

# Geotechnische Eigenschaften und Bestimmungsmethoden der Lockergesteine

Autor(en): **Moos, Armin von**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **111/112 (1938)**

Heft 22

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-49864>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

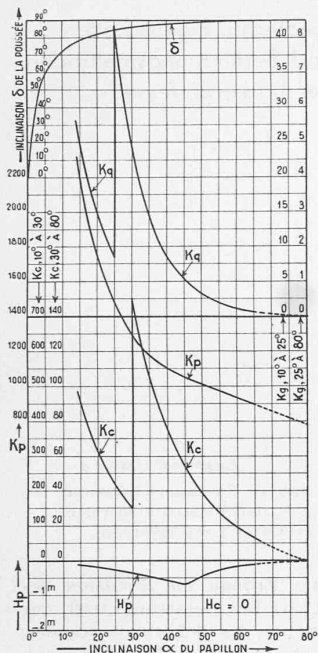


Fig. 18. Lentille A en régime de contre-pression positive: Coefficients caractéristiques en fonction de l'inclinaison  $\alpha$  de la lentille

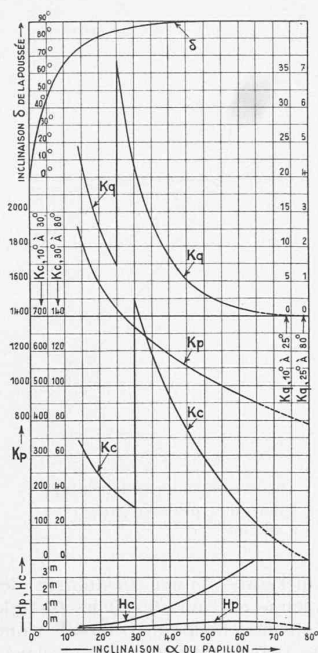


Fig. 19. Lentille B en régime de contre-pression positive: Coefficients caractéristiques en fonction de l'inclinaison  $\alpha$  de la lentille

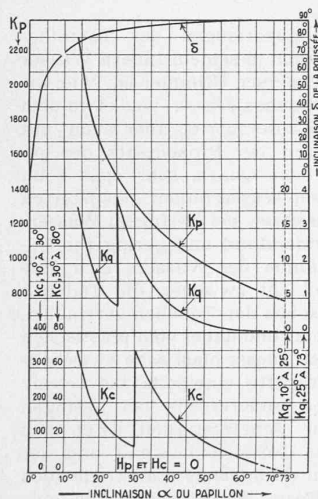


Fig. 20. Lentille C en régime de contre-pression positive: Coefficients caractéristiques en fonction de l'inclinaison  $\alpha$  de la lentille

En régime de fonctionnement avec contre-pression positive, le coefficient de couple  $k_c$  diminue au contraire constamment jusqu'à atteindre une valeur nulle pour  $\alpha = 80^\circ$  ou  $73^\circ$  (vanne fermée). Ici encore, ce changement d'allure de la loi du coefficient  $k_c$ , ne doit pas être interprété sans autre, au point de vue de la loi du couple  $C$ , attendu, qu'ainsi que nous venons de le remarquer au sujet de la poussée, la différence de pression  $\Delta H$ , varie d'une façon très importante en fonction de l'inclinaison  $\alpha$ .

4° L'angle  $\delta$  que fait la direction de la poussée  $P$  avec le plan médian de la lentille, s'établit à environ  $90^\circ$  dès que l'angle d'inclinaison  $\alpha$  devient appréciable. La poussée, résultant des efforts de pression le long de la lentille, doit bien en effet être théoriquement perpendiculaire à son plan de symétrie, pour autant du moins qu'on néglige les effets de pénétration et de frottement. Or, ceux-ci pour les petits angles ne sont plus négligeables; l'angle  $\delta$  en est affecté et diminue jusqu'à tendre vers zéro pour  $\alpha = 0^\circ$  (vanne toute ouverte). La poussée  $P$  dirigée dans le sens de l'écoulement est alors assimilable à la traînée d'une aile.

Les constatations ci-dessus exposées sont graphiquement résumées par les courbes des figures:

No. 15 pour la lentille A, dans les cas a) et b); No. 18 id dans le cas c),

No. 16 pour la lentille B, dans les cas a) et b); No. 19 id dans le cas c),

No. 17 pour la lentille C, dans le cas a); No. 20 id dans le cas c).

Elles représentent en fonction de l'angle  $\alpha$  les valeurs de  $k_q, k_p, k_c, H_q, H_p, H_c$  et  $\delta$  et condensent tous les résultats des mesures de débit, de poussée et de couple, dans les trois régimes de fonctionnement envisagés avec contre-pression positive, nulle ou négative et égale au vide.

Comme nous l'indiquions au début de ces lignes, on constate, en examinant les graphiques des cas a) et b), que la forme de la lentille réagit sur la valeur de l'angle pour lequel se produit le couple maximum, ainsi que sur la valeur même de ce couple caractérisé principalement par le coefficient  $k_{cmax}$ . Pour les types de lentilles étudiés, ce coefficient est compris approximativement entre 40 et 49 et doit être appliqué dans la formule  $k_c (H - H_c) D^3$  avec une pression  $H_c$  d'environ  $-9$  à  $-7,50$  m si la contre-pression est égale au vide, ou de  $+0,50$  m si la contre-pression est nulle.

