

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung

**Band:** 127/128 (1946)

**Heft:** 7

**Artikel:** Der Triaxialapparat: ein Instrument der Boden- und Eismechanik zur Prüfung von Verformungs- und Bruchzuständen

**Autor:** Haefeli, R. / Schaerer, Ch.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-83886>

### **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:** 17.11.2024

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

### Der Triaxialapparat

Ein Instrument der Boden- und Eismechanik zur Prüfung von Verformungs- und Bruchzuständen

Von R. HAEFELI und CH. SCHAERER, Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der E. T. H., Zürich (Schluss von Seite 67)

#### 5. Erste Versuchsergebnisse

Um die in Abschnitt 2 beschriebene Schertheorie qualitativ zu belegen, wurden in einem besonderen Vordruckapparat zwei Proben eines plastischen Gehängetones (Bannalpton) unter 2 bzw. 4 kg/cm<sup>2</sup> Vertikalspannung verdichtet. Aus diesen Probekörpern von 25 cm Ø und 20 bis 22 cm Höhe wurden je sieben Proben von 5,64 cm Ø ausgestanzt und im Triaxialapparat untersucht.

Ueblicherweise wird der *Triaxialversuch* wie folgt durchgeführt: Die Bodenprobe wird zunächst einem hydrostatischen Druck unterworfen, indem der Seitendruck bis auf den Wert der Vertikalbelastung gesteigert wird, wobei keine merkliche Deformation entsteht. Anschliessend wird die kritische Spannungsdifferenz  $\sigma_I - \sigma_{III}$  durch stetige *Verminderung des Seitendrucks* bei gleichbleibender äusserer Vertikalbelastung erreicht. Mit zunehmender Spannungsdifferenz  $\sigma_I - \sigma_{III}$  erleidet die Probe eine Stauchung, die allmählich anwächst, bis schliesslich die Scherfestigkeit überwunden wird (Bild 13). Diese Stauchung der Probe bei praktisch unverändertem Volumen bedingt eine allgemeine Zunahme der horizontalen Querschnitte und damit eine entsprechende Abnahme der mittleren Vertikalspannung. Andererseits entstehen infolge der Ausbauchung der Probe zusätzliche vertikale Komponenten aus dem Seitendruck, die jedoch die oben erwähnte Reduktion der Vertikalspannung nur z. T. ausgleichen, weil der spezifische Seitendruck bei dieser Versuchsanordnung stets kleiner ist als der spezifische Vertikaldruck. Es ist somit auf diesem Wege nicht möglich, die Vertikalspannung ( $\sigma_I$ ) im Innern der Probe konstant zu halten. Mit zunehmender Verformung nimmt nicht nur die dritte, sondern auch die erste, vertikale Hauptspannung ab, wodurch der Bruchvorgang verzögert wird. Bei relativ langsamer Durchführung des Versuchs können grosse plastische Verformungen eintreten, bevor eigentliche Scherrisse sichtbar werden, die den Bruchzustand anzeigen. Der Nachteil dieser Methode liegt hauptsächlich darin, dass der Bruchvorgang, der als Kriterium für die Beurteilung der Scherfestigkeit dient, der nötigen Klarheit und Eindeutigkeit entbehrt und in hohem Masse vom zeitlichen Verlauf des Versuches abhängig ist.

Wesentlich günstigere Verhältnisse werden erzielt, wenn die Ueberwindung der Scherfestigkeit durch *Steigerung des Seitendrucks* bei gleichbleibender äusserer Vertikalbelastung erfolgt.

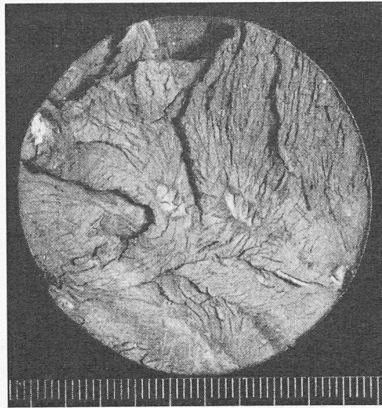


Bild 12a. Bruchfläche der zerrissenen Probe (vgl. Bild 12). Man beachte die blättrige Struktur, bedingt durch die horizontale Orientierung der Tonblättchen bei der Verdichtung der Probe

