

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 89 (1971)
Heft: 30

Artikel: Fels - Scherversuche am Born
Autor: Rieder, Urs
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-84943>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 16.05.2025

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

hat; alles Glückliche weist auf die ewige, endgültige Glückseligkeit hin. So ist denn die Kraft, nach der gefragt wird, die aus der Tiefe unseres Wesens aufsteigende Sehnsucht nach letzter Stillung und voller Glückseligkeit.

Gewiss diese Sehnsucht und mit ihr auch die Fähigkeit, sich wahrhaft glücklich zu fühlen, sind tief verschüttet; heute vielleicht mehr als je. Die Geschäftigkeiten des Alltags und die Sorgen der Epoche, vor allem aber die Verengung unseres rationalistischen Denkens lassen sie nicht aufkommen. Es gilt, vorerst den Zugang zu den unsichtbaren Ursprüngen¹²⁾,

¹²⁾ Mit diesem Ausdruck sei auf das wichtige Buch von Jean Gebser: «Der unsichtbare Ursprung», Olten 1970, Walter-Verlag, hingewiesen, in welchem die tieferen Zusammenhänge zwischen geistiger Haltung und Gegenwartsnot klargestellt werden. Überhaupt fällt auf, wie sehr sich in neuester Zeit die Stimmen mehren, die auf die tieferen, verstandesmässig nicht mehr fassbaren Wahrheiten hinweisen sowie auf die dringende Notwendigkeit, sich eingehend mit ihnen zu befassen.

zum Eigenen und Eigentlichen freizulegen, damit die Urkräfte des Lebens in uns wieder wirksam werden können. Wo das geschieht, wo jene Stille über den Lauschenden kommt, bei der die tiefste, echteste Sehnsucht des Menschenherzens vernehmbar wird, da enthüllt sich dem ehrfürchtig staunenden Blick das Ziel der Wanderschaft, da offenbart sich dem Suchenden der Weg, den er zu gehen hat, als jener, auf dem er die Sinnerfüllung seines Lebens erfährt. Es ist diese beglückende Schau, die ihn mit unsagbarer Freude und Dankbarkeit erfüllt und ihm die Kraft gibt, seinen Auftrag zu erfüllen. So liegt denn allem echten Bemühen um den wirklichen Schutz und die wahre Pflege unseres Lebensraumes, des äusseren wie des inneren, wenn es fruchtbar sein soll, das Lauschen auf die Stimme unseres innigsten Sehns zugrunde, das aus der Tiefe unseres Wesens aufsteigt und letztlich über unser Wollen und Vollbringen in Freiheit entscheidet.

A. Ostertag

Fels – Scherversuche am Born

DK 624.121.001.4

Von Urs Rieder, dipl. Ing. ETH, M.Sc., bei Geotest AG, Zollikofen/BE

Bei Boningen im Kanton Solothurn schneidet die Teilstrecke Härkingen—Rothrist der Nationalstrasse N 1 die Felshänge des «Born» an. Nach schweren Regenfällen von etwa 100 mm erfolgte am 21. September 1968 bei Km 222,325 ein Felssturz, welcher den Verkehr auf einer Fahrbahn der Autobahn unterbrach (Bild 1).

Das Nationalstrassenbüro des Kantons Solothurn erteilte der Geotest AG den Auftrag für die felsmechanische Beratung bei den vorgesehenen und inzwischen weitgehend abgeschlossenen Sicherungsmassnahmen.

Geologische Verhältnisse

Der Fels besteht aus gebanktem Malm-Kalk. Die Schichten fallen ungefähr hangparallel unter einem Winkel, welcher von Km 222,270 bis 222,780 von 30° auf 45° zunimmt.

