

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 76 (1958)
Heft: 17

Artikel: Scherfestigkeit der Stützkörpermateriale des Staudammes
Göschenalp
Autor: Zeller, J. / Wullimann, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-63965>

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: 29.01.2026

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

Scherfestigkeit der Stützkörpermaterialien des Staudammes Göschenenalp

Von J. Zeller und R. Wullimann, dipl. Ing., Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH, Zürich

DK 624.131.439.5:627.824.3

1. Einleitung

a) Problemstellung

Den Anlass zu den hier beschriebenen Untersuchungen im Erdbaulaboratorium der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich bildete das Projekt des Göschenenalp-Erddammes des Kraftwerkes Göschenen [Eggenberger W. 1953; Zeller J. und Zeindler H. 1957]. Eine Teilaufgabe der Versuchsanstalt bestand darin, die Scherfestigkeit des Stützkörpermaterials, für welches mittlere Korngrößen bis zu 600 mm Durchmesser (Inhalt rd. 1 m³) zugelassen sind, zu bestimmen.

b) Lösungsidee

Die Scherfestigkeit wird im Laboratorium mit Hilfe von triaxialen Scherversuchen bestimmt. Die Grösse der zylindrischen Probekörper wird durch das im Versuch zu berücksichtigende maximale Korn festgelegt, indem ein bestimmtes Verhältnis des maximalen Korndurchmessers zum Probendurchmesser nicht überschritten werden soll. Andererseits können die Abmessungen der Probekörper aus praktischen und versuchstechnischen Gründen nicht beliebig gross gewählt werden. Die folgende Methode zeigt, wie die versuchstechnischen Schwierigkeiten umgangen werden können, wobei sich das Vorgehen wie folgt gestaltete:

Aus den durch die Natur gegebenen Kornzusammensetzungen des für den Bau des Stützkörpers bestimmten Schutthalde materials wurden durch Aussieben der entsprechenden Grobanteile die Kornverteilungen 0 bis 100, 0 bis 30, 0 bis 10 und 0 bis 1 mm (siehe Kornverteilungskurven Bild 1) hergestellt, wobei die Charakteristik der Kornverteilung und zum Teil diejenige der Kornform erhalten blieb.

Für jede der so gewonnenen Kornverteilungen wurde durch eine Reihe von triaxialen Scherversuchen die Abhängigkeit der Scherfestigkeit s von der Porosität n bestimmt¹⁾. Man konnte so die Zusammenhänge der drei Elemente *Scherfestigkeit s , Porosität n und Kornverteilung* (max. Korndurchmesser) erkennen und damit auf die Verhältnisse im Stützkörper extrapolieren.

2. Laboratoriumsversuche

a) Beschreibung des Materials

Zur Durchführung dieser Versuche standen der Versuchsanstalt rd. 2 m³ Schutthalde material mit Korndurchmesser < 200 mm (siehe Bild 1) und einem spezifischen Gewicht von $\gamma_s = 2,72$ t/m³ zur Verfügung. Der petrographische Aufbau, ausgezählt aus je 100 Körnern, ist in Tabelle 1 wiedergegeben.

Mit abnehmender Korngrösse nimmt die Zahl der monomineralischen Körner zu, jedoch ist die Fraktion 0,5 ÷ 0,2 mm immer noch ein Gemisch aus Gesteins- und Mineralbruchstücken.

Zur Charakterisierung der Kornform wurden die drei aufeinander senkrecht stehenden Hauptdurchmesser $a > b > c$ eines das Gesteinsbruchstück umhüllenden, dreiaxigen Ellipsoids gemessen und nach den Verhältnissen $\frac{b}{a}$ und $\frac{c}{b}$ (Zingg, Th., 1935) sortiert (siehe Tabelle 2).

Nach der *Oberflächenbeschaffenheit* konnten drei der von Dr. A. von Moos (1948) ausgearbeiteten sechs Klassen unterschieden werden:

- I (∨ + ^) extremkantig, feinzackige Umrisse
- II (∨ + ^) hervorstehende Partien angerundet, Einbuchtungen zackig
- III (∪ + ^) Einbuchtungen angerundet, Umriss gewellte Linien, partiell kleine Krümmungsradien.

Die Klassen IV bis VI mit stark abgerundeter Oberfläche waren nicht vertreten. (Die Prozente beziehen sich auf die Anzahl der Körner unter Berücksichtigung der Gewichte und stellen Mittelwerte dar).