Nous publions encore deux diagrammes P, C,  $Q^2$  en fonction de la pression, analogue à celui de la fig. 11. Mais tandis que ce dernier est relatif au type de lentille B, celui de la fig. 12 concerne le type A et celui de la fig. 13 le type C, avec quille aval. On remarque combien cette quille fait obstacle à l'amorçage et rejette la limite de l'amorçage complet vers les pressions plus élevées. Dans le diagramme fig. 13 du type de lentille C, cette limite s'établit vers  $H = 12$  m pour  $\alpha = 25^\circ$ , au lieu de  $H = 9$  à  $10$  m pour les diagrammes fig. 10 et 11 des types B et A, diagrammes correspondant pourtant à une inclinaison de  $\alpha = 30^\circ$  plus grande, c'est-à-dire facilitant moins l'amorçage.

(à suivre)

### Geotechnische Eigenschaften und Bestimmungsmethoden der Lockergesteine

Von Dr. ARMIN v. MOOS, Geolog, Institut für Erdbauforschung E. T. H. Zürich (Schluss von Seite 271)

#### Die Zusammendrückbarkeit

Praktische Bedeutung erhält die Wechselwirkung von festen Einzelteilchen, Luft und Wasser bei der experimentellen Ermittlung der Zusammendrückbarkeit und der Verdichtungsfähigkeit der Lockergesteine, denen in der Natur die Setzungserscheinungen entsprechen.

Bei der Frage nach Ursache und Abhängigkeit der Zusammendrückbarkeit stehen Petrographie, Gefüge und Grössenordnung der festen mineralogenen und organogenen Gemengteile im Vordergrund unseres Interesses. Hinweise auf den Einfluss der petrographischen Zusammensetzung der Pelite vermittelt das folgende Zusammendrückungsdiagramm (Abb. 5).

Die grosse Zusammendrückung des Bentonit beruht auf der intensiven Wasserabgabe des stark quellbaren Montmorillonit. Ueber den Kaolin (Hauptgemengteil Kaolinit, Spuren von Glimmer und Quarz) zum Muskowit sinkt die Wasseranlagerungsfähigkeit zur minimalen des Quarzes, der die geringste Zusammendrückung, d. h. schon primär die dichteste Packung mit geringsten gebundenen Wasserfilmen aufweist. Zudem können bei allen Materialien noch Einregelungen hinzutreten.

Wir folgern aus dieser Zusammenstellung, dass streng genommen nicht ohne weiteres feiner Pelit mit grosser Zusammendrückung parallelisiert werden kann, sondern dass die petrographische Zusammensetzung an dieser Eigenschaft massgebend beteiligt ist. Wenn wir versuchen, den Einfluss der Kornvergrößerung bestimmter Mineralien auf die Zusammendrückung experimentell zu bestimmen, so stossen wir auf die Schwierigkeit, dass über  $5 - 10 \mu$  Tonmineralien im engeren Sinn nur mehr sehr untergeordnet auftreten. Während beim Quarz infolge seiner geringen Wasseranlagerungsfähigkeit keine wesentlichen Unterschiede mit der Kornvergrößerung auftreten, zeigen sich beim Muskowit, d. h. allgemein bei den blättrigen Mineralien, trotz des Zurücktretens der Bindigkeit mit der Oberflächenverkleinerung grössere Zusammendrückung in gestörter Lagerung [siehe auch 20]. Diese besteht im Gegensatz zur Zusammendrückung der kohärenten «Schlammfraktion» auf den elastischen Deformationen und Gefügeänderungen der inkohärenten Glimmerhaufwerke und zeigt sich sowohl bei reiner künstlicher Glimmerfraktion, wie auch bei natürlichen Lockergesteinen (siehe Tabelle 6).

Dass aber im Durchschnitt bei natürlichen wassergesättigten kohärenten Lockergesteinen mit zunehmender Kornverkleinerung auch eine grössere Zusammendrückung parallel geht, hängt vor allem mit dem schon früher erwähnten Zurücktreten des Quarzes und der Zunahme der Tonmineralien und Glimmer bei gleich-

zeitiger Vergrößerung der spez. Oberfläche dieser Teilchen zusammen. Den Einfluss des Sandgehaltes zeigt Tabelle 6. Ausser bei reichlichem Auftreten der Tonminerale, besonders etwa vom Typus des Montmorillonit, und bei jungen Ablagerungen und Schüttungen finden wir die stärksten Setzungserscheinungen in der Natur dort, wo organische Derivate, vor allem bei Anwesenheit von Wasser, rein oder durch Mineralien verdünnt auftreten. Diese sind durch ihren schwammigen Bau und die Wassereinlagerungsfähigkeit auf Belastungen äusserst empfindlich; Loos [12] erwähnt einen Torf mit 860% Wasser, der sich bei einer Belastung von 0,2 kg/cm<sup>2</sup> um 25% setzte.