Die Schichtflächen sind mehrheitlich glatt und gestriemt, teilweise jedoch auch buckelig. In der Fortsetzung der Rutschfläche wie auch auf anderen Schichtflächen wurden mergelige Zwischenschichten von mehreren Millimetern Stärke festgestellt, welche besonders im Verwitterungsbereich in Erscheinung treten. Quer zu den Schichtflächen verlaufen oft sehr steilstehende Klüfte mit zwei verschiedenen, spitzwinklig zusammenlaufenden Einfallrichtungen, welche teilweise mit mylonitisierten Mergeln oder eingewaschenen Verwitterungsböden gefüllt sind.

Untersuchungsprogramm

Für die Berechnung der Sicherungsmassnahmen waren Unterlagen über die Kräfteübertragung zwischen einzelnen Felspaketen erforderlich. Das Untersuchungsprogramm umfasste Fels-

Scherversuche in situ und im Laboratorium sowie Versuche an gestörtem Zwischenschicht-Material. Über die Ergebnisse wurde am zweiten Kongress der Internationalen Gesellschaft für Felsmechanik bereits kurz berichtet [1].

Fels-Scherversuche in situ

Im aufgelassenen Steinbruch zwischen Km 222,500 und 222,570 wurden zwei direkte Scherversuche in situ durchgeführt. Diese von der Geo-

test AG in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro E. Frey, Olten, geplanten und verwirklichten Versuche unterscheiden sich von den schon verschiedentlich in der Schweiz in Stollen ausgeführten in-situ-Scherversuchen durch die fehlende Möglichkeit einer Abstützung auf die gegenüberliegende Stollenwand zur Aufbringung der Normalkraft.

Bild 2 zeigt schematisch die zwei Blöcke von 4,0 m³ bzw. 3,5 m³ Grösse,

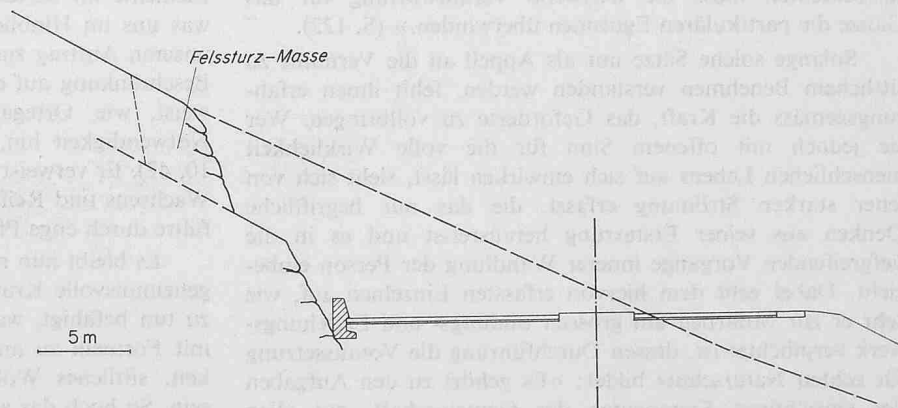


Bild 1. Querprofil der Absturzstelle, Massstab rund 1:400

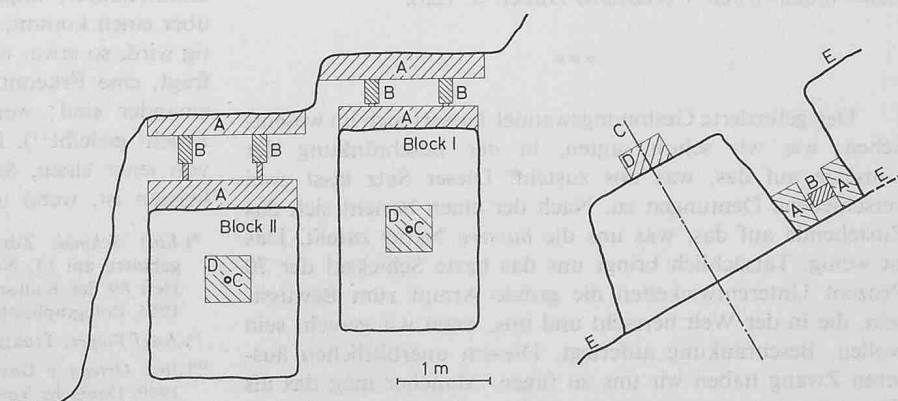


Bild 2. Versuchsanordnung in situ, Massstab rund 1:80. A Betonwiderlager, B Hydraulische Presse, C Felsanker, D Betonkörper, E Schichtfläche

welche durch das Herausbrechen von Schlitzten aus dem anstehenden Fels geformt wurden.

