Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 123/124 (1944)

Heft: 13: 75 Jahre G.e.P.: Festausgabe zur Generalversammlung der Gesellschaft ehemaliger Studierender der E.T.H.

Artikel: Erkenntnisse und Erfahrungen über Schluff- und Schlammböden

Autor: Blatter, C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-54021

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: 08.08.2025

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

der Räte und zwei Baubeamten begutachtet, denen zwei auswärtige Kollegen von unbestrittener Autorität beigesellt waren: der Architekt des Berliner Reichstagsbaues, Paul Wallot, und der bekannte Lyoner Architekt Gaspart André.

Das von dieser Jury verfasste Gutachten liegt mir noch vor. Es war mit bürokratischer Klugheit abgefasst, um der Behörde auch jetzt wieder freie Hand für die Architektenwahl zu lassen und wich einer klaren, sachlichen Entscheidung eigentlich aus. Es stellte fest, dass keines der beiden Projekte völlig befriedige, dass es aber nicht zweifelhaft sei, dass sowohl Auer als ich durchaus befähigt seien, die vorliegende Aufgabe zu voller Zufriedenheit zu lösen. Es war das, was die Baudirektion, die in der Jury reichlich vertreten war, offenbar wünschte.

Die Urteile der auswärtigen Experten wurden nur soweit berücksichtigt, als sie für mich ungünstig waren, wie aus einem (noch erhaltenen) Brief, den mir Wallot am 18. Juni 1891 von Berlin aus schrieb, deutlich hervorgeht. André, von dem ich auch einen diesbezüglichen Brief bewahre, war nach seinem Weggang von Bern der Ueberzeugung, dass es infolge des Gutachtens zu einer nochmaligen Konkurrenz zwischen Auer und mir kommen müsse und daher betroffen, dass die Entscheidung anders gefallen war.

Ich musste mich, so gut es ging, natürlich damit abfinden, dass Auer, der in Bern niedergelassen und der Behörde genehm war, den endgültigen Auftrag zur Ausführung des Parlamentshauses erhielt.

Wenn ich an den mannigfachen Verdruss und an die unendlichen Schwierigkeiten denke, die für Auer, dem Freunde und Verhältnisse günstiger lagen als mir, in der Folge mit diesem Bau verbunden waren und die wohl seinen frühen Hinschied mitverschuldeten, und wenn ich mich frage, ob ich diesen unvermeidlichen Schwierigkeiten, die in den äussern Verhältnissen lagen, wohl besser gewachsen gewesen wäre als Auer, und sie mit grösserem Erfolg überwunden haben würde als er, so muss ich vom rein menschlichen und persönlichen Standpunkt aus mir heute sagen, dass es das Schicksal nicht ganz übel mit mir gemeint hat, wenn es mir die Erfüllung meines damaligen Strebens versagt hat.

Zu jener Zeit war es ein harter Schlag für mich, doch kann ich jetzt den Auerschen Parlamentsbau, wenn auch nicht mit freudiger Bewunderung, so doch ohne Neid betrachten und das, was daran gut ist, wohl würdigen.» . . .

Also geschrieben 1925/26. —

Und wir Heutigen!? Ich glaube, dass wir von Bluntschlis Entwurf zum Parlamentsgebäude in Bern dasselbe denken, was er uns einstmals von Sempers Stadthaus in Winterthur sagte: dass selbst nur dieser sein Entwurf, den er n i c h t ausführen konnte — wie Sempers Stadthaus-Bau — «zeitlos», seinen Wert behalten werde.» Hans Eduard Linder