¹⁾ In einem später folgenden Aufsatz sollen die Versuchsergebnisse am Stützkörpermaterial mit veränderter Kornverteilungskurvenform besprochen werden.

b) Beschreibung der Versuchsdurchführung

Das Stützkörpermaterial mit den verschiedenen Kornverteilungen wurde mit den Probenabmessungen gemäss Tabelle 3 geprüft.

Die Geräte mit den Probenquerschnitten von 2000 und 500 cm² wurden speziell für diese Untersuchungen gebaut. Sie gestatteten Triaxialversuche mit Seitendrücken von 5 bzw. 20 kg/cm². Sie stellen eine Weiterentwicklung des im Jahre 1951 von L. Bjerrum für das Feldlaboratorium des Staudammes Marmorera konstruierten 2000 cm²-Vakuum-Triaxialapparates dar.

Nach der Versuchsanordnung sind zwei Gruppen zu unterscheiden:

1. Der Seitendruck wird durch Evakuierung der Probe erzeugt; $\sigma_3 \approx 0,9$ kg/cm². (Schema der Versuchsanordnung siehe Bild 2a).

Mit dieser Versuchsanordnung wurden die eigentlichen Extrapolationsversuche durchgeführt, wobei die Messung der Volumenänderungen der kleineren Proben zum Teil volumetrisch erfolgte oder weggelassen wurde.

Der Einbau und das Verdichten des Materials im Probekörper geschah von Hand, in eine mit der Gummihaut aus-

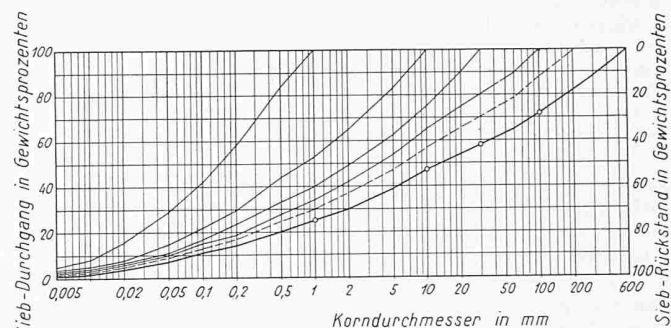


Bild 1. Kornverteilung

Tabelle 1. Petrographie

Bezeichnung	Fraktion in mm			
	200 ÷ 2 %	2 ÷ 1 %	1 ÷ 0,5 %	0,5 ÷ 0,2 %
Quarz + Gesteinsbruchstücke vorwiegend aus Quarz			37	43
Feldspäte + Gesteinsbruchstücke vorwiegend aus Feldspat			57	50
Glimmer + Gesteinsbruchstücke vorwiegend aus Glimmer			6	7
Ausschliesslich Gesteinsbruch- stücke, die alle Mineralien enth.				37
				54
				9

Tabelle 2. Kornform und Oberflächenbeschaffenheit

Fraktion	Kornform				Oberflächen- beschaffenheit			
	flach	kugelig	stengelig	flach- stengelig	I	II	III	
	$\frac{b}{a} > \frac{2}{3}$	$\frac{b}{a} > \frac{2}{3}$	$\frac{b}{a} < \frac{2}{3}$	$\frac{b}{a} < \frac{2}{3}$	∨ + ^	∨ + ^	∪ + ^	
	$\frac{c}{b} < \frac{2}{3}$	$\frac{c}{b} > \frac{2}{3}$	$\frac{c}{b} > \frac{2}{3}$	$\frac{c}{b} < \frac{2}{3}$				
mm	%	%	%	%	%	%	%	%
200 ÷ 0,06	40,0	27,7	21,7	10,6	59,6	12,7	27,7	
100 ÷ 0,06	37,8	27,8	24,1	10,3	59,3	14,1	27,6	
30 ÷ 0,06	38,5	25,6	24,2	11,7	63,4	15,9	20,7	
10 ÷ 0,06	36,7	23,1	26,2	14,0	72,2	17,8	10,0	
1 ÷ 0,06	40,0	19,3	32,7	8,0	92,7	7,3	0,0	

Tabelle 3. Fraktionen und Probenabmessungen

Fraktion	Proben- durchmesser	Proben- querschnitt	Höhe
mm	cm	cm ²	cm
< 100	50,5	2000	90
< 30	25,25	500	50
< 10, < 1	16	200	25
< 1	8	50	15