Die Schlitzte wurden vorgebohrt und hierauf mit Presslufthämern ausgeräumt. Vor der Abtrennung vom umgebenden Fels wurden die Blöcke mit Felsankern rechtwinklig zur Schichtfläche vorgespannt. Die Anker wurden auf den rund 3 m^2 grossen Flächen leicht exzentrisch angeordnet, um die vom Eigengewicht der Blöcke sowie den hydraulischen Pressen ausgeübten Momente ungefähr auszugleichen. Da die Anker im Bereich der Versuchsblöcke nicht mit Mörtel verpresst wurden, konnte die Ankerkraft im Verlauf der Versuche variiert werden. Die Verschiebungen der Blöcke wurden mit Spanndrähten über Rollenhaken gemessen.

Die Scherkraft konnte durch je zwei hydraulische Pressen über Beton-Widerlager parallel zur Schichtung aufgebracht werden (Bilder 3 bis 5). Vor Versuchsbeginn wurde die Schichtfläche durch einsickerndes Wasser durchnässt. Nach dem Aufbringen einer frei gewählten Normalkraft N wurde die Scherkraft T stufenweise erhöht, bis eine Verschiebung erfolgte. Die Veränderungen der Normalkraft während der Verschiebung wurden beobachtet, doch blieben sie in der Regel klein. Nach Entlastung der Pressen konnte der Versuchszyklus mit anderen Normalkräften wiederholt werden. Bild 6 zeigt den ganzen Versuchsablauf für Block I, einschliesslich mittlere Deformationen in den Hauptverschiebungsrichtungen.

In Bild 7 sind für beide Blöcke Diagramme mit den Kräften N und T unter Berücksichtigung des Eigengewichtes aufgezeichnet. Für die Auswertung wurden Linie 1 als Umhüllende der maximalen Scherparameter sowie Linie 2 als Kurve der Scherparameter bei Verschiebungsbeginn gewählt; die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 1 A zusammengestellt. Nach den Versuchen wurden die Blöcke entfernt. Die Abweichungen der Gleitfläche von einer angenommenen Ebene betrugen $\pm 2\text{ cm}$.

Fels-Scherversuche im Laboratorium

Im Laboratorium der Firma Losinger AG, Bern, erfolgten direkte Scherversuche an Felsproben, welche Schicht- oder Kluftflächen von 100 bis 250 cm^2 enthielten. Das in [2] genauer beschriebene Schergerät arbeitet nach folgendem Prinzip: Auf die Diskontinuität wird eine Normalkraft N ausgeübt. Unter einer kontinuierlich

