Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 30 (1950)

Heft: 2

Artikel: Konsistenzgrenzen schweizerischer bindiger Lockergesteine

Autor: Moos, Armin von

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-24448

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 27.01.2026

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

Konsistenzgrenzen schweizerischer bindiger Lockergesteine

Von *Armin von Moos* (Zürich)

Im Jahre 1911 hat der schwedische Bodenkundler ATTERBERG [Lit. 2] zur Charakterisierung des Verhaltens der Lockergesteine mit Wasser eine Reihe von sog. Konsistenzgrenzen definiert und Wege zur Bestimmung derselben an der Einzelprobe gegeben. In den 20er und 30er Jahren dieses Jahrhunderts wurden diese Methoden durch TERZAGHI [Lit. 20], CASAGRANDE [Lit. 5] u. a. in die experimentelle Erdbaumechanik eingeführt und verbessert. Diese Konsistenzgrenzen gehören heute in den Erdbaulaboratorien der ganzen Welt zu den am häufigsten angewandten Bestimmungen, und sie bilden die einfachste Grundlage für die Klassifikation der verschiedenen Lockergesteine in bezug auf ihr Verhalten mit Wasser. Wegen ihrer raschen Bestimmung und ihrer in bautechnischen Kreisen weiten Anwendung sollten ihnen auch die Petrographen und Geologen bei der Beschreibung und zahlenmässigen Charakterisierung ihrer Lockergesteine vermehrte Beachtung schenken. Der Zweck dieser Arbeit besteht deshalb darin, an Hand von schweizerizerischen Beispielen eine Anwendung regional geologische Art darzulegen.

Die Fliessgrenze bezeichnet dabei einen Zustand des Gemisches von fester und flüssiger Phase eines Lockergesteins zwischen dem fliessbaren und dem plastischen Bereich. Sie wird mit einem von A. CASAGRANDE u. a. [Lit. 1, 5] entwickelten und weitgehend standardisierten Klopfapparat bestimmt (siehe Fig. 1). In diesem wird ein mit einem besonders geformten Spatel durch eine Rinne unterteilter Gesteinsbrei, der in einer Schale ruht, so lange aus einer Höhe von 1 cm auf eine Hartgummiplatte fallen gelassen, bis der Brei auf eine Länge von 1 cm zusammenfliesst. Die Fliessgrenze wird nun definiert als derjenige Wassergehalt des Gesteinsbreies (bezogen auf das Trockenraumgewicht), bei dem er nach 25 Schlägen auf die erwähnte Strecke zusammenfließt (siehe Fig. 1, Standardisierung der Apparatur siehe Lit. 1).

Die Ausrollgrenze bezeichnet andererseits einen Zustand des Wasser-Gesteingemisches zwischen dem „festen" und dem „plastischen" Bereich. Sie wird ermittelt durch Rollen einer dünnen Materialwalze auf einer saugfähigen Unterlage, bis diese Walze in Einzelbröckel zerfällt und wird als Wassergehalt pro Trockensubstanz in diesem Zustand angegeben (Fig. 1).

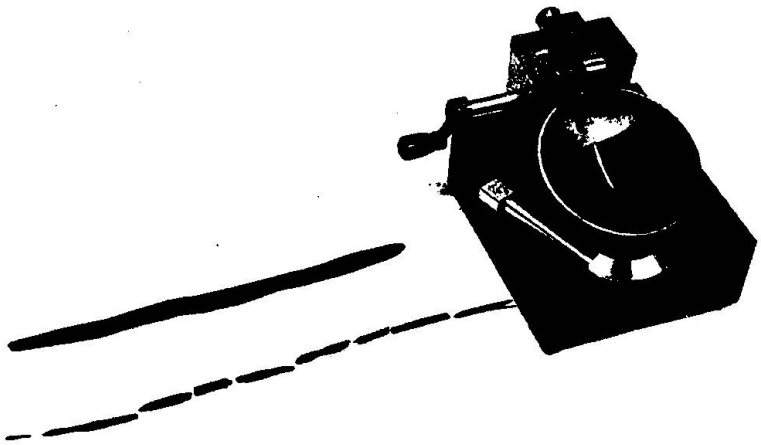

Fig. 1. Apparat zur Bestimmung der Fließgrenze nach A. CASAGRANDE (neue Form). Links Bestimmung der Ausrollgrenze.