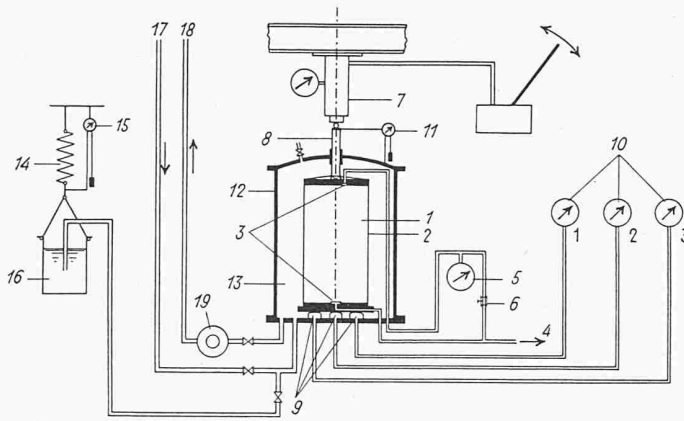


Bild 2a. Schematische Darstellung des 2000 cm²-Vakuum-Triaxialapparates

- 1 Probe (Höhe 90 cm, ϕ 50,5 cm)
2 Gummihaut

Seitendruck durch Vakuum:

- 3 Filterplatten
4 zur Vakuumpumpe
5 Vakuummanometer
6 Schlauchklemme (während des Versuches geschlossen)

Krafterzeugung und -messung:

- 7 hydraulische Presse mit Manometer und Pumpe
8 Stempel

- 9 Druckdosen
10 Manometer 1, 2 und 3 der Druckdosen (Σ Manometer = Belastung) 1

Vertikaldeformationsmessung:

- 11 Messuhr (Δh)

Volumenänderungsmessung:

- 12 Triax-Zelle
13 Wasser
14 Federwaage
15 Messuhr (Federdeformation Δl)
16 Wasserkessel
17 vom Wasserreservoir
18 zum Wasserreservoir
19 Pumpe

gelegte Schalung. Aus naheliegenden Gründen kam eine Verdichtung des trockenen Lockermaterials nach der Anordnung von Proctor nicht in Frage, weshalb der interessante Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Verdichtungsarbeit nicht ermittelt werden konnte. Durch sorgfältigen Einbau suchte man die Verdichtungsarbeit pro Schicht innerhalb einer Probe möglichst konstant zu halten.

Nach der Bestimmung des Gewichtes wurde die Probe im Triax-Gerät montiert und die Vakuumpumpe an der Kopf- und Fussplatte angeschlossen. Nachdem das Vakuum [nach etwa 2÷3 Std.] in der Probe voll ausgebildet war, was bei geschlossenem Hahn (6) durch Messung am Manometer (5), der an der Kopfplatte angelegt war, kontrolliert wurde (siehe Bild 2), wurde die Schalung entfernt und die Probe vermessen. Die Porosität sämtlicher Proben wurde derart auf den auch während des Versuches vorhandenen Seitendruck $\sigma_3 = \sigma_c \approx 0,9 \text{ kg/cm}^2$ bezogen. Anschliessend wurde der normale triaxiale Scherversuch mit Messung der Normalkraft, der Vertikaldeformation, der Volumenänderung und des Seitendruckes durchgeführt.

2. Seitendruck als Aussendruck auf die Probe wirkend (Schema der Versuchsanordnung siehe Bild 2b).

Diese, hauptsächlich im 500-cm²-Triaxialapparat vorgenommenen Versuche, bei denen der Seitendruck σ_3 variiert wurde, dienten vor allem der Bestimmung des Schnittpunktes der Mohrschen Umhüllungsgeraden mit der Ordinate $\sigma = 0$. Obschon man es mit einem nichtkohärenten Material zu tun hatte, geht diese Gerade nicht durch den Koordinatenursprung, sondern zeigt eine Verschiebung von im Mittel $c = 0,4$ bis $0,5 \text{ kg/cm}^2$. Diese im Bereiche der beim Versuch wirkenden Spannungen festgestellte «Kohäsion» ist offenbar auf eine gewisse Verzahnung der Körner zurückzuführen. Durch eine Grosszahl von zusätzlichen Versuchen mit verschiedenen Triaxtypen konnte nachgewiesen werden, dass es sich nicht um einen Fehler in der Versuchsanordnung handelte, sondern dass diese «Kohäsion» sehr wahrscheinlich eine tatsächlich vorhandene Materialeigenschaft darstellt. Die gleiche Erscheinung bei nichtkohärenten Materialien wurde übrigens vom Bureau of Reclamation (1953) beobachtet. Die Versuchsdurchführung ist analog der unter 1. beschriebenen.