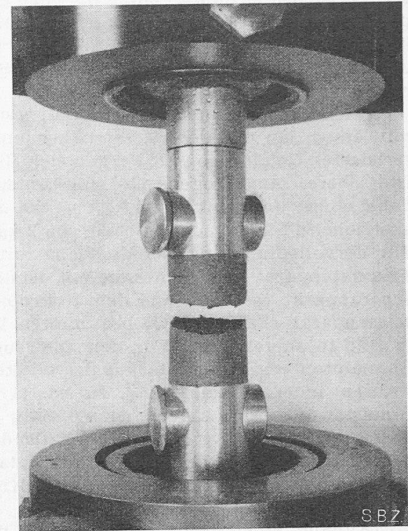


Bild 12. Vorrichtung für Zugversuche, mit zerrissener Tonprobe

Man beobachtet dabei eine ähnliche lokale Einschnürung der Probe wie bei der Prüfung der Zugfestigkeit von Stahlstäben (Bild 14) [23]. Durch die Einschnürung entstehen in der oberen Probeghälfte nach oben wirkende Komponenten aus dem Seitendruck, die infolge ihres überwiegenden Einflusses eine Entlastung des engsten Probequerschnittes in vertikaler Richtung bewirken. Die regulierbare Zunahme des Seitendrucks ist deshalb von einer durch die Verformung bedingten Abnahme der Vertikalspannung im kritischen Querschnitt begleitet. Die Deformation hat somit hier — im Gegensatz zur Versuchsanordnung mit abnehmendem Seitendruck — eine Beschleunigung des Bruchvorganges zur Folge. Zum genaueren Studium des letztgenannten ist es zweckmässig, die Steigerung des Seitendrucks in gewissen Zeitintervallen zu unterbrechen, damit die Verformung bei konstanter erster Hauptspannung erfolgt. Hat dabei die Spannungsdifferenz  $\sigma_I - \sigma_{III}$  den kritischen Wert erreicht, so vollzieht sich der Bruch der Probe gleichsam selbsttätig, d. h. bei gleichbleibender äusserer Belastung. Daraus ergibt sich ein ziemlich eindeutiges Bruchkriterium. Ein weiterer Vorteil der oben beschriebenen Versuchsanordnung gegenüber der üblichen Methode besteht darin, dass die Probegöhe wesentlich reduziert werden kann, ohne eine Störung durch Randspannungen befürchten zu müssen (Bild 15).

In Bild 15 ist die Registrierung des zeitlichen Verlaufes der Dehnung dargestellt. Die Vertikalbelastung betrug — auf den Urquerschnitt bezogen —  $\sigma_I = 1 \text{ kg/cm}^2$ . Der Seitendruck wurde in Stufen von je 0,2 kg/cm<sup>2</sup> zwischen  $\sigma_I = 1,0$  bis 3,0 kg/cm<sup>2</sup> gesteigert und jeweils acht Minuten auf dem Stufenendwert konstant belassen. Aus der Neigung der Kurve lässt sich nach Gleichung (5) die Zähigkeit berechnen. Als typisches Merkmal die-

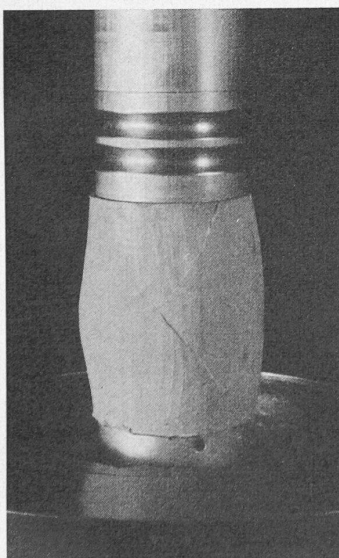


Bild 13. Verformte Tonprobe nach dem langfristigen einaxialen Druckversuch mit aktivem Vertikaldruck (Vorbelastung 2 kg/cm<sup>2</sup>, Druckfestigkeit 1 kg/cm<sup>2</sup>)

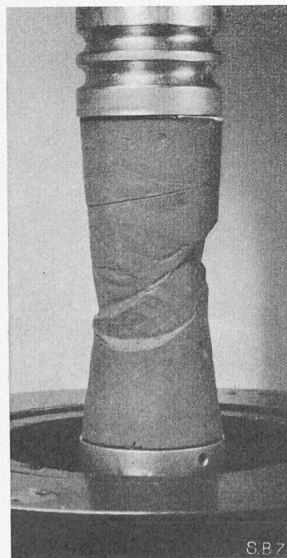


Bild 14. Verformte Tonprobe nach zwei-axialem Druckversuch mit aktivem Seitendruck (Vorbelastung 4 kg/cm<sup>2</sup>)

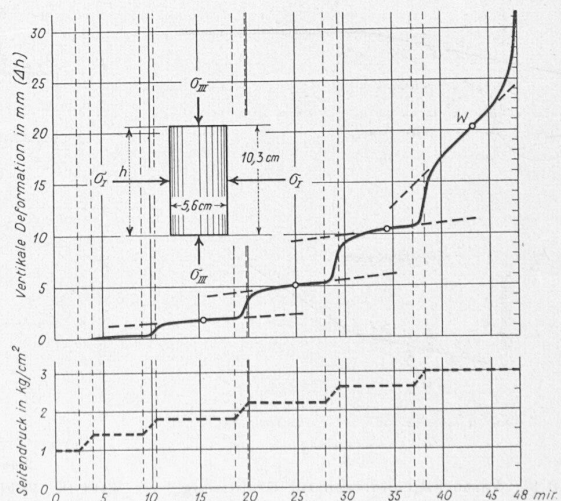


Bild 15. Registrierte Verformungskurve einer mit 4 kg/cm<sup>2</sup> vorbelasteten Tonprobe (Bannalpton). Versuchsanordnung mit zunehmendem Seitendruck ( $\sigma_I$ ) bei konstantem Vertikaldruck ( $\sigma_{III}$ )

ser Versuchsanordnung entsteht ein Wendepunkt  $W$  in der Verformungskurve, sobald die kritische Spannungsdifferenz  $\sigma_I - \sigma_{III}$  erreicht wird. Praktisch gleichzeitig werden Scherrisse sichtbar.