Die Plastizitätszahl resp. der Plastizitätsindex endlich entspricht der Wassergehaltsdifferenz von Fliess- und Ausrollgrenze, immer bezogen auf die Trockensubstanz.

An den ca. 4000 Proben, die im Erdbaulaboratorium der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich (Direktion Prof. Dr. E. Meyer-Peter, Abteilungschef Prof. Dr. R. Haefeli) seit 1935 untersucht wurden, sind u. a. auch eine grosse Anzahl von Konsistenzgrenzen schweizerischer Lockergesteine ermittelt worden.

Es soll hier deshalb der Versuch unternommen werden, diese Daten nach geologischen Gesichtspunkten zu ordnen und zu diskutieren. Dabei muss aber betont werden, dass die Proben nicht systematisch gesammelt, sondern im Zusammenhang mit bautechnischen Problemen, d.h. mehr zufällig entnommen wurden.

Beim Betrachten von Fig. 2, in der die Ausrollgrenzen der bautechnisch am häufigsten angetroffenen bindigen Lockergesteine der

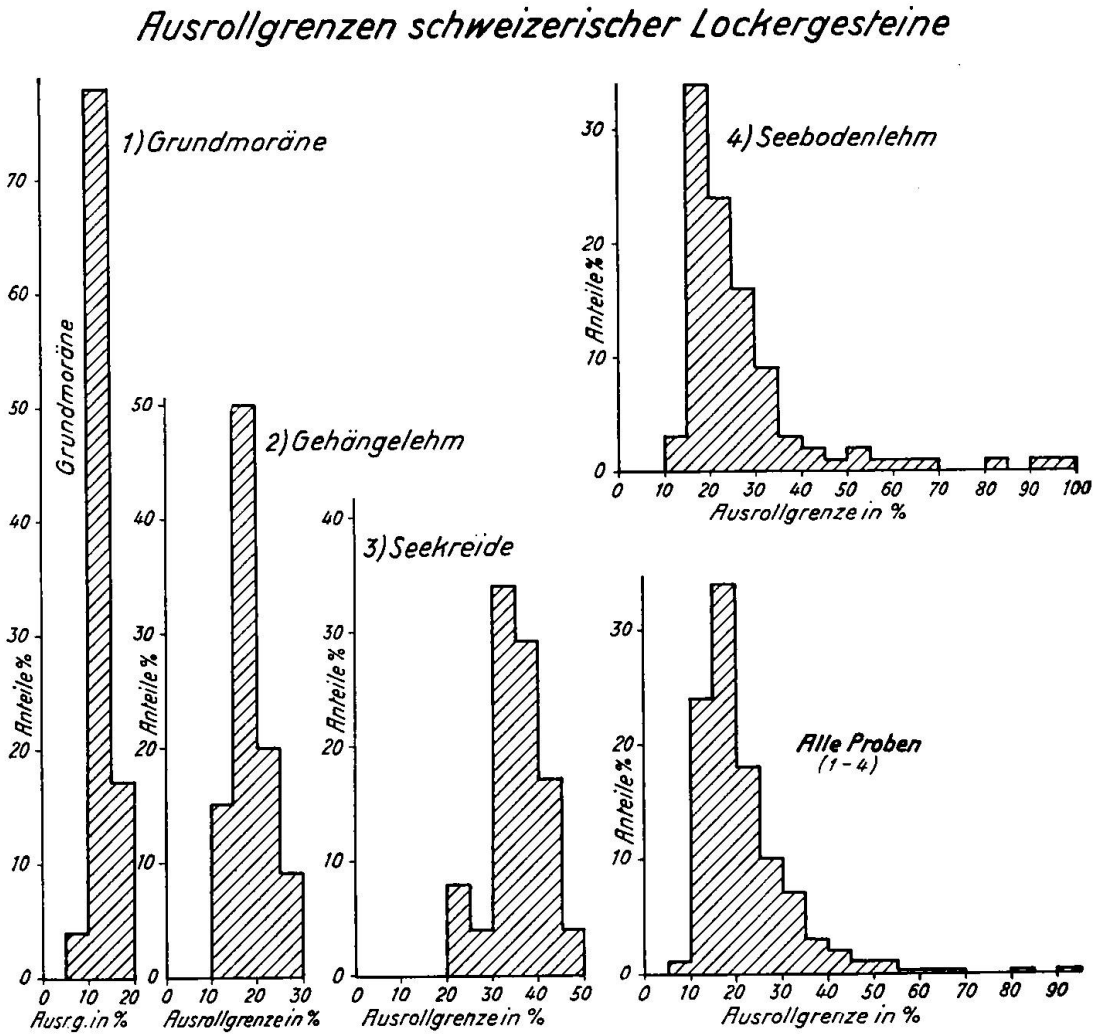

Fig. 2. Ausrollgrenzen der bautechnisch häufigst getroffenen Bodenarten der Schweiz