---

Erkenntnisse und Erfahrungen über Schluff- und Schlammböden

Von Dipl. Ing. C. BLATTER, G. E. P., in Fa. Swissboring, Zürich

Die Schluff- und Schlammböden[1]), die besonders am Ende von Seebecken und Fjorden, bei Deltabildungen usw. angetroffen werden, haben der Bauwelt von jeher grosse Schwierigkeiten bereitet. Diese im Wasser abgesetzten Schichten sind meistens sehr locker gelagert, weisen einen grossen Porenwassergehalt auf und geben beim Abstellen von Bauwerken sehr grosse Setzungen. Dazu sind diese Böden ausserordentlich rutschgefährlich, die Schichten verformen sich plastisch, weichen unter verhältnismässig geringer Belastung seitlich aus und sind dadurch die Ursache von schweren Bauunfällen geworden. Wenn die Schlammablagerungen noch von tragfähigen Kies- oder Sandschichten überdeckt sind, hat man sich über die Gefährlichkeit solcher Böden oft nicht genügend Rechenschaft gegeben. In der Folge seien zwei Beipiele von Setzungserscheinungen, bewirkt durch Schlamm- und Schluffböden, gegeben.

Im ersten Fall wurde am Ufer des Genfersees ein Hotel in Eisenbetonbauweise erstellt, ohne dass man vorher den Boden auf grössere Tiefe aufgeschlossen hatte. Man nahm die Fundierung auf Streifenfundamenten in gewöhnlicher Weise vor, da unter der Fundamentsohle tragfähiger Grobkies und Sand festgestellt wurde. Aber schon während des Baues, als das Eisenbetonskelett bis zum dritten Stock aufgerichtet war, ergaben sich grosse Setzungen, die in der einen Ecke des Gebäudes etwa 170 mm erreichten. Das Eisenbetongerippe nahm dabei keinen

[1]) Unter Schluff versteht man bekanntlich ein Material von 0,0002 bis 0,02 mm Korngrösse.

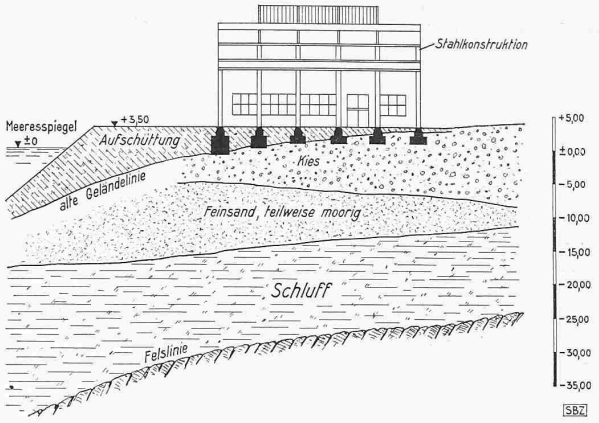

Abb. 1. Geotechnischer Schnitt (zweites Beispiel)

besondern Schaden, jedoch wurden die damals bereits erstellten grossen Terrassenvorbauten, die sich infolge ihres geringen Gewichtes weniger setzten, direkt vom Hauptgebäude abgeschert. Man musste den Bau einstellen und die Ursache der Setzungen abklären. An den Ecken des Gebäudes wurden Sondierbohrungen abgeteuft, die ergaben, dass 3 bis 4 m unter der Bodenoberfläche eine mehrere Meter starke Schluffschicht mit hohem Wassergehalt vorhanden war, die zu den hohen Setzungen Anlass gab. Die Fundamente mussten dann durch Bohrpfähle, die sich auf der unter der Schluffschicht liegenden Moräne abstützten, unterfangen werden, bevor man den Bau zu Ende führen konnte.

