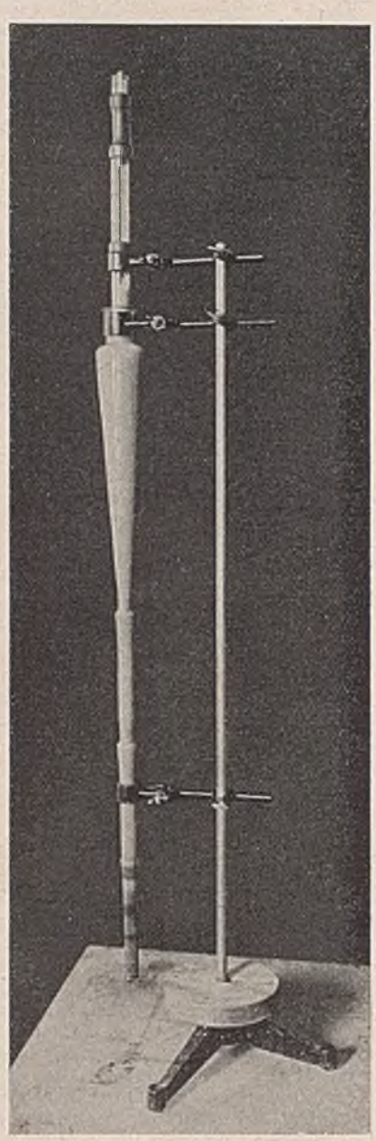


Abb. 10. Schlämmröhre nach Spoerel.

[12]) Mit Einverständnis von Herrn Spoerel wird hier über das Verfahren erstmalig berichtet.

die beim Absitzvorgang im Fallrohr länger in der Schwebe bleiben, etwa die Teilchen, die kleiner sind als 10 μ, werden in zwei Meßkolben bestimmt. Wir gehen im nächsten Abschnitt näher auf das Verfahren ein.

Beispiele für die Benennung schwach bindiger Böden auf Grund ihrer Kornzusammensetzung bringt die nachstehende Auftragung:

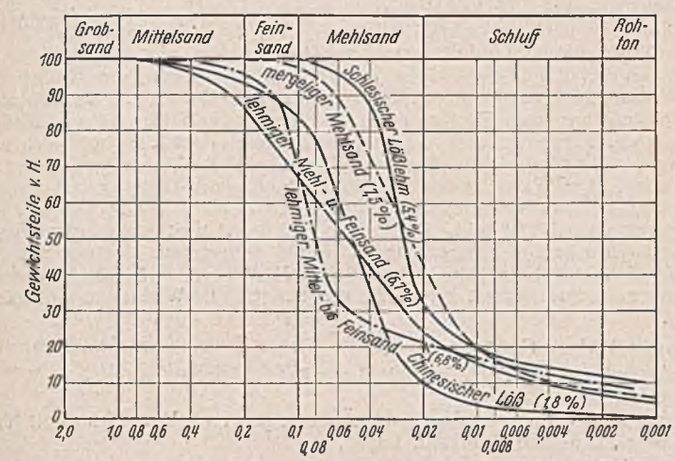


Abb. 11. Kornverteilungslinien von schwach bindigen Böden.
Neben der Benennung der Böden ist in Klammern die Bildsamkeitszahl (Plastizitätszahl) angegeben.

4. Humus- und Faulschlammböden.

Wir kommen nun zu der zweiten Gruppe der unverfestigten Absatzgesteine, den unverfestigten, organisch entstandenen Bildungen, die wir als Humusböden und Faulschlammböden kennen. Da die Inanspruchnahme dieser Böden als Baustoff im Erdbau und als Bauwerksträger nur in Sonderfällen in Frage kommt, soll hier nur kurz auf sie eingegangen werden. Zudem wird die Untersuchung dieser Böden auf Humusgehalt, Verdichtungsfähigkeit usw. kaum Aufgabe der Baustelle sein, sondern wird eingehend in der Versuchsanstalt vorgenommen werden müssen.

Die Humusböden werden eingeteilt in reine Humusböden der Niederungs- (Flach)-, Übergangs- und Hochmoore und in Moorerden (anmoorige Böden), bei denen der Humus mit Sand, Lehm und Ton durchsetzt ist. Es gibt hier wieder alle Übergänge von den reinen Humusböden über Moorerden, humose Mineralböden zu den reinen Mineralböden. Je mehr die mineralischen Bestandteile hinter die verbrennbaren zurücktreten, um so geringer ist das Raumgewicht des Bodens im getrockneten Zustande. Das Wasserhaltevermögen der Humusböden ist sehr hoch.

Faulschlamm (Mudde, Sapropel) besteht aus Resten von Teichlinsen, Nixkräutern, Seerosen und ähnlichen Pflanzen, die zum großen Teil von Wassertieren zerkleinert wurden, Anhäufungen von Kot und Leichen der Wassertiere und Beimengungen von Sand und Ton, die teils durch Wind, teils durch Wasser zugeführt wurden. Das Ganze bildet als gallertartige Masse den Bodensatz stehender oder wenig bewegter, also sauerstoffarmer Gewässer. Oft finden sich in der Mudde zerkleinerte Torfstückchen, die vom Ufer abgespült wurden. Man unterscheidet Torfmudde, Tonmudde, Sandmulde, Kalkmudde usw. je nach dem Hervortreten des einen oder anderen Hauptgemengteiles. Überwiegen die mineralischen Bestandteile, dann spricht man von faulschlammhaltigem Ton, faulschlammhaltigem Mergel, faulschlammhaltigem oder schwach oder stark faulschlammhaltigem Feinsand usw. Die Kalkmudde führt auch die Bezeichnung Wiesenkalk, Alm, Seekreide, Süßwasserkalk, Faulschlammkalk, sie ist eine schlammige, nach dem Trocknen kreideartige Masse. Oft ist der Wiesenkalk mit größeren Mengen von eingeschwemmtem Ton durchsetzt, man spricht dann von „Wiesenmergel". Bei starken Beimengungen von pflanzlichen Resten erhält der Kalk eine dunkle Färbung, man bezeichnet ihn dann auch als „Moormergel".

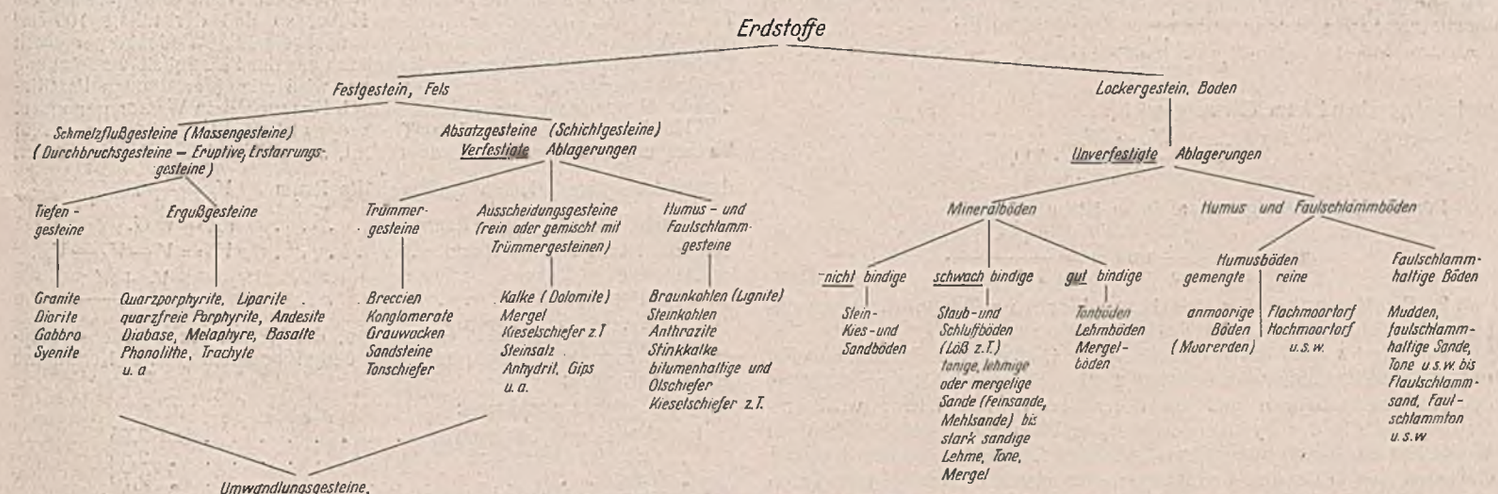
Zur besseren Übersicht ist die vorstehend gegebene Einteilung der unverfestigten Ablagerungen nochmals tafelmäßig zusammengefaßt und in einer Gesamtübersicht der Erdstoffe (mit Ausnahme der Erze) den verfestigten Ablagerungen gegenübergestellt (Tafel 5).

Durch Altern und durch chemische und physikalische Veränderungen gehen die unverfestigten Ablagerungen in die verfestigten über (vgl. Tafel 2, S. 44), um im späteren Ablauf des Erdgeschehens erneut der Zertrümmerung, Verfrachtung und Aufbereitung anheimzufallen. Auf die hier der Übersicht wegen gebrachte Einteilung der Erdstoffe soll im Rahmen eines späteren Aufsatzes eingegangen werden. Änderungen in der Einteilung des Festgesteins bleiben vorbehalten.

IV. Die Untersuchung der Bodenproben auf der Baustelle und das dazu erforderliche Gerät.

Die Durchführung von Pump- und Sondenversuchen.

Zur Einrichtung jeder Großbaustelle gehört heute ein Raum für die Untersuchung (Prüfraum) und genügende Räume für die übersichtliche Aufbewahrung der Bodenproben (Bohrprobensammlung, Bohrarchiv). Für diese Räume ist möglichst gleichbleibende Temperatur und hoher Feuchtigkeitsgehalt erwünscht. Man legt sie deshalb gerne in das Kellergeschoß massiver Gebäude, sofern sich dieses nach Bauhöhe, Grundwasserverhältnissen usw. als Prüfraum und für Probenaufbewahrung gut ausbauen läßt. Stehen Kellerräume nicht zur Verfügung, so sollten nach Möglichkeit Räume gewählt werden, die nicht unmittelbar der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, also nach Norden liegen. Stehen nur Holzbaracken zur Verfügung, so werden diese — wenn möglich —



Tafel 5. Gesamtübersicht der Erdstoffe.

In den Bohrverzeichnissen gehen die Bezeichnungen Moor und Torf oft durcheinander. Die Bezeichnung „Moor" ist als geologischer Begriff, „Torf" als gesteinskundlicher Begriff festgesetzt. Die Moore bestehen aus Torf! Auf den Torfbildungsvorgang soll hier nicht weiter eingegangen werden. Niederungs- oder Flachmoore zeigen Graswüchsigkeit (Grünlandsmoore) oder Laubwald, während Hochmoore bestanden sind mit Moosen und Flechten mit Heidekraut, mit verkümmerten Birken und Kiefern.

unter Bäumen aufgestellt. Anderseits ist auch Vorsorge zu treffen, daß die Räume im Winter frostfrei bleiben, da sich die Proben durch Frostwirkung verändern und die Gläser, in denen nasse Böden aufbewahrt werden, bei Eisbildung leicht zerspringen. Für die Prüfstelle werden zwei Prüfräume von etwa je 20 m² Grundfläche genügen; die Aufbewahrungsräume richten sich nach Art und Umfang des Bauvorhabens. Weiter ist auch dafür Sorge zu tragen, daß an der Bohrstelle selbst die Proben nicht Sonne, Regen oder Frost ausgesetzt zu werden brauchen. Neben dem Aufenthaltsraum für die Arbeiter ist auch noch ein Abschlag erforderlich, in dem die Bohrlisten ordnungsmäßig geführt werden können, die Proben in die Behälter eingebracht und sorgfältig beschriftet werden können. Die ersten Vorbestimmungen über Bodenart, Kalk-

gehalt u. ä. müssen hier gleich getroffen werden können, die Proben wandern dann weiter zur Prüfstelle und werden dort näher untersucht oder nach guter Verpackung an die Versuchsanstalt weitergeleitet. Je nach Weitläufigkeit der Baustelle werden die Bohrbuden mehr oder weniger oft versetzt werden müssen, sie müssen gut zerlegbar sein. In vielen Fällen, so bei Straßen- und Eisenbahnbauten, wo die Bohrstellen weit auseinander liegen, werden die Bohrbuden fahrbar gebaut. Auch kann es in vielen Fällen von Vorteil sein, auch die Prüfstellen in einem Untersuchungswagen unterzubringen. Entsprechend der Wichtigkeit der Bodenuntersuchungen muß eben genügende Sorgfalt auf die einwandfreie Entnahme und den Versand der Proben gelegt werden und die hierzu erforderlichen Einrichtungen müssen so umfassend getroffen werden, daß nicht durch Verwechslungen, schlechte Beschriftung, Austrocknen usw. Proben für die Untersuchung ausfallen oder zu einem falschen Bild über die Untergrundverhältnisse führen.

Die Untersuchung der Bodenproben an der Baustelle wird sich auf folgende Feststellungen erstrecken:

1. Bestimmung des Wassergehalts, mit dem der Boden ansteht. Wie aus Abschnitt III hervorgeht, ist der Wassergehalt ein wichtiger Wert für die Angabe der Zustandsform bindiger Böden. Der Wassergehalt eines Bodens wird angegeben in % zum Trockengewicht (Gewicht der festen Teile) oder in % zum Gesamtgewicht (feste Teile und Wasser). Es ist stets besonders zu vermerken, ob die angegebenen Hundertteile auf Trockengewicht oder Gesamtgewicht bezogen sind.