Schweiz zusammengestellt worden sind, fällt auf, dass diese Ausrollgrenzen in einen recht engen Bereich zwischen 5% und 20% Wassergehalt pro Trockensubstanz fallen; nur wenig erweitert ist dieser Bereich beim Gehängelehm mit 10% und 30%. Bei der Seekreide und bei den Seebodenlehmen ist die Verlagerung gegen höhere Wassergehalte noch stärker. Hauptursache für diese Erscheinung ist die Tatsache, dass bei den Seebodenlehmen ein Teil der Proben und bei den Seekreiden alle Proben fein verteilte organische Gemengteile besitzen, die prozentual mehr Wasser binden als die anorganischen Gemengteile. Höhere Ausrollgrenzen deuten deshalb bei den normalen postglazialen bindigen Lockergesteinen der Schweiz meist auf organische Beimengungen hin. Die Zusammenstellung der Ausrollgrenzen aller Proben lässt sodann deutlich

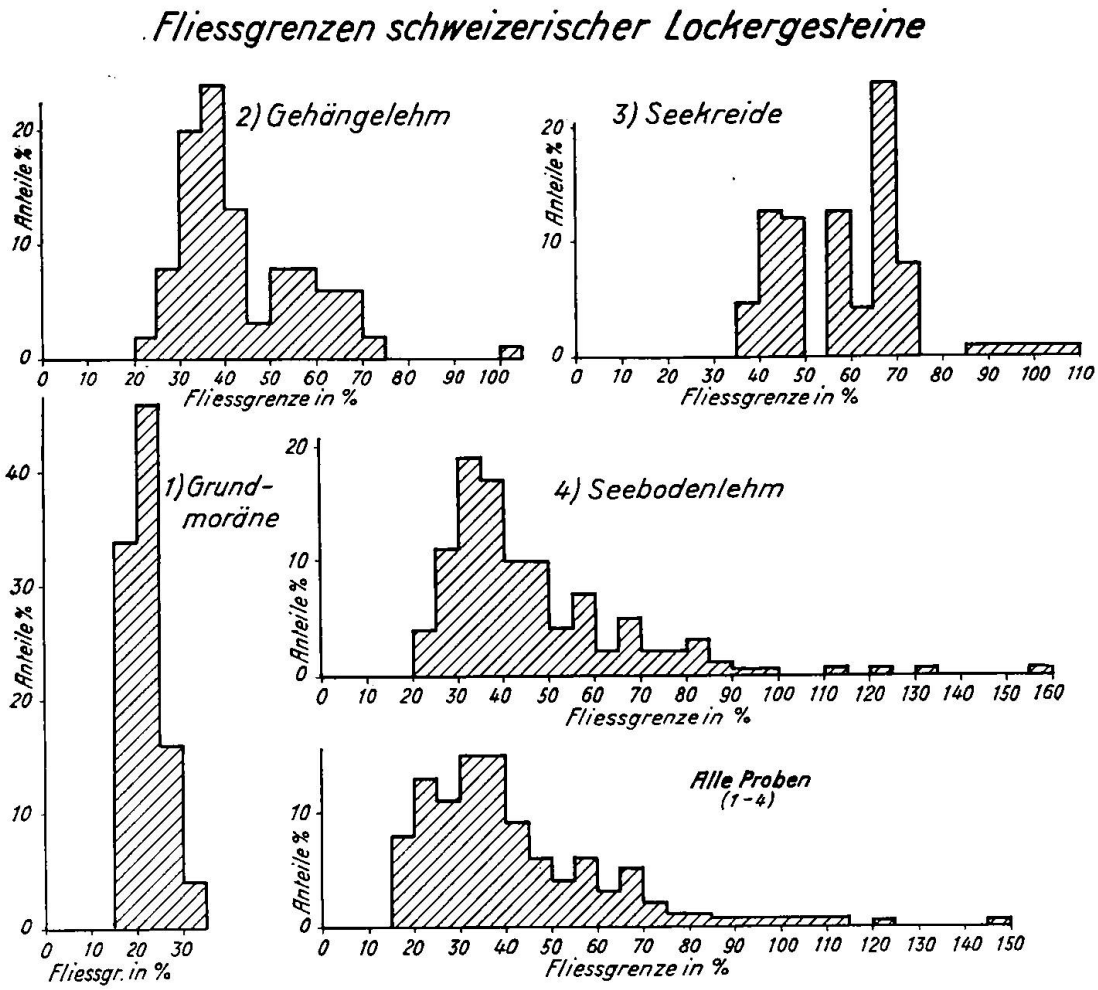

Fig. 3. Fließgrenzen der bautechnisch häufigst getroffenen Bodenarten der Schweiz