3. Versuchsergebnisse und Interpretation

Die Auswertung der triaxialen Scherversuche erfolgte nach den beiden üblichen Beziehungen:

$$\sigma_1' - \sigma_3' = \frac{P}{F_0} \left(1 - \frac{\Delta h}{h_0} \right) \quad (\text{ohne Berücksichtigung der Volumenänderung})$$

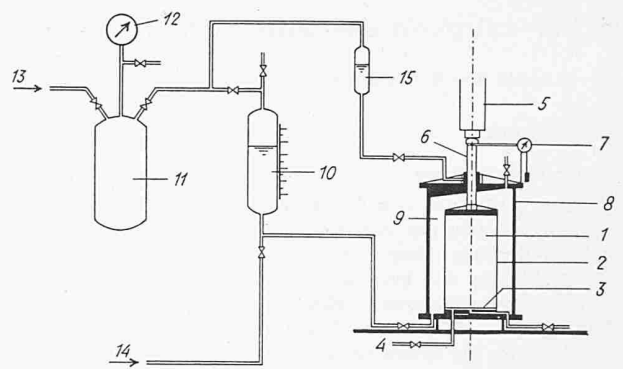


Bild 2b. Schematische Darstellung des 500 cm²-Triaxialapparates

- 1 Probe (Höhe 50 cm, ϕ 25,2 cm)
2 Gummihaut
3 Filterplatte
4 Anschluss für Porenwasser-spannungsgerät
5 Presse
6 Stempel
(Kraftmessung: Losenhausen-dosen oder Pendelmanometer. In Fig. nicht eingezeichnet)

- 7 Messuhr (Δh)

Seitendruck und Volumenänderungsmessung:

- 8 Triax-Zelle
9 Wasser
10 Standrohr mit Skala für Volumenänderungsmessung
11 Windkessel
12 Manometer (Seitendruck σ_3)
13 vom Kompressor
14 Wasserzufuhr
15 Oel (Dichtungsfunktion)

und

$$\sigma_1'^* - \sigma_3' = \frac{P}{F_0} \left(\frac{1 - \frac{\Delta h}{h_0}}{1 \pm \frac{\Delta V}{V_0}} \right) \quad (\text{mit Berücksichtigung der Volumenänderung})$$

Es ist also:

$$\sigma_1'^* - \sigma_1' = (\sigma_1' - \sigma_3') \frac{1}{1 \pm \frac{\Delta V}{V_0}}$$

Aus allen Versuchen ergab sich, dass der Faktor $\frac{1}{1 \pm \frac{\Delta V}{V_0}}$

keine wesentliche Rolle spielt und die Ergebnisse nur innerhalb der Messgenauigkeit beeinflusst.

Die graphischen Darstellungen wurden deshalb alle auf σ_1' bezogen und die Scherfestigkeit näherungsweise zu

$$s \approx \frac{1}{2} (\sigma_1' - \sigma_3') = \text{Radius des Mohrschen Kreises gesetzt.}$$

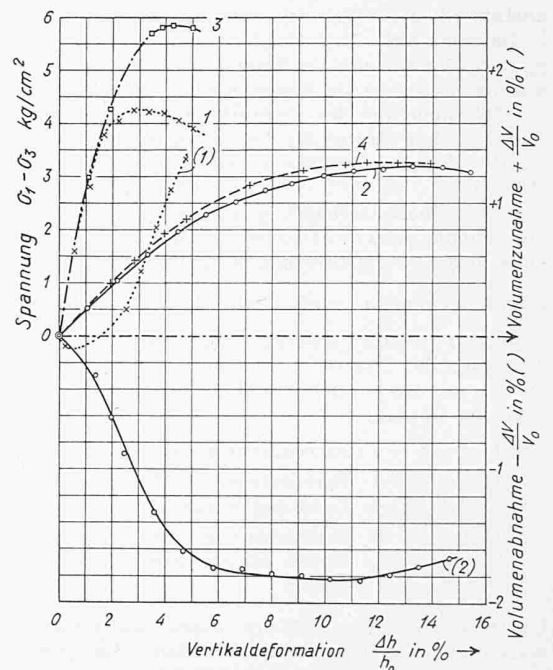


Bild 3. Vier typische Versuche: Nr. 1 ($n = 23,4\%$) und Nr. 2 ($n = 32,4\%$), max. Korndurchmesser 100 mm, mit Volumenänderungsmessung (1) und (2). Nr. 3 ($n = 26,1\%$) und Nr. 4 ($35,7\%$), max. Korndurchmesser 10 mm.