Ausführung:

Zur Feststellung des Wassergehalts dienen Schälchen aus Jenaer Glas (Abb. 12). Frische Proben sind bis zur Einwage gegen Wasserverlust durch Verdunsten mit einem Uhrglas abzudecken. Das Trocknen der Probe geschieht im Trockenschrank bei 105°. Vom Trockenschrank kommt die Probe in den „Exsikkator" zur Abkühlung über Chlorkalzium, da sich sonst beim Wiegen Feuchtigkeit aus der Luft an der warmen Probe niederschlägt.

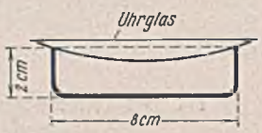


Abb. 12. Wiegeschälchen.

Erforderliches Gerät:

50 Trockenschälchen (Jenaer Glas),
10 Uhrgläser,
1 Feinwage (1 kg Tragfähigkeit) mit Gewichtsatz,
1 Trockenschrank mit doppelten Wänden, elektrisch heizbar, selbsttätige Regelung. Ist kein elektrischer Strom vorhanden: Trockenschrank mit doppelten Wänden, hart gelötet, für Heizflüssigkeiten verschiedenen Siedepunktes benutzbar. Heizung mit Gas, Spiritus oder Petroleum,
1 Exsikkator, zum Trocknen mit Chlorkalzium.

Auswertung:

Ist W_n das Gewicht der nassen Probe
und W_{tr} das Gewicht der Probe nach Trocknung, dann ist der Wassergehalt der Probe in Hundertstel zum Trockengewicht:

$$w = \frac{W_n - W_{tr}}{W_{tr}} \cdot 100$$

und entsprechend zum Gesamtgewicht

$$\overline{w} = \frac{W_n - W_{tr}}{W_n} \cdot 100.$$

Für die Umrechnung von w in $\overline{w}$ ist zu merken:

$$w = \frac{100\,\overline{w}}{100 - \overline{w}} \quad \text{und} \quad \overline{w} = \frac{100\,w}{100 + w}.$$

2. Bestimmung der mittleren Wichte s (des mittleren spezifischen Gewichts) der festen Teile des Bodens.

Der Wert s wird bei Bestimmung der Dichte der Lagerung und bei erdstatischen Berechnungen benötigt zur Errechnung des Raumgewichts γ, des Hohlraumgehalts n und der Porenziffer ε. Die Wichte wird entweder mit Hilfe des Pyknometers[13]) in Wasser ermittelt (Kochen auf Wasserbad zur Austreibung der anhaftenden Luft) oder, für die Baustelle einfacher, mit Hilfe des Erdmenger-Mannschen Geräts[14]) in Tetrachlorkohlenstoff. Diese organische Flüssigkeit hat die Fähigkeit, dem Boden die anhaftende Luft zu entziehen. Bei feinen Tonböden liegt die in Wasser bestimmte Wichte etwas höher als die in Tetrachlorkohlenstoff bestimmte. Diese Unstimmigkeiten sind aber für praktische Untersuchung belanglos.

[13]) In die Bodenkunde wohl zuerst von G. Schübler eingeführt „Grundsätze der Agrikultur-Chemie" II, 1830, S. 59ff. Eingehende Beschreibung des Verfahrens findet sich in den bodenkundlichen Lehrbüchern u. a. Wahnschaffe-Schucht, Anleitung zur wissenschaftlichen Bodenuntersuchung, 4. Aufl., S. 152, Berlin 1924, Verlag Parey.

[14]) J. v. Wrochem, Über Apparate zur Bestimmung des spezifischen Gewichts fester Körper in pulveriger und körniger Form. Mitteilung aus dem Kgl. Materialprüfungsamt Lichterfelde 1904, und Chem. Zentralblatt, 1905, I.

Ausführung mit Hilfe des Erdmenger-Mannschen Geräts in Tetrachlorkohlenstoff (CCl_4) (nicht stark einatmen, gibt Kopfschmerzen!). Das Gerät besteht aus einer Meßglasröhre (Bürette) von 50 cm³ Inhalt mit selbsttätigem Überlauf und Zapfhahn. Es gehören weiter dazu geeichte Meßkölbchen von ebenfalls 50 cm³ Inhalt. Zum Versuch werden etwa 50 g Boden lufttrocken in einer Reibschale fein gerieben, im Trockenschrank getrocknet, im Exsikkator abgekühlt, dann 15 g abgewogen. Ein Meßkölbchen wird zu einem Drittel aus dem Zapfhahn der aufgefüllten Meßröhre mit Tetrachlorkohlenstoff gefüllt, die 15 g aufgeriebener Boden werden mit Hilfe eines kleinen Trichters hineingegeben, das Kölbchen wird gut durchgeschüttelt und dann bis zur Marke mit Tetrachlorkohlenstoff aus dem Zapfhahn der Meßröhre aufgefüllt. An der Meßteilung der Röhre ist nun abzulesen, wieviele cm³ Flüssigkeit noch in ihr verblieben sind, es ist dieses der Raum, den der Boden im Kölbchen einnimmt. Die Wichte s des porenfreien Stoffes der Bodenkörner ergibt sich, indem man das Gewicht (15 g) durch den an der Meßröhre abgelesenen Rauminhalt teilt. Der Versuch wird mit weiteren 15 g wiederholt und aus beiden Ergebnissen das Mittel genommen. Da der Boden gewöhnlich aus Körnchen verschiedener Mineralien mit verschiedener Wichte zusammengesetzt ist, ist die hier festgestellte Wichte ein mittlerer Wert.

Erforderliches Gerät:

1 Pulvermörser aus Porzellan mit Ausguß,
1 Stößel dazu,
1 Gerät nach Erdmenger-Mann mit Änderungen nach Versuchsanstalt für Wasser-, Erd- und Schiffbau, Berlin,
6 Meßkölbchen je 50 cm³ Inhalt.

Auswertung:

Ist $\overline{w}$ der Wassergehalt (in % zum Gesamtgewicht) eines Bodens, dessen Poren satt mit Wasser gefüllt sind und s die Wichte der festen Teile, dann ist das Raumgewicht $\gamma = \frac{100\,s}{100 + \overline{w}\,(s-1)}$ oder mit w (in % zum Trockengewicht) $\gamma = \frac{s\,(100 + w)}{100 + w\,s}$.

Der Porenanteil (Hohlraumgehalt), das ist der Vonhundertsatz des Gesamtraumes des Bodenkörpers der auf die Poren entfällt, ist $n = \frac{s - \gamma}{s - 1} = \overline{w}\,\gamma$, die Porenziffer ε, das ist das Verhältnis von Hohlraum zum Raum der festen Bodenteile: $\varepsilon = \frac{s\,w}{100}$. Zwischen n und ε besteht die Beziehung:

$$n = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon} \quad \text{und} \quad \varepsilon = \frac{n}{1 - n}.$$

Sind die Poren nicht satt mit Wasser, sondern zum Teil mit Luft erfüllt, so ist zur Ermittlung von n und ε die Rauminhaltsbestimmung eines Bodenkörpers erforderlich. Dies geschieht entweder gleich im Metallzylinder, mit dem die Probe entnommen wird (s. oben Probenentnahme nicht bindiger Böden) oder mit Hilfe eines besonderen Ausstechzylinders mit angeschärftem Rand von kleinerer Abmessung (etwa 5 bis 7 cm Durchm. bei entsprechender Höhe, so daß der Inhalt 100 cm³ beträgt). Bei bindigen Böden können unregelmäßige Bodenkörper durch Eintauchen in Quecksilber oder Petroleum aus der Flüssigkeitsverdrängung bestimmt werden oder der Bodenkörper wird mit einer dünnen Paraffinschicht überzogen und sein Inhalt durch Eintauchen in Wasser gemessen.

Ist V der Rauminhalt, G das Trockengewicht des Bodenkörpers, w sein Wassergehalt in % zum Trockengewicht, s = die Wichte der Bodenkörner,

dann ist der durch festen Stoff erfüllte Raum $V_f = \frac{G}{s}$,
der durch Wasser erfüllte Raum . . . . . $V_w = w\,G$,
der durch Luft erfüllte Raum . . . . . $V_l = V - V_f - V_w$,
und der Porenanteil . . . . . $n = \frac{V_l + V_w}{V}$.

In vielen Fällen wird es genügen, die Wichte eines Bodens einzuschätzen, es gehören dazu natürlich einige bodenkundliche Kenntnisse und Erfahrungen:

Man kann s annehmen:

bei Quarz- und Spatsanden	zu 2,65
„ Geschiebelehm und -mergel	„ 2,65
„ Ton	„ 2,70
„ Böden mit humosen Beimengungen, Auelehm, Braunkohlenletten und faulschlammhaltigen Böden je nach dem Grad der Beimengungen	„ 2,40 bis 2,61
„ Torf- und Faulschlammböden bis hinab . . .	„ 1,50.

3. Die Bestimmung der Kornzusammensetzung eines Bodens wird durchgeführt, um ihn richtig ansprechen und einordnen zu können und um seine Durchlässigkeit, Verdichtung und Schubfestigkeit besser einschätzen zu können. Die Kornzusammensetzung wird ermittelt

a) bei nicht bindigen Böden durch Sieben,
b) bei schwach bindigen Böden durch das Spül- und Absitzverfahren,
c) bei gut bindigen Böden durch das Absitzverfahren.

Zu a) Siebversuch. Für die Handsiebung an der Baustelle eignen sich am besten, wie bereits weiter oben angegeben, Siebe in Holzrahmen in der Größe 250 × 250 mm mit Auffangkasten. Zum Aufeinandersetzen

mehrerer Siebe werden die Siebrahmen mit Außenleisten versehen. Der Auffangkasten ist mit drei Haken und drei Ketten zur schwingenden Aufhängung des Siebsatzes zu versehen. Die Siebgewebe sind genormt durch DIN 1171, daneben gibt es noch Ergänzungsgewebe. Die lichte Maschenweite des feinsten Normengewebes beträgt 0,060 mm, des gröbsten 6,0 mm. Gröbere Siebe sind dann als Rundlochsiebe erhältlich bis zu dem Lochdurchmesser von 100 mm nach DIN 1170.

Ausführung:

Für den Siebversuch werden bei feinem Sand 250 g genügen, um die feinmaschigen Siebe nicht zu überlasten, bei gröberem Korn wird das Doppelte genommen. Trockener Sand und Kies entmischen sich bei der Umlagerung; das gröbere Korn rollt an den Böschungsfuß, die feinen Teile bleiben oben. Bei der Entnahme der für den Siebversuch erforderlichen Menge von der Gesamtprobe ist deshalb darauf zu achten, daß diese zuvor gut durchgemischt wird. Die zu siebende Menge wird an der Luft oder über der Flamme in einer Schale getrocknet. Bei der künstlichen Trocknung über einer Flamme ist darauf zu achten, daß die Körner nicht zu stark erhitzt werden, es tritt sonst ein hörbares Knistern auf, die Körnchen zerspringen. Das Gut in der Schale ist beim Trocknen öfter durchzurühren. Das abgewogene Siebgut wird nun in die übereinandergestellten Siebe eines Teilsatzes von je drei Stück mit Auffangkasten geschüttet. Dieser Teilsatz kommt in die Aufhängevorrichtung und wird dort 10 bis 15 Minuten durchgerüttelt, gleichzeitig wird ab und an mit einem Holzhammer gegen die Siebe geklopft, damit sie sich nicht zusetzen. Die für eine Baustelle zweckmäßigste Zusammensetzung des Gesamtsiebsatzes ist oben bereits angegeben worden. Es wird so lange gesiebt, bis nahezu nichts mehr durchfällt. Jedes Sieb wird einzeln über einer Papierbahn nachgeprüft. Der Rückstand auf den einzelnen Sieben und im Auffangkasten wird gewogen. Der Verlust an Siebgut soll nicht mehr als 1 % betragen.

Erforderliches Gerät:

13 Siebe in Holzrahmen in der Größe 250 × 250 mm mit Außenleisten zum Aufeinandersetzen und zwei Auffangkasten mit Haken und Ketten zur schwingenden Aufhängung; lichte Maschenweite in mm: 0,060; 0,10; 0,20; 0,40; 0,50; 0,60; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 und 6,0,
1 feine und 1 grobe Bürste zum Reinigen der Siebe,
1 Holzhammer,
20 Emailleschälchen von 12 cm oberem Durchmesser für die Siebanteile,
6 Emailleschalen von 20 cm Durchmesser zum Abwiegen, Rösten usw.,
1 Waage von 3 kg Tragfähigkeit mit Gewichtssatz,
1 Feinhaarpinsel.

Auswertung:

Die Siebergebnisse werden in Gewichtshundertteilen als Summenlinie über den zugehörigen Korndurchmessern aufgetragen, wie es im Abschnitt III angegeben ist. Für die Korndurchmesser wird logarithmische Teilung gewählt, um die wichtigen Feinanteile mehr herauszuheben. Aus der Auftragung ist ohne weiteres zu entnehmen, welcher Bodenart die Probe auf Grund der vorherrschenden Kornklassen zuzurechnen ist.