erkennen, dass die grosse Mehrzahl der Proben Ausrollgrenzen besitzen, die zwischen 10% und 25% liegen, während die höheren Ausrollgrenzen seltener sind.

Ähnliche Erscheinungen stellt man auch bei den Fliessgrenzen fest (Fig. 3). In einen recht engen Wassergehalts-Bereich fallen die Werte für die Grundmoräne, die mehrheitlich aus inaktiven Mineralien (Gesteinsmehl) zusammengesetzt ist. Bereits stärker auseinander gezogen sind die Werte für Gehängelehm und Seebodenlehm; bei den Seebodenlehmen sind dabei organische Beimengungen, bei den Gehängelehmen hingegen grösserer Anteil an Bestandteilen < 0,002 mm, wahrscheinlich auch eine besondere petrographische Zusammensetzung dafür verantwortlich. Recht hoch liegen die Fliessgrenzen allgemein für Seekreiden, was eindeutig eine Folge der Beimengung von organischen Ge-

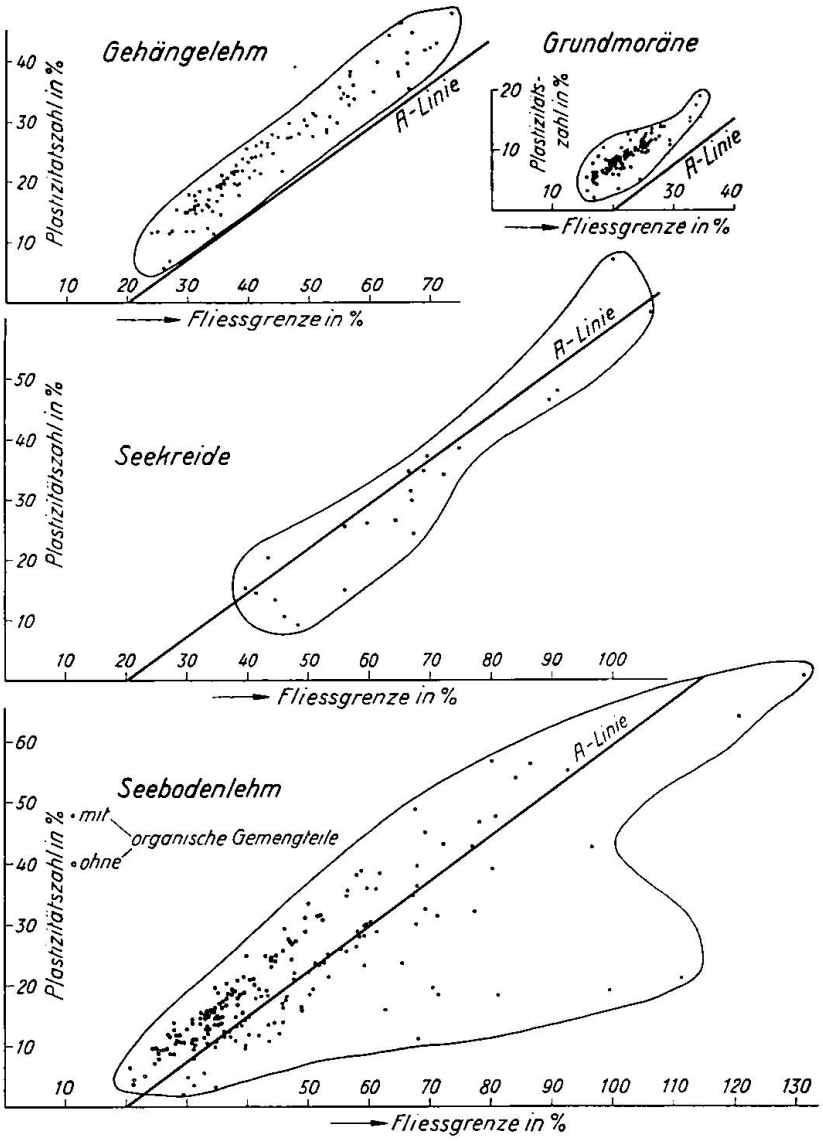

Fig. 4. Diagramme der Konsistenzgrenzen schweizerischer bindiger Lockergesteine

mengteilen ist. Die Zusammenstellung aller Proben zeigt eine Häufung der Fliessgrenzen schweizerischer Lockergesteine zwischen 15% und 45%. Fliessgrenzen in höheren Wassergehaltsbereichen sind dagegen nicht mehr wesentlich beteiligt.

In Fig. 4 sind endlich noch die Einzelwerte in Diagrammen zusammengestellt worden, wobei in der Abszisse die Fliessgrenze, in der Ordinate die Plastizitätszahlen, d. h. die Wassergehaltsdifferenz Fliessgrenze - Ausrollgrenze aufgetragen wurden. Gleichzeitig wurde in die Diagramme noch die A-Linie eingezeichnet, die von A. CASAGRANDE

Tab. 1. *Konsistenzgrenzen verschiedener Mineralpulver und natürlicher Lockergesteine*

Material	Herkunft	Fließgrenze %	Ausrollgrenze %	Plastizitätszahl %	Literatur
Quarz < 0,002 mm	Dörentrup, Deutschland	28	28	—	15
Kalzit < 0,002 mm	?	48	30	18	15
Muskowit < 0,002 mm	?	78	55	23	15
Kaolinit-Ton, alle Fraktionen	Union Co., Ill. (U.S.A.)	58,3	36,3	22,0	21
— < 0,001 mm	Union Co., Ill.	64,2	37,1	27,1	21
— < 0,0005 mm	Union Co., Ill.	71,5	39,3	32,3	21