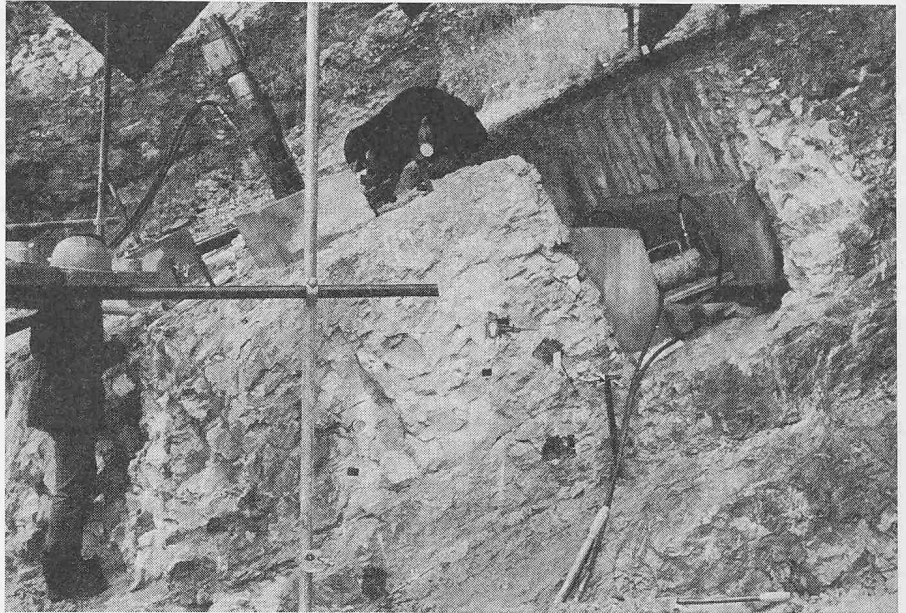


Bild 3. Block I, Versuchsbeginn

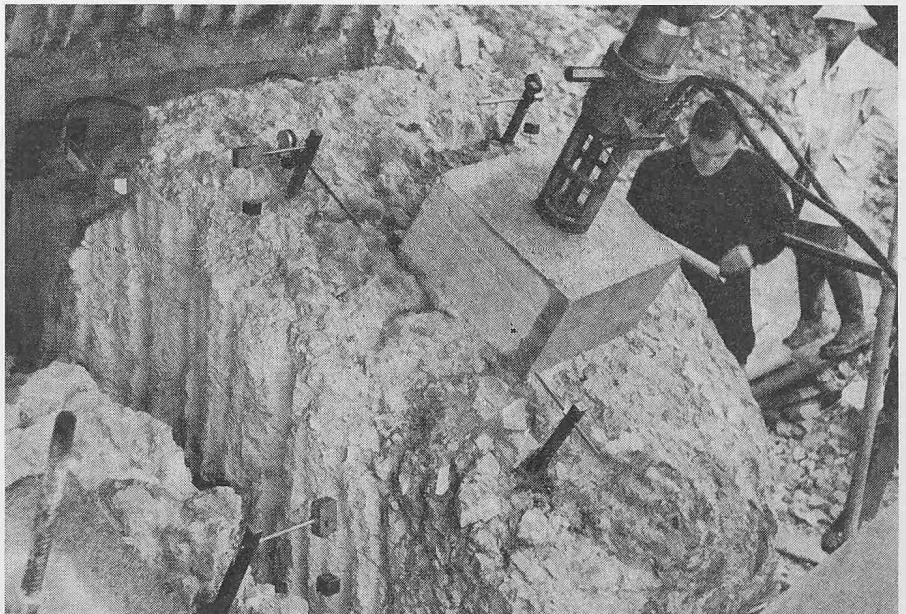


Bild 4. Block I während des Versuches