Zu b) und c) Spül- und Absitzverfahren. Bei den bindigen Böden wird zur Bestimmung der Kornzusammensetzung die Aufbereitung des Bodens in Wasser erforderlich, derart, daß die Probe vollständig in Einzelkorn zerlegt wird. Bei manchen Tonböden macht sich oft ein starkes Flocken des aufgeschwemmten Bodens bemerkbar, die Teilchen ballen sich zu Klümpchen zusammen und sitzen dann rascher ab als Einzelkorn. Durch Zugabe von einigen Tropfen Ammoniak oder Soda oder Lithiumkarbonat wird der Flockung begegnet. Bei den Spülverfahren werden die Teilchen des Feinbodens im aufsteigenden Wasserstrahl bei verschiedener Schlämmgeschwindigkeit nach Korngröße gesondert. Als feinste Korngruppe erhält man die Teilchen, die kleiner sind als 10 μ. Bei den Absitzverfahren können Teilchenbestimmungen im Bereich von 50 bis 1 μ durchgeführt werden. Die gröberen Anteile werden durch Schlämmsiebe weiter zerlegt. Es ist hier nicht beabsichtigt, auf die zahlreichen Spül- und Absitzverfahren einzugehen. Im Rahmen dieser Arbeit sollen ja nur einige Hilfsmittel angegeben werden, um die Böden sicher ansprechen zu können. Wenn darüber hinaus die Baustelle sich mit der Durchführung von Schlämmverfahren befassen will, so findet sie alle näheren Angaben in einer Arbeit von Herm. Gessner[15]).

Das Spülverfahren nach Schulze-Harkort[16]) ist für die Baustelle wohl das gegebene. Für die Bestimmungen feinster Kornanteile bis herab zu 1 μ ist das Schlämmverfahren nach Bouyoucos-A. Casagrande[17]) zu empfehlen. Als Hilfsmittel für das richtige Ansprechen von schwach bindigen Böden war oben das Fallrohr nach Spoerel angegeben, es soll hier auf das Verfahren näher eingegangen werden. Bei den gut bindigen Böden soll die erste Kennzeichnung mit Hilfe der Atterberg-Grenzen als Maß für Bildsamkeit und Zustandsform gegeben werden, wir kommen weiter unten darauf zurück.

Das Fallrohr nach Spoerel[18]) ist eine Weiterentwicklung der Clausenschen Schlämmröhre. Es besteht aus drei Teilen, dem Aufgeberohr, dem eigentlichen Fallrohr und dem Absitzrohr. Das Aufgeberohr ist 20 cm lang bei 2 cm Durchm. und dient zur Aufnahme des Schlämmgutes. Es ist unten durch einen Pfropfen verschließbar. Am andern Ende ist ein Gummirohr übergestülpt mit einer Vorrichtung zum Ausspülen des Aufgeberohrs. Das Gummirohr dient als Balg zum Auslösen des Pfropfens bei Beginn des Schlämmvorgangs.

Das Fallrohr selbst besteht, wie aus Abb. 10 ersichtlich, oben aus einem trichterförmigen Teil, der als Auffangeraum für das Schlämmgut dient und nach unten in ein Rohr übergeht, das an zwei Stellen Einstülpungen zeigt. Durch diese Formgebung werden die Wirbelbildungen während des Schlämmvorgangs im Fallrohr so geführt, daß eine durchgehende Wirbelwalze, die bei ungedämpftem Durchfall des groben Korns auftreten und die klare Trennung der Korngrößen beeinträchtigen würde, weitgehend vermieden wird. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber der Clausen-Röhre.

Das Fallrohr mündet in das Absitzrohr, ein Prüfglas (Reagenzglas) mit geradem Boden, das auf das mit Gummiüberzug versehene Fallrohrende von unten aufgesteckt wird.

Ausführung:

Zum Schlämmen werden 30 g trockener Boden in einer Porzellanschale mit Wasser gut aufbereitet, alle Klümpchen mittels Gummifinger oder Gummistößel zerdrückt und sorgfältig zerrieben. Das Schlämmgut wird dann mit je 2 g Leitkorn 1 und 2 versetzt und in das Aufgeberohr geschüttet und nach Verschluß durch einen Pfropfen gehörig durchgeschüttelt. Als Leitkorn werden angefärbte Sande verwendet, und zwar:

Leitkorn 1 mit Körnung von 250 bis 385 μ und
Leitkorn 2 mit Körnung von 60 bis 88 μ.

Durch die Verschiedenheit von Kornform und Kornoberfläche ergeben sich für dieses ausgesiebte Leitkorn Streuungen beim Absitzen in Verbindung mit dem eigentlichen Schlämmgut. Der im Absitzrohr mit Leitkorn 1 durchsetzte Sand liegt nach den Versuchen in den Grenzen 200 bis 500 μ und der mit Leitkorn 2 durchsetzte Sand im Bereich 50 bis 100 μ.

Das Absitzen der Teilchen, die kleiner sind als 10 μ, wird nicht abgewartet. Diese Anteile werden durch Abhebern aus dem Fallrohr nach $2^1/_2$ bis $2^3/_4$ Stunden (je nach ihrer Wichte und der Temperatur) bestimmt. Das Fallrohr ist so bemessen, daß nach der Beendigung des Absitzens der Teilchen $> 10\,\mu$ in den oberen 20 cm Fallraum Tonschlämme mit Teilchen $< 5\,\mu$ und in dem unteren Teil Teilchen $< 10\,\mu$ in Schwebe sind, die mengenmäßig durch Wiegen im Meßkolben bestimmt werden.

Wird das Verfahren ganz durchgeführt, so lassen sich acht Korngrößengruppen abtrennen, und zwar:

1.	$> 500\ \mu$	im Absitzraum unter Leitkorn 1,
2.	500 bis 200 μ	durchsetzt mit Leitkorn 1,
3.	200 „ 100 μ	zwischen Leitkorn 1 und 2,
4.	100 „ 50 μ	durchsetzt mit Leitkorn 2,
5.	50 „ 20 μ	aus der Fallzeit nach einer beigegebenen
6.	20 „ 10 μ	Liste,
7.	10 „ 5 μ	durch Meßkolbenwägung,
8.	$< 5\ \mu$	durch Meßkolbenwägung.

Zum Bestimmen der Proben auf der Baustelle wird es in den meisten Fällen genügen, die Korngruppen $< 20\,\mu$ als „tonhaltige Teile" zusammenzufassen. Die Kornzusammensetzung einer Probe schwach bindigen Bodens läßt sich dann mit Hilfe des Spoerelschen Verfahrens in 45 Minuten bestimmen. Bei einiger Übung lassen sich gleichzeitig zwei bis drei Proben ansetzen und behandeln.

Erforderliches Gerät:

2 bis 3 Schlämmröhren nach Spoerel, vollständig mit Ständer und 12 Prüfgläschen,
Schalen und Waage wie bei a),
6 Meßkolben ohne Stopfen, geeicht, 300 cm³ Inhalt.

Die Auswertung ist die gleiche, wie oben bei 3a für Siebversuche angegeben.

4. Die Bestimmung von Fließ-, Ausroll- und Schrumpfgrenze. Zur ersten Beurteilung und Einordnung bindiger Böden dient, wie oben ausgeführt wurde, die Bestimmung der Fließ-, Ausroll- und Schrumpfgrenze. Sie geben ein Maß für die Haupteigenschaft bindiger Böden, für ihre Bildsamkeit. Diese Atterbergschen Grenzen werden wie folgt bestimmt:

a) Fließgrenze: Die Fließgrenze ist der Wassergehalt eines Bodens (in % zum Trockengewicht), bei dem die Ränder einer auf einem Bodenkuchen gezogenen Furche bei leichter Erschütterung beginnen breiartig ineinanderzulaufen.

Ausführung:

Zur Bestimmung der Fließgrenze dient ein genormtes Versuchsgerät nach A. Casagrande[19]). Der Bodenkuchen wird hierbei in einer Metall-

[15]) H. Gessner, Die Schlämmanalyse, Kolloidforschung in Einzeldarstellungen. Leipzig 1931, Akad. Verlagsgesellschaft.

[16]) s. Gessner, Die Schlämmanalyse a. a. O., S. 125 u. H. Harkort, Die Schlämmanalyse mit dem verbesserten Schulzeschen Apparat. Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft, 1927, Heft 1, S. 6.

[17]) A. Casagrande, Die Aräometermethode zur Bestimmung der Kornverteilung von Böden und anderen Materialien. Berlin 1934, J. Springer.

[18]) s. Anm. 12 auf S. 50.

[19]) A. Casagrande, Research on the Atterberg limits of soils. Public Roads, 1932, Bd. 13, Nr. 8, S. 121.

schale ausgebreitet und die Furche mittels eines eigenen Furchenziehers gezogen. Eine Nocke, die mit Hilfe einer Kurbel gedreht wird, hebt die Schale um 1 cm und läßt sie auf einen polierten Hartgummiblock fallen. Man hat festgelegt, daß bei einer Fallhöhe von 1 cm die Probe die Fließgrenze erreicht, wenn 25 Aufschläge der Schale ein Berühren der durch die Furchenziehung getrennten Schnittflächen längs einer Strecke von 12 mm herbeiführen. Man versucht den Boden auf einen Wassergehalt zu bringen, der 35 bis 40 Schlägen entspricht, was bei einiger Übung nicht allzu schwer gelingt. Der Wassergehalt wird durch Entnahme einer kleinen Probe vom Bodenkuchen im Trockenschrank bestimmt, die genaue Schlagzahl vermerkt. Dann wird der Bodenkuchen unter etwas Wasserzugabe erneut durchgeknetet und eine 2. Bestimmung auf Wassergehalt und Schlagzahl gemacht. Unter neuer Wasserzugabe und Durchknetung wird eine 3. Bestimmung durchgeführt. Die festgestellten Wassergehaltszahlen und Schlagzahlen werden auf halblogarithmischem Papier aufgetragen, sie liegen bei ordnungsmäßiger Durchführung des Versuchs auf einer Geraden. Bei Schlagzahl 25 ist dann ohne weiteres der zugehörige Wassergehalt als „Fließgrenze" abzulesen (Abb. 13).

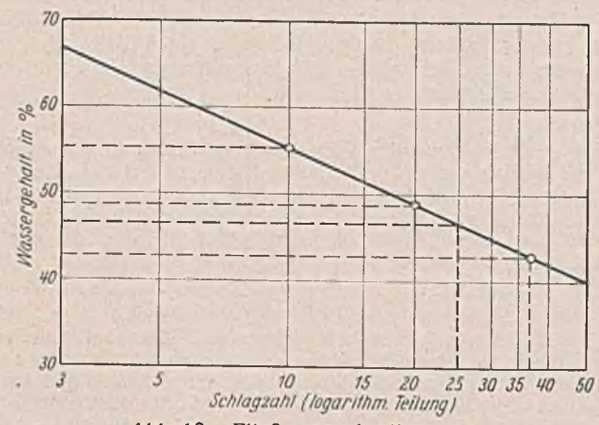


Abb. 13. Fließgrenzenbestimmung.

Erforderliches Gerät:

1 Fließgrenzen-Bestimmungsgerät nach A. Casagrande,
Gerät zur Bestimmung des Wassergehalts wie zu 1 angegeben.

b) Die Ausrollgrenze ist der Wassergehalt eines Bodens, den er beim Übergang von der bildsamen in die feste Zustandsform aufweist.

Ausführung:

Der zu untersuchende Ton wird auf einem mit wasserabsaugendem Papier bespannten Brett mit der Handfläche zu Drähten von 3 bis 4 mm ausgerollt, bis diese, nachdem sie mehr und mehr an Wassergehalt verloren haben, anfangen zu zerbröckeln. Der Wassergehalt bei Beginn des Zerbröckelns ist die Ausrollgrenze.

Erforderliches Gerät:

1 Brett 25×25 cm, rd. 20 mm dick,
Fließpapier und Reißbrettstifte,
sonst wie zu 1.

c) Die Schrumpfgrenze gibt den Wassergehalt des Bodens an, bei dem er beim Austrocknen zu schrumpfen aufhört.

Ausführung:

Der Versuchskörper wird an der Luft langsam getrocknet, gewogen und sein Rauminhalt V bestimmt. Die Rauminhaltsbestimmung geschieht entweder durch Ausmessen mit der Schublehre oder bei unregelmäßig geformten Körpern durch Überziehen mit Paraffin oder Schellack und Eintauchen in Wasser u. ä., wie oben bei 2 angegeben. Aus Trockengewicht und Wichte errechnet sich die Festmasse; der Rauminhalt V, vermindert um die Festmasse, ergibt den Porenanteil des getrockneten Körpers. Wären die Poren mit Wasser gefüllt, so entspräche der Porenanteil dem Wassergehalt des Körpers im Verhältnis zu seinem Trockengewicht $w = \frac{n}{s\,(1-n)} \cdot 100$, dieser Wassergehalt kann genügend genau als „Schrumpfgrenze" angenommen werden.

Erforderliches Gerät:

wie zu 1. und 2.,
1 Schublehre mit Nonius.

Auswertung zu a bis c:

Die festgestellten Zustandsgrenzen und der Wassergehalt des Bodens werden als Balkenschaubild aufgetragen, wie dieses in Abschnitt III gezeigt ist, und die Zustandsform des Bodens wird festgelegt.

Ohde[20]) schlägt vor, für die zahlenmäßige Kennzeichnung bindiger Böden anstelle der Atterberggrenzen zwei andere Wassergehaltswerte zu ermitteln, die er als „Breiwassergehalt" und „Einheitswassergehalt" bezeichnet. Diese Werte sind nach seiner Meinung einfacher zu bestimmen als die Atterberggrenzen und lassen auch eine bessere Beurteilung der Böden zu.