Kaolinit < 0,002 mm	Zettlitz Tschechoslowakei	84,0	42,0	42,0	15
Illite-Ton, alle Fraktionen	Illinois (U.S.A.)	29–61	24–36	5–25	21
Illite-Ton < 0,002 mm	Sarospatak, Ung.	120,0	50,0	91,0	15
Ca-Montmorillonit, alle Fraktionen	Pontotoc, Miss. (U.S.A.)	117,5	81,4	36	21
Ca-Montmorillonit < 0,001 mm	Pontotoc, Miss. (U.S.A.)	175,5	109,5	66	21
Ca-Bentonit	Deutschland	141	50	91	7
Na-Montmorillonit alle Fraktionen	Belle Fourche, South Dakota (U.S.A.)	625–700	97,0	528–603	21
Na-Bentonit < 0,002 mm	Deutschland	475	47	428	7
Postglazialer Ton	Massena (U.S.A.)	45	25	20	19
Tertiärer Tegelton	Wien	47	22	25	19
Postglazialer Ton	Boston (U.S.A.)	48	25	23	19
Postglazialer Ton	Chicago (U.S.A.)	55	26	29	19
London Clay (Eocän)	London	46–103	17–33	32–72	9
Postglazialer Ton	Gosport, England	80	30	50	19
Postglazialer Ton	Fens, England	85	32	53	19
Eocän-Ton	Kleinbelt, Dänemark	126	30	96	3
Seebodenlehme, z. T. mit organ. Gehalt	Schweden	43–263	18–116	25–147	4

auf Grund empirischer Erfahrungen eingeführt wurde und eine Trennlinie zwischen typischen anorganischen bindigen Lockergesteinen, die allgemein über dieser Linie liegen und solchen, die organische Gemengteile besitzen und unter der A-Linie liegen, darstellt. Deutlich liegen die schweizerischen Grundmoränen und Gehängelehme über der A-Linie, wobei die Gehängelehme entsprechend ihrer mannigfaltigeren petrographischen Zusammensetzung und dem wechselnden Kornaufbau einen wesentlich grösseren Streuungsbereich besitzen als die Grundmoränen. Die Mehrzahl der Seekreiden, die praktisch alle organische Gemengteile enthalten, liegen, bei grosser Streuung, unter der A-Linie. Bei den Seebodenlehmen wurden, nach dem Augenschein, diejenigen Proben, die deutlich organisches Material enthalten, von denjenigen getrennt, bei denen man keine organische Gemengteile vermuten konnte. Alle Seebodenlehme ohne organische Gemengteile liegen über der A-Linie, die Mehrzahl derjenigen Proben, die organisches Material enthalten, in der Nähe, resp. unter dieser Linie.