Neben der Petrographie und der Kornverteilung hat auch die Anordnung im Raume (das Gefüge) der Lockergesteine auf seine technischen Eigenschaften wesentlichen Einfluss. Schon der Sedimentationsprozess ist hier massgebend, Ausflockungsvorgänge oder dispergierter Absatz im Meere, rasche Sedimentation groben Materials bei Hochwasser im Gegensatz zu ruhiger Ablagerung bei abnehmender Wasserflut in Seen, planparallele Ablagerung der flachen Glimmer, gesetzmässige Einordnung der feineren Bestandteile unter die gröberen, vermögen schon primär zu bestimmten Gefügebildungen zu führen.

Gleichzeitig aber beginnen Veränderungen, Anpassungen an die neuen Bedingungen, Einregelungen, Verdichtung, frühmetamorphe und diagenetische Vorgänge, deren Endziel verdichtete Festgesteine sind. Kolloidchemische Umstellungen, lokale chemische Umbildungen, Reduktionsprozesse unter Bildung von Gasen treten ein. Werden solche relativ stabile Zustände durch Erschütterungen oder Kneten gestört, so ergeben sich zwangsweise auch Veränderungen ihrer mechanischen Eigenschaften; dabei bilden sich aus den eingeregelt blätterigen Mineralien sperrige Gefüge; bei feinen Peliten, besonders auch bei Anwesenheit organischer Gemengteile treten kolloidchemische Störungen auf (Thixotropie) [18,10]. Um in all den Fällen, wo es sich um das Studium und die technische Vorhersage in ungestörten Ablagerungen handelt, äquivalente Resultate zu erhalten, fordert die Erdbauforschung deshalb kategorisch die Entnahme *ungestörter* Proben. Liegen dagegen bautechnische Aufgaben vor, bei denen mit einer Gefügestörung auf alle Fälle gerechnet werden muss (Dammbauten event. Schüttungen), so wird die Bestimmung auch an gestörten Proben durchgeführt werden, wobei, wie Abb. 6 zeigt, der Plastizitätsbereich nach Atterberg sehr wertvolle und zeitsparende Hinweise geben kann.

A. Grössere Zusammendrückbarkeit ist zu erwarten:

1. Bei reichlicher Anwesenheit kolloiddisperser Tonminerale, Glimmer, Feldspat, Kalk sowie bei organischen Beimengungen, vorausgesetzt, dass genügend Wasser vorhanden ist.
2. Bei reichlicher Anwesenheit von fein-grobkörnigem Glimmer, gewissen organischen Massen auch in trockenem Zustand.
3. Bei lockerer Lagerung oder Gefügestörungen.

B. Geringere Zusammendrückbarkeit ist zu erwarten:

1. Bei Anwesenheit grob-feindisperser Gesteins- und Mineraltrümmer (ohne Glimmer), reichlich Quarz aller Korngrössen; dicht gelagert, ungestört sowohl in trockenem wie in wassergesättigtem Zustande.
2. Bei Anwesenheit trockener kolloiddisperser Mineralien.
3. Bei natürlicher oder künstl. Verkittung (Kalk, Silizium, Eis).

Beispiele: A. Torf, Faulschlamm, Seekreide, fette, besonders auch humushaltige Tone (Mergel), humushaltige sowie glimmerreiche Silt-Sande.

B. Kies, glimmerarme Sande, dicht gelagerte magere Tone (Mergel) und Lehme, trockene Lehme und Tone (Mergel), gefrorene Lockergesteine.

Die Scherfestigkeit

Die vertikale Belastung, die zum Prozess der Zusammendrückung führt, stellt einen Sonderfall der Kräfteeinwirkung dar; wird diesem Spannungszustand eine allmählich sich steigernde reine Scherbeanspruchung überlagert, so ist der dadurch herbeigeführte Bruchvorgang durch die Ueberwindung der Scherfestigkeit gekennzeichnet, eine mechanische Eigenschaft der Lockergesteine, die im komplexen geologischen Begriff der Rutschgefährlichkeit ebenfalls enthalten ist.

Sofern wir annehmen, der Druck einer zusätzlichen Belastung sei bereits von der festen Phase übernommen, was bei feinkörnigen Lockergesteinen erst nach längerer Zeit der Fall ist, kommen bei der Ueberwindung des Scherwiderstandes verschiedene Kräfte zur Auswirkung: a) Unabhängig von einer Belastung sind in einem Lockergesteine die Teilchen ineinander mehr oder weniger verzahnt und bedingen einen *Gefügewiderstand*; dazu können zusätzlich, zwischen die aneinanderstossenden Oberflächen der Einzelteilchen physikalisch-chemische Bindungen treten, die einen *Haftwiderstand* verursachen. Haftwiderstand und Gefüge-