Auf Grund von etwa 20 Triaxialversuchen mit einem an anderer Stelle näher charakterisierten Gehängeton [25] ergab sich Bild 16. Die obere, ausgezogene  $b$ -Linie entspricht dabei einem Vordruck von  $4 \text{ kg/cm}^2$ , die untere gestrichelte Linie einem solchen von  $2 \text{ kg/cm}^2$ . Zur Vervollständigung der Versuche mit dem Triaxialapparat sind ferner die mit dem Ringscherapparat ( $a$ -Linie) und dem Rotationszerreissapparat (links von  $O$ ) bestimmten Werte in Bild 16 eingetragen. Für den untersuchten Bannalpton ergibt sich daraus der Winkel der wahren inneren Reibung  $\varphi_r$  zu rd.  $11^\circ$ , die Kohäsion  $c$  zu  $0,72 \text{ kg/cm}^2$  bzw.  $0,35 \text{ kg/cm}^2$  für einen Vordruck von  $4$  bzw.  $2 \text{ kg/cm}^2$ . Die auffallende Parallelität der beiden  $b$ -Linien bestätigt die im Abschnitt 2 dargestellte Schertheorie, die weitgehend mit derjenigen von Krey-Tiedemann übereinstimmt [8].

Anhand einer gestörten und zwei ungestörter Proben gestaltet sich somit der Arbeitsgang zur Ermittlung des vollständigen Scherdiagramms unter kombinierter Verwendung von Ringscher- und Triaxialapparat in folgender Weise (Bild 17 a): Scherversuch mit gestörter Probe zur Ermittlung der  $a$ -Linie im Ringscherapparat (offenes System). Triaxialversuch mit ungestörter Probe im Bereich des druckgespannten Porenwassers (geschlossenes System, Kreis 1). Einaxialer Zug- oder Druckversuch mit ungestörter Probe im Triaxialapparat (Kreis 2 oder 3). Konstruktion der  $b$ -Linie, die den Kreis 1a — dessen Durchmesser mit demjenigen von Kreis 1 identisch ist — im Schnittpunkt  $T$  berührt (durch Probieren). Mit der vollständigen  $b$ -Linie erhält man gleichzeitig den äquivalenten Verdichtungsdruck  $\sigma_I$ , bzw. die massgebende Vorbelastung der ungestörten Probe.

Es empfiehlt sich ferner, durch einen weiteren Versuch im Ringscherapparat den Winkel  $\varphi_r$  zu kontrollieren (Bild 17 b). Zu diesem Zweck wird beispielsweise eine unter der Vorspannung  $\sigma_i^* = 4 \text{ kg/cm}^2$  vorbelastete gestörte Probe vor dem Abscheren auf  $\sigma_i = 1 \text{ kg/cm}^2$  entlastet. Die Abscherung liefert einen ersten Punkt  $B$  der entsprechenden  $b^*$ -Linie. Ihr Schnittpunkt  $T^*$  mit der  $a$ -Linie ergibt sich aus der Bedingung, dass  $\angle O-D-T^* = 45^\circ - \frac{\varphi_r}{2}$ , ihre Neigung liefert den gesuchten Winkel  $\varphi_r$ . Daraus folgt, dass man beim Abscheren von Proben, die unter einer gewissen Vorbelastung verdichtet, aber bei sukzessive kleineren Normalspannungen abgesichert werden, nicht eine von  $A$  ausgehende, unter  $\varphi_r$  geneigte Gerade, sondern den gebrochenen Linienzug  $A-T^*-B$  als Scherdiagramm erhält [5, 22].

Die einfachste Art der Zähigkeitsmessung mit dem Triaxialapparat nach Gleichung 6 besteht darin, dass man die Normalspannung  $\sigma_I$  stetig oder stufenweise zunehmen lässt und die

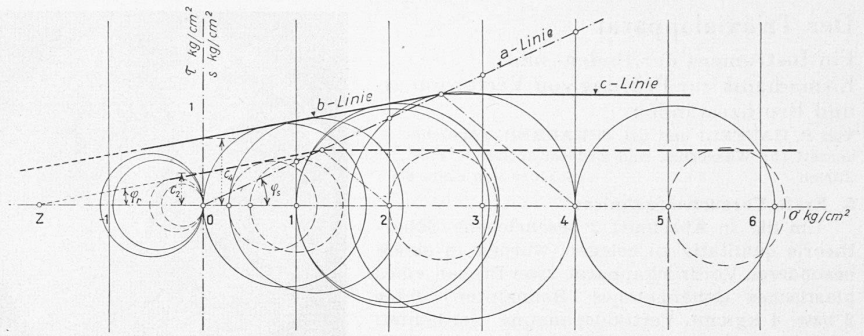


Bild 16. Darstellung der Versuchsergebnisse (Bannalpton).  $\varphi_s = 25^\circ$ ;  $\varphi_r = 10^\circ 50'$   
Kohäsion für einen Vordruck von 4 bzw. 2  $\text{kg/cm}^2$ :  $c_4 = 0,72 \text{ kg/cm}^2$ ;  $c_2 = 0,35 \text{ kg/cm}^2$

Zusammendrücken in der besprochenen Form registriert. Die Neigung der zu einer gegebenen Spannung  $\sigma_I$  gehörigen Tangente an die registrierte Zusammendrückungskurve ergibt nach Division durch die Probehöhe die spezifische Zusammendrückungsgeschwindigkeit  $a$ . Abb. 18 zeigt ein vorläufiges Ergebnis einer solchen Zähigkeitsmessung, die an einer unter  $2 \text{ kg/cm}^2$  vorbelasteten Tonprobe bei stufenweiser Steigerung der Vertikalspannung durchgeführt wurde. Man erkennt daraus den wesentlichen Unterschied im Verhalten des Tones gegenüber der zähen Flüssigkeit. In Bild 19 sind die Ergebnisse der Zähigkeitsmessung für den in Bild 15 dargestellten Versuch ausgewertet. Analoge Versuche können grundsätzlich mit Eis ausgeführt werden, doch sind in diesem Falle besondere Massnahmen zur Konstanthaltung der Temperatur erforderlich [11, 24].