In Tabelle 1 sind noch zu Vergleichszwecken die Konsistenzgrenzen einiger reiner, praktisch monomineralischer, natürlicher und künstlicher Tone und Fraktionen derselben, sowie einiger als Baugrundmaterial bekannte ausländische Tonvorkommen, zusammengestellt worden.

Es ergibt sich aus Tabelle 1, dass die Konsistenzgrenzen umso höher liegen:

a) je quellfähiger die sie enthaltenden Mineralien sind,

b) je mehr Anteile $< 0{,}002$ mm vorliegen,

c) ferner, dass auch die angelagerten Jonen für das in den Konsistenzgrenzen in Erscheinung tretende Wasserbindungsvermögen massgebend sind.

Der zweite Teil der Tabelle lässt deutlich erkennen, dass der Variationsbereich der Konsistenzgrenzen der als Baugrund auftretenden bindigen Lockergesteine recht gross ist.

In Tabelle 2 sind sodann die uns zur Zeit bekannten Konsistenzgrenzen schweizerischer Lockergesteine nach zunehmender Fliessgrenze zusammengestellt worden, wobei im ersten Teil nur Einzelwerte, im zweiten Teil Mittelwert der bautechnisch häufigsten Lockergesteine vorliegen. Gleichzeitig sind, soweit vorhanden, Angaben über die petrographische Zusammensetzung der Feinstbestandteile angefügt. Eine Übersicht über die Herkunft der Proben gibt Fig. 5.

Unter den Einzelproben mit den höchsten Fliessgrenzen fallen besonders solche auf, die durch einen gewissen Gehalt an Montmorillonit oder Illit ausgezeichnet sind. Während aber der Ton von Caslano und

Tab. 2. *Konsistenzgrenzen schweizerischer Lockergesteine*

Geologische Formation	Herkunft	Fliessgrenze %	Ausrollgrenze %	Plastizitätszahl %	Mineralbestand[1])	Lit. für Mineralbestand
Lößlehm	Rupperswil (Aargau)	34,1	21,5	12,6	?	
Bergrutsch (Postglazial)	Marmorera (Graubünden)	38,0	20,0	18,0	1/7	10
Macrocephalusschichten (Dogger)	Allerheiligenberg (Solothurn)	42,1	12,5	29,6	?	—
Septarienton (Tertiär)	Basel Schifflände	44,2	17,0	27,2	?	—
Tortonien (Tertiär)	Zürich Käferholz	50,5	24,2	26,3	?	—
Oligocaen (Tertiär)	Allschwil (Baselland)	56,0	20,1	25,9	5	18
Cyrenenmergel (Tertiär)	Basel Breitebrücke	62,4	22,4	44,2	?	—
Opalinuston (Dogger)	Schinberg (Aargau)	68,6	26,9	41,7	6/5/4	10
Bohnerzton (Eocän)	Färberwiesli (Schaffhaus.)	85,0	26,4	58,6	4 ev. 6	10, 11
Tortonien (Tertiär)	Bischofszell (St. Gallen)	87,0	45,5	41,5	6	13
Anisien (Trias)	Caslano (Tess.)	93,0	40,0	53,0	5/6	10
Grundmoräne (94 Proben)	Max.	32,6	19,2	18,8		
	Mittel	22,2	13,2	9,0	1/2/3	10
	Min.	15,4	8,0	3,5		
Gehänglehm (105 Proben)	Max.	101,0	34,6	77,9		
	Mittel	43,8	18,9	24,9	5/2/3/6	10
	Min.	23,8	12,4	6,0		
Seebodenlehm (193 Proben)	Max.	158,8	90,0	91,8		
	Mittel	46,0	25,5	20,5	1/2/3	10
	Min.	21,0	13,9	3,6		
Seekreide (23 Proben)	Max.	106,1	81,8	69,3		
	Mittel	66,9	37,1	29,8	2/1	10
	Min.	39,5	22,2	9,3		

[1]) 1 = Glimmer 3 = Quarz 5 = Illite 7 = Amphibolasbest
2 = Karbonate 4 = Kaolinite 6 = Montmorillonit

[2]) Nach brieflicher Mitteilung von Prof. R. W. GRIMSHAW, Leeds, vom 14. Nov. 1950 sollen die Bohnerztone einen hohen Gehalt eines neuen Tonmineralrs „Livesite", das zwischen Kaolinite und Halloysite liegt, enthalten.