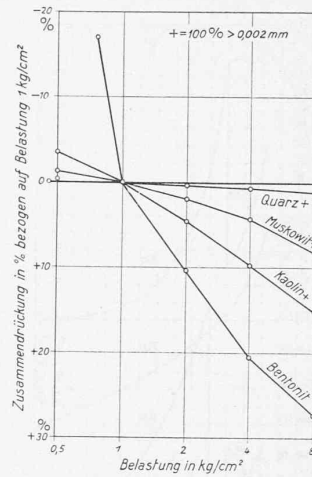


Abb. 5. Zusammendrückungsdiagramm bezogen auf 1 kg/cm<sup>2</sup>

Geotechn. Eigenschaften und Bestimmungsmethoden der Lockergesteine

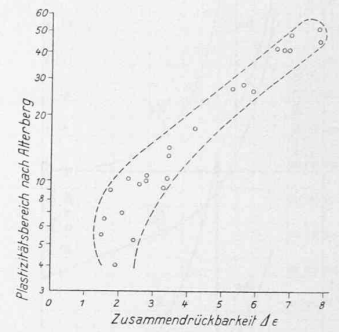


Abb. 6. Zusammendrückung in % und Plastizitätsbereich gestörter Lockergesteine

widerstand bilden zusammen den im Erdbau als *Kohäsion* bezeichneten Teil der Scherfestigkeit. b) Bei Belastung tritt zur Kohäsion noch die weitere Komponente des Scherwiderstandes, die *innere Reibung* hinzu [siehe auch 26, 10]. Form der Einzelteilchen und Natur ihrer Oberfläche müssen als Ausdruck ihres chemisch-strukturellen Baues gewertet werden; die Grösse der wirksamen Teilchen dagegen ist durch ihre geologische, z. T. auch kolloidchemische Geschichte bedingt.

Das Wasser- und Ionenbindungsvermögen der Tonminerale (extrem Montmorillonit, das auch in seinem Innern Wasser anlagern kann), auch der kolloiddispersen Glimmer ist, wie wir schon früher erwähnt haben, ein vielfaches dessen, was etwa dem Quarz zukommt. Mit steigendem Wasserzutritt, aber auch mit Abnahme der spez. Oberfläche nimmt der Prozentsatz des gebundenen Wassers ab (sehr früh beim Quarz, sehr spät beim Montmorillonit). Die mit gebundenen Wasserhüllen gepolsterten Glimmer- und Tonmineraleilchen besitzen bei geringem Wassergehalt einen extrem grossen Haftwiderstand und geringeren Gefügewiderstand, während mit Zunahme des Wassers sich eine bewegliche ungebundene Schmierschicht zwischen den Teilchen legt, dadurch die Haftfestigkeit zwischen den Teilchen verringert, auch den Gefügewiderstand herabsetzt und dabei vom plastischen zu dem fließenden Zustand überleitet. Dieser plastische Zwischenbereich fehlt durch minimale Haftkräfte einerseits bei relativ inaktiven Oberflächen (Quarz) und andererseits bei geringen spez. Oberflächen (Sand-Kies); die Scherfestigkeit setzt sich dann fast ausschliesslich aus dem Gefügewiderstand und der inneren Reibung zusammen. Für den Gefügewiderstand, wie auch für die innere Reibung spielt die Form der Einzelteilchen eine wesentliche Rolle. Die fehlende Haftung ermöglicht z. B. die Fließerscheinungen im Schwimmsand.

Für das Verhältnis von Gefügewiderstand und Haftfestigkeit, sowie für die innere Reibung ist auch die gegenseitige Lage (Gefüge) der festen Teilchen verantwortlich; die eingeregelt blätterigen, planparallel gelagerten Mineralien ergeben ein dominieren der Haftfestigkeit und eine Verminderung des Gefügewiderstandes und der inneren Reibung, während die regellose Verteilung bei Gefügestörung dem Gefügewiderstand und die innere Reibung bis zur neu erreichten Einregelung Vorschub leistet.

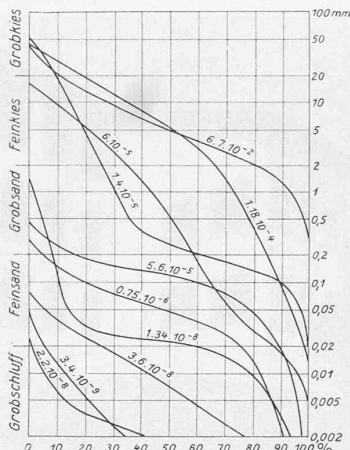
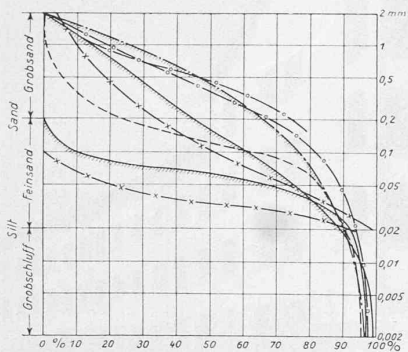
Auch kolloidchemische Vorgänge können den Scherwiderstand bzw. seine Komponenten beeinflussen; Koagulationen durch Ca-

