

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 111/112 (1938)
Heft: 21

Artikel: Geotechnische Eigenschaften und Bestimmungsmethoden der Lockergesteine
Autor: Moos, Armin von
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-49861>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

partiel. Nous prendrons, comme exemple de comparaison avec le diagramme théorique fig. 3, celui fig. 11¹³⁾ correspondant aux essais avec l'inclinaison $\alpha = 30^\circ$ sur la vanne munie de la lentille du type B, effilée seulement du côté aval. On constate qu'avec l'ajutage divergent utilisé, c'est à partir d'une pression H de 9 à 10 m, de valeur par conséquent relativement faible, que l'amorçage complet s'établit, nous voulons dire que le vide absolu règne au voisinage des sections étranglées de l'écoulement.

Cet amorçage demeure dès lors sans changement appréciable pour des pressions H plus élevées, c'est-à-dire des vitesses d'écoulement supérieures. Nous en voulons pour preuve le fait que les points Q^2 (carré du débit) s'alignent très correctement sur une droite coupant l'axe des abscisses à une distance de l'origine correspondant à la pression barométrique H_b , autrement dit que la loi de variation de Q^2 s'exprime par:

$$Q^2 = k_q D^4 (H + H_b)$$

avec, dans le cas particulier: $k_q = 1,65 \text{ m/sec}^2$ et $H_b = 9,75 \text{ m}$.

La vitesse dans les sections étranglées de la vanne est donc proportionnelle à $\sqrt{2g(H + H_b)}$ et comme H est la pression nette totale, énergie cinétique comprise, à l'entrée de la vanne, on peut bien en conclure que la pression moyenne régnant à la

¹³⁾ Praïtra dans le numéro suivant.

Réd.

sortie, dans les sections étranglées, est $-H_b$, soit le vide absolu.

A ce régime ainsi caractérisé, correspond une loi linéaire de la poussée P et du couple C , dont les droites représentatives coupent l'axe des abscisses non pas à l'origine, mais bien comme prévu à des distances (dans le sens négatif) H_p et H_c toutes deux plus petites que H_b . Dans le cas particulier:

$$P = k_p D^2 (H - H_p) \text{ avec } k_p = 553 \text{ k/m}^3 \text{ et } H_p = -6,50 \text{ m}$$

$$C = k_c D^3 (H - H_c) \text{ avec } k_c = 40,7 \text{ k/m}^3 \text{ et } H_c = -8,00 \text{ m}$$

En dessous d'une pression H de 9 à 10 m correspondant à la vitesse limite d'écoulement provoquant l'amorçage complet, les courbes P , C et Q^2 s'incurvent pour se diriger comme il se doit sur l'origine puisque l'ajutage utilisé ne comportait pratiquement pas de hauteur statique d'aspiration¹⁴⁾. C'est le régime de l'amorçage partiel, au cours duquel la pression dans les sections étranglées de la vanne s'éloigne progressivement du vide absolu (amorçage complet) et se rapproche de la pression atmosphérique (amorçage nul), au fur et à mesure que la pression d'amont décroît pour tendre également vers la pression atmosphérique.

(à suivre)

¹⁴⁾ S'il existait une hauteur statique d'aspiration, les courbes convergeraient en un point d'abscisse négative égale à la dite hauteur.

Geotechnische Eigenschaften und Bestimmungsmethoden der Lockergesteine

Von Dr. ARMIN VON MOOS, Geolog, Institut für Erdbauforschung E. T. H. Zürich*)

Ein Ziel der wissenschaftlichen Materialprüfung ist die auf der Erkenntnis der Grundgesetze eines Materiales sich aufbauende restlose Vorhersage der zu erwartenden technischen Eigenschaften. Grundlage und Beginn dieser Materialprüfung bildet die Erfahrung. Die Forderung nach exakter Fassung der Erfahrungen und der Kontrolle der empirischen Beurteilung führt zur experimentellen Prüfung durch den Versuch und damit zur zahlenmässigen Erfassung der Vorgänge und Eigenschaften. Die Beurteilung der Versuchsergebnisse fordert aber die Kenntnis der Einzelvorgänge und der sie bedingenden Einzeleigenschaften der Materialkomponenten.