Breiwassergehalt w_0:

Man setzt dem Boden unter ständigem Durchkneten so viel Wasser zu, daß ein gleichmäßiger Erdbrei von mittlerer Fließbarkeit entsteht. Die Breiwassergehaltsgrenze ist erreicht, wenn eine mit einer Blechlehre durch den Erdbrei gezogene quadratische Furche von 2 cm etwa 5 sek nach beendigtem langsamen Furchenziehen unten zur Hälfte (also auf 1 cm) zusammenfließt.

Einheitswassergehalt w_1:

Eine kleine Menge der bis w_0 aufbereiteten Erdbreies wird in einem Messingtopf von 35,7 mm lichtem Durchm. (10 cm² Grundfläche) in einer Schichtdicke von 8 bis 10 mm eingebracht, mit einer Glasfilterplatte abgedeckt und stufenweise bis 1,0 kg/cm² belastet. Nachdem die Zusammendrückung nach der letzten Belastung hinreichend abgeklungen ist, wird der Wassergehalt der Probe festgestellt; er stellt den Einheitswassergehalt w_1 dar.

Auf Grund dieser Werte w_0 und w_1 lassen sich recht brauchbare Voraussagen machen über innere Reibung, Zusammendrückbarkeit und andere bautechnisch wichtige Eigenschaften der Böden. In vielen Fällen wird für die Begutachtung der Böden die Bestimmung von w_0 und w_1 genügen, und man wird von der Durchführung langwieriger Versuche absehen können.

5. Die Bestimmung des Kalkgehalts dient ebenfalls der Beurteilung und Einordnung bindiger Böden. Bindige Böden, die kohlensauren Kalk als Gemengteil enthalten, werden, wie wir oben gesehen haben, als Mergel bezeichnet.

Ausführung:

Für die Untersuchungen auf der Baustelle ist eine mengenmäßige Angabe des Kalkgehalts nicht erforderlich. Es genügt, die Bodenprobe mit verdünnter Salzsäure mit Hilfe eines Tropffläschchens zu beträufeln und festzustellen, ob ein Aufbrausen erfolgt. Nach dem Grad des Kalkgehalts ist schwaches Aufbrausen, deutliches oder starkes anhaltendes Aufbrausen zu unterscheiden und anzugeben. Die käufliche rohe konzentrierte Salzsäure wird für diese Feststellungen 1 : 2 verdünnt.

6. Die angenäherte Bestimmung der Schubfestigkeit des „gewachsenen Bodens" durch Zug- und Druckversuche bei gut bindigen Böden. Zur Beurteilung der Standfestigkeit von Böden in Böschungen ist die Kenntnis ihrer Schubfestigkeit wichtig. Bei reinen Reibungsböden und schwach bindigen Böden erübrigen sich für gewöhnlich besondere Versuche, man rechnet bei Sandböden mit einem Beiwert $\mu = \operatorname{tg} \varrho = 0{,}65$ bis 0,70; bei schwach bindigen Böden unter Vernachlässigung der geringen Haftfestigkeit je nach dem Grad toniger Beimengungen mit $\mu = 0{,}50$ bis 0,60. Bei gut bindigen Böden, die im steif- bis weichplastischen Zustand anstehen, sodaß sich Versuchskörper mit Hilfe eines Messingzylinders gut ausstechen lassen, läßt sich die Schubfestigkeit leicht durch Zug- und Druckversuche ermitteln.

Ausführung:

Zum Zugversuch wird der Versuchskörper (etwa von 3 cm Durchm. bei 6 cm Höhe) mit seinen gut abgeglichenen Enden auf zwei saubere kleine Spiegelglasplatten geklebt, unter eine Abzugsvorrichtung gebracht und durch stufenweise Laststeigerung zum Zerreißen gebracht. Feuchter Ton haftet, gut abgeglichen und leicht aufgedrückt, an der Glasplatte. Damit Luft nicht in die Haftfläche eintreten kann, wird noch eine dünne, gut plastische Tonwurst von etwa 6 bis 8 mm Stärke um die Anheftstelle gelegt und satt gegen Glasplatte und Tonkörper gedrückt.

Zum Zerdrückversuch wird ein Versuchskörper von den gleichen Abmessungen wie beim Zugversuch benutzt, der bei langsamer Laststeigerung zum Zerdrücken gebracht wird. Auch kann durch Einschalten von einen oder zwei Entlastungs- und Wiederbelastungsgängen vor dem Zerdrücken das elastische Verhalten des Bodens geprüft werden.

Alle Bewegungen beim Zug- und Druckversuch werden durch Feinmeßuhren (bis zu $^1/_{100}$ mm) festgestellt und aufgetragen. Damit während der Versuchsdauer der Bodenkörper keinen Feuchtigkeitsverlust erleidet, wird er mit einer Wachslösung überzogen.

Erforderliches Gerät:

Eine Zug- und Zerdrückvorrichtung in einfachster Form (Abb. 14 u. 15).
2 Meßuhren, $^1/_{100}$ mm Teilung bei 10 mm Meßbereich.

Auswertung:

Trägt man nach der Mohrschen Darstellung den ermittelten Zerreißwert σ_z und den Zerdrückwert σ_d in kg/cm² auf und zeichnet die Spannungskreise, dann gibt die Tangente an diese den Winkel der inneren Reibung ϱ und auf der in 0 errichteten Ordinate das Maß für die Haftfestigkeit des Bodens an (vgl. Abb. 19). Zur näheren Erläuterung ein Beispiel: Das Lichtbild der Abb. 16 zeigt einen zerdrückten Versuchskörper aus Tonmergel. Die die Probe durchsetzenden Risse laufen auf der Fläche des geringsten Scherwiderstandes bei senkrechter Belastung. Die Risse haben eine Neigung zur Waagerechten von $\alpha = 45° + \varrho/2$. Der Druckversuch genügt, um den Reibungswinkel ϱ und den zugehörigen Haftfestigkeitswert k_s nach Abb. 17 zu ermitteln nur dann, wenn es gelingt, den Winkel α an der Zerdrückprobe einwandfrei festzustellen, was aber in den meisten Fällen schwierig ist. Genauer ist immerhin die

[20]) Eine eingehende Abhandlung über die Kennzeichnung bindiger Böden durch die oben erläuterten Werte w_0 und w_1 wird demnächst veröffentlicht.

Ermittlung aus dem Zug- und Druckversuch, wie sie in folgendem Beispiel beschrieben ist. Der Zerdrückungsversuch mit einer Tonmergelprobe hatte das in Abb. 18 dargestellte Ergebnis. Außerdem wurden zwei Zerreißversuche durchgeführt, die bei einem Wassergehalt $w = 20{,}2\,\%$ (bezogen auf das Trockengewicht) eine Zugfestigkeit von 1,2 und 1,14, im Mittel 1,17 kg/cm² ergaben. Mit diesen Werten ergibt sich aus der Mohrschen Darstellung (Abb. 19) der Reibungsbeiwert $\mu = \mathrm{tg}\,\varrho = 0{,}45$ und die Haftfestigkeit $k_s = 0{,}92$ kg/cm².

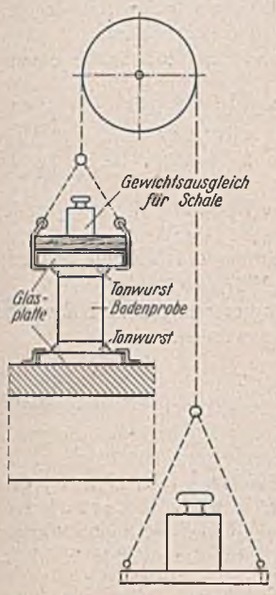


Abb. 14. Skizze eines Geräts zur Durchführung von Zugversuchen mit Tonproben.

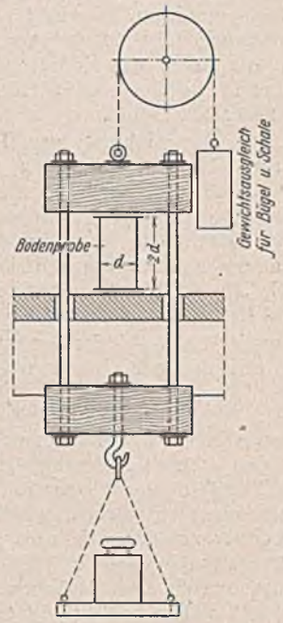


Abb. 15. Skizze eines Geräts zum Zerdrücken von Tonproben.

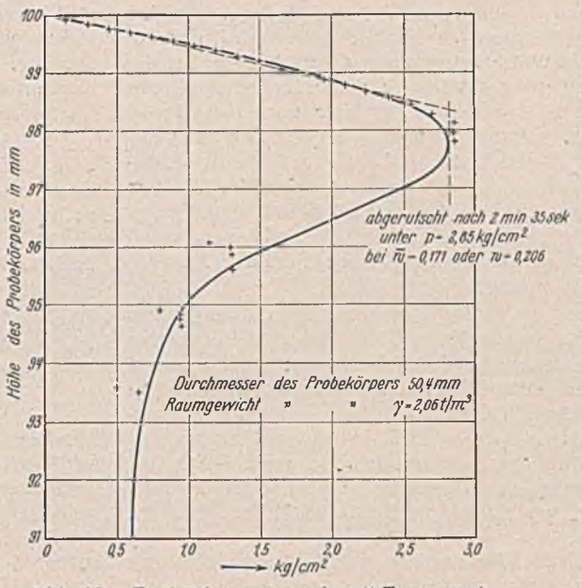


Abb. 18. Zerdrückungsversuch mit Tonmergel.

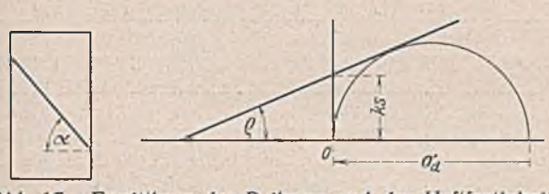


Abb. 17. Ermittlung der Reibung und der Haftfestigkeit aus dem Abrutschwinkel der zerdrückten Bodenprobe mit Hilfe des Mohrschen Spannungskreises.

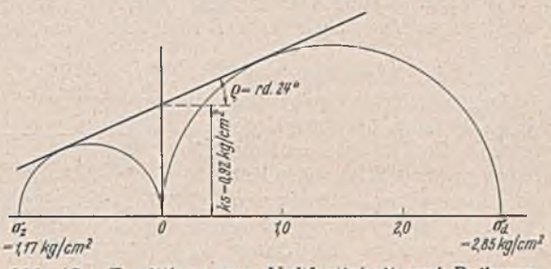


Abb. 19. Ermittlung von Haftfestigkeit und Reibung aus Zug- und Druckversuch mit Hilfe des Mohrschen Spannungskreises.

7. Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit. Pumpversuche. Bei den gut bindigen Böden erübrigt sich in den meisten Fällen eine Durchlässigkeitsprüfung; sie sind in gut verdichtetem Zustand praktisch wasserundurchlässig.

Abb. 16. Zerdrückte Tonmergelprobe.

Zur Prüfung schwach bindiger Böden in natürlicher Lagerung werden ungestörte Proben entnommen, in einen Glasbehälter eingegossen, unter Wasserdruck gestellt und der tägliche Durchgang gemessen, wenn es unter den örtlichen Bedingungen nicht angezeigt erscheint, durch einen Pumpversuch die Durchlässigkeit zu ermitteln. Sind diese schwach bindigen Böden auf ihre Geeignetheit für Dichtungszwecke (Staudämme, Deiche, Kanäle) zu prüfen, wobei ihre Verwendung in gestörtem Zustande (Umlagerung, Walzen oder Stampfen) in Frage kommt, so wird auch der Prüfgang bei gestörtem Gefüge (Durchkneten) durchgeführt. Die Probe wird in einen Glaszylinder eingestampft, und es wird dabei beobachtet, ob sie sich gut verdichten läßt. Bei gut und bei schwach bindigen Böden, die für Dichtungszwecke Verwendung finden, ist es wichtig, festzulegen, mit welchem Wassergehalt der Boden einzubringen und abzuwalzen ist. Dieses geschieht zweckmäßig auf Probestrecken auf der Baustelle selbst mit dem für die Herstellung in Frage kommenden Gerät, da es je nach Art und Schwere des Verdichtungsgeräts verschieden ist, bei welchem Wassergehalt die günstigste Verdichtung erzielt wird.

Die Durchlässigkeitsprüfung nicht bindiger Böden in natürlicher Lagerung geschieht zweckmäßig durch Pumpversuche. Die Entnahme ungestörter Proben von Sanden ist schwierig. Bei der Prüfung von Sanden auf Wasserdurchlässigkeit im Versuchsgerät scheidet sich aus dem Wasser Luft ab, die sich in den gröberen Poren festsetzt und das Durchlässigkeitsergebnis nicht unwesentlich beeinflußt. Um diesem Übelstande zu begegnen, muß das Wasser erwärmt und entlüftet werden, wozu ein verwickeltes Gerät erforderlich wird. In der soeben erschienenen Arbeit von Chardabellas[21]) wird über Durchlässigkeitsversuche mit Sanden eingehend berichtet.