Tabelle 6

Material	Spez. Zusammendrückung in %					
	Belastung kg/cm <sup>2</sup>	0,5	1	2	4	8
Muskowit 100% > 2 μ		-1,51	0	2,0	4,35	8,3
Muskowit 100% 20 - 50 μ		-9,3	0	12,5	25,0	30,6
Feinsand Zürich; siehe Tabelle 1			0	1,41	3,0	3,5
Feinsand Lugano; siehe Tabelle 1		0,7	0	2,6	5,5	8,7
1/3 Kaolin * + 2/3 Quarz (0,2 - 0,5)		-0,37	0	1,1	2,0	3,1
1/2 Kaolin * + 1/2 Quarz (0,2 - 0,5)		-2,39	0	2,7	5,5	8,6
2/3 Kaolin * + 1/3 Quarz (0,2 - 0,5)		-3,3	0	3,5	7,4	11,7

\* Kaolin von Zettlitz, Kornverteilung siehe Tabelle 4.

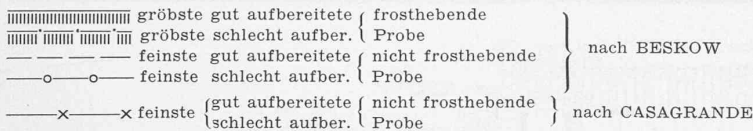
Abb. 7 (rechts). Durchlässigkeit ( $k_{10}$ ) und Kornverteilung



Durchlässigkeit, Kapillarität

Durchlässigkeit und Kapillarität sind vor allem eine Funktion der Porengröße, die ihrerseits wieder von der Dimension der Einzelteilchen, deren Raumerfüllung und Gefüge, Morphologie und event. beginnender Diagenese abhängig ist. Bei zunehmender Beteiligung feinerer Bestandteile verkleinert sich der verfügbare freie Porenraum und die Durchlässigkeit nimmt ab. Während bei den Psammiten und Psephiten der Grad der Raumerfüllung vor allem von der Kornverteilung, der Belastung und der Morphologie der Einzelteilchen abhängt, ist vom theoretischen Standpunkte aus zu erwarten, dass der verfügbare Porenquerschnitt bei den Peliten von der Oberflächenwirkung, d. h. der Petrographie der Einzelteilchen abhängt, wobei etwa Kaolin, noch stärker Montmorillonit und je nach der Art der adsorbierten Ionen wesentlich grössere Teile des freien Porenquerschnittes durch relativ fest an die Oberfläche gebundene Wassermoleküle beanspruchen und damit die Durchlässigkeit stärker herabsetzen als etwa Quarz unter sonst gleichen Bedingungen, wobei gleichzeitig auch die Form der Porenräume von der Morphologie der Mineralien determiniert wird und die Durchlässigkeit beeinflussen kann. Tabelle 7, die Hinweise in dieser Richtung gibt, zeigt ausserdem die Abhängigkeit der Durchlässigkeit von der Belastung.

Abb. 8. Frosthebung und Kornverteilung



oder Mg-Jonen können eine Verringerung der spez. Oberfläche erzielen, während etwa Na-Jonen zur Einzelkornzerteilung führen. Eigenschaften, die wir als Thixotropie bezeichnen, können den gesamten Wasserbestand besonders auch bei Anwesenheit organischen Materiales in einen halstarren Zustand bringen, was einer wesentlichen Vergrößerung der Haftfestigkeit gleichkommt. Erschütterungen und Störungen können wieder zur Verflüssigung führen.

Grössere Scherfestigkeit ergeben Geringere Scherfestigkeit ergeben

I. Bei Wassersättigung

- A. 1. Grob-feindisperse Lockergesteine, ohne organische Beimengungen. Feindisperse Lockergesteine bei starkem Vorwiegen des Quarzes.
- A. 2. Koagulationen.
- A. 3. Dichte Lagerung, eckige Mineralien.
- A. 4. Organische Beimengungen in ungestörter Lagerung.
- B. 1. Kolloiddisperse Tonminerale, auch Glimmer, Feldspäte, Kalk, besonders auch bei Anwesenheit von feindispersen Humus.
- B. 2. Dispergierung.
- B. 3. Lockere Lagerung, gerundete Mineralien, Regelung der blätterigen Mineralien.
- A. 4. «Störung» bei organischen Beimengungen.

II. Bei Wasseruntersättigung

- A. B. 5. Allgemein Vergrößerung der Scherfestigkeit. (ausgenommen bei grobdispersen Lockergesteinen)

Beispiele:

- A. 1. Kies, Sand z. T. Schluff. Lehmmarme Moräne
- A. 2. Ca-Mg-Jonen.
- A. 3. Scharfkantiger Quarzsand.
- A. 4. Ungestörte Seekreide.
- B. 1. Fette-halbfette Tone, Mergel und Lehme.
- B. 2. Na-Jonen.
- B. 3. Dünsand, Windloess (?)
- B. 4. Gestörte Seekreide.

Trotzdem wir über die Grundbedingungen für das Zustandekommen der Scherfestigkeit heute orientiert sind, ist es noch nicht möglich, durch Untersuchung der Petrographie, der Kornverteilung, der kolloidchemischen und chemischen Zusammensetzung allein die Scherfestigkeit eines Materiales vorauszusagen und Angaben über die Rutschgefährlichkeit eines Komplexes zu machen.