Vor den Hauptversuchen wurden eingehende Vergleichs- und Eichversuche durchgeführt, mit denen man den Einfluss der verschiedenen Triaxialapparate, der verschiedenen Probenquerschnitte bei ein- und demselben Material, die Grösse der Gummihautspannungen usw. bestimmte.

Es zeigte sich, dass verschiedene Probenquerschnitte bei ein und demselben Göschenalp - Material unter Beachtung des Verhältnisses

$$\frac{\text{max. Korndurchmesser}}{\text{Probendurchmesser}} \approx \frac{1}{5}$$

auf die Versuchsergebnisse keinen Einfluss hatten, wobei dieses Verhältnis im Verlaufe der Versuche am Göschenalp-material als obere Grenze gefunden wurde.

Die Gummihautspannungen, die mit zwei verschiedenen Methoden, nämlich erstens nach der Methode von O. J. Henkel und G. D. Gilbert (1952) und zweitens durch Aufblasen der Gummihaut mit montierter Kopf- und Fussplatte bestimmt wurden, erwiesen sich als vernachlässigbar, indem man z. B. für die Gummihaut der 2000 cm²-Probe, die eine Dicke von $t = 2,5$ mm aufweist, bei einer spezifischen Umfangsdehnung von $\frac{\Delta u}{u_0} = 10 \div 20 \%$ eine Gummihautspannung von $\Delta \sigma_3 = 0,02$ bis $0,03$ kg/cm² feststellte. Für die 0,2 bis 1,2 mm dicken Häute der kleineren Proben bestimmte man Spannungen von der Grössenordnung $\Delta \sigma_3 = 0,01$ bis $0,02$ kg/cm².

Zur Illustration seien vier triaxiale Scherversuche aus zwei Versuchsreihen herausgegriffen, und zwar befindet sich je einer im lockeren und der andere im dichten Bereich (siehe Tabelle 4). Der Spannungsverlauf dieser Versuche ist in Bild 3 aufgezeichnet, wobei zu den Versuchen 1 und 2 auch die Volumenänderungen (1) und (2) aufgetragen sind. Wie zu erwarten war, erkennt man bei den dichten Proben einen steilen Verlauf der Spannungen mit kleinen Vertikaldeformationen; bei den lockeren einen flachen Verlauf mit grossen Vertikaldeformationen.

Das Ergebnis aller Untersuchungen ist in den Diagrammen 1 (Bild 4) und 2 (Bild 5) graphisch dargestellt.

Diagramm 1: Für eine bestimmte Kornzusammensetzung stellt man mit abnehmender Porosität, d. h. zunehmendem

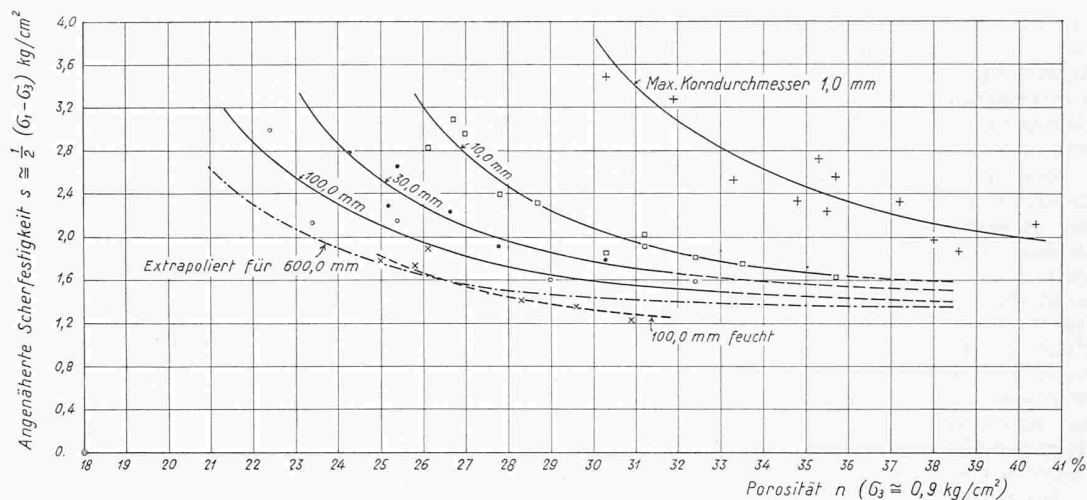


Bild 4. Diagramm 1: Angenäherte Scherfestigkeit des Stützkörpermaterials in Funktion der Porosität und der Kornverteilung. (n gemessen bei $\sigma_3 \approx 0,9$ kg/cm²)