Das Studium der Bildungsbedingungen und gegenseitigen Lagerung der Lockergesteine ist eine der Aufgaben der Geologie. Die Kenntnis der allgemeinen geologischen Zusammenhänge muss stets die massgebende Grundlage bei der Beurteilung geotechnischer Probleme in Lockergesteinen bleiben. Die Grenzen des empirisch arbeitenden Geologen liegen aber dort, wo es sich darum handelt, einerseits die einzelnen Lockergesteine reproduzierbar zu charakterisieren und andererseits die zu erwartenden technischen Eigenschaften des einzelnen in sich homogenen Lockergesteines dem projektierenden Ingenieur zahlenmässig anzugeben.

Diese Aufgaben haben die Erdbaulaboratorien übernommen. Ihre wissenschaftliche Aufgabe ist es, durch petrographisch-geologische und kolloid-chemische, wie auch physikalisch-mechanische Forschung die Erkenntnis über Ursachen und Grundgesetze der technischen Eigenschaften der Lockergesteine zu fördern. Im Folgenden soll versucht werden, vom petrographisch-geologischen Standpunkte aus Zusammenhänge zu zeigen, die zwischen der Zusammensetzung der Lockergesteine und ihren geotechnischen Eigenschaften bestehen.

Kornverteilung

Die Lockergesteine gehören ausnahmslos zu den durch physikalische und chemische Zerstörung und Umsetzung aus älteren Gesteinen hervorgegangenen Sedimenten. Ihr fundamentales Charakteristikum ist ihre Zusammensetzung aus Einzelteilchen (Mineralien, Gesteinen, organischen Stoffen) in diskretem oder agglomeriertem Zustand von der Grössenordnung 10^{-5} bis 10^2 cm . Die Art der Verteilung der Einzelteilchen in diesem Bereich ergibt uns ein Mittel zur reproduzierbaren Darstellung der Eigenart der Lockergesteine.

Die Kornverteilungsanalyse, die die Erdbauforschung aus der Sedimentpetrographie und Bodenkunde übernommen hat, trennt das Lockergestein durch Sieben, durch Auseinanderschlämmen im strömenden Wasser, durch Sedimentation in ruhender Flüssigkeit oder durch die Trennung mit der Ultrazentrifuge (weitere Ergebnisse in diesem Bereich vermag die röntgenographische Untersuchung zu vermitteln) und durch Kombination dieser Methoden direkt oder indirekt in die einzelnen Kornklassen. Dabei werden die Sinkgeschwindigkeiten der Einzelteilchen, bezw. die notwendige Strömungsgeschwindigkeit auf Grund der Stokes'schen Formel (bis 0,01 mm Durchmesser) und bei größeren Körnern (über 0,01 mm) mit der Stokes-Oseenschen Formel berechnet [24, 7, 91¹⁾]. Die Verteilung der Einzelteilchen auf die verschiedenen Korngrössenbereiche, d. h. die Bildung typischer Korn-

assoziationen ist das Resultat der geologischen Bildungsgeschichte, vor allem der Umlagerungsgeschichte des einzelnen Lockergesteins.