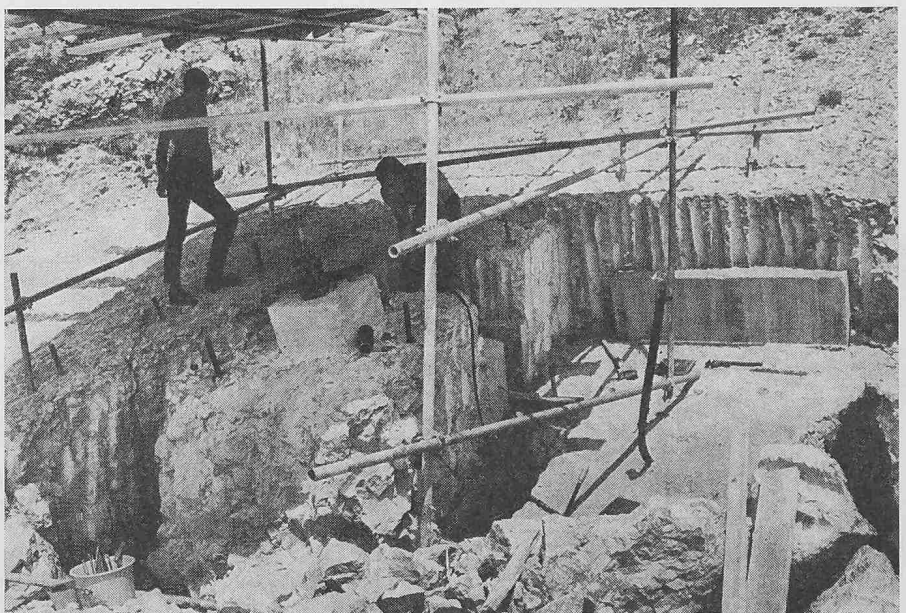


Bild 5. Block I entfernt, Block II in Vorbereitung

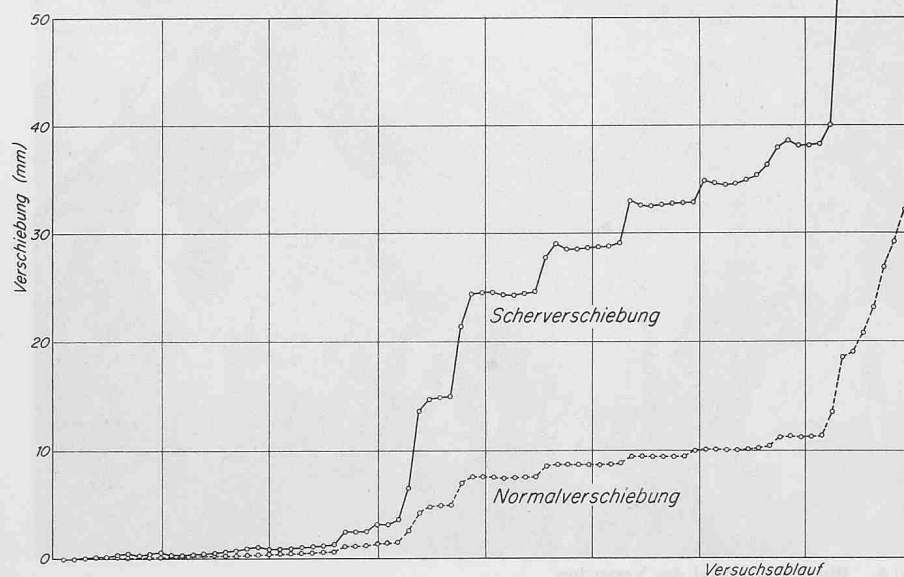
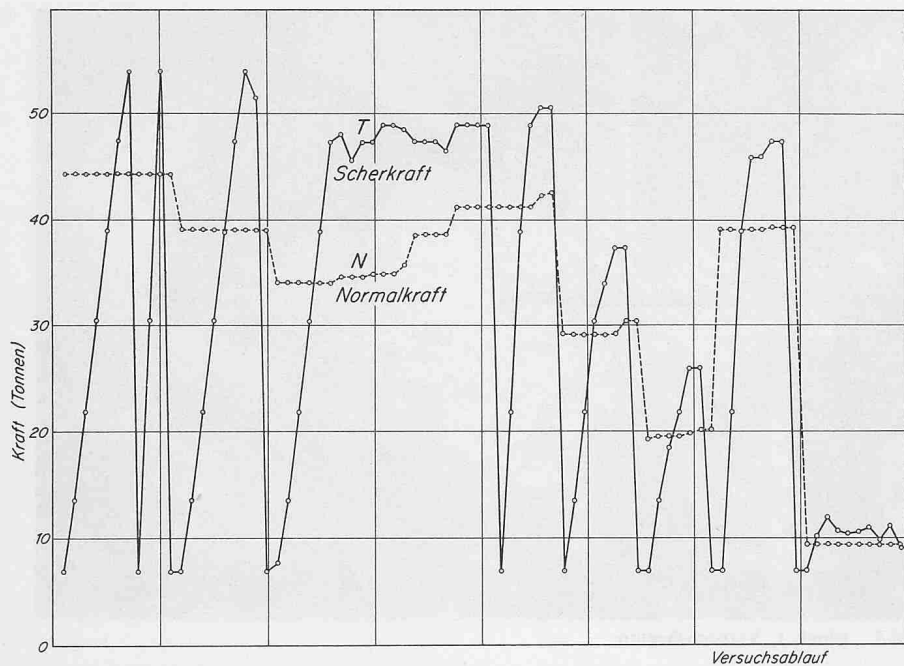