Als zweites Beispiel sei eine Fabrikbaute in Stahlkonstruktion am Meeresufer erwähnt, wo die Bodenschichten durch zahlreiche tiefe Sondierbohrungen vor Baubeginn erschlossen wurden. (Siehe Abb. 1.) Die gegen das Meer geneigte Felsoberfläche liegt in einer Tiefe von 25 bis 30 m, darüber folgt Schluff in einer Höhe von etwa 10 bis 15 m, dann Feinsand und Kies. Der Schluff ist also mindestens 10 bis 15 m von Kies- und Sandschichten überdeckt, sodass sich die Bauleitung entschloss, eines der Gebäude auf Einzelfundamente flach zu gründen. Dieses Gebäude kam nahe an die Uferlinie zu stehen, und es war notwendig, gegen die Meeresseite hin Schüttungen von 3 bis 4 m Höhe aufzuführen, um die notwendigen Zufahrten und Arbeitsplätze für den Betrieb der Fabrik zu erhalten. Da die Geländelinie gegen das Meer zu abfiel, nahm die Mächtigkeit dieser Anschüttungen gegen die Bergseite hin ab, und an der hintern Front des Gebäudes stand der natürliche Boden an. Durch diese neu aufgebrachten Anschüttungen und die Gebäudelasten wurden die Erdspannungen in der Mitte der Schluffschicht um 20 bis 30 % der geologischen Auflast erhöht. Die Stahlmontage wurde begonnen und gleichzeitig zwischen und vor den seeseitigen Fundamenten die Auffüllung eingebracht. Nach kurzer Zeit beobachtete man Setzungen, die gegen die Meeresseite stark zunahmen und am gefährlichsten Punkt etwa 400 mm erreichten, während sie an der Landseite nur 10 mm betrugen. Der Bau musste eingestellt werden, und weil die im Gebäude vorgesehenen Inneneinrichtungen und Apparate auf ungleichmässige Setzungen sehr empfindlich waren, verzichtete die Bauherrschaft auf eine Weiterführung des Baues und entschloss sich, das Stahlskelett abzubrechen und an einer Stelle, wo bessere Fundationsverhältnisse herrschten, wieder aufzubauen.

Dies sind zwei Beispiele, bei denen die Folgen der Setzungen sehr grosse Tragweite hatten; aber auch bei Bauten auf andern schluffigen Seeablagerungen, so z. B. in Zürich, Luzern, Lugano, sind Schwierigkeiten verschiedener Art aufgetreten. Die Zürcher Seekreide gehört ebenfalls in diese Kategorie von Böden. Trotzdem die schlechten Eigenschaften dieses Baugrundes schon seit langem bekannt waren, konnten die neuen bodenphysikalischen Untersuchungsmethoden noch keine Klarheit schaffen, da die Probeentnahme im ungestörten Zustand in diesem Fall nur selten gelingt. Sobald das Material abgedeckt wird, wie z. B. in einer offenen Baugrube, fängt es an breiig zu werden und fliesst. Auch ist es ausserordentlich schwierig, in Sondierbohrungen diese wasserreiche Masse ungestört zu entnehmen.

Nach Versuchen an solchen mehr oder weniger gestörten Proben im Laboratorium errechnete man vielfach Setzungen, die auch in der Grössenordnung nicht mit denjenigen in der Natur übereinstimmten. Haefeli und von Moos[2]) haben schon

[2]) H a e f e l i - v o n M o o s: Drei Lockergesteine und ihre Struktur. SBZ Bd. 112, S. 133* vom 10. September 1938.

bei der Untersuchung von Zürcher Seekreide gefunden, dass die Setzungskurve der ungestörten Probe einen steileren Verlauf zeigt als diejenige der gestörten, weil die ungestörte Probe eine besonders lockere Struktur besitzt.

Die Werte der im Laboratoriumsversuch bestimmten Winkel der innern Reibung von Schluffen waren so hoch wie diejenigen von Sanden, sodass die Anwendung in irgendeiner Berechnung zu ganz falschen Schlüssen führte. Weiss man doch aus Beobachtungen, wie z. B. der leichten Einsenkung von Pfählen in solchen Schichten, dass die Reibung ausserordentlich gering sein muss.