Der Transport der mechanischen Zerstörungsprodukte durch das Eis wirkt mischend und schafft Ablagerungen (Moränen), die Teilchen von sehr fein bis sehr grob enthalten. Murgänge, unter Umständen auch Bergstürze und Bergschliffe, können ähnlich heterogene Mischungen bilden. Selektive Bedingungen und damit Ausschaltung bestimmter Kornklassen ergibt der Transport im fliessenden Wasser. Je nach der Dynamik der Vorgänge entstehen dabei strenge, homogene Ausleseprodukte (z. B. Strandsande) oder aber oft typische Mischungen benachbarter Kornklassen (Schotter, Flussablagerungen, Auelehne, Deltaablagerungen usw.). Für Ablagerungen in Staubecken, Seen oder Meeren mit verlangsamen Strömungen sind Anhäufungen der feineren Kornklassen typisch, wobei durch verschiedene Strömungen (übereinander), Turbulenz, Zufuhr aus der Luft, von Eisbergen oder durch organische Neubildung (Schalen), Auswaschung bestehender Ablagerungen, ferner durch kolloidchemische Einwirkungen (Ausflockungen) die Kornverteilung recht

*) Vortrag, gehalten am Erdbaukurs der E. T. H. 1938. — Die «SBZ» wird ausser diesem noch die Vorträge von Ing. R. Haefeli «Die mechanischen Eigenschaften der Lockergesteine» und von Prof. E. Meyer-Peter «Berechnung der Setzung von Bauwerken» veröffentlicht, da diese drei Vorträge in engerem Zusammenhang stehen. Die übrigen Vorträge werden andernorts veröffentlicht und später, mit den drei genannten zu einem Sonderdruck vereinigt, durch das Institut erhältlich sein. Red.

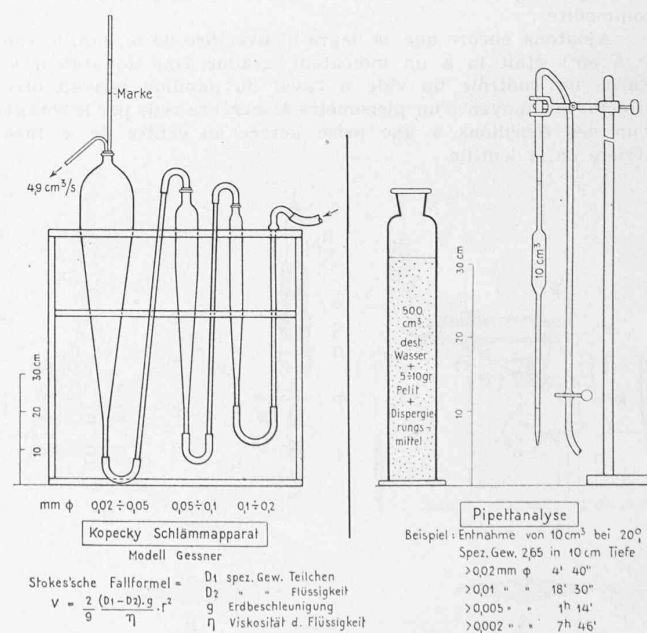


Abbildung 1

¹⁾ Die Zahlen in eckiger Klammer beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

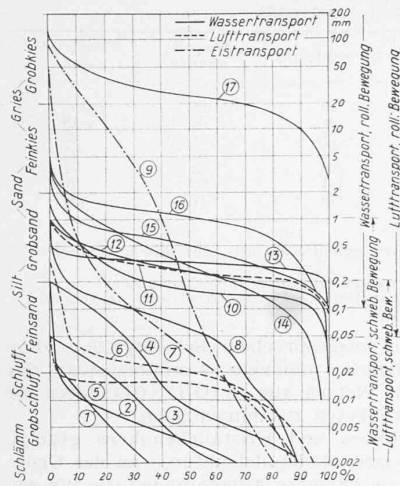


Abb. 2. Kornverteilung einiger Lockergesteine
1 Gehängeton Bannalp, 2 Roter Tiefseeton atlant. Ozean, 3 Seeschlamm Sihlsee, 4 Seekreide Zürich, 5 Löss Ungarn, 6 Löss verlehmt Basel, 7 Moräne Einsiedeln, 8 Hochflutlehm Mosel, 9 Moräne Zürich, 10, 12, 14 bis 16 Flusssand Saane, 11 Dünsand Sylt, 13 Strandsand Ostgrönlund, 17 Flusssand Rhein Kt. St. Gallen

Zusammensetzung der Lockergesteine

Neben der Charakterisierung eines Lockergesteines durch seine Kornverteilung bedingt seine direkte oder indirekte Herkunft aus verschiedenen zusammengesetzten älteren Gesteinen auch eine für das einzelne Lockergestein typische petrographische Zusammensetzung.