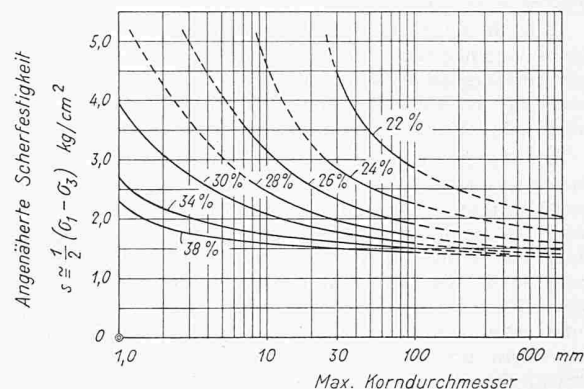


Bild 5. Diagramm 2: Angenäherte Scherfestigkeit des Stützkörpermaterials in Funktion der Kornverteilung (Parameter: Porosität n).

Raumgewicht eine starke Vergrösserung der Scherfestigkeit fest, während im Bereich lockerer Lagerung eine Aenderung des Raumgewichtes kaum ins Gewicht fällt. Da man im Stützkörper voraussichtlich sehr hohe Raumgewichte erreichen wird, wie die Schüttversuche auf der Göschenalp im Herbst 1955 gezeigt haben [Zeller J. und Zeindler H., 1957], wird die Scherfestigkeit besonders empfindlich auf kleine Aenderungen des Raumgewichtes reagieren. Der Unterschied von trockenem und feuchtem Material ($w \approx 5 \%$) ist auch aus diesem Diagramm ersichtlich. Man stellt im allgemeinen eine Abminderung der effektiven Scherfestigkeit von rd. 10 % bis 15 % fest, was offenbar auf eine Schmierwirkung an der Kontaktfläche

Tabelle 4. Versuchsdaten von vier Versuchen, als Beispiel

Nr.	Max. Korn- durch-	F	h	$\frac{\Delta h}{\Delta t}$	Probenkennwerte vor Versuchsbeginn bei $\sigma_e = \sigma_3 \cong 0,9 \text{ kg/cm}^2 *$)		Bruchzustand								
							γ_d	n	$\frac{\Delta h}{h_0}$	$\frac{\Delta V}{V_0}$	σ_1'	σ_3	$\frac{\sigma_3}{\sigma_1'}$	n	$\sigma_1'^*$
	mm	cm ²	cm	mm/min	t/m ³	%	%	%	kg/cm ²	kg/cm ²		%	kg/cm ²		
1	10	2060	89,5	5	23,4	2,085	2,80	+ 0,49	5,225	0,965	0,185	23,5	5,205		
2	10	2015	90,5	5	32,4	1,84	13,30	+ 1,75	4,145	0,965	0,233	31,3	4,205		
3	100	204	26,0	1	26,1	2,01	4,23	—	6,78	0,93	0,137	—	—		
4	100	191,3	25,1	1	35,7	1,75	11,56	—	4,205	0,955	0,227	—	—		

Bezeichnungen:

F = Probenquerschnitt

h = Probenhöhe

$\frac{\Delta h}{\Delta t}$ = Deformationsgeschwindigkeit

γ_d = Trockenraumgewicht

n = Porosität

*) Der genaue Wert ist unter σ_3 ersichtlich

$\frac{\Delta h}{h_0}$ = Spezifische Höhenänderung

$\frac{\Delta V}{V_0}$ = Spezifische Volumenänderung

σ_1 = Normalspannung

σ_3 = Seitendruck

$\sigma_1'^*$ = Normalspannung mit Berücksichtigung der Volumenänderung

(Film) zurückzuführen ist. Der Einfluss des feuchten Materials auf die Scherfestigkeit wurde eingehend in der Versuchsgruppe 2 untersucht. Aus Raumgründen möge jedoch obiger Hinweis genügen.