6. Zusammenfassung und Schlussbemerkung

Wird ein gesättigtes, aus fester und flüssiger Phase bestehendes Lockergestein einem stufenweise gesteigerten Verdichtungsdruck — bei freiem Abströmen der flüssigen Phase — so lange ausgesetzt (offenes System), bis sich die jeweilige Hauptsetzung vollzogen hat, so erleidet es eine gesetzmässig zunehmende Verfestigung. In dem Masse, als mit dem wachsenden Verdichtungsdruck der Volumenanteil und damit der Einfluss der flüssigen Phase gegenüber der festen Phase zurücktritt, beobachtet man eine Zunahme derjenigen mechanischen Grössen, die den festen Körper kennzeichnen (Bild 20), so des Plastizitätsmoduls  $M_E$ , der dem Elastizitätsmodul der «festen» Körper entspricht, der Scherfestigkeit für entspanntes Porenwasser ( $a$ -Linie), der Druckfestigkeit ( $d$ -Linie) oder der Kohäsion ( $c$ -Linie), der Zugfestigkeit ( $z$ -Linie) und des  $p_K$ -Wertes ( $p_K$ -Linie).

Betrachtet man einen sehr grossen Druckbereich, so kann man bei allen oben erwähnten Eigenschaften feststellen, dass keine exakte Proportionalität zwischen Verdichtungsdruck und der entsprechenden mechanischen Grösse besteht. Je höher nämlich der Verdichtungsdruck ist, umso weniger ändert die betreffende Eigenschaft, wenn dieser Druck um die Einheit zunimmt,

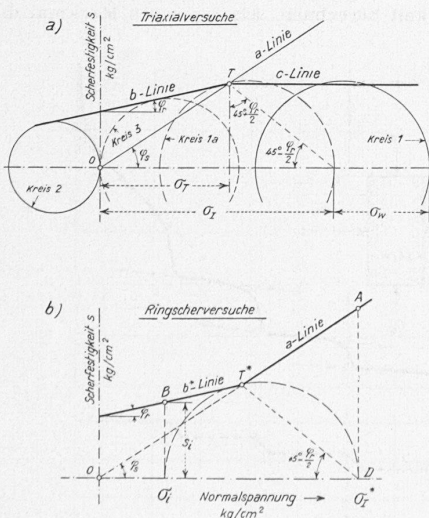


Bild 17. Versuchsgrundlagen zur Ermittlung der Scherlinie für konstanten Wassergehalt ( $b$ - $c$ -Linie).  
a) bei Benützung des Triaxialapparates,  
b) bei Benützung des Ringscherapparates

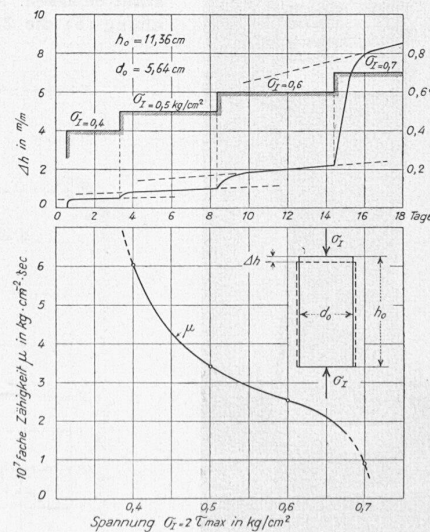


Bild 18. Ergebnisse eines Kriechversuches zur Ermittlung der Zähigkeit  $\mu$ . (Ziegeleiten, Vorbelastung  $2 \text{ kg/cm}^2$ , Bruchbild vgl. Bild 13). Langfristiger Versuch mit einaxialer Druckbeanspruchung (totale Versuchsdauer 18 Tage)

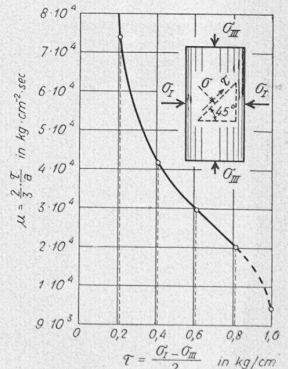


Bild 19. Zähigkeitsbestimmung eines Gehängtones (Bannal) auf Grund der registrierten Verformungskurve nach Bild 15 (Vorbelastung  $4 \text{ kg/cm}^2$ ). Kurzfristiger Versuch mit allseitiger Beanspruchung (totale Versuchsdauer 48 min, Bruchbild vgl. Bild 14)

was in der Abflachung der zugehörigen Kurven zum Ausdruck kommt. Begnügt man sich dagegen mit der Untersuchung eines engeren Druckbereiches, der für die Belange der Baugrunduntersuchung praktisch besonders wichtig ist, so ist das Gesetz der Proportionalität zwischen Verdichtungsdruck und den genannten mechanischen Grössen in der Regel genügend genau erfüllt.