Bild 6. Versuchsablauf für Block I. Abszissenteilung = Messungen (variable Zeitintervalle)

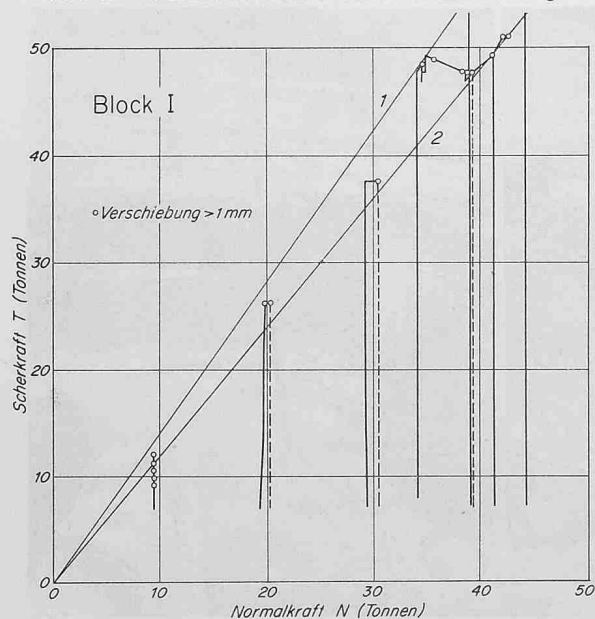


Bild 7. Kräfte-Verformungs-Diagramme der an den Blöcken I und II durchgeführten in-situ-Versuche

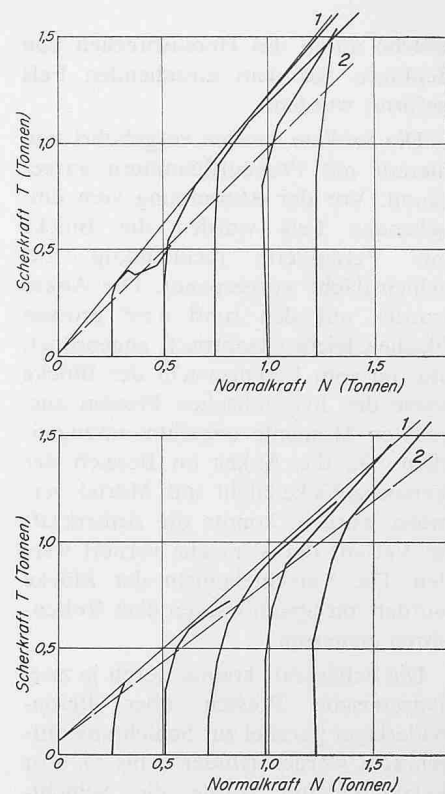


Bild 8. Typische Diagramme für Laborversuche

vergrößerten Scherkraft T parallel zur Diskontinuität erfolgen Verschiebungen, wobei sich N in der Regel verändert. Durch Versuche mit entgegengesetzter Verschiebungsrichtung können Störungseinflüsse ausgeglichen werden.