Diagramm 2: Für eine bestimmte Porosität werden die Änderungen in der Scherfestigkeit mit zunehmender Grösse des maximalen Kornes immer kleiner, so dass gegenüber den im Laboratorium gemessenen Scherfestigkeiten im Stützkörper keine wesentlichen Unterschiede mehr zu erwarten sind. Auch in dieser Darstellung wird die Empfindlichkeit der Scherfestigkeit auf das Raumgewicht illustriert, indem die Kurvenabstände gegen die kleinen Porositäten hin immer grösser werden.

Mit Hilfe dieser beiden Diagramme 1 und 2 kann nun auf die Verhältnisse im Stützkörper durch Extrapolation geschlossen werden.

Bild 6 zeigt das Mohrsche Bruchspannungsdiagramm der Kornverteilung mit Durchmesser kleiner 30 mm (trocken) für verschiedene Seitendrücke σ_3 , worin die «Kohäsion» ersichtlich ist.

Die Versuche zeigten, dass es möglich ist, auch die Scherfestigkeit sehr grobkörniger, nichtbindiger Materialien mit Versuchen im Laboratorium zu bestimmen. Weiter kann man feststellen: Je grobkörniger das Material, bei ähnlicher Kornzusammensetzung und Kornform wie dasjenige der Göschenenalp ist, desto grösser werden die Scherfestigkeitsunterschiede bei Aenderung der Porosität, da man sich im Bereich der höheren Lagerungsdichten befindet. Dies bedeutet für den Dammbau, dass bei Verwendung von sehr grobkörnigen Materialien im Stützkörper die lokalen Streuungen in der Scherfestigkeit sehr gross sein können, da es nicht möglich ist, Unterschiede in der Porosität von einigen Prozenten zu vermeiden.

Als Nebenergebnis dieser Versuche ist u. a. auch der Einfluss auf die Scherfestigkeit zu erkennen, der entsteht, wenn z. B. bei einer gegebenen Kornverteilungskurve aus versuchstechnischen Gründen ein Teil der Grobkomponente weggelassen werden muss (siehe Bilder 1 und 5). Je nach dem gewünschten Genauigkeitsgrad dürfen beim Göschenenalmaterial 10 bis 15 Gewichtsprozent im Bereich der grössten Komponenten weggelassen werden, ohne dass dadurch die Scherfestigkeitseigenschaften unzulässig grosse Änderungen erleiden.

Nachwort

Die mit der Projektierung und der Bauleitung des Kraftwerkes Göschenen betraute Firma Elektro-Watt, Elektrische und Industrielle Unternehmungen AG., Zürich, hat in verdankenswerter Weise die Veröffentlichung dieser Arbeit gestattet. Der Dank geht auch an Prof. G. Schnitter, Direktor der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH, und Ch. Schaerer, dipl. Ing., Leiter der Erdbauabteilung, die die Durchführung der Versuche und die Ausarbeitung dieses Berichtes ermöglichten und unterstützten.

Literaturverzeichnis

- [1] Eggenberger W. (1953): The Göschenenalp Rock-Fill Dam Project, Switzerland. «Proceedings of the 3rd Internat. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Switzerland 1953», vol. III, p. 296.

- [2] Henkel D. J. & Gilbert G. D. (1952): The Effect of the Rubber Membrane on the measured Triaxial Compression strength of clay samples. «Géotechnique», vol. III, p. 20.
- [3] von Moos A. und de Quervain F. (1948): Technische Gesteinskunde, p. 64. (Klassifikation modifiziert nach M. C. Krumbein, Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles, J. Sediment. «Petrol», vol. 11, 1941.)
- [4] U. S. Department of the interior Bureau of Reclamation (1953): First Progress Report of Research on Triaxial Shear Testing of Gravelly Soils, July 17, 1953.
- [5] Zeller J. und Zeindler H. (1957): Einbauversuche mit grobkörnigem Stützkörpermaterial des Staudammes Göschenenalp. «Proceedings of the 4th Internat. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London 1957.»
- [6] Zingg Th. (1935): Beitrag zur Schotteranalyse. «Schweiz. Min.-Petr. Mitteilungen.»

Adresse der Verfasser beim Titel.