Während die petrographischen Unterschiede bei Kies (Schutt), oder Grobsand zumeist durch Form, Gewicht, Farbe, Oberfläche der Einzelteilchen vom Untersucher im Felde sofort auseinander gehalten werden können, erfordert die eingehende Kenntnis der Zusammensetzung der feineren Lockergesteine die mikroskopische und röntgenographische Untersuchung im Laboratorium, die durch chemische und kolloidchemische Untersuchungen ergänzt werden.

Die von den heutigen Petrographen entwickelte mikroskopische Arbeitstechnik ermöglicht durch Untersuchungen von Einzelkornpräparaten, eingebettet in Medien verschiedener Lichtbrechung, oder durch Dünnschliffe in Kanadabalsam, Kollolith oder Eis die Erscheinungen im Bereiche von 10^{-1} bis 10^{-4} cm zu erfassen. Diese mikroskopische Bestimmung gibt die qualitative Erfassung der Einzelminerale auf Grund ihrer Spaltbarkeit, Farbe, Morphologie und optischen Eigenschaften. Sie orientiert uns über die Anwesenheit löslicher, bauschädlicher Mineralien, über das Verwitterungsstadium der Einzelkomponenten, über die technisch wichtige morphologische Ausbildung der Mineralien (Isometrische Form: Quarz, Karbonate, untergeordnet auch Feldspäte; Stengelige Form: Hornblenden, z. T. auch Feldspäte; Blätterige Form: Glimmer, Chlorit, Tonminerale), über die Einregelung und Orientierung (Gefüge) der Einzelteilchen im

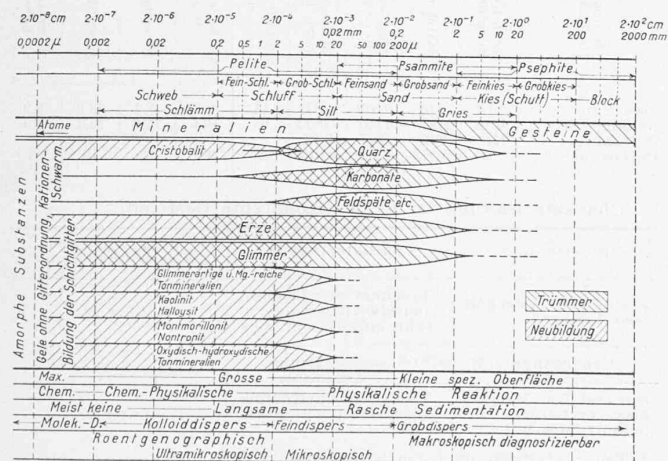


Abb. 3. Anorganische Bestandteile der Lockergesteine

kompliziert wird und schwer zu deuten ist. Die bewegte Luft schafft ebenfalls solche Ausleseprodukte, wobei durch Bewegungen über kürzere Distanzen, durch hüpfende, rollende oder gleitende Vorgänge etwa ausserordentlich gut aufbereitete Dünsande sich bilden, während bei grösseren Transportstrecken und schwebender Vorwärtsbewegung typische Flugstaub-Ansammlungen vorkommen (Hauptkornbereich $0,02 \pm 0,05$), die durch diagenetische Vorgänge sich in Löss verwandeln. Ausscheidungen in fließendem oder stehendem Wasser führen zu Anhäufungen von Kristallen ähnlicher Korngrößen (See- kreide).