Besonders im oben erwähnten zweiten Beispiel hatte man eingehende Untersuchungen über den Winkel der innern Reibung des Schluffes auf verschiedenen Versuchsapparaturen, so auf dem prismatischen Scherapparat von Casagrande, auf dem Kreisringscherapparat von Hvorslev und in einem Zellapparat für dreiaxigen Spannungszustand, mit verschiedenen Versuchsmethoden und in verschiedenen Laboratorien durchgeführt, wobei man Scherwinkel erhielt, die zwischen 21° und 31° schwankten. Da man in obigem Fall die ausserordentlich starke Senkung von 400 mm nicht durch gewöhnliche Konsolidierung erklären konnte, versuchte man an Hand von Rutschungen auf kreiszylindrischen Gleitflächen die Absenkung zu deuten. Jedoch wurde die Sicherheit der Gleitfläche nur unterschritten, wenn man den Reibungswinkel willkürlich auf mehr als die Hälfte der gemessenen Werte herabsetzte, d. h. auch diese Methode ergab unbefriedigende Resultate. Um sich über die Verhältnisse etwas mehr Klarheit zu verschaffen, wurde die Firma Swissboring beauftragt, eine Reihe von systematischen Untersuchungen auf dem Gelände und im Laboratorium zu unternehmen.

Es gelang mittels eines normalen Büchsenkernapparates mit Kugelventil bei Anwendung der grössten Sorgfalt und besonderer Massnahmen, aus Sondierbohrlöchern ungestörte Proben zu entnehmen, die, was ihre Struktur und den Wassergehalt angeht, bei der Entnahme homogen waren. Diese Proben wurden dann teilweise zur Untersuchung ins Laboratorium gesandt, wobei es sich herausstellte, dass die Konsistenz durch die Transporterschütterungen stark verändert wurde (siehe Abb. 2, Kornverteilungskurven dieses Materials im Vergleich mit der Zürcher Seekreide). Es konnte an Hand von solchen sog. «ungestörten» Schluffproben (ungestört entnommen und durch Erschütterungen auf dem Transport gestört) festgestellt werden, dass der Wassergehalt meistens an der Aussenseite grösser war als im Innern der Probe. Die Oberfläche des Schluffes war oft breiig, während im Innern noch kompakte Stücke vorhanden waren. Es musste nun abgeklärt werden, welchen Wassergehalt und welchen Konsistenzzustand das Material im Boden selbst aufwies.

Zu diesem Zweck wurde auf der Baustelle eine Einrichtung geschaffen, womit Wassergehalt, Raumgewicht und ähnliches bestimmt werden konnten. Diese Wassergehaltbestimmungen sofort nach der Entnahme ergaben den wirklichen natürlichen Zustand, und nach dem Transport ins Laboratorium konnte man eine beträchtliche Abnahme des Porenwassers feststellen. So fand man an einer Probe z. B. einen Wassergehalt von 34 % auf der Baustelle und von nur 25 % im Laboratorium (Wassergehalt in Gewichtsprozent bezogen auf das Trockengewicht der Probe). Aehnliche Abnahmen wurden an einer Reihe von Versuchen gleichmässig ermittelt.

Der Wassergehalt hat ausschlaggebenden Einfluss auf die Konsistenz eines Materials. Atterberg[3]) hat zur Charakterisierung eines Bodens Grenzen festgelegt, und zwar hat er den Wassergehalt bei der Fliessgrenze, der Grenze zwischen flüssigem und plastischem Zustand, und den Wassergehalt bei der Ausrollgrenze, der Grenze zwischen plastischem und festem (bröckeligem) Zustand, zur Kennzeichnung eines Materials herausgegriffen. Die Spanne zwischen Ausroll- und Fliessgrenze wird als Plastizitätsbereich oder Plastizitätszahl bezeichnet. Je grösser der Plastizitätsbereich, umso plastischer ist das Material. Tonige Materialien haben eine hohe Plastizitätszahl, während Sande eine niedrige aufweisen. Je kleiner der Plastizitätsbereich ist, umso grösser ist der Einfluss einer Wassergehaltänderung auf den Konsistenzzustand. Der natürliche Wassergehalt der untersuchten schluffigen Materialien lag oft oberhalb der Fliessgrenze, und die Plastizitätszahl wies nur eine Grösse von 8 bis 10 auf. Daraus kann man erkennen, dass eine