Ausführung und erforderliches Gerät:

Der Durchlässigkeitsversuch wird in einfachster Form folgendermaßen durchgeführt (Abb. 20):

Auf einer Grundplatte *a* mit Schlauchansatzhahn wird in einem Blechring ein Sandfilter in abgestufter Körnung eingebracht, darauf die Bodenprobe gesetzt und über Filter und Probe ein Glaszylinder gestülpt. Zwischen Platte und Glaszylinder sitzt ein Gummiring. Der Zwischenraum zwischen Glaswand und Probe wird mit einer mit Formalin gegerbten Leimlösung vergossen, das Sandfilter vorher mit einer dünnen Tonschicht abgedeckt, damit der flüssige Leim nicht ins Filter läuft. Ist die Probe am Umfange rissig oder sind die Poren nicht satt mit Wasser gefüllt, so ist die Probe vor dem Vergießen am Umfange mit Tonschlämme gegen das Eindringen von Leimlösung zu dichten. Die Oberfläche der Probe ist zu säubern und leicht aufzurauhen. Der Glaszylinder wird danach mit einem Gummiring belegt und mit einer Platte *b* abgedeckt, die einen Schlauchansatzstutzen und einen Entlüftungshahn trägt. Die Platten *a* und *b*

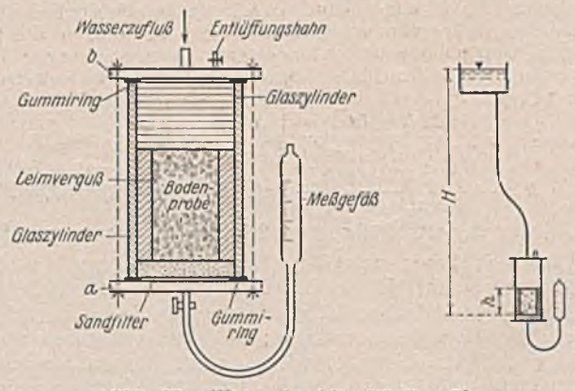


Abb. 20. Wasserdurchlässigkeitsprüfer.

werden miteinander verbolzt. Das Gerät wird nun an einen Wasserbehälter mit festem Wasserspiegel angeschlossen und mit einem Meßgefäß versehen. Der Durchgang wird gemessen, und zwar je nach der Durchlässigkeit der Probe in kleineren oder größeren Zeitabständen.

[21]) Durchflußwiderstände im Sand und ihre Abhängigkeit von Flüssigkeits- und Bodenkennziffern. Mitt. d. Preuß. Versuchsanstalt für Wasser-, Erd- und Schiffbau, Heft 40, Berlin 1940, Eigenverlag.

Auswertung:

Die Meßergebnisse werden mit Hilfe der Formel von Darcy auf die Einheit der Zeit, der Fläche und des Gefälles umgerechnet; man erhält so die Wasserdurchlässigkeitsziffer k in cm/sek aus $k = \frac{Q}{FJt}$, darin ist Q die gemessene Durchflußmenge in cm³, t die Durchflußzeit in sek; J das Gefälle (H/h in cm) und F der durchflossene Querschnitt in cm².

Pumpversuch:

Versuche der vorstehend beschriebenen Art dienen dazu, einzelne Bodenarten auf ihre Durchlässigkeit zu prüfen. Dabei wird man in vielen Fällen nur ungenaue Werte bekommen, da die Proben bei der Entnahme und beim Einbau in das Versuchsgerät mehr oder weniger Gefügeänderungen erleiden werden und beim Durchströmen der Probe Teilchen umgelagert werden. Gestört gewonnene Proben, wie gemischtkörnige Sande, sind schwer in gleichmäßiger Lagerung in das Versuchsgerät einzubauen. Die Bestimmung der hydrologischen Verhältnisse eines Baugrundes wird man überhaupt nicht auf Grund der Wasserdurchlässigkeitsprüfung einzelner Bohrproben durchführen können, zumal dort, wo die Bodenverhältnisse ungleichartig sind; genauere Angaben lassen sich hier nur durch Pumpversuche gewinnen.

Beim Pumpversuch wird aus einem Versuchsbrunnen eine gewisse Wassermenge q in ununterbrochenem Pumpbetrieb bis zum Eintritt des Beharrungszustandes entnommen und durch Beobachtungsrohre der in der Umgebung des Brunnens durch das Pumpen erzeugte Absenkungstrichter des Grundwasserspiegels festgestellt.

Die Wasserentnahme geschieht bei nicht zu tiefem Grundwasserspiegel gewöhnlich durch eine einfache Kreiselpumpe, sonst ist die Anwendung von Tiefbrunnenpumpen erforderlich. Antrieb der Pumpen durch Elektromotoren oder, wo elektrischer Strom nicht verfügbar ist, durch Verbrennungsmotoren.

Die Messung der geförderten Wassermenge geschieht mit Hilfe einer Wasseruhr oder bei größeren Entnahmemengen in einem Meßkasten mit Überfallwehr. Die Überfallhöhen werden durch Schreibpegel aufgetragen. Das geförderte Wasser muß vom Versuchsbrunnen in dichtem Gerinne genügend weit fortgeleitet werden, es darf nicht in der Nähe des Brunnens zur Versickerung kommen.

Die Brunnen zur Beobachtung der Absenkungslinien werden zweckmäßig in zwei senkrecht zueinander stehenden Richtungen angeordnet. Genauere Angaben über die Weite des Pumpbrunnens, die zu wählende Fördermenge und die Anordnung der Beobachtungsrohre lassen sich nur von Fall zu Fall machen, sie sind mehr oder weniger abhängig von dem geologischen Aufbau des Untergrundes. Einzelheiten werden am besten im Benehmen zwischen Bauleitung und Versuchsanstalt festgelegt. Diese gibt auch die nötige Anweisung für Herstellung von Meßkästen und Meßwehr.

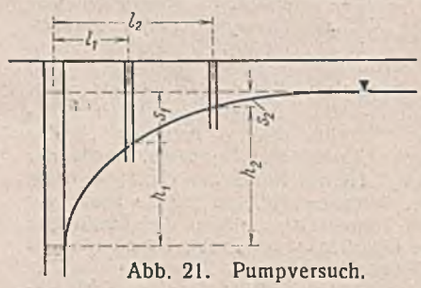


Abb. 21. Pumpversuch.

Auswertung:

Mit den in Abb. 21 angegebenen Bezeichnungen für die Entfernungen der Beobachtungsrohre vom Pumpbrunnen und für die in den Rohren festgestellten Spiegelhöhenunterschiede beim Abpumpen einer Wassermenge q ergibt sich die Durchlässigkeitsziffer k nach der Thiem-Dupuitschen Formel[22]) zu:

$$k = \frac{q\,(ln\,l_2 - ln\,l_1)}{\pi\,(h_2 + h_1)\,(h_2 - h_1)} \quad \text{bei freiem Spiegel und zu}$$

$$k = \frac{q\,(ln\,l_2 - ln\,l_1)}{2\,\pi\,m\,(s_1 - s_2)} \quad \text{bei gespanntem Spiegel,}$$

m = Mächtigkeit der wasserführenden Schicht bei gespanntem Spiegel.

8. Dichteprüfung von sandigem Untergrund und von Sandschüttungen mit Hilfe der Sonde.

Auf Grund von Bohrungen läßt sich über die Lagerungsdichte von Sanden im allgemeinen wenig aussagen; auch ist die Entnahme von Sandproben im ungestörten Zustande, wie wir oben gesehen haben, nur in besonderen Fällen möglich. Ein wertvolles Hilfsmittel zur Bestimmung der Lagerungsdichte von Sanden sind die dynamischen Bodenuntersuchungen, sie kommen vor allem dort zur Anwendung, wo der Boden in seinem Verhalten gegenüber dynamischen Einflüssen geprüft werden soll. Für diese Untersuchungen ist aber ein schweres Gerät erforderlich, und sie können nur durch besondere Fachkräfte ausgeführt werden. In vielen Fällen wird es genügen, die Dichte des Sandbodens im Untergrund oder die Schichtung mit Hilfe einer Sonde nachzuprüfen. Ein Rundeisen mit verdickter Spitze wird mit Hilfe einer kleinen Ramme in den Boden getrieben und die aufgewendete Rammarbeit wird in Beziehung gesetzt zu der Eindringungstiefe. Die locker gelagerten Schichten heben sich dabei ohne weiteres heraus vor den dichter gelagerten Sanden. Auch Grad und Gleichmäßigkeit der Verdichtung von Sandschüttungen lassen sich auf diese Weise am einfachsten nachprüfen. Im Bohrloch sind diese Dichteprüfungen ebenfalls leicht durchzuführen. Die nachstehende Auftragung (Abb. 22) zeigt das Ergebnis einer Sonderuntersuchung, die die durch das Kellersche Rütteldruckverfahren in einem Sanduntergrund in verschiedener Entfernung von der Rüttelachse erzielte Verdichtung nachprüfen sollte.

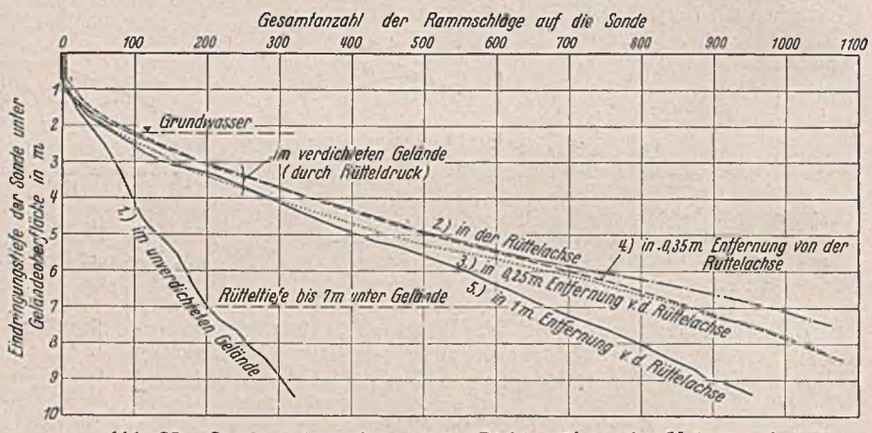


Abb. 22. Sondenuntersuchungen zur Dichteprüfung des Untergrundes.

9. Auf die „Durchführung von Probebelastungen" und die „Beobachtung der Bewegungen entstehender und fertiger Bauwerke" braucht hier nicht eingegangen zu werden, da hierfür die nachstehenden DIN-Blätter aufgestellt sind:

DIN 1054 „Richtlinien für die zulässige Belastung des Baugrundes und der Pfahlgründungen" (August 1940),

DIN 4107 „Richtlinien für die Beobachtung der Bewegungen entstehender und fertiger Bauwerke" (Februar 1937).

Auf die große Wichtigkeit der Beobachtungsmessungen an Bauwerken braucht wohl nicht besonders hingewiesen zu werden.

V. Zusammenfassung.

Die Durchführung von Bodenuntersuchungen auf Großbaustellen wird sich in den meisten Fällen als Gemeinschaftsarbeit von Entwurfsbearbeiter und Bauleitung mit einer Erdbauversuchsanstalt ergeben. Es wird im vorstehenden besprochen, welche Einzelaufgaben hierbei jedem der beiden Partner zufallen. Es wird gezeigt, wie schon bei der Entnahme der Proben in Bohrungen und Schürfungen wichtige Beobachtungen anzustellen sind, die oft ausschlaggebend sind für die richtige Wahl der Gründungsart und andere Entscheidungen. Die Bohr- und Schürfarbeiten sind deshalb verantwortlich durch einen Ingenieur zu leiten, der bodenkundlich so weit vorgebildet sein muß, daß er die Entnahme der Bodenproben überwachen, sie richtig ansprechen und bestimmen kann. In den vorstehenden Abschnitten ist ein kurzer Abriß über dieses Wissensgebiet gegeben. Es werden Angaben gemacht über die Durchführung von Bohr- und Schürfarbeiten, über die Entnahme von ungestörten Bodenproben aus Bohrlöchern und Schürfschächten. Die Bestimmung und Benennung von Bodenproben wird behandelt. Es wird eine Gliederung der Böden gegeben, die es dem Ingenieur, der sich neu mit diesem Gebiet befaßt erleichtern soll, sich in der Vielheit der Arten zurechtzufinden.

Es werden Angaben gemacht über die Einrichtung einer Bodenprüfstelle bei der Bauleitung, und es werden die Untersuchungsverfahren aufgezählt, die dort im einzelnen durchzuführen sind. Das für diese Untersuchungen erforderliche Gerät wird angegeben. Schließlich wird noch auf Pump- und Sondenversuche eingegangen.

Die von Baustellen so oft gestellten Fragen über die Entnahme ungestörter Bodenproben, Beobachtungen über unsachgemäße Durchführung von Schürfbohrungen, unklare Benennungen der Böden in den Schichtenverzeichnissen u. a. gaben den Anlaß zu der vorstehenden Abhandlung. Auf Einzelheiten der Untersuchungsverfahren wurde eingegangen, um Entwurfsbearbeiter und Bauleitung gleich in die von der Baustelle durchzuführenden Untersuchungen einzuführen. Der bauleitende Ingenieur muß sich doch mindestens so weit mit Bodenkunde befassen, daß er seine Böden benennen und ihre Zustandsform angeben kann. Darüber hinaus stehen der Baustelle für alle bodenkundlichen Prüfungen und statischen Berechnungen die Erdbauversuchsanstalten zur Verfügung.

[22]) u. a. J. Brix; H. Heyd und E. Gerlach, Die Wasserversorgung, 2. Bd., S. 42. München u. Berlin 1936, R. Oldenbourg; vgl. auch die Arbeit von H. Weber, Beitrag zur Bestimmung der Ergiebigkeit wasserführender Schichten. Gesund.-Ing. 1932, Nr. 33, S. 391.