Den Ausgangspunkt für die experimentelle Untersuchung obiger Zusammenhänge bildet der Oedometerversuch, d. h. die *Verdichtung des Materials* bei veränderter Seitenausdehnung. Dabei ist zu beachten, dass für ein gegebenes Material zwischen dem Verdichtungsdruck und dem Verdichtungszustand nur dann eine eindeutige Beziehung besteht, wenn die Konsolidierung bei einem einheitlichen Anmachwassergehalt, z. B. bei der Atterbergschen Fließgrenze beginnt. Bekanntlich gibt es für ein und dasselbe Material unendlich viele Setzungs- bzw. Druck-Porenzifferdiagramme, bei denen der Anmachwassergehalt die Rolle eines Parameters übernimmt [25, 26, 27]. Diese Tatsache ist dadurch zu erklären, dass sich bei der Verdichtung, je nach dem Anmachwassergehalt, verschiedene Strukturen ausbilden, die während der Konsolidation grundsätzlich bestehen bleiben, sofern sie nicht durch dynamische Wirkungen gestört werden (Strukturstörungen). Dementsprechend gelten streng genommen die hier geschilderten gesetzmässigen Beziehungen zwischen dem Verdichtungsdruck einerseits und den betrachteten mechanischen Eigenschaften, wie z. B. der Scherfestigkeit, nur dann, wenn ein einheitlicher Anmachwassergehalt als Ausgangspunkt des Verdichtungsprozesses gewählt wird. Auch die Feststellung, dass das allgemeine Scherdiagramm innerhalb eines begrenzten Druckbereiches durch die beiden Winkel  $\varphi_s$  und  $\varphi_r$  vollständig umschrieben wird, steht unter diesem Vorbehalt und stellt daher nur eine Annäherung dar. Um dies zu illustrieren, ist in Bild 21 die bei einer Normalspannung  $\sigma_1 = 1 \text{ kg/cm}^2$  erhaltene Scherfestigkeit  $s_1$  in Funktion des Anmachwassergehaltes aufgetragen, wobei  $s_1$  zahlenmässig mit  $\text{tg } \varphi_s$  identisch ist. Bei einer genaueren Untersuchung ist ferner zu berücksichtigen, dass der Ton, dessen feine Blättchen in der Regel eine bestimmte Orientierung aufweisen, ein anisotropes Material darstellt, sodass sich neben allen anderen mechanischen Eigenschaften auch die Scherfestigkeit als richtungsabhängig erweist [4, 22, 28].

Zur Abklärung des *Scherdiagrammes* ergänzen sich Ringscher- und Triaxialapparat in vorzüglicher Weise. Der erste eignet sich besonders zur Durchführung von Scherversuchen bei veränderlichem Wassergehalt, d. h. im offenen System (*a*-Linie), der zweite für Versuche bei konstantem Wassergehalt bzw. im geschlossenem System (*b*-*c*-Linien). Als Vorteil des Ringscherapparates ist neben seiner einfacheren Bedienung u. a. zu erwähnen, dass der Scherversuch auch nach dem Bruch ohne Störungseinflüsse fortgesetzt und damit z. B. die Abnahme des Scherwiderstandes infolge Gleitflächenbildung, ihre Erholung, oder die Restscherspannung, die nach dem vollständigen Abbremsen des Gleitvorganges zurückbleibt, festgestellt werden können [3, 5]. Andererseits erleichtert die einfache zylindrische Form der im Triaxialapparat geprüften Propekörper die Untersuchung der Scherfestigkeitsverhältnisse ungestörter Proben.

Neben der Prüfung von Bruchzuständen (einschliesslich Zugfestigkeit) bietet der Triaxialapparat ausserdem die Möglichkeit, *Plastizitätsuntersuchungen* durchzuführen, indem z. B. die plastische Querszahl, das langsame plastische Fließen oder die *Zähigkeit* des Stoffes, die von Art und Grösse der Beanspruchung abhängt, gemessen werden können. Die Bestimmung der Zähigkeit, die auch in einfachen Elementen ohne Seitendruck in ähnlicher Weise wie in der Schneemechanik erfolgen kann [33], ist nicht nur im Hinblick auf die plastischen Verformungen der feinkörnigen Lockergesteine, wie sie z. B. bei den Kriechbewegungen der natürlichen Hänge, oder bei den sich oft über Jahrzehnte erstreckenden Nachsetzungen beobachtet werden, von Interesse. Sie gibt auch Aufschluss über das Verhalten des Eises und liefert dadurch eine unentbehrliche Grundlage zur Erforschung der Gletscherbewegung, aus der wiederum zahlreiche

Parallelen mit dem Mechanismus der Gebirgsbildung hervorgehen.

Das verbindende Merkmal für das plastische Verhalten von Ton bzw. Lehm, Schnee und Eis besteht darin, dass da wie dort Vorgänge vorherrschen, die sich — phänomenologisch betrachtet — in den leimartigen, intergranularen Grenzschichten abspielen. Diese Grenzschichten, die bei den feinkörnigen, wassergesättigten Lockergesteinen aus den zähen, die festen Körner umschliessenden Wasserfilmen bestehen, bestimmen nicht nur die plastischen Erscheinungen, sondern auch den Bruchvorgang, und erklären damit die bei Tonen festgestellten, relativ kleinen Werte der wahren inneren Reibung ( $\varphi_r$ ).