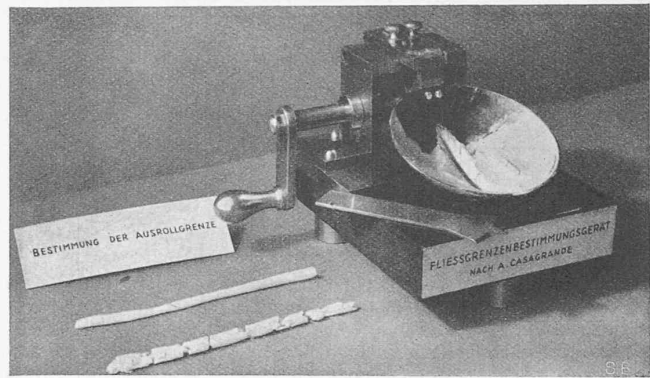


Abb. 4. Bestimmung der Atterberg'schen Konsistenzgrenzen

ungestörten Lockergestein, eventuell über die Verteilung von Poren und fester Phase und über beginnende diagenetische Vorgänge (Abb. 3).

Was sich in noch kleineren Kornbereichen abspielt, ist der mikroskopischen Untersuchung nicht mehr zugänglich. Die röntgenographische Feinstrukturuntersuchung (z. B. nach Debey-Scherrer) dagegen erlaubt, an die mikroskopische Analyse anschliessend, im Bereich von 10^{-4} bis 10^{-8} cm weitere Aussagen zu machen, und vermittelt derart Einblick in den molekularen Aufbau der Materialien. Die röntgenographische Strukturbestimmung ermöglicht, den Aufbau einer einzelnen Kristallart aus den Atomen selber, die sog. Kristallstruktur zu ermitteln, des weiteren festzustellen, wie diese Baugerüste im Zusammenhang mit irgendwelchen physikalischen oder chemischen Vorgängen sich verändern, umwandeln oder gar auseinanderbrechen. Das jeder Kristallart typische System von Röntgeninterferenzen (d. h. die an ihrem Kristallgitter wahrnehmbaren Beugungserscheinungen der Röntgenstrahlen) ist zudem ein Mittel, um im submikroskopischen Anteil eines Materials die darin enthaltenen verschiedenen Kristallarten zu bestimmen und ihre mengenmässigen Anteile abzuschätzen. Zudem lassen sich auf Grund von röntgenographischen Feinstrukturuntersuchungen Aussagen über die mittlere Korngrösse, die mittlere Korngestalt sowie über eine eventuell bestehende Regelung der Einzelkristalle im Kristallhaufwerk machen. Zu den optischen und röntgenographischen Untersuchungen treten neben chemischen Bestimmungen (Humusgehalt, Karbonatgehaltbestimmung z. B. mit dem Passonapparat) auch kolloidchemische (Bestimmung der austauschbaren Ionen und des pH).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit abnehmender Korngrösse die Materialbestimmung komplizierter und demzufolge methodisch jünger ist; es ist die Aufgabe zu zeigen, dass in dem selben Sinne der Einfluss der Petrographie auf die technischen Probleme an Bedeutung gewinnt.

Die spezielle petrographische Zusammensetzung der grösseren Lockergesteine ist in erster Linie von ihrem Belieferungsgebiete abhängig (Tabelle 1). In den feineren Lockergesteinen häufen sich neben den Trümmermineralien je nach klimatischen Umständen auch die aus der chemischen Verwitterung hervorgegangenen Mineralien, beispielsweise fanden sich in einer unter glazialen Klimabedingungen entstandenen Moräne aus Zürich (Grossmünster²⁾ in dem feinen Anteil nur Kalk, Quarz und Glimmer (Sericit), während in dem Bohnerzton von Lausen (Basel-

²⁾ Alle röntgenographischen Angaben dieser Arbeit verdanke ich P. D. Dr. E. Brandenberger E. T. H.