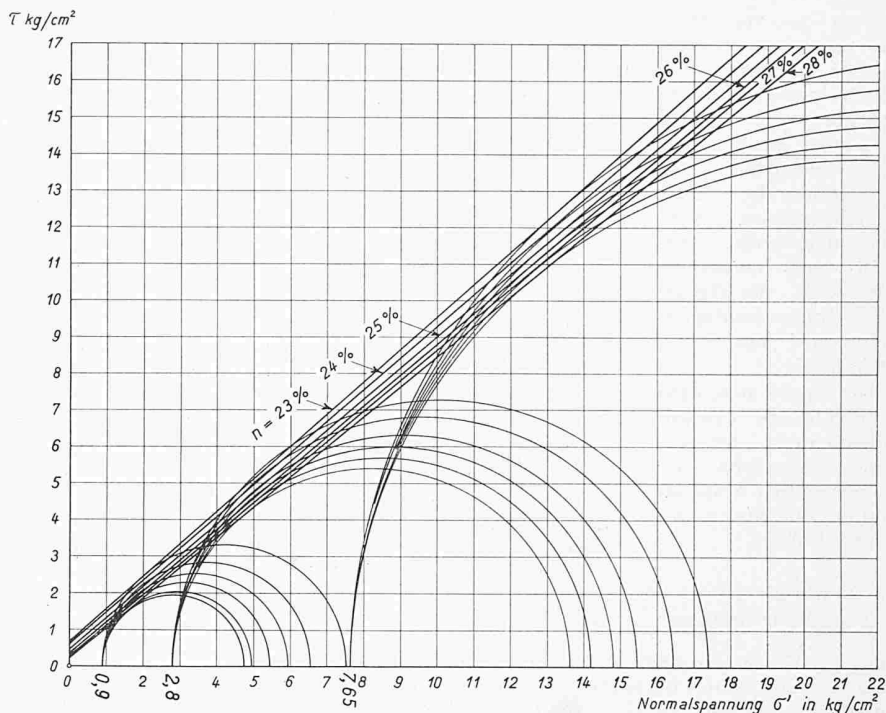


Bild 6. Bruchspannungsdiagramm von Mohr ($\sigma_3 = 0,9, 2,8$ und $7,65 \text{ kg/cm}^2$), max. Korndurchmesser 30 mm, trocken

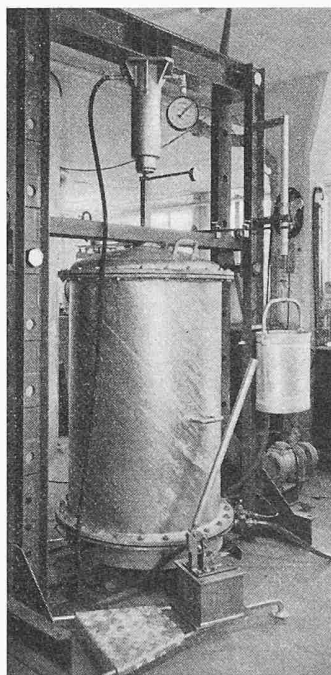


Bild 7. 2000 cm²-Vakuum-Triaxialapparat für Versuch montiert (Höhe der Zelle 120 cm)

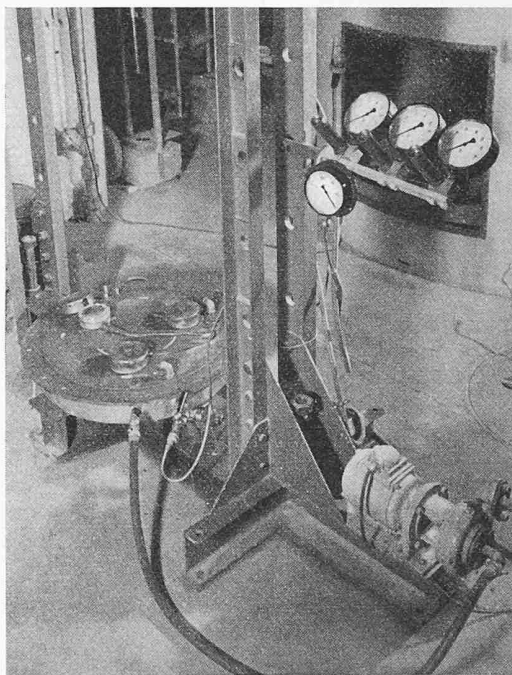


Bild 8. 2000 cm²-Vakuum-Triaxialapparat; Druckdosen mit Manometer