Die Atterbergschen Konsistenzgrenzen geben wertvolle Hinweise (von untersuchten Einzelbeispielen fand Köhler [11] bei gerutschten Baugründen Plastizitätsbereiche über 20, zumeist über 30, Fliessgrenze über 35, zumeist über 60). Mit der Bestimmung der Durchlässigkeit wie auch der Kornverteilung kann u. a. die Frostschubgefahr beurteilt werden. Mit der experimentellen Bestimmung der Scherfestigkeit bestimmter Lockergesteinstypen in ungestörter Lagerung im Erdbaulaboratorium sind hingegen schon wesentliche Grundlagen für die Beurteilung gewonnen.

Tabelle 7: Durchlässigkeit  $K 10^0$  in  $\text{cm}^3/\text{s}$

Material	Belastung in $\text{kg}/\text{cm}^2$				
	0,5	1	2	4	8
Moräne 133 } Einsiedeln		$6,0 \cdot 10^{-5}$	$5,16 \cdot 10^{-5}$		
Moräne 143 }		$2,7 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$		
Quarz > $2 \mu 100\%$	$3,7 \cdot 10^{-7}$	$1,71 \cdot 10^{-7}$	$0,92 \cdot 10^{-7}$	$0,6 \cdot 10^{-7}$	$4,78 \cdot 10^{-8}$
Muskowit > $2 \mu 100\%$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$9,1 \cdot 10^{-8}$	$7,4 \cdot 10^{-8}$	$5,7 \cdot 10^{-8}$	
Kaolin > $2 \mu 100\%$	$3,3 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$5,5 \cdot 10^{-9}$

Eine weitere Einwirkung auf die Durchlässigkeit muss auch dem Gefüge zukommen, wie das sehr deutlich Untersuchungen an gestörten Proben ergeben. Von Einfluss ist die planparallele Lagerung der blätterigen Mineralien etwa der Glimmer, dann aber auch gleichzeitige Ablagerung und Wachstum von Pflanzen, wie etwa bei den Wurzelröhrchen des Lösses, die die Durchlässigkeit zu einer gerichteten Eigenschaft stempeln. Ausflockungen und Krümelungen durch kolloidchemische Einflüsse wirken im Sinne einer Porenvergrößerung, Einzelkornzerteilung als Porenverkleinerung. Von der Durchlässigkeit hängt beim Zusammenpressvorgang die Austrittsgeschwindigkeit des aus den Poren ausgepressten Wassers ab und es wird dadurch der Zeitpunkt, wo die Auflast durch die feste Phase (event. die Schicht gebundener Wassermoleküle) getragen wird, bestimmt, was bei fetten Tonen je nach Mächtigkeit, Wassergehalt, sandigen Einschaltungen, Tage bis Jahrhunderte dauern kann, und oft langandauernde Setzungen zur Folge hat.

In diesen Zusammenhang gehören auch die Erscheinungen der Schwimmsande und des Grundbruches. Während die Grösse der maximalen aufgetriebenen Körner, abgesehen von der Lagehöhe, von der Strömungsgeschwindigkeit bestimmt wird, tritt mit sinkender Korngrösse die petrographische Zusammensetzung und Morphologie mehr und mehr in Erscheinung. Während beim gemahlene Quarz Auftriebserscheinungen bei lockerer Lagerung auch bei der Schlammfraktion ( $100\%$  kleiner  $2 \mu$ ) in Erscheinung treten, kennen wir sie nicht bei Tonen derselben Kornzusammensetzung, d. h. bei Lockergesteinen, die wesentliche Mineralien mit Haftwiderstand besitzen. Wenn die Korn-Analysen typischer Schwimmsande das Vorherrschen der Teilchen über  $10 \mu$  aufweisen, hängt das mit den geringen chem.-phys. Haftkräften der relativ kleinen spez. und inaktiven (Quarzvornacht) Oberfläche dieser Fraktionen zusammen. Erst bei der Beteiligung wesentlicher Mengen Schluff treten bei durchschnittlichen Lockergesteinen mehr und mehr Mineralien mit grösserer Wasserhaftfähigkeit auf, vor allem die eigentlichen Tonminerale, untergeordnet auch Glimmer, Feldspäte und Kalk in feinsten Verteilung. Es ist aber zu erwarten, dass unter besonderen Umständen wesentlich feinere, z. B. nur aus Quarz bestehende Lockergesteine Auftriebserscheinungen aufweisen. Die Prüfung auf die Auftriebsgefährlichkeit eines Lockergesteines erfolgt nach Feststellung der allgemeinen geologischen und hydrologischen Verhältnisse deshalb am einfachsten durch Bestimmung der Haftfestigkeit, z. B. der Plastizität, die mit der Kohäsion in Zusammenhang steht. Die Möglichkeit eines Auftriebes liegt — unter bestimmten hydrologischen Voraussetzungen — dann vor, wenn bei gut aufbereiteten Lockergesteinen der Plastizitätsbereich nach Atterberg unter  $8 \div 10$  fällt, bei schlecht aufbereiteten Materialien (z. B. Moränen) soll er nach unseren Erfahrungen nicht unter  $3 \div 5$  fallen. Bei Zunahme der feineren Körner, bei luftgefüllten Poren und gleichzeitig möglichem Wassernachschub treten bei einer Porengrösse von etwa  $0,2 \div 0,1 \text{ mm}$  an mehr und mehr die Kapillarkräfte in Erscheinung. Da aber gleichzeitig die Durchlässigkeit abnimmt, wird von Grobsand zu fettem Ton ein gewisses Optimum für die kapillare Steighöhen- und Durchdringungsschritten. Die Kenntnis der Kapillarität ist besonders für Damm-