Von dieser Arbeit erscheint ein Sonderdruck im Format Din A 5 im Verlag von Wilh. Ernst & Sohn, Berlin W 9.

Alle Rechte vorbehalten.

Ein neues, großes Absetzgerät zum Verstürzen von Abraum.

Von Dipl.-Ing. Fr. Riedig, Zeulenroda-Unt. Haardt.

Im Jahre 1939 sind auf der Kippe einer Braunkohlengrube in Mitteldeutschland zum Vortreiben eines Dammes große unterteilte Absetzeinrichtungen[1]) in Doppelanordnung aufgestellt worden. Kürzlich ist ebenfalls in Mitteldeutschland ein weiteres, großes Absetzgerät der Lübecker Maschinenbau-Gesellschaft in Betrieb gekommen (Abb. 1), das bei losen Massen rechnerisch 3200 m³/h oder 77000 m³/24 h leistet und ein Dienstgewicht von 1950 t hat. Der neue Absetzer ist augenblicklich die größte und leistungsfähigste Einrichtung dieser Art. Er ist nicht in ein Aufnahmegerät und einen Bandwagen unterteilt, sondern die Eimerleiter und das Hauptabwurfförderband sind in einem Gerät, ähnlich wie in einer früheren Ausführung[2]), untergebracht.

Durch diese Bauart ergeben sich die folgenden fördertechnischen Vorteile:

a) Der einfache, geradlinige Förderweg eignet sich sehr gut für die Förderung von stark haftendem oder grobstückigem Abraum, wobei nur eine Übergabeschurre das von der Eimerkette abgeworfene Fördergut ohne Richtungsänderung auffängt (Abb. 2).

b) Schlammige Bodenarten werden von der Eimerkette unmittelbar auf die Kippe geworfen (Abb. 3), da das Hauptabwurfförderband infolge der pendelartigen Aufhängung vorgezogen werden kann. Bandverschmutzungen mit ihren Nachteilen unterbleiben daher.

c) Die Eimerleiter ist in der Längsachse verschiebbar, so daß die Schüttkante des Aufnahmegrabens der Lage des Förderzuggleises angepaßt werden kann. Durch Absenken der Eimerleiter in eine waagerechte Lage und durch Abnehmen der untergehängten Übergabeschurre kann die hochfördernde Eimerkette in eine leistungsfähige Einebnungsvorrichtung umgebaut werden.

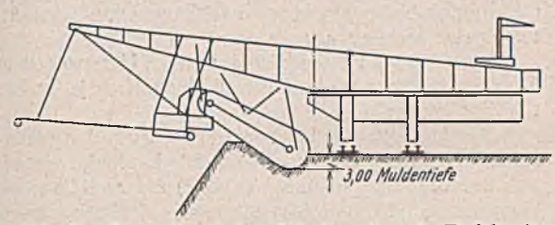


Abb. 2. Darstellung der Arbeitsweise als Tiefabsetzer beim Verstürzen des Abraums in eine Tiefkippe.

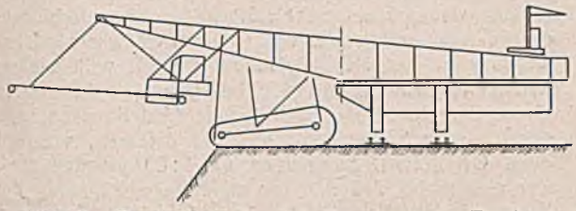


Abb. 3. Darstellung der Arbeitsweise beim Einebnen einer angeschütteten Kippe.

Beim Arbeiten als Tiefabsetzer (Abb. 2) fällt der von der Eimerkette aufgenommene Abraum zur Schonung des Hauptförderbandes und zur besseren Verteilung von der Übergabeschurre zunächst auf ein Aufgabeförderband (Abb. 4) von 2 m Breite. Erst dann gelangt der Abraum auf das Hauptabwurfförderband von 1,8 m Breite. Das Aufgabeband bewegt sich daher mit einer Geschwindigkeit von 2 m/sek, während das Hauptband mit einer Geschwindigkeit von 4 m/sek umläuft. Abgeworfen wird der Abraum in einer Entfernung von 55 m von der kippenseitigen Schiene.

Die vierfach geschakte Eimerkette (800 mm Schakenteilung) mit Eimern von 1800 l Inhalt wird durch zwei auf eine gemeinsame Welle arbeitende Drehstrommotoren von je 300 kW Leistung angetrieben. Die Eimerleiter hat eine Länge von 15,8 m. Die Schüttungszahl der Eimerkette beträgt 23,2/min. Auf jeder Seite der Welle des Antriebsturas befindet sich ein dreistufiges Stirnradgetriebe (Abb. 5). Jedes Getriebe ist für eine Leistung von 315 kW bemessen und hat ein Übersetzungsverhältnis von 375 : 11,6. Die drei Getriebewellen laufen in Walzlagern, während sich die Turaswelle in Gleitlagern dreht.

[1]) Bautechn. 1940, Heft 19, S. 222.
[2]) Z. d. VdI 1936, S. 18.

Die Abstützung des Getriebekastens ist als Dreipunktlagerung ausgebildet. Zwei Punkte werden durch die Gleitlager der Turaswelle gebildet. Der dritte Abstützungspunkt ist unter der Motorritzelwelle kugelbeweglich gelagert.

In jedem Getriebe sind eine Blätterkupplung und eine Planetenkupplung enthalten. Die Blätterkupplung in der ersten Getriebestufe ist eine Schaltkupplung, die der Führer des Geräts beim Erkennen von Gefahren durch einen Schaltknopf am Führerstandpult abschalten kann. Beim Ausschalten der Kupplung wird durch eine elekrtische Verriegelung gleichzeitig das Fahrwerk stillgesetzt.

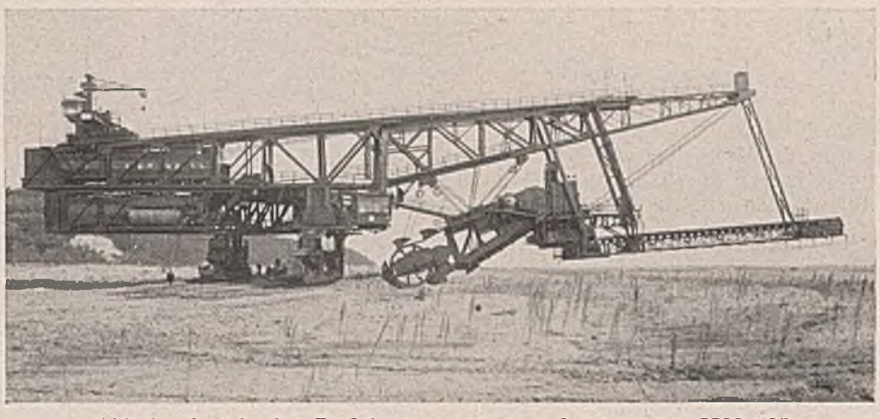


Abb. 1. Ansicht des Großabsetzers mit einer Leistung von 3200 m³/h.

Die in der zweiten Getriebestufe befindliche Planetenkupplung sichert unabhängig von Reibungszahlen und Massenwirkungen den Eimerkettenantrieb vor Überlastungen. Sie arbeitet etwas anders als die Planetenkupplung in dem anfangs erwähnten, unterteilten Absetzer[1]). Die Kupplung (Abb. 6) besteht aus dem Kupplungsnabenteil *A* und dem Kupplungsgehäuse *E*. Der Nabenteil, der mit der Turaswelle in Verbindung steht, ist mit gegenüberliegenden Lagerarmen *I* und *III*, *II* und *IV* versehen. Die Lagerarme *I* und *III* bilden die Drehpunkte für die beiden Winkelhebel *C*, die die Planetenrollen *B* tragen. An dem einen Ende der Hebel *C* greifen die vorgespannten Federn *D* an, die an die Lagerarme *II* und *IV* angeschlossen sind. Die anderen Enden sind durch die Lenker *d* mit der in der Nabe sitzenden Ausrückscheibe *f* gelenkig verbunden. Im Kupplungsgehäuse *E*, das mit dem Motoranker verbunden ist, sind zwei gegenüberliegende Rollenrasten eingesetzt. Außerdem

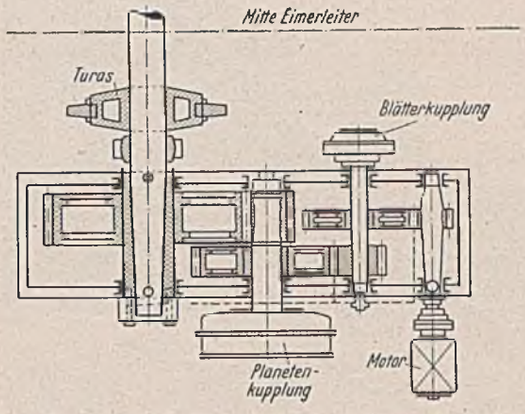


Abb. 5. Grundriß eines dreistufigen Stirnradgetriebes im Antrieb der Eimerkette.

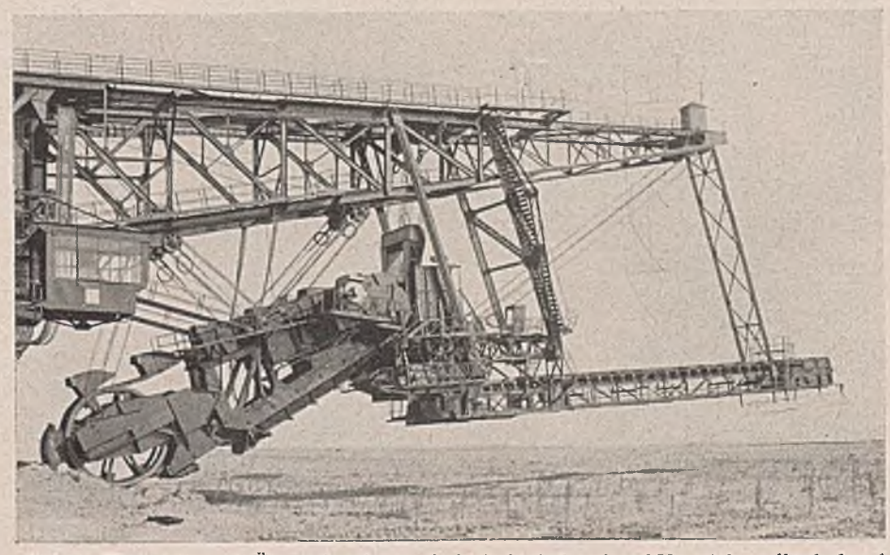


Abb. 4. Eimerleiter mit Übergabeschurre, Aufgabeförderband und Hauptabwurfförderband.

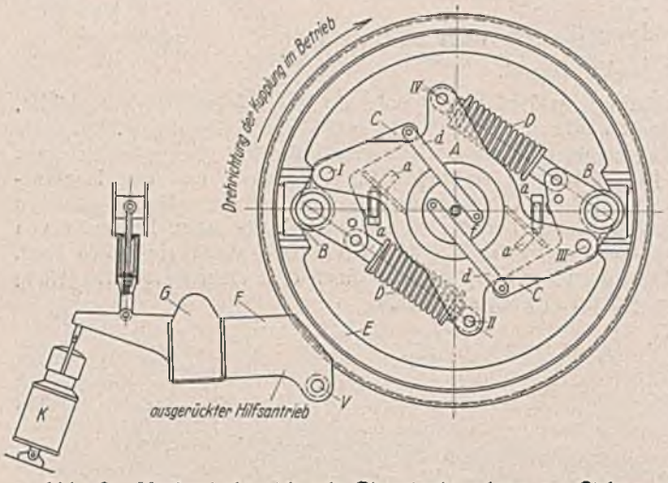


Abb. 6. Mechanisch wirkende Planetenkupplung zur Sicherung gegen Überlastungen des Eimerkettenantriebes.
A Kupplungsnabenteil, *B* Planetenrollen, *C* Winkelhebel, *D* vorgespannte Federn, *E* Kupplungsgehäuse, *F* Hebel, *G* Hilfsantrieb, *V* Drehpunkt zum Hebel *F*, *a* Klinken, *d* Lenker, *f* Ausrückscheibe, *k* Eidro-Bremslüftgerät. *I*, *II*, *III*, *IV* Lagerarme.