Literaturverzeichnis

- [1] W. Kjellman: Report on an Apparatus for consumate investigation of the mechanical properties of Soils. Proceedings of the international conference on soil mechanics and foundation engineering, Vol. II, Cambridge 1936.
- [2] M. J. Hvorslev: Ueber die Festigkeitseigenschaften gestörter bindiger Böden. Ingeniørvidenskabelige Skrifter A No. 45, Kopenhagen 1937.
- [3] M. J. Hvorslev: Torsion shear tests and their place in the determination of shearing resistance of soils. Publications from the graduate school of engineering, soil mechanics, Series No. 13, Harvard University 1939.
- [4] Gruner-Haefeli: Beitrag zur Untersuchung des physikalischen und statischen Verhaltens kohärenter Bodenarten. Schweiz. Bauztg. Bd. 103, Nr. 15 und 16, 1934.
- [5] R. Haefeli: Mechanische Eigenschaften von Lockergesteinen. Schweiz. Bauztg. Bd. 111, No. 24 und 26, Juni 1938.
- [6] L. F. Cooling and D. B. Smith: The shearing resistance of soils. Proceedings, Internat. Conference on soil mechanics and Foundation Engineering, Vol. I, p. 37 (1936).
- [7] K. v. Terzaghi: The shearing resistance of saturated soils on the angle between the planes of shear. Proceedings of the international conference on soil mechanics, Vol. I, p. 54. Cambridge Mass. 1936.
- [8] B. Tiedemann: Ueber die Schubfestigkeit bindiger Böden. Die Bautechnik, Vol. 15, Nr. 30 und 33, 1937.
- [9] R. Haefeli: Spannungs- und Plastizitätserscheinungen der Schneedecke. Mitteilung Nr. 2 der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H., Zürich 1942.
- [10] E. G. Richardson: Velocity-Gradient methods in Rheology. Physics, Vol. 6, New York, Aug. 1935.
- [11] R. Haefeli: Entwicklung und Probleme der Schnee- und Gletscherkunde in der Schweiz. Experientia 1946, H. 1.
- [12] J. A. Jamieson: Grain pressures in deep bins. Engineering News, Vol. 51, p. 236, 1904.
- [13] Th. v. Karman: Festigkeitsversuche unter allseitigem Druck. Mitteilungen über Forschungsarbeiten VDI. H. 118, 1912.
- [14] R. Böker: Die Mechanik der bleibenden Formänderungen in kristallinisch aufgebauten Körpern. Mitteilungen über Forschungsarbeiten VDI. H. 175/176, 1915.
- [15] Ros-Eichinger: Versuche zur Klärung der Bruchgefahr. Diskussionsbericht Nr. 28 der EMPA an der E. T. H. Zürich 1926 (vergriffen).
- [16] C. A. Hogentogler and E. S. Barber: Essential Features of Triaxial shear Tests, Public Roads, Vol. 20, Nr. 7, Page 133—154, Aug. 1939.
- [17] Brennecke-Lohmeyer: Der Grundbau I. Bd. 1, Teil, S. 143, Berlin 1938.
- [18] Leo Jürgenson: The Shearing Resistance of Soils. Journal Boston. Society of Civil Engineers, July 1934.
- [19] A. S. Buisman: Détermination expérimentale de la courbe de Mohr pour un échantillon quelconque de terre sous l'influence de différentes pressions principales. Science et Industrie, avril 1936.
- [20] Leo Rendulic: Versuche an gestörten Tonproben unter dreiachsigen Druckzuständen. Wasserwirtschaft und Technik 4, 1937. S. 337—343.
- [21] T. K. Huizinga: Bestimmung der Eigenschaften des Untergrundes. Untersuchungsverfahren und Messeinrichtungen. Internat. ständiger Verband der Strassen-Kongresse. VIII. Kongress, Bericht Nr. 90, Haag 1938.
- [22] R. Haefeli: Erdbaumechanische Probleme im Lichte der Schneeforschung. Schweiz. Bauztg., Bd. 123, 1944 (Mitteilung Nr. 7 der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H., Zürich).
- [23] W. Siegfried: Sprödigkeit und Zähigkeit von Metallen bei hohen Temperaturen. Schweizer Archiv 1945, H. 1 und 2.

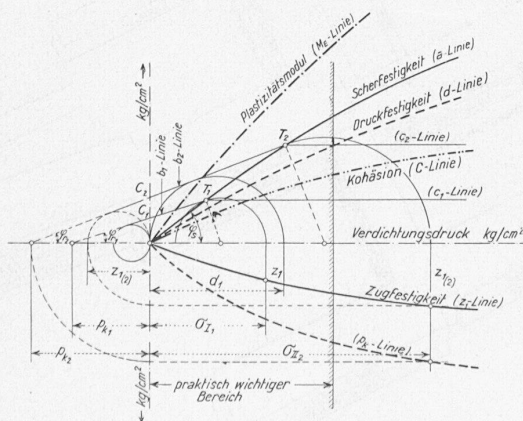


Bild 20. Mechanische Eigenschaften eines Lockergesteins in Funktion des Verdichtungsdruckes (Schema)