und Strassenbauten, die tiefen Temperaturen ausgesetzt werden, von Wichtigkeit. Besonders Feinsande, Silte (magere Lehme und Tone) in der Nähe des Grundwasserspiegels sind durch ihre frosthebenden Eigenschaften (Bildung von kompaktem Eis oder Linsen, die ungleichförmige Bodenerhebungen zur Folge haben) gefährlich und verursachen beim Tauen ein Aufweichen des Untergrundes, während fette Tone und Lehme, besonders aber Grobsande und Kiese weniger gefährlich sind. Nach Beskow [1] und Casagrande [2] u. A. lassen sich bei Kenntnis der Lage des Grundwasserspiegels durch Kapillaritäts- und Kornverteilungsbestimmung frostgefährliche und frostungefähliche Materialien auseinander halten, wie dies aus dem Diagramm (Abb. 8) ersichtlich ist.

Die Untersuchungen in den Erdbaulaboratorien sind von unschätzbarem Werte für die moderne Erdbauforschung geworden; es können die Eigenschaften der einzelnen in sich mehr oder weniger homogenen Schichten durch Konsistenzuntersuchungen auf ihre vorkommenden Variationen hin untersucht werden und bestimmte Typen unter ihnen auf die Zusammendrückung, Durchlässigkeit, Kapillarität und Scherfestigkeit hin eingehend geprüft werden. Die folgerichtige Anwendung der Ergebnisse im Erdbaulaboratorium setzt aber eine innige Zusammenarbeit von Geologe und Ingenieur voraus. Aufgabe des technisch orientierten Geologen ist es, Schichtung, Ausdehnung, Klüftung, Vorgeschichte, Wasserhaltung und Drainage des Baugrundes an Hand der Ergebnisse der nach seinen Angaben vorgeführten Bohrungen, und unter Berücksichtigung weiterer Aufschlüsse und allgemeiner geologischer Erfahrungen zu prüfen; er muss die Anwesenheit von Gleitschichten oder das Tempo der Verwitterung, Auslaugung und Quellung gewisser Lockergesteine beurteilen können. Aus den geologischen Unterlagen, den Ergebnissen der erdbaumechanischen Untersuchungen und den mechanischen und hydrologischen Erkenntnissen müssen Ingenieur und technischer Geologe das bautechnische Problem einer Lösung entgegenbringen.

1. Beskow. Tjällbildningen och Tjällstningen. Stockholm, Svenska Väginstutet, M. 48. 1935.
2. A. Casagrande in Bodenmechanik und neuzeitlicher Strassenbau. Schriftenreihe 3 der «Strasse», 1936.
3. C. W. Correns. Petrographie der Tone. Naturwissenschaften 1936.
4. Brandenberger E. in Lit. 6 und 9.
5. W. Dienemann u. R. Köhler. Einige Beispiele aus dem Gebiete der Baugrundgeologie. Zeitschrift für prakt. Geologie 46. 1938.
6. Geering J. Beitrag zur Kenntnis der Braunerdebildung auf Molasse im schweizerischen Mittelland. Diss. Zürich 1935.
7. Gessner H. Die Schlämmanalyse. Kolloidforschung in Einzeldarstellung 10. 1931.
8. Guggenmoos Th. Ueber Korngrösse und Kornverteilung von Sanden verschiedener geologischer Entstehung. N. Jahrbuch. Min. etc. Abt. B. 72. 1934.
9. Harkort H. J. Zur Methodik der Korngrössen und Mineralanalyse von Peliten. Sprechsaal 1938.
10. Hvorslev J. M. Ueber Festigkeitseigenschaften gestörter bindiger Böden. Danmarks Naturvidenskabelige Samfund. Kobenhavn. 1937.
11. Köhler R. Ueber die Beziehungen zwischen Rutschneigung von Böden und deren physikalische und chemische Eigenschaften. J. preuss. geol. Landesanstalt. 57. 1937.
12. Loos W. Praktische Anwendung der Baugrunduntersuchung bei Entwurf und Beurteilung von Erdbauten und Gründungen. Springer, Berlin 1937.
13. Mägdefrau E. u. Hofmann U. Glimmerartige Mineralien als Tonsubstanzen. Zeitschrift für Krist. 98. 1937.
14. von Moos A. Unverfestigte Sedimente und Erdbaumechanik. Geol. Rundschau 29. 1938.
15. Müller A. Die mechanische und mineralogische Konstitution der Saanesande. Ber. d. Schwyz. natf. Ges. 1938.
16. Niggli P. Zusammensetzung und Klassifikation der Lockergesteine. Schweiz. Archiv. 4. 1938.
17. Pallmann H. Die Probleme der Düngung in der Landwirtschaft. Schweiz. Bauzeitung 1937.
18. Pallmann H. Zur physikalischen Chemie des Bodens. Schweiz. Archiv 4. 1938.
19. Quiring K. Die Unterscheidung von Loess und Hochflutlehm. Zeitschrift für prakt. Geologie 1934.
20. Redlich, Terzaghi, Kampe. Ingenieurgeologie, Berlin 1929.
21. Scheidig A. Der Loess und seine geotechnischen Eigenschaften. 1934.
22. Statens Järnvägar. Geotekniska Meddelanden 2. 1922. Stockholm.
23. Stiny J. Grundsätzliches über den Baugrund. Geologie und Bauwesen 2, 1930/1931.
24. Wiegner G. Anleitung z. quantitativen agrikulturchem. Praktikum, 1926.