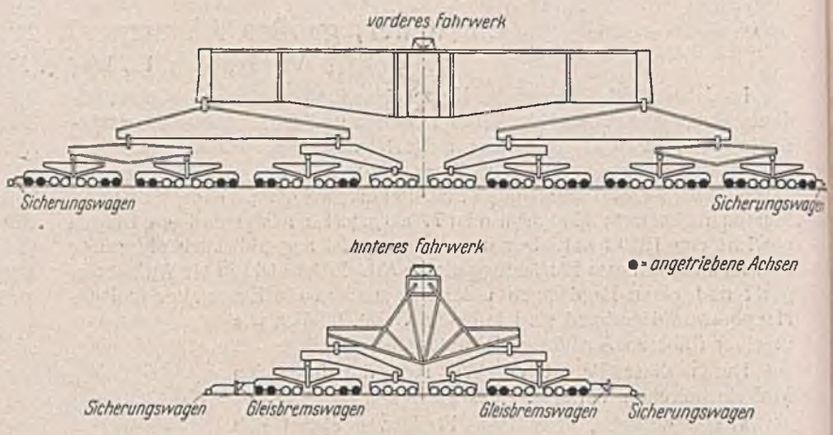


Abb. 8. Darstellung der Fahrwerke und der Abstützung des Großabsetzers.

ist am Gehäuse ein Sperrklinkengetriebe angebracht, das zum Wiedereinrücken der Kupplung dient. Das Sperrklinkengetriebe ist auf dem Hebel *F* gelagert, der um den Drehpunkt *V* durch das Eidro-Bremslüftgerät *k* schwingbar ist, so daß das letzte Zahnrad mit dem auf dem Kupplungsgehäuse sitzenden Zahnkranz in Eingriff gebracht und das Gehäuse gedreht werden kann, bis die Rollenrasten den Planetenrollen *B* gegenüberstehen. Der Hilfsantrieb *G* wird vom Führerstand aus eingeschaltet. Im gewöhnlichen Betrieb ist er nicht im Eingriff. Bei zu großem Drehmoment drehen sich die Winkelhebel *C* um ihre Drehpunkte *I* und *III*, so daß sich die Planetenrollen *B* aus den Rasten heben und die Verbindung zwischen der Turas- und Motorwelle unterbrochen wird. Im abgehobenen Zustand sichert die Vorspannung der Federn *D* die Lage der Planetenrollen. Bei der Drehbewegung verursachen die Winkelhebel *C* durch die Lenker *d* eine relative Drehung der Ausrückscheibe *f* gegenüber dem Kupplungsteil *A*, wodurch ein Ausrückstift nach außen gedrückt und ein Endschalter ausgelöst wird, der den Antrieb stromlos macht. Die Klinken *a* dienen zum Drehen der Winkelhebel *C*, damit beim Wiedereinschalten der Kupplung die Planetenrollen in die zugehörigen Rasten zu liegen kommen.

Die ohne Druckluft arbeitenden Planetenkupplungen sind öldicht abgeschlossen, so daß sie unter den rauhesten Betriebsbedingungen und unabhängig von der Außentemperatur arbeiten können.

Der Oberteil ist auf dem torartigen Unterwagen mit 11 m Spurweite aus der Mittelstellung nach jeder Seite um 43° schwenkbar.

Der Unterwagen fährt mit 160 Laufrollen (Abb. 7) auf zwei Gleisen von Regelspur. Die Laufräder verteilen sich auf der Eimerleiterseite (Abb. 8) auf zwei 28achsige Doppelschienenfahrgestelle, die aus je drei achtachsigen, angetriebenen Doppelschienendrehgestellen bestehen, und auf zwei vierachsige Laufwagen ohne Antrieb. Auf der Ballastseite befindet sich ein 24achsiges Doppelschienenfahrwerk mit zwei achtachsigen Doppelschienendrehgestellen mit Antrieb und mit zwei vierachsigen Laufwagen ohne Antrieb. Die Fahrwerke mit vollständiger Raumbeweglichkeit sind vielgliedrig und hebelartig in kleine Einheiten aufgelöst. Auf geraden Strecken kann der Absetzer Steigungen bis 1:40 befahren, während beim Ortswechsel Steigungen bis 1:30 möglich sind. Der elektrische Teil mit der stufenlosen Regelung der Fahrgeschwindigkeit durch einen Leonhard-Umformer, der zwecks Einstellung der Beschleunigungs- und Verzögerungszeitdauer eine Dämpfungseinrichtung benutzt, wurde von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft geliefert.

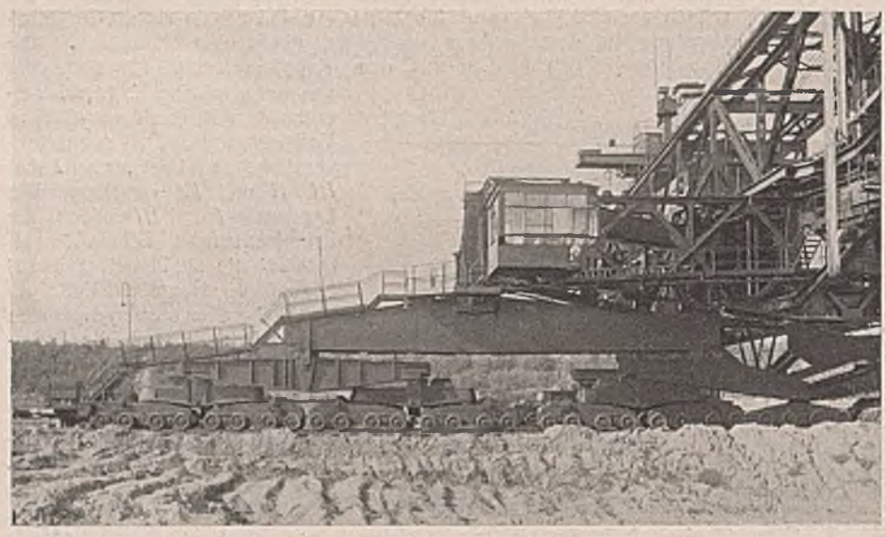


Abb. 7. Ansicht des Fahrwerks auf der Leiterseite.

Bei Beginn des Arbeitens des Absetzers wird zuerst der Antrieb zum Hauptabwurfförderband eingeschaltet. Dann folgen der Reihe nach die Antriebe des Zwischenbandes, der Eimerkette und des Fahrwerks. Beim Stillsetzen des Geräts vollzieht sich der Vorgang in umgekehrter Reihenfolge. Infolge einer elektrischen Verriegelung muß die Reihenfolge immer eingehalten werden.

Die Winden für die Seilzüge der Aufhängungen der Eimerleiter mit den zugehörigen Einrichtungen und des Hauptabwurfförderbandes befinden sich als Gegengewichte im rückwärtigen Ausleger des drehbaren Oberteils (Abb. 9).

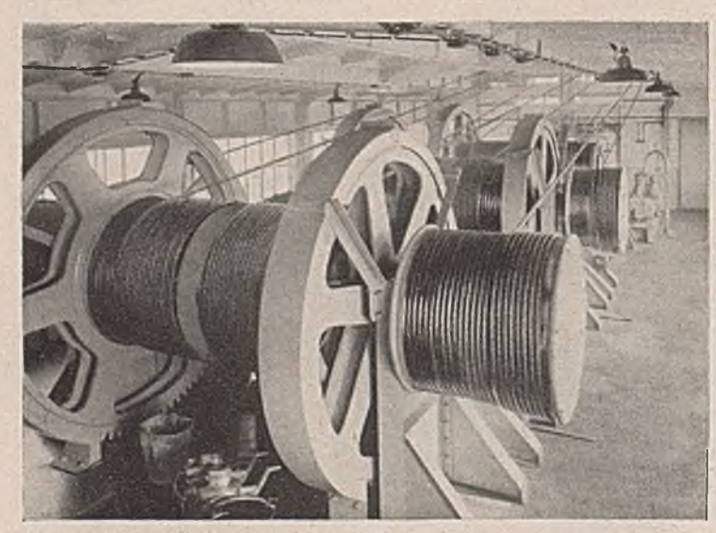


Abb. 9. Seilwinden für die Aufhängungen der Eimerleiter und des Hauptförderbandes.

Der für die einzelnen Antriebe mit einem Anschlußwert von zusammen 1500 kW notwendige, elektrische Strom wird dem Absetzer über zwei Kabeltrommeln zugeführt, die seitlich am Ballastausleger des Unterwagens liegen. Die zwei vieladrigen Gummikabel sind je 1500 m lang. Die Kabeltrommeln, die Antriebe dazu und die Aufwickelvorrichtung sind besonders gebaut. Im Absetzer wird der Strom durch Kabelbündel an den beweglichen Stellen weitergeleitet. Der Antriebsmotor zu einer Kabeltrommel dreht sich immer im Sinne des Aufwickelns des Kabels. Die Umlaufrichtung einer Kabeltrommel wird beim Auf- und Abwickeln des Kabels durch Geschwindigkeitsänderungen einer Bremsscheibe im Ausgleichteil des vorgeschalteten Getriebes umgekehrt, wobei die Geschwindigkeit des Umlaufs einer Kabeltrommel durch den Kabelzug bestimmt wird.

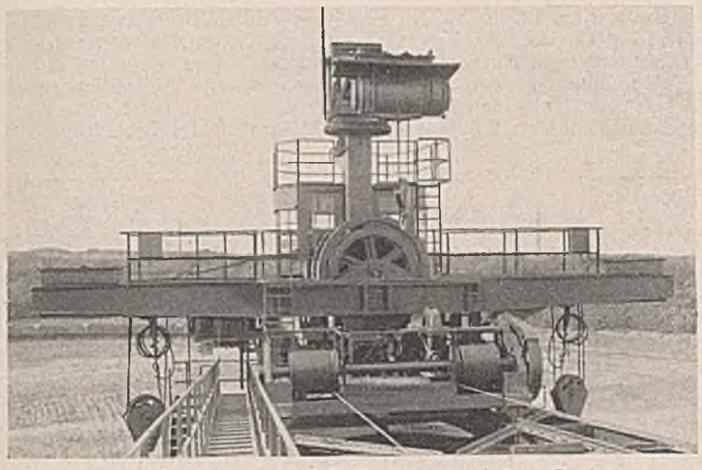


Abb. 10. 25-t-Ausbaukran und 5-t-Drehkran auf dem Großabsetzer.

Für den Ein- und Ausbau von Bauteilen läuft auf dem drehbaren Oberteil des Absetzers ein elektrisch betriebener Ausbaukran (Abb. 10) mit einem Kranführerstand. Der Kran trägt an den zwei seitlichen, je 4,5 m langen Auslegern Flaschenzüge, die einseitig oder doppelseitig, falls sie durch ein Querhaupt zusammengefaßt sind, eine Tragfähigkeit von 25 t aufweisen. Auf dem Ausbaukran befindet sich noch ein Zweimotorendrehkran mit 6 m Ausladung und 5 t Tragfähigkeit.

Hindernis, beim Auflaufen auf ein Hindernis und bei Schienenbruch stillsetzen. Die einzelnen Bewegungen, die sich durch ein Hindernis ergeben, werden über Schaltgestänge und ein Segment auf einen Hebelschalter übertragen. Die nachstellbare Länge der Schaltgestänge und die Umsteckbarkeit der Angriffspunkte ermöglichen die Einstellung der Schaltwege und der Empfindlichkeit des Endschalters in der entsprechenden Bewegungsrichtung. Eine nachstellbare Zugfeder ist so eingeregelt, daß kleinere Hindernisse von den vorgelagerten Schienenräumern beseitigt werden, ohne die Laufrollen zurückzuschieben.

In welcher Weise die Absetzeinrichtungen dieser Art an Größe und Leistung zugenommen haben, geht aus der Gegenüberstellung in Abb. 12 hervor. Die einzelnen Zahlen

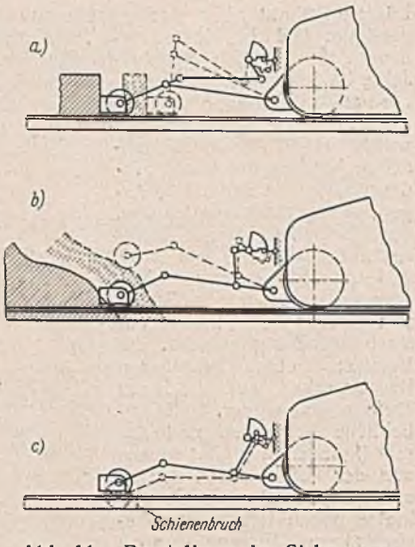


Abb. 11. Darstellung der Sicherungswagen am Fahrwerk.

a) Anfahren gegen ein Hindernis. Laufrolle wird zurückgeschoben.
b) Auflaufen auf ein Hindernis. Laufrolle wird angehoben.
c) Schienenbruch. Laufrolle wird gesenkt.

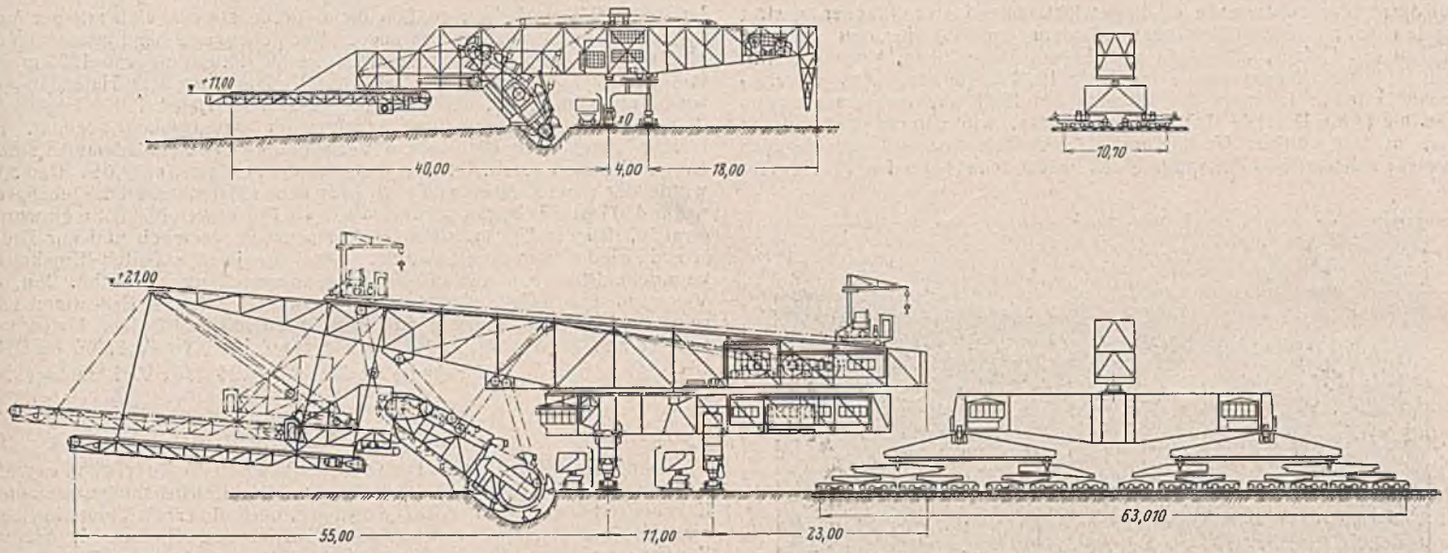


Abb. 12. Vergleich des Großabsetzers mit einem gleichartigen Absetzer aus dem Jahre 1927. Beide Geräte sind in demselben Maßstab gezeichnet.
(Lübecker Maschinenbau-Gesellschaft.)