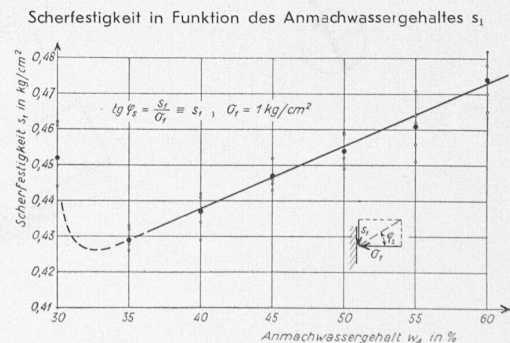


Bild 21. Einfluss des Anmachwassergehaltes auf die Scherfestigkeit einer unter  $\sigma_1 = 1 \text{ kg/cm}^2$  verdichteten Probe (Ziegeleiton)

- [24] *M. de Quervain*: Schnee als kristallines Aggregat. *Experientia*, Vol. I, 1945.
- [25] *Haefeli-v. Moos*: Drei Lockergesteine und ihre technischen Probleme. Schweiz. Bauztg. Bd. 112, Nr. 11, 1938.
- [26] *K. v. Terzaghi*: Undisturbed clay samples and undisturbed clays. Publications of the graduate school of engineering. Soil mechanics, Series No. 16, Harvard University, 1941—42.
- [27] *L. Bendel*: Ingenieurgeologie, Erster Teil, Wien 1944.
- [28] *A. Casagrande and N. Carrillo*: Shear failure of anisotropic materials. Publications from the graduate school of engineering. Soil mechanics, Series No. 22. Harvard University 1944.
- [29] *E. de Beer*: Etudes et essais des terres en laboratoire. *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1942, p. 97—130.
- [30] *K. v. Terzaghi*: Theoretical soil mechanics. J. Wiley & Sons, New York 1943.
- [31] *A. Streck*: Die Festigkeitseigenschaften bindiger Böden. S. A. Deutsche Tiefbauzeitung Nr. 33, 1928.
- [32] *J.-P. Daxelhofer*: Remarques sur la résistance au cisaillement des sols et son importance dans quelques cas particuliers. *Bulletin technique de la Suisse romande*, 1944, No. 25.
- [33] *R. Haefeli*: Schneemechanik mit Hinweisen auf die Erdbau-mechanik. Sonderdruck aus: Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechn. Serie, Hydrologie, Lieferung 3, 1939.

## Wettbewerb für ein Spital auf der Waid in Zürich

(Schluss von Seite 73)

[Da wir von den hier nur durch eine schematische Isometrie vertretenen Entwürfen im 3. bis 7. Rang keine Einzelheiten zeigen, hat auch die Wiedergabe der Besprechung keinen Sinn. Diese findet sich für Interessenten im offiziellen Bericht, der auch von jedem Entwurf den Lageplan und ein grosses Modellbild zeigt und beim Bauamt II der Stadt Zürich bezogen werden kann.

Red.]

Das Preisgericht fasst das *Ergebnis des Wettbewerbes* in folgende *Erwägungen und Richtlinien* zusammen:

### Situation

Das Spitalgelände ist gekennzeichnet durch eine flache, nach Süden geneigte Kuppe, die östlich in eine stark ausgeprägte Mulde und westlich in eine deutlich erkennbare Terrainsenkung ausläuft. Der ganze Bauplatz weist einen schönen Obstbaumbestand auf. Die Aussicht in süd-südöstlicher Richtung gegen Stadt, Seebucht und Gebirge ist einzigartig und sollte für das Bauvorhaben optimal ausgewertet werden. Diese Forderung muss nicht nur für die Spitalanlage selbst gestellt werden; sie gilt vor allem auch für den bergwärts liegenden Promenadenweg zur Waid (obere Waidstrasse). Die Aussicht vom Waidrestaurant wird durch Gebäude auf dem Spitalareal nicht beeinträchtigt, da ein starker vorgelagerter Baumbestand und abfallendes Terrain die Einsicht hindern; für die Aussicht von der obern Waidstrasse aus ist aber die Freihaltung der östlichen Mulde des Baugeländes von grosser Bedeutung. Der Teil des Geländes östlich des Reservoirs darf deshalb nicht überbaut werden. Die Spitalanlage sollte somit in den westlichen Teil des Baugeländes zu liegen kommen, wobei höhere Bauten in die westlich gelegene Terrainsenkung zu stellen sind. Auf der Geländekuppe sollen niedere, höchstens dreigeschossige Bauten vorgesehen werden, die sich in den vorhandenen Baumbestand einfügen lassen. Es ist darauf zu achten, dass das Gelände mit Bauten nicht zu stark verstellt wird, damit genügend Vorgelände und innere Gartenflächen erhalten bleiben. Diese Forderung ist auch gegeben im Hinblick auf die Fernsicht von der Stadt her.

Die neue Waidstrasse soll südlich um die ausgeprägte Aussichtskuppe beim Wolfgrümpweg herumgeführt werden. Die Spital-

einlieferung soll ohne erhebliches Gegengefälle zu erreichen sein. Im verbleibenden Raum zwischen der neuen Waidstrasse und der stadtwärts liegenden Bebauung sollten die Personalhäuser erstellt werden. Dadurch wird ein erwünschter guter Abschluss der Hangbebauung und eine günstige Lage dieser Personalhäuser zum Bucheggplatz erreicht.