Bild 8 zeigt typische Versuchsdiagramme für verschiedene Anfangsnormalkräfte. Linie 1 als Umhüllende der maximalen Scherparameter sowie Linie 2 als Kurve der Scherparameter

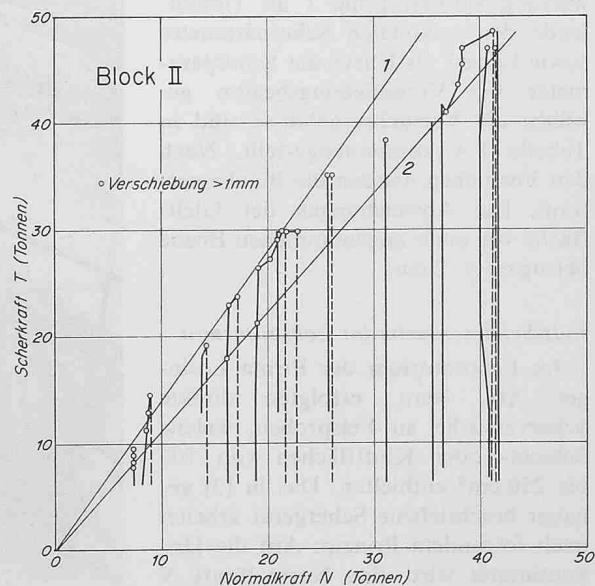


Tabelle 1. Fels-Scherversuche

A. In-situ-Versuche					
Block	Diskontinuität	Reibungswinkel			
		Obere Grenze (Linie 1)		Untere Grenze (Linie 2)	
I	Schichtfläche	54°		50°	
II	Schichtfläche	54°		48°	
Mittel		54°		49°	

B. Versuche im Laboratorium					
Probe	Diskontinuität	Reibungswinkel (Saubere Diskontinuität)		Reibungswinkel (mit Zwischenschichtmaterial)	
		Obere Grenze (Linie 1)	Untere Grenze (Linie 2)	Obere Grenze (Linie 1)	Untere Grenze (Linie 2)
L	Kluftfläche	45°	34°	37°	32°
H	Schichtfläche	40°	36°	45°	37°
M	Schichtfläche	48°	42°	44°	27°
N	Schichtfläche	51°	45°	41°	37°
Mittel		46°	41°	43°	34°

Tabelle 2. Zwischenschicht-Material

Probe-Nr.	Kornverteilung Material kleiner als			Atterberggrenzen			Scherparameter	
	1,0 mm	0,06 mm	0,002 mm	LL	PL	PI	φ'	c'
4397	100 %	75 %	22 %	29	16	13	32°	0
4398				28	13	15		
4403	100 %	44 %	11 %	24	13	11	37°	0

bei Verschiebungsbeginn werden analog wie bei den in-situ-Versuchen gewählt.

Jede Probe wurde zuerst mit sauberer Diskontinuitätsfläche untersucht. In einer zweiten Versuchsserie wurden diese Flächen mit aufgearbeitetem Zwischenschicht-Material von weicher Konsistenz ungefähr 3 mm dick bestrichen. Nach einer Konsolidationsdauer von rd. 1 h erfolgten die Scherversuche.

Tabelle 1 B zeigt die in den Versuchen erhaltenen Reibungswinkel. Gemäss [3] können erhaltene «Kohäsions»-Werte (Scherwiderstand für $N = 0$) infolge der kleinen Probenabmessungen nicht als repräsentativ betrachtet werden.