Infolge der Größe der Absetzeinrichtung sind auch entsprechende Sicherheitseinrichtungen angewendet worden. Als Sicherung gegen Abtreiben durch Sturm sind an den Fahrwerken Gleisbremsen mit Schienenzangen angebracht. Beim Ausschalten des Hauptschalters werden die Schienenzangen durch elektrische Antriebe selbsttätig festgezogen. Die elektrischen Antriebe werden sowohl in der angezogenen, als auch in der gelüfteten Zangenstellung selbsttätig abgeschaltet. Beim Ausbleiben des Stromes werden die Schienenzangen durch Räder mit Spindeln von Hand angezogen.

In den Endstellungen sind die einzelnen Hub-, Senk- und Schwenkbewegungen des Geräts durch Hebel- und Spindelendschalter gesichert.

Um den Großbesetzer bei Hindernissen auf dem Gleis oder Gleisbrüchen gegen Entgleisungen zu sichern, laufen vor den Fahrwerken Sicherungswagen (Abb. 11), die das Gerät beim Anfahren gegen ein

für den beschriebenen Großabsetzer und ein gleichartiges Gerät aus dem Jahre 1927 sind in der folgenden Zusammenstellung angegeben.

Jahr		1927	1940
Eimerinhalt	l	400	1800
Breite des Hauptförderbandes	m	1,2	1,8
Geschwindigkeit	m/sek	2,2	4
Förderleistung	m³/h	700	3200
Inhalt der Abraumwagen	m³	16	35 oder 60
Anzahl der Laufräder		34	160
Anzahl der Achsen der Drehgestelle		6	28
Spurweite eines Fahrwerks	mm	900	1435
Länge des leiterseitigen Fahrwerks	m	10,7	63

Weitere Zahlen der Größenabmessungen ergibt die in gleichem Maßstab gezeichnete Vergleichsdarstellung der Abb. 12.

Vermischtes.

Holzbauwerke, Berechnung und Ausführung (DIN 1052). Die Bestimmungen für die Ausführung von Bauwerken aus Holz sind als dritte Ausgabe der DIN 1052 neu bearbeitet und vom Reichsarbeitsminister mit Erlaß vom 10. Dezember 1940 als Richtlinien für die Baupolizei für das ganze Reichsgebiet eingeführt worden. Erlaß und Vorschriften liegen als erste Beilage zum Jahrgang 1941 dem Heft 2/3 des Ztrbl. d. Bauv. an. Die Beilage mit Erläuterungen von Oberregierungs- und -baurat Wedler ist als Sonderausgabe im Verlag von Wilh. Ernst & Sohn erschienen. Über den für das Bauingenieurwesen wichtigen Teil der Vorschriften werden wir demnächst berichten.

Vom Hafen und Badestrand Viareggio. Das Seeufer von Viareggio am Ligurischen Meere wandert — wie viele Ufer der italienischen Küstengebiete — landeinwärts. Viareggio liegt auf alluvionen Ablagerungen zahlreicher aus dem Apennin kommender Flüsse. Schon 1285 trat der Graf von Gherardesca seinen Besitz mit dem am Strande befindlichen Wachturme (Abb. 1) an das Geschlecht der Lucchesi ab, die um 1530 einen neuen, heute noch vorhandenen Turm in 468 m Entfernung von dem erwähnten Wachturme am Ufer des Burlamaccakanals erbauten. Gegen 1820, als Maria Luise, Herzogin von Lucca, die Bedeutung Viareggios erkannte, wurden die das Hafenbecken Lucca umschließenden

Dämme gebaut. Um den zunehmenden Bedürfnissen der Schiffahrt zu genügen, ließ der Herzog von Toscana im Jahre 1850 das nach ihm benannte Hafenbecken ausführen. Ein drittes Hafenbecken wurde erst im Jahre 1905 von der Regierung des geeinigten Italiens erbaut (Abb. 1). Seither hat sich Viareggio rasch entwickelt. Den Bestrebungen der Schiffahrtskreise, den Hafen von Viareggio für immer größere Ladungen zu erweitern, wurde eine den wirtschaftlichen Aufstieg der Stadt hindernde Grenze dadurch gezogen, daß es nicht möglich war, den Burlamaccakanal tiefer auszubaggern. Die um 1577 und um 1865 erbauten Ufermauern waren nur in Tiefen von —1,50 bis —2,50 m auf Steinschüttung gegründet. Ein Versuch, eine geradlinige Kanalstrecke auf 3,50 m Tiefe auszubaggern, hatte erhebliche Setzungen und Beschädigungen der Ufermauern und der benachbarten Bauten zur Folge. Die Schiffahrtskreise gaben jedoch ihre Bestrebungen, Viareggio auch für größere Handelsschiffe zugänglich zu machen, nicht auf, obwohl durch Sachverständige auf die erhebliche Gefahr einer völligen Versandung der baulichen Anlagen für den Fall hingewiesen wurde, daß durch Einbauten der bestehende Gleichgewichtszustand des Strandes gestört werden sollte. Schließlich kam trotzdem ein Plan für den weiteren Ausbau des Hafens, allerdings mit halben Maßnahmen, zustande. Mit dem Bau der Dämme wurde im Jahre 1913 begonnen. Aus verschiedenen Gründen konnten die Arbeiten bis 1929 nur langsam vorwärts kommen (Abb. 1). Die Bauten führten aber, wie vorausgesagt worden war, zu fast völliger Versandung des Vorhafenbeckens und zugleich zu einer vollständigen Fortspülung des Badestrandes (Abb. 1 u. 2). Der Abbruch des Strandes durch die See ging schließlich so weit, daß der Bestand der mit einem Kostenaufwand von vielen Millionen errichteten Badeeinrichtungen ernstlich gefährdet wurde.

Die darauffolgenden Jahre vergingen dann mit Verhandlungen über die nun zu ergreifenden Maßnahmen und über den Ausgleich der sich gegenüberstehenden Wünsche der Schiffahrt und des Fremdenverkehrs.

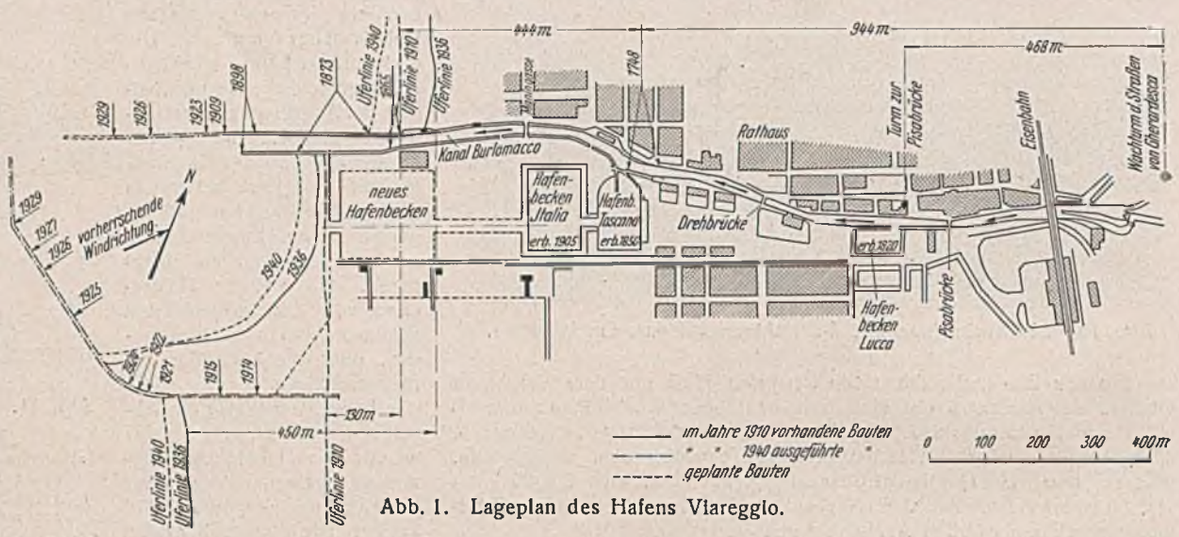


Abb. 1. Lageplan des Hafens Viareggio.

Im April 1936 griff dann endlich die Behörde ein und ließ mit der Ausbaggerung des Vorhafens beginnen. Der gebaggerte Sand wurde durch eine 600 mm weite Rohrleitung bis auf eine Entfernung von 1600 m gefördert. Im Mai 1937 wurde mit der Verlängerung des Hafendammes sowie einer neuen Kanalverbindung mit dem Hafen Italia begonnen. Zwei Jahre später waren diese Arbeiten im wesentlichen beendet. Es blieben dann noch die weitere Verlängerung des Schutzdammes sowie einige Brückenbauten. Nach endgültiger Fertigstellung des Dammes wurde der neue Zufahrtkanal nach dem neuen Hafenbecken ausgebaggert, wofür 450 000 m³ Sand gefördert wurden. Mit diesen Maßnahmen wurde erreicht, daß die Uferlinie sich wieder seewärts vorschob und der Badestrand wieder hergestellt wurde. Die bis jetzt erzielten Ergebnisse veranschaulicht am besten die Gegenüberstellung der Abb. 2 u. 3. Viareggio hat damit wieder seinen bekannten schönen Badestrand und seine Schiffahrt den lange genug geforderten leistungsfähigen Hafen mit ruhiger und bequemer Zufahrt. (L'Ingegnere 1940, Nr. 8, S. 597 bis 604).

Dr.-Ing. und Dr. rer. pol. Haller VDI, Tübingen.

Abb. 2. Badestrand im Abbruch.

Abb. 3. Badestrand nach Fertigstellung der Bauarbeiten.

Personalnachrichten.

Deutsches Reich. Deutsche Reichsbahn. b) Betriebsverwaltung. Ernannt: zum Reichsbahnrat: die Reichsbahnbauassessoren Ekkehard Streble bei der RBD Augsburg, Berthold Grau beim Betriebsamt Teplitz, Heinz Beecken beim Betriebsamt Bremen 1, Werner Ziemer bei der RBD Königsberg (Pr), Wilhelm Alt beim Betriebsamt Nürnberg 2, Werner Hampke bei der RBD Kassel, August Groll bei der RBD Stuttgart, Hermann Wolters, Vorstand des Neubauamts Stettin 1, Paul Schneider, Abteilungsleiter beim Ausbesserungswerk Brandenburg-West, Franz Timmers bei der RBD Königsberg (Pr), Helmut Schiebler bei der Reichsbahnbaudirektion Berlin, Hellmut Kasel bei der RBD Danzig.

Überwiesen: der Oberbaudirektor Paul Scheunemann, Leiter der Obersten Bauleitung der Reichsautobahnen Hamburg, als Abteilungsleiter und Dezernent zur RBD Hamburg mit der Amtsbezeichnung Abteilungspräsident; — die Oberreichsbahnräte Hermann Altenburg, Dezernent der Obersten Bauleitung der Reichsautobahnen Frankfurt (Main), als Dezernent zur RBD Frankfurt (Main), Alfred Hold, Dezernent der Obersten Bauleitung der Reichsautobahnen Kassel, als Dezernent zur RBD Kassel; — Reichsbahnrat Hans Busacker, Vorstand des Neubauamts Teltow, zum Betriebsamt Berlin 6.

Deutsches Reich. Straßenbau: Ernannt: zum Regierungsbauassessor Bauassessor Rudolf Schüler beim Straßen- und Flußbauamt Speyer unter Berufung in das Beamtenverhältnis.

Versetzt: Oberingenieur bei der Technischen Hochschule Darmstadt, Dr.-Ing. Karl Götz, zur Bayerischen Staatsbauverwaltung, Straßen- und Flußbauamt München.

Gestorben: Dr.-Ing. Heinrich Schneemann, Vorstand der Bauabteilung der Reichsautobahnen in Spandau.

INHALT: Über Bodenuntersuchungen bei Entwurf und Ausführung von Ingenieurbauten. (Schluß) — Ein neues, großes Absetzgerät zum Verstürzen von Abraum. — Vermischtes: Holzbauwerke, Berechnung und Ausführung (DIN 1052). — Vom Hafen und Badestrand Viareggio. — Personalnachrichten.

Verantwortlich für den Inhalt: Dr.-Ing. Erich Lohmeyer, Oberbaudirektor a. D., Berlin-Steglitz, Am Stadtpark 2. — Verlag: Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin W 9. — Druck: Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin SW 68.