Tabelle 1: Mineralbestand von zwei Feinsanden

Belieferung	Entnahmeort	blätterige M: Muskowit, Biotit, Chlorit in %		isometr. und stengelige M: Quarz, Feldspat, Kalk, Hornblende, in %		Kalkgehalt in %
		Ø mm 0,02-0,05	Ø mm 0,05-0,1	Ø mm 0,02-0,05	Ø mm 0,05-0,1	
Kalke, Nagelfluh, Sandsteine der helvet. Kalkalpen u. d. Molasse + Moränen im Einzugsgebiet der Sihl (Kt. Schwyz)	Delta der Sihl in Zürich zwisch. Enge und Fraumünster	6	3	94	97	45
Kristalline Gneise und Schiefer im Einzugsgebiet der Cassarate nördlich Lugano	Delta der Cassarate bei Lugano	58	38	42	62	Sp.

Tabelle 2: Abschwemmlehm Uetlibergfuss Heuried Zürich

	Korn- verteilung	64 ⁰ / ₁₀₀	34 ⁰ / ₁₀₀	31 ⁰ / ₁₀₀	16,5 ⁰ / ₁₀₀	11,5 ⁰ / ₁₀₀
0,2 — 0,02 mm		12	19	16	18	9,4
0,02 — 0,01 mm		6	13	14	13	5
0,01 — 0,005 mm		5	12	8	16	21
0,005 — 0,002 mm		13	22	31	36,5	54
kleiner — 0,002 mm						
Kalkgehalt in %		54	45	40	34,5	38
Fliessgrenze	Konsi- stenz	25,7	34	40	49,5	62,6
Ausrollgrenze		20,0	19,3	19	19,5	19,1
Plastizitätsbereich in % Wasser/ Trockensubstanz		5,7	14,7	21	30	43,5

land), der in einem tropischen-subtropischen Klima entstanden ist, neben Quarz vor allem der Kaolinit gehäuft auftritt.

Auch jene Vorgänge müssen berücksichtigt werden, die unmittelbar durch chemische oder biochemische Ausscheidungen zur Bildung von Lockergesteinen oder zu deren Veränderung Anlass geben, sei es durch Lösung einzelner Mineralien (Loess-Loesslehm), durch Ausscheidung oder Ausflockung im Wasser (Kalk, Eisenhydroxyd), Bildung von Sekretionen (z. B. Kalk- oder Kieselkalknollen) oder durch diagenetische Kalk- oder Kieselsäureausscheidungen, die zu Uebergängen Lockergestein-Festgestein führen.

Ähnlich gewissen hochquellbaren Tonmineralien können bautechnisch wichtig die wasserbindenden Eigenschaften organogener Beimengungen sein, die entweder bei gleichzeitigem Wachstum von tierischen oder pflanzlichen Organismen und Sedimentation im Meer, in Seen, periodisch überschwemmten Gebieten, Sümpfen und Niederungen, oder durch gleichzeitige Einschwemmung organogener und minerogener Komponenten entstehen.

Wechselwirkung feste Phase — flüssige Phase

Der Aufbau der Lockergesteine aus diskreten Einzelteilchen verschiedener Form, Grösse und Petrographie bedingt die Anwesenheit von freien Porenräumen, deren Dimension von der Art der Raumerfüllung, der Petrographie und der Grösse der Teilchen abhängig ist. Ihr Gehalt an gasförmiger und flüssiger Phase allein und deren Wechselwirkung mit der festen Phase bedingt weitgehend die Komplexität der technischen Eigenschaften und das Verhalten der Lockergesteine. Den sinnfälligsten Unterschied innerhalb der verschiedenen Ablagerungen ergibt die Wechselwirkung zwischen den Gesteins-, Mineral- und organischen Fragmenten und dem Wasser, die Veranlassung gegeben hat zur Trennung nichtbindiger oder inkohärenter (z. B. Kies, Sand) und bindiger oder kohärenter Lockergesteine (z. B. Ton).