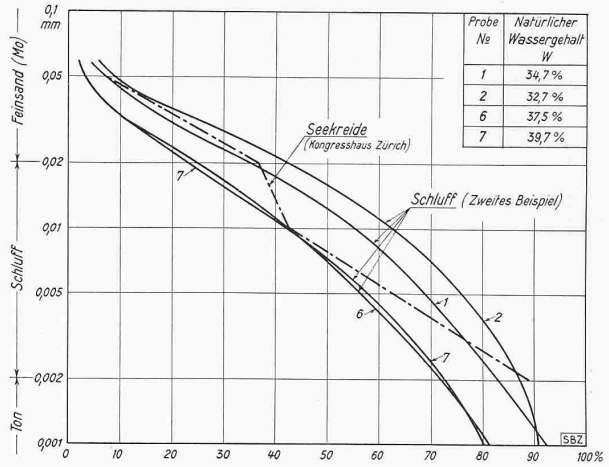

Abb. 2. Vergleich der Kornverteilungs-Kurven

nur geringfügige Veränderung des Wassergehaltes in diesem Fall eine bedeutende Zustandsänderung hervorrufen muss (siehe auch unter[4]) von Moos über Wechselwirkung feste Phase-flüssige Phase).

Die vergleichenden Probeentnahmen und Wassergehaltsbestimmungen haben eindeutig gezeigt, dass das Material in seinem natürlichen Zustand einen ausserordentlich hohen Wassergehalt aufweist. Dabei darf man aber die Konsistenz des Materials nicht als flüssig bezeichnen, sondern es kann ein festes Gefüge festgestellt werden; das Wasser muss in irgendeiner Weise gebunden sein. Erst durch äussere mechanische Einwirkungen wie Erschütterungen, Spannungserhöhungen, Strömungserscheinungen wird das Korngerüst zerstört, und es entsteht Ueberschusswasser, wodurch die innern Kräfte von der flüssigen Phase übernommen werden müssen. Auf dieses Phänomen haben erstmals A. Casagrande[5]) und später Haefeli und von Moos[2]) hingewiesen.

Wenn das Material im natürlichen Zustand in einen Oedometer[6]) eingefüllt und unter Verhinderung der seitlichen Ausdehnung darin belastet wurde, so war der Wassergehalt bei einem der natürlichen geologischen Auflast entsprechenden Druck immer viel geringer als der natürliche Wassergehalt. So wurde bei einer Probe aus 17 m Tiefe der natürliche Wassergehalt mit 37,5 % bestimmt, während unter einem Druck von 1,65 kg/cm², entsprechend 17 m geologischer Auflast, im Oedometer nur 23,2 % Wasser gemessen wurden. Dieser Widerspruch erschien auf den ersten Blick unerklärlich, da die Probe bei der Entnahme kaum durch Schwellung Wasser aufnehmen konnte, und es unbegreiflich schien, dass die Tragfähigkeit bei 37,5 % Wassergehalt genügend gross sei, um der geologischen Auflast standzuhalten.