der Bischofszeller Bentonit nur in sehr kleinen Lagern auftreten und bis heute technisch nur eine unbedeutende Rolle gespielt haben, sind der Opalinuston und der Bohnerzton volkswirtschaftlich für die Schweiz von grösserer Bedeutung. Beide besitzen im schweizerischen Juragebirge grosse Verbreitung, wobei der Bohnerzton mehr für feuerfeste Tonwaren, der Opalinuston in steigendem Masse in der Grobkeramik Anwendung findet [Lit. 12, 17a]. Besonders die Opalinustone sind sodann bekannt wegen ihrer leichten Verwitterbarkeit und wegen ihrer Neigung zur Bildung von Rutschungen.

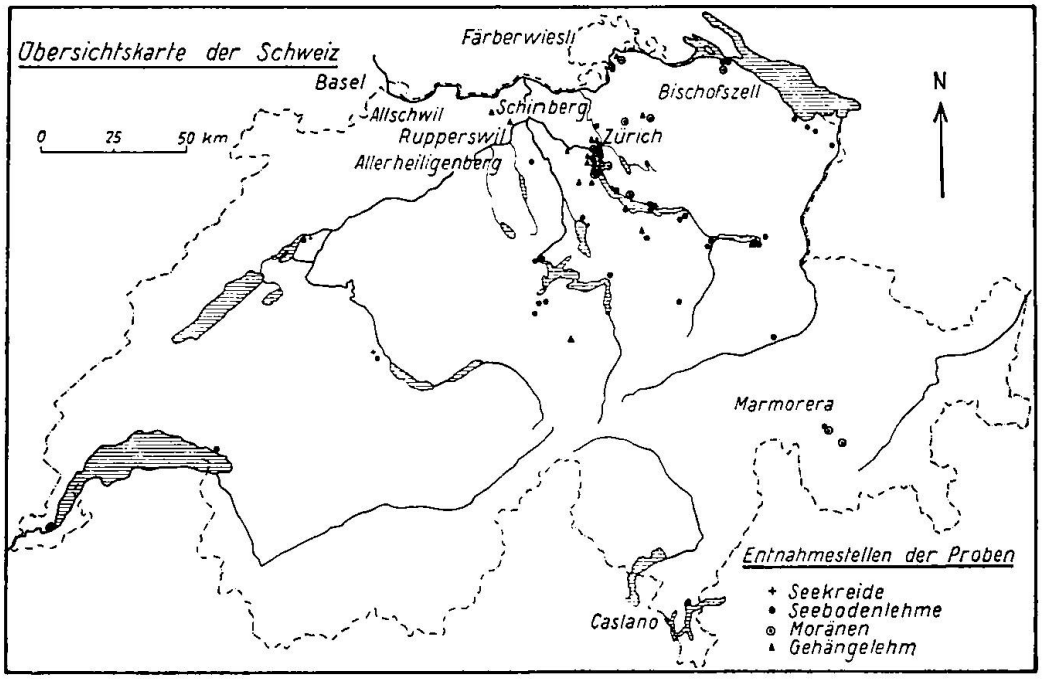

Fig. 5. Herkunft der Proben

Unter den restlichen Tonen kommt dem Gehängelehm des schweizerischen Mittellandes noch eine grössere Bedeutung als Baugrund (z. B. Zürich, Lit. 16), als grobkeramischer Rohstoff und als Ursache vieler Rutschungen zu. Der von GRIM [Lit. 10][3]) festgestellte Montmorillonitgehalt im Gehängelehm dürfte event. primär aus den tertiären Molassemergeln stammen, aus denen die untersuchten Gehängelehme von Zürich meist durch Verwitterung und Abschwemmung hervorgegangen sind; er wurde auch von GEERING und BRANDENBERGER [Lit. 8] in Molasseböden festgestellt.