Eine der einfachsten und nützlichsten Methoden, diese Wechselwirkung, insbesondere auch den Grad der Bindigkeit festzulegen, hat die Erdbauforschung aus der Bodenkunde mit der Bestimmung der sog. *Atterbergschen Konsistenzgrenzen* übernommen (Abb. 4, S. 269). Die Fliessgrenze, die mit dem Gerät von Casagrande bestimmt wird (eine Furche in einem weichplastischen Brei wird durch 25 Aufschläge zum Zusammenfließen auf 1 cm gebracht), greift eine bestimmte Konsistenz aus dem Grenzgebiet plastisch-flüssig heraus und charakterisiert sie durch ihren Wassergehalt bezogen auf Trockensubstanz. In ähnlicher Weise greift die Ausrollgrenze eine andere Konsistenz zwischen «plastisch» und «fest» heraus, indem durch Auswalzen einer plastischen Probe der Wassergehalt bezogen auf Trockensubstanz bestimmt wird, bei dem die Probe in einen krümelartigen Zerfall tritt. Die Differenz Fliessgrenze-Ausrollgrenze ergibt eine Charakterisierung des Plastizitätsbereiches (Tabelle 2). Um die Zunahme der Plastizität mit zunehmender Kornverfeinerung zu verstehen, müssen wir den Einfluss von Petrographie und Korngrösse auf diese Eigenschaften kennen (Tabelle 3).

Wir konstatieren an einigen der wichtigsten Bestandteile feinkörniger natürlicher Lockergesteine wesentliche Konsistenzunterschiede. Da ähnliche Korngrösse vorliegt, muss die Wechselwirkung Oberfläche des Einzelteilchens und flüssige Phase das unterschiedliche Verhalten bedingen, d. h. der mineralogisch-strukturelle Aufbau der festen Phase. Während der Quarz aus einem in sich abgeschlossenen Gerüst aus Silicium-Sauerstoff-Tetraedern (SiO_4) besteht, das morphologisch zu mehr oder weniger isometrischen Formen führt, zeigen die Glimmer und

Tabelle 4: Einfluss der Korngrösse des Quarzes auf die Konsistenz

50% Kaolin (30% $> 2 \mu$, 14% 2–5 μ , 3% 5–10 μ , 3% $< 10 \mu$) + 50% Quarz	1. $> 2 \mu$	2. 5–10 μ	3. 20–50 μ	4. 100–200 μ	5. 200–500 μ
Fliessgrenze	60	43	36,5	36,8	35,2
Ausrollgrenze	40,9	28,5	21	20,7	19,1
Plastizitätsbereich	19,1	14,5	15,5	16,1	16,1

Tabelle 3: Petrographie und Plastizität

Material 100% $> 0,002 \text{ mm}$	Fliessgrenze	Ausrollgrenze	Plastizitätszahl
Quarz von Dörentrup	ca. 28	ca. 28	—
Kalzit	48	30	18
Muskowit	78	55	23
Kaolin von Zettlitz*	84	42	42
«Kaolin» von Sarospatak**	120	43	77
Ca-Beutoni u. ENDELL***	141	50	91
Na-Beutoni u. ENDELL Lit. [25]	475	47	428

* Zettlitzerkaolin enthält vorwiegend Kaolinit, sehr untergeordnet Glimmer und Quarz.

** aus Ungarn enthält vorwiegend glimmerartiges Tonmineral.

*** enthält vorwiegend Montmorillonit, untergeordnet auch Quarz usw.

die Tonmineralien dagegen ausgesprochene Schichtgitter. Hier erscheinen die SiO_4 -Tetraeder nunmehr zweidimensional zu Netzen verknüpft, die mit Netzen aus $\text{Al}(\text{OH})_6$ -Oktaedern zu alumosilikatischen Schichtpaketen zusammentreten.