Ein guter Zugang zum Wald vom Spital aus, sowie vom talwärts gelegenen Stadtquartier ist erwünscht. In Ausnützung des Terrains ist es leicht möglich, eine kreuzungsfreie Passage unter der neuen Waidstrasse zu schaffen.

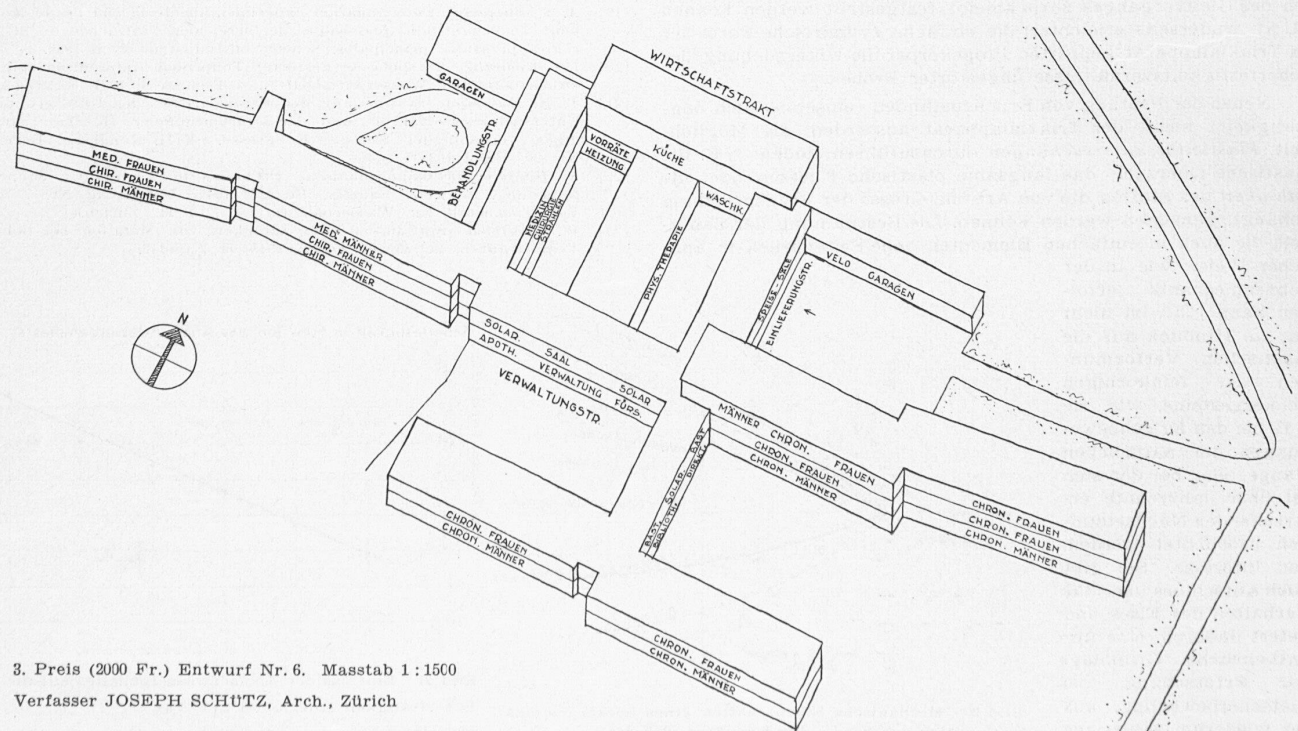
Es ist zu prüfen, ob die obere Waidstrasse von der Waldecke an aufgehoben und durch einen höher gegen den Waldrand geführten Fussgängerweg ersetzt werden soll, auf dem die Wirtschaft Waid direkt erreicht werden kann. Dadurch käme eine natürliche Trennung des Fahr- und Fussgängerverkehrs zustande und es würde ein schöner Aussichtsweg geschaffen (vgl. z. B. Entwurf Nr. 6). Wichtig an der für das Spital verhältnismässig exponierten Lage ist ein genügender Windschutz für die Patienten. Dieser ist durch geschützte Gartenhöfe und durch entsprechende Versetzung von Gebäudetrakten leicht zu erreichen.

Während beim Akutspital eine etwas nach Westen abgedrehte Aussicht denkbar ist, muss für die Bettenstation der Chronischkranken die optimale Aussicht gegen die Seebucht gefordert werden. Mit der Forderung nach Aussicht wird auch diejenige nach einer guten Besonnung erfüllt.

Der Unterschied zwischen Akutspital und der Abteilung für Chronischkranke soll nicht stärker betont werden, als es durch die verschiedene innere Struktur der beiden Abteilungen bedingt ist. Eine zu stark nach aussen in Erscheinung tretende Unterscheidung der beiden Spitalabteilungen sollte aus psychologischen Gründen vermieden werden.

### Betriebliche Organisation

*Bettenstation*. Der wichtigste Teil der vorliegenden Bauaufgabe ist die Ausbildung einer zweckmässigen Pflegestation für Chronischkranke. Die für die besondere Lage aufgestellte Forderung nach optimaler Aussicht hat eine Aufreihung der Bettenzimmer längs eines rückwärtigen Korridors zur Folge. Der er-



3. Preis (2000 Fr.) Entwurf Nr. 6. Masstab 1:1500

Verfasser JOSEPH SCHÜTZ, Arch., Zürich