Zwischenschicht-Material

Die schwierigen Entnahmebedingungen erlaubten nur Versuche an gestörtem Material, welche im Laboratorium der Geotest AG erfolgten. Probe 4397 wurde unmittelbar am Rand der Schichtfläche entnommen, auf der die Felssturzmasse am 21. September 1968 abglitt; Probe 4398 stammte von der Gleitfläche des in-situ-Versuches an Block II. Die wichtigsten Versuchsergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Bei den gröberen Komponenten handelt es sich anscheinend um we-

niger verwitterte Mergelstücke, welche mechanisch relativ leicht verkleinert werden konnten. Eine Veränderung der Materialeigenschaften als Folge der fortschreitenden Verwitterung ist daher wahrscheinlich. Die triaxialen Scherversuche wurden an aufgearbeiteten, konsolidierten Proben durchgeführt.

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Ein Vergleich der mittleren Ergebnisse der Fels-Scherversuche in situ und im Laboratorium zeigt sowohl für die maximalen Scherparameter (Linie 1) als auch für die Scherparameter bei Gleitbeginn (Linie 2) bei den in-situ-Versuchen einen im Mittel 8° größeren Reibungswinkel, was als Massstab-Effekt betrachtet werden kann.

Das Aufbringen von Zwischenschicht-Material ergab bei den Scherversuchen im Laboratorium eine mittlere Verminderung des maximalen Reibungswinkels (Linie 1) und des minimalen Winkels (Linie 2) um mehrere Grad.

Sanierungsmassnahmen

Die ermittelten Scherparameter dienten dem Ingenieurbüro E. Frey, Olten, als Grundlage für die Berechnung der erforderlichen Sicherungen, welche hauptsächlich durch Felsanker erfolg-

ten. Neben den Scherparametern war bei dieser Berechnung auch die Frage des maximal möglichen Kluftwasserdruckes entscheidend. Um die Wirksamkeit der als zusätzliche Sicherungsmassnahme ausgeführten Entwässerungsbohrungen zu überprüfen, wurden im Frühjahr 1971 im Fels Piezometerrohre eingebaut.

Schlussbemerkungen

Die Frage des Massstab-Effekts ist in der Felsmechanik besonders bei der Übertragung von Versuchsergebnissen aus dem Laboratorium auf das Bauwerk in natürlicher Grösse entscheidend.

Bei reinen Reibungsvorgängen, welche das eigentliche Felsmaterial intakt lassen, d. h. unter relativ kleinen Normalspannungen, führt eine Vergrösserung des Untersuchungsobjektes zu einer Verminderung der «Kohäsion» und einem Anstieg des Reibungswinkels. Dieses Ergebnis der Versuche am Born wird durch andere Untersuchungen bestätigt [3, 4].

Unter grösseren Normalspannungen hingegen verursacht ein Schervorgang lokale Zerstörungen des Felsmaterials. Eine Vergrösserung des Untersuchungsobjektes bewirkt in diesem Falle in der Regel einen Abfall der Festigkeitsparameter infolge statistisch begründeter Zunahme von Materialschwächen [5].

Abschliessend kann festgestellt werden, dass die im Laboratorium durchgeführten direkten Scherversuche brauchbare, auf der sicheren Seite liegende Reibungswinkel ergaben.

Literaturverzeichnis

- [1] H. G. Locher und U. G. Rieder: Shear Tests on Layered Jurassic Limestone. Proceedings 2nd Congress of the International Society of Rock Mechanics, 1970.
- [2] H. G. Locher: Direkter Scherversuch im Laboratorium an Felsproben mit Klüften, «Schweiz. Bauzeitung» 1971, H. 30, S. 760—763.
- [3] J. Bernaix: New Laboratory Methods of Studying the Mechanical Properties of Rocks, «International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences», Jan. 1969.
- [4] J. Bernaix: 2nd Congress of the International Society of Rock Mechanics, 1970, Discussion Theme 3.
- [5] H. Einstein, G. Baecher und R. Hirschfeld: The Effect of Size on Strength of a Brittle Rock; Proceedings, 2nd Congress of the International Society of Rock Mechanics, 1970.

Adresse des Verfassers: U. Rieder, dipl. Bau-Ing. ETH, bei Geotest AG, 3052 Zollikofen BE, Birkenstrasse 15.