[3]) Ich möchte Herrn Prof. GRIM, Urbana Ill., auch an dieser Stelle für die Untersuchung einiger Proben bestens danken.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden die Atterberg'schen Konsistenzgrenzen schweizerischer, bindiger Lockergesteine zusammengestellt, mit solchen reiner monomineralischer Tone verglichen und in Beziehung zur Petrographie gebracht. Im Mittel sind die Konsistenzgrenzen schweizerischer Tone zufolge ihrem hohen Anteil an inaktiven Mineralien nicht sehr hoch; sie können durch Beimengung von organischen Gemengteilen (Seebodenlehme, namentlich Seekreide) oder Hinzutreten quellfähiger Tonmineralien wie Montmorillonit, Illit und Anreicherung der feinsten Bestandteile ($<0{,}002$ mm) erhöht werden (Opalinuston und Bohnerzton, Juragebirge; Bentonit von Bischofszell und Gehängelehme des schweizerischen Mittellandes; Ton von Caslano, Südalpen).

Summary

This paper deals with the Atterberg limits of various cohesive soils of Switzerland. As a rule, the Swiss soils are not very fat on account of their high content of inactive minerals. Extremely lean are the ground-moraines (tills). The higher plastic and liquid limits of the lake marls and lake loams are the result of their organic content; those of the Triassic clay of Caslano, the Dogger and Eocene clay of the Jura mountains and the talus clay of the central plain of Switzerland are the result of their fineness and their content of montmorillonite or illite.

Literaturverzeichnis

1. American Society for testing Materials: Procedure for testing Soils. Philadelphia 1944/47.
2. A. ATTERBERG: Über die physikalischen Bodenuntersuchungen und über die Plastizität der Tone. Internat. Mitteilungen für Bodenkunde Vol. 1, Berlin 1911.
3. L. BJERRUM: Persönliche Mitteilung.
4. L. CADLING and ST. ODENSTAD: The Vane Borer. Royal Swedish Geotechnical Institute. Proceedings Nr. 2, 1950.
5. A. CASAGRANDE: Research on the Atterberg Limits of Soils. Public Roads, Vol. 13, 1932.
6. A. CASAGRANDE: Classification and identification of soils. Proc. Am. Soc. Civ. Engineers, Vol. 73, p. 783—810, 1947.
7. K. ENDELL, W. LOOS, MEISCHEIDER, V. BERG: Über Zusammenhänge zwischen Wasserhaushalt der Tonmineralien und bodenphysikalischen Eigenschaften bindiger Böden. Degebo, Berlin 5, 1938.
8. J. GEERING: Beitrag zur Kenntnis der Braunerdebildung auf Molasse im schweizerischen Mittelland. Diss. E.T.H. 1935.
9. R. GLOSSOP: The London Clay, Part I, Field and Laboratory Technique. Verre et Silicate Industriels, Bruxelles 1948.
10. R. E. GRIM: Briefliche Mitteilung vom 10. 1. 50.

11. H. J. Harkort: Zur Methode der Korngrößen- und Mineralanalyse von Peliten. Sprechsaal, Coburg 1939.
12. A. Hartmann: Der untere braune Jura des Aargaus als wichtiger zukünftigster Tonlieferant der Schweiz. Mitt. der Aargauischen Naturforschenden Gesellschaft, Heft 23, p. 3—20, 1950.
13. F. Hofmann, Th. Geiger, W. Schwarzacher: Über ein Vorkommen von Montmorillonit in der ostschweizerischen Molasse. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 29, p. 43, 1949.
14. St. Magyar und A. von Moos: Der glimmerartige Ton in der Trias des Mte. Caslano, Kt. Tessin. Schweiz. Min. Petr. Mitt., Bd. 27, p. 21, 1947.
15. A. von Moos: Geotechnische Eigenschaften und Bestimmungsmethoden der Lockergesteine. Schweiz. Bauzeitung, Bd. 111, 1938.
16. — Der Baugrund der Stadt Zürich. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft von Zürich, Vol. 94 1948.
17. A. von Moos und F. de Quervain: Technische Gesteinskunde. Birkhäuser Basel, 1948.
17a F. de Quervain und M. Gschwind: Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. II. Auflage von F. de Quervain. Kümmerly und Frey, Geographischer Verlag, Bern 1949.
18. J. Sigg et J. von Steiger: Contribution à l'étude des marnes bleues de la région d'Allschwil (Bâle-Campagne), Bull. Soc. Vaud. sc. nat. Vol. 64, p. 417, 1950.
19. A. W. Skempton: Geotechnical Properties of post glacial Clays. Géotechnique Vol. I., p. 7, London 1948.
20. K. Terzaghi: Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage. F. Deutike Leipzig und Wien, 1925.
21. W. A. White: Atterberg Plastic Limits of Clay Minerals. American Mineralogist, Vol. 34, 1949.

Eingegangen: 29. September 1950.