Man hat dann versucht, diesen Zustand mit hohem Wassergehalt im Laboratorium künstlich nachzubilden, indem mittels einer besonderen Versuchseinrichtung der vorgängig in destilliertem Wasser aufgeschlämmte Schluff direkt im Oedometer langsam und ruhig sedimentiert wurde, ähnlich wie dies beim Absetzen der Schichten in der Natur vorgeht. Diese sedimentierten Proben wurden dann langsam und möglichst erschütterungsfrei im Oedometer belastet. Es zeigte sich bei diesen Versuchen, dass bei der Sedimentierung tatsächlich wieder ein Gerüst gebildet wird, das ebenfalls tragfähig ist. Die Ergebnisse dieser Versuche sind als Druck-Porenzifferdiagramm in Abb. 3 aufgetragen. Die Porenziffer ε ist das Verhältnis des Volumens der Hohlräume zum Volumen der Festsubstanz und ist das Produkt aus dem Wassergehalt w und dem spezifischen Gewicht γ_s der Bodenkörper $\left(\varepsilon = \gamma_s \frac{w}{100}\right)$. In der Kurve I ist nun dem Wassergehalt von 37,5 % entsprechend dem natürlichen Wassergehalt in 17 m Tiefe eine Belastung von 1,65 kg/cm² zugeordnet. Damit ist der Beweis erbracht worden, dass dieser Schluffboden auch in einer Tiefe von 17 m einen so hohen Was-

[3]) Atterberg: Die Plastizität der Tone. «Internationale Mitteilungen für Bodenkunde» 1911, Heft 1. Wien-Berlin-London, Verlag für Fachliteratur.
Atterberg: Die Konsistenz und Bindigkeit der Böden. «Int. Mitteilungen für Bodenkunde» 1912.

[4]) von Moos: Geotechnische Eigenschaften und Bestimmungsmethoden der Lockergesteine. SBZ Bd. 111, S. 268*.

[5]) A. Casagrande: La structure de l'argile et son importance dans l'étude des travaux de fondation. «Bulletin de l'assoc. internationale permanente des Congrès de Navigation» 1933, Nr. 16.

[6]) Haefeli: Mechanische Eigenschaften von Lockergesteinen. SBZ Bd. 111, S. 299*.

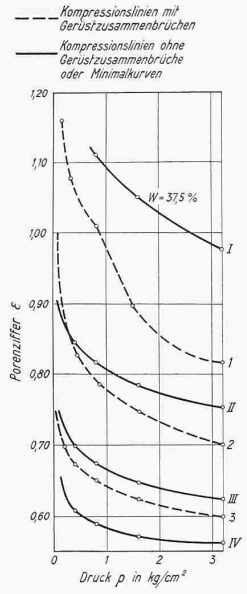

Abb. 3. Zusammendrückbarkeit des Schluffes

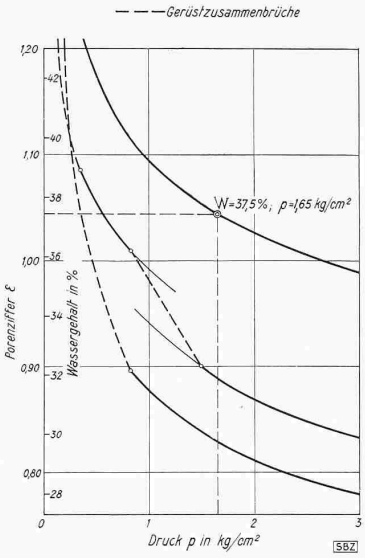

Abb. 4. Korngerüst-Zusammenbruch bei Schluffproben

sergehalt aufweisen kann. Ferner wurde erkannt, dass dieses Gerüst auch künstlich durch die oben beschriebene Methode nachgebildet werden kann.