Wie von Kolloidchemikern und Kristallchemikern gezeigt worden ist, treten bei gewissen Kristallstrukturen an der Oberfläche und z. T. auch im Kristallinneren Anlagerungen von Wasser und Ionen auf. Diesen adsorbierenden Ionen kommen wesentliche Einflüsse auf die Wasserbindung und damit die Eigenschaften der betreffenden Lockergesteine zu, wie in Tabelle 3 angedeutet ist [14, 13, 24].

Die Konsistenz eines feinkörnigen Lockergesteines hängt somit wesentlich von der Beteiligung dieser verschiedenen Mineralien und ihrer adsorbierten Ionen ab; wohl tritt in der Natur der Fall der 100% Anwesenheit von Quarz in dieser Korngrössenverteilung praktisch kaum auf, doch unterscheidet der Keramiker schon lange zwischen plastischen und unplastischen (quarzreichen) Tonen ähnlicher Kornverteilung. Lockergesteine mit enormem Wasserhalte- (Quell-)vermögen sind schon seit Jahrhunderten unter dem Namen Bleicherden, Fullererden, Terre à foulon, Bentonite bekannt und in der Technik verwendet worden. Die Anwesenheit der verschiedenen Tonmineralien (neben dem altbekannten Kaolinit besonders auch Montmorillonit, Halloysit, glimmerartige Tonmineralien) ist besonders in den letzten Jahren qualitativ und quantitativ in den verschiedensten feinkörnigen Lockergesteinen (Tone, Mergel, Ackerböden, Geschiebelehme) nachgewiesen worden [3, 6, 9, 13]. Dass mit der Kornvergrößerung die Jonenanlagerung, damit die Wasserbindung und die Kohärenz durch Verringerung der spez. Oberfläche allgemein verkleinert wird, folgt aus dem Vorstehenden. Für den relativ inaktiven Quarz zeigt dies Tabelle 4.

Betrachten wir somit nochmals die Zunahme der Plastizität beim Uetliberggehanglehm, so wird diese einerseits bewirkt durch die Kornverkleinerung bzw. Oberflächenvergrößerung und deren Reaktionen, andererseits aber durch Hinzutreten eigentlicher Tonmineralien (röntgenographisch wurde ein Glied der Montmorillonitreihe gefunden); auf die Tatsache, dass mit sinkender Korngrösse Quarz allgemein ab- und glimmerartige Mineralien zunehmen, sowie von etwa 0,01 mm an auch eigentliche Tonmineralien immer reichlicher werden können, ist in jüngster Zeit mehrfach hingewiesen worden.

Tabelle 5: a) Charakterisierung im Erdbaulaboratorium

Geologische Bezeichnung	Granulometrie- Bezeichnung	Mittlerer ϕ	Mittlerer ϕ gröbere Fraktion	Mittlerer ϕ feinere Fraktion	Schlammanteil ($> 0,002$)	Aufbereitungs- index	Fliessgrenze	Ausrollgrenze	Plastizitäts- bereich
Seekreide	Silt	0,02	0,043	0,005	11	5,7	48,1	38,8	9,3
Gehängeton	Schluff	0,0057	0,021	0,0014	65	10,6	76,6	34,7	41,9
Deltakies	Kies	9,27	20,7	3,91	—	5,4	—	—	—
Deltasand	Silt	0,073	0,182	0,015	8	6,8	22	19	3

b) Charakterisierung im Felde (Kohärente Gesteine)

Bezeichnung	Charakteristikum	entspricht etwa Plastizitätsbereich
Fetter Ton* (Mergel) oder Lehm**	Trocknet beim Kneten zwischen den Fingern sehr lange nicht aus	über 20
Uebergänge z. B. halbfetter Ton-Lehm		
magerer Ton (Mergel) magerer Lehm, Schluff oder Silt	Trocknet beim Kneten zwischen den Fingern rasch aus	unter 20

* Ton = plastisch, ohne spürbare Sandkörner, kalkfrei-arm
Mergel = plastisch, ohne spürbare Sandkörner, kalkhaltig
** Lehm = plastisch mit spürbaren Sand-Kieskomponenten

