Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 105 (1987)
Heft: 13

Artikel: Felsmechanische Grossversuche für die Staumauer Lumbrein GR
Autor: Schär, Ulrich
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-76546

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: 07.08.2025

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

Felsmechanische Grossversuche für die Staumauer Lumbrein GR

Von Ulrich Schär, Zürich

Für die vom Elektrizitätswerk Bündner Oberland AG geplante, ungefähr 100 m hohe Staumauer des Kraftwerks Mulin im Lugnez wurde im Bündnerschiefer ein Versuchsstollen mit einer Reihe von felsmechanischen Grossversuchen ausgeführt. Diese bezweckten, die Verformungs- und Scherfestigkeitseigenschaften dieses teilweise tonigen und stark tektonisch beanspruchten Gesteins in situ abzuklären.

Das Projekt

Zur Nutzung der Wasserkraft des Glenners im hinteren Lugnez plant das *Elektrizitätswerk Bündner Oberland AG* die Erstellung des Kraftwerks Mulin (Bild 1). Dieses soll die Stromversorgung der betreffenden Region langfristig sicherstellen. Die vorgesehene Staumauer kommt dabei in die tief eingeschnittene Glennerschlucht zu liegen. Da letztere an dieser Stelle einen nahezu rechtwinkligen Knick bildet, kann die Mauer weder talaufwärts noch talabwärts erblickt werden. Die geplante Staumauer weist eine Höhe von rund 100 m und eine Kronenlänge von etwa 270 m auf. Sie ist als doppelt gekrümmte Bogenmauer vorgesehen. Die Staukote liegt auf 1180 m ü.M. Das nahe gelegene Dorf Lumbrein mit seiner Meereshöhe von rund 1400 m liegt dementsprechend gut 200 m über der Mauerkrone.

Geologie

Die geplante Staumauer liegt, wie die geologische Kartierung und die abgeteuften Kernbohrungen ergeben haben, vollumfänglich im *Bündnerschiefer*. Dieser reicht bis mindestens 250 m unter die Mauersohle und besteht im Sperrenbereich aus einer unregelmässigen Wechsellagerung von harten *Kalkschiefern* und etwas weicheren *Tonschiefern*. Auffälligstes tektonisches Merkmal ist die NE-SW streichende Hauptschieferung. In ihrer Ausbildung ist sie einer eigentlichen Schichtung ähnlich, wie eine solche beispielsweise für nichtmetamorphe Sedimente der nördlichen Alpenregion oder des Juragebirges typisch ist. Die Neigung dieser Bündnerschieferplatten beträgt an der Sperrstelle rund 45°.

Sondierstollen

Von besonderem Interesse ist das felsmechanische Verhalten dieses geotechnisch ungünstigeren Tonschiefers und zwar bei Beanspruchungen parallel und senkrecht zur erwähnten Hauptschieferungsrichtung. Diese Beanspruchungsrichtungen werden sich in ziemlich genau dieser Art bei den beiden Mauerwiderlagern ergeben.

Mittels geophysikalischer Messungen und Kernbohrungen wurde der interessierende Tonschiefer im Sohlbereich der Staumauer lokalisiert. An der betreffenden Stelle erfolgte der Vortrieb eines rund 30 m langen Versuchsstollens mit einem 8 m langen Seitenstollen (Bild 2).

Aufgrund ausführlicher, vorgängiger Gesteinsanalysen in Oberflächenaufschlüssen und an Bohrkernen sowie felsmechanischer Laborversuche ergab sich bezüglich der effektiv auftretenden Gesteinsverformungen und Scherbeanspruchungen des Tonschiefers durch die Staumauer der Wunsch, diese Fels-

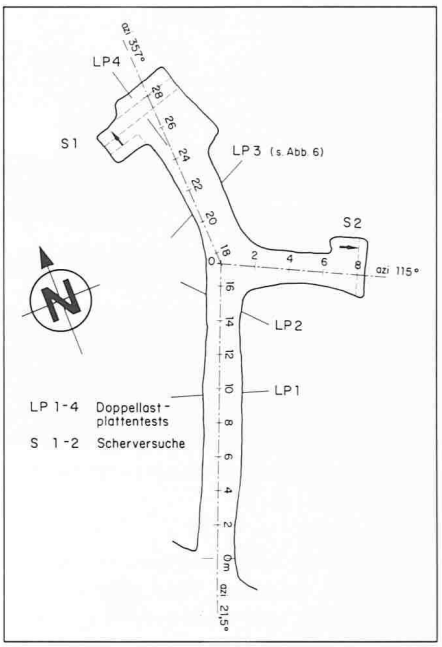


Bild 2. Situation des rund 30 m langen Sondierstollens im Bereich der geplanten Staumauer KW Mulin in der Glennerschlucht