Die erwähnte Kurve I in Abb. 3 stellt einen Kompressionsvorgang dar, bei dem anscheinend keine Gerüstzusammenbrüche aufgetreten sind. Die Probe wurde auch mit entsprechender Sorgfalt sehr langsam belastet. Je kleiner die Lasterhöhungen gewählt werden, umso kleiner wird die Spannung des Porenwassers und damit die Geschwindigkeit der Porenwasserströmung, wodurch die Gefügestörung auf ein Minimum herabgesetzt zu werden scheint. Die Kurven II, III und IV in Abb. 3 stellen weitere solche Kompressionsvorgänge mit aufbereiteten Schluffproben ohne Auftreten von Gerüstzusammenbrüchen dar. Sie unterscheiden sich voneinander nur durch verschiedenen Anfangswassergehalt. Alle diese Kurven ergeben in ihrem Bereich die minimalen Setzungen und werden daher Minimalkurven genannt. Sämtliche Minimalkurven für ein bestimmtes Versuchsmaterial können in einer Minimalkurvenschar erfasst werden. Es würde im Rahmen dieses Aufsatzes zu weit führen, auf die Aufstellung der mathematischen Ansätze einzutreten, jedoch soll nicht unerwähnt bleiben, dass durch die Gleichung der Minimalkurvenschar an Hand von «gestörten» Proben sich ein Weg zur Untersuchung der Setzungsvorgänge eröffnen kann. Wenn nämlich die Gleichungen der Minimalkurvenschar bekannt sind, so kann jede einem bestimmten Konsistenzzustand entsprechende Kurve theoretisch berechnet werden, sofern Wassergehalt und zugeordneter Druck für einen bestimmten Punkt der Kurve bekannt sind.

Neben den Minimalkurven sind in Abb. 3 weitere Kurven, bezeichnet mit 1, 2 und 3, dargestellt, und zwar sind dies Kompressionskurven, bei denen Gerüstzusammenbrüche aufgetreten sind. Ihre Neigung ist daher grösser als diejenige der Minimalkurven. Die Gerüstzerstörungen wurden bei den vorliegenden Versuchen durch Erschütterungen oder rasche Lastaufbringung bewirkt. Es ist zu bemerken, dass bei hohem Wassergehalt des Schluffs schon Gerüstzusammenbrüche auftreten, wenn die Proben in der allgemein üblichen Weise belastet werden, indem die nächstfolgende Laststufe immer die doppelte spezifische Belastung der vorherigen aufweist.

Man sieht daraus, dass die Setzung von Schluffschichten in ganz verschiedener Weise vor sich gehen kann und von ganz verschiedenen Faktoren, wie Belastungsgeschwindigkeit und Erschütterungen, abhängig ist. Gesetzmässig kann vorläufig nur die Setzung entlang einer Minimalkurve erfasst werden, während das Verhältnis von Ursache und Wirkung bei Gerüstzusammenbrüchen schon im Versuch sehr kompliziert ist und nur durch sehr umfangreiche Versuchsreihen geklärt werden könnte. Es konnte aber versuchsmässig nachgewiesen werden, dass die Kompression eines Schluffes zuerst entlang einer Minimalkurve laufen kann, dann erfolgt durch äussere Einwirkung ein Gerüstzusammenbruch, die Kompressionskurve fällt infolgedessen von der Minimalkurve ab, und nach Beendigung des Gerüstzusammenbruches geht die Kompression wieder entlang einer Minimalkurve, die tiefer liegt als die erste (siehe Abb. 4).

Wohl ist es auch möglich, diejenige Minimalkurve festzustellen, bei der keine Gerüstzusammenbrüche mehr auftreten, weil das Porenvolumen bereits so klein ist, dass die Möglichkeit von Kornverschiebungen und beträchtlichen Volumenverringerungen nicht mehr vorhanden ist. Dies ist gewissermassen die untere Grenze der Gerüstzusammenbrüche. Es ist diejenige Kurve, auf der die Kompression weiter läuft, nachdem das Maximum an Gerüstzusammenbrüchen aufgetreten ist. Unterhalb dieser Minimalkurve wird jede Kompressionskurve zur Minimalkurve. Es ist selbstverständlich, dass die Stabilität des Korngerüstes mit zunehmendem Wassergehalt abnimmt, und es ist möglich, eine «höchste» Minimalkurve festzulegen, bei der die höchstmöglichen Wassergehalte auftreten.