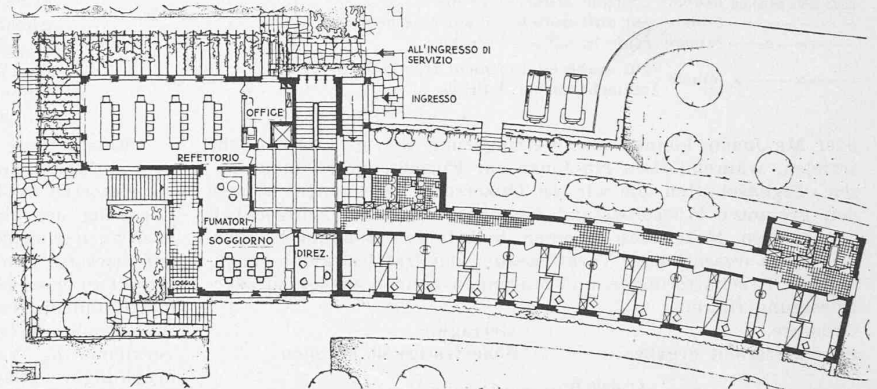
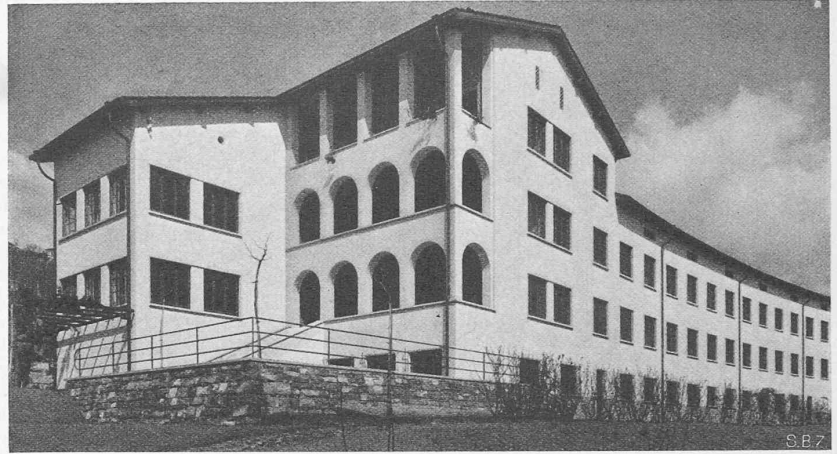


Abb. 61 u. 62. Blindenasyll Ricordone-Lugano (Erdgeschoss 1:500). Arch. C. u. R. TAMI, Lugano

25. Endell K., Loos W., Meischeider, V. Berg. Ueber Zusammenhänge zwischen Wasserhaushalt der Tonmineralien und bodenphysikal. Eigenschaften bindiger Böden. Degebo 5, 1938.
26. Häfeli R. Die mechanischen Eigenschaften der Lockergesteine. Schweiz. Bauzeitung 1938.

### Tessiner Architekten von heute (Schluss von S. 246)

Architekten *Carlo & Rino Tami*, Lugano. Der Entwurf für das Blindenheim Ricordone ist aus einem Wettbewerb namentlich auch wegen seines geringen kubischen Ausmasses als erster Preis hervorgegangen. Der Zimmerflügel ist nach Südwesten orientiert und gekrümmt entsprechend der Hangform. Die Baukosten erreichten 308 000 Fr. oder 43 Fr./m<sup>3</sup> umbauten Raumes. — Mit kleinen Mitteln musste der Bau der Spitalvergrößerung in Castelrotto durchgeführt werden. Er liegt auf sehr abschüssigem Boden, konnte hinten auf bestehende Mauern gestellt werden und erhielt unter der vorderen Fassadenmauer Eisenbetonpfeiler, die auf den Fels fundiert sind. Im äussersten Teil des Neubaus sind die Kinder untergebracht, im Dachgeschoss die Kranken-



Abb. 65. Haus «Al Ronco» in Lugano. Arch. C. & R. TAMI, Lugano