Die Uebertragung der Versuche in die Natur bedeutet nun folgendes: Ein solcher wasserreicher Schluffboden kann bis zu einem gewissen Grad langsam belastet werden, ohne dass ausserordentliche Setzungen auftreten (Setzungsverlauf folgt einer Minimalkurve). Wenn jedoch die Lastaufbringung sehr rasch erfolgt und der Boden unter Umständen durch Erschütterungen wie Rammungen, Sprengungen usw. zusätzlich beansprucht wird, treten Gerüstzusammenbrüche auf, die katastrophale Folgen haben können. Durch diese Gerüstzusammenbrüche kann nicht nur die Setzung auf das 5- bis 6fache erhöht werden, sondern auch die innere Reibung des Materials wird durch die Verflüssigung während des Zusammenbruches sozusagen vollkommen aufgehoben, da, wie bereits erwähnt, gespanntes Porenwasser auftritt und der Korn-zu-Korn-Druck nicht mehr wirkt, solange wenigstens das Wasser nicht wegfiltriert und entspannt werden kann.

Die Diskrepanz zwischen Scherversuch und Vorgang in der Natur hat folgende Ursachen: Die Laboratoriumsversuche wurden bereits mit «gestörten» Materialien, die schon Porenwasser durch Verdunstung und Abfliessen abgegeben hatten, durchgeführt, und in den meisten Fällen konnte das Abgeben von Porenwasser während des Versuches nicht verhindert werden, sodass bereits wieder ein Korn-zu-Korn-Druck wirksam war. Es ist übrigens leicht einzusehen, dass in solchen Böden nicht mit dem Winkel der innern Reibung gerechnet werden kann. Es darf dem Schluff nur eine gewisse Kohäsion zugesprochen werden, solange er ungestört ist. Auf diesen Punkt hat auch Fellenius hingewiesen, indem Schluffe als ausgesprochene Kohäsionserden anzusprechen seien. Auch Leo Casagrande hat in einem unveröffentlichten Bericht darauf hingewiesen, dass im Fall eines solchen Bodens nicht der Winkel der innern Reibung, sondern nur das plastische Verhalten massgebend sei. Es ist leicht zu verstehen, dass beim zweiten erwähnten Beispiel Gerüstzusammenbrüche aufgetreten sind, denn die Spannungserhöhung durch die Aufschüttung, die plötzlich aufgebracht wurde, entsprach grössenordnungsweise einem Drittel der vorherigen geologischen Auflast. Zudem wurde die ganze Gegend durch Pfahlrammungen und Sprengerschütterungen gestört. Wie weit nun die Einsenkungen durch reines Zusammensacken der Bodenschichten oder durch plastische Verformung der Schluffschicht auf der geneigten Felsoberfläche hervorgerufen wurden, ist schwierig zu beurteilen. Aber es steht fest, dass die Katastrophe nicht durch eine Rutschung, also eine Stabilitätsangelegenheit, verursacht wurde, sondern der Grund des Unglücks liegt in der Zustandsänderung der wasserreichen Schluffschicht, bewirkt durch rasche und bedeutende Lasterhöhung und Vibrationseinwirkungen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass durch diese Versuche wieder die ausserordentliche Bedeutung der richtigen Bestimmung des natürlichen Wassergehaltes für die Charakterisierung eines Bodens gezeigt wurde, auf welchen Umstand als erster Terzaghi hingewiesen hat[7]). Es geht auch aus diesen Ueberlegungen hervor, dass der Wassergehalt einer gleichmässigen Schluffschicht nicht unbedingt mit der Tiefe, entsprechend dem zunehmenden Druck, abnehmen muss, da durch lokale Gefügestörungen das Porenvolumen vollkommen verändert sein kann und dadurch im gleichen Material grosse Unterschiede im Wassergehalt auftreten können. Es wird einem auch bewusst, mit welcher Vorsicht der Konsistenzzustand solcher Schluff- und Schlammböden beurteilt werden muss, da selbst geringfügige Einflüsse grosse Veränderungen hervorrufen.

---

[7]) Terzaghi: Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage. Leipzig und Wien, 1925, Franz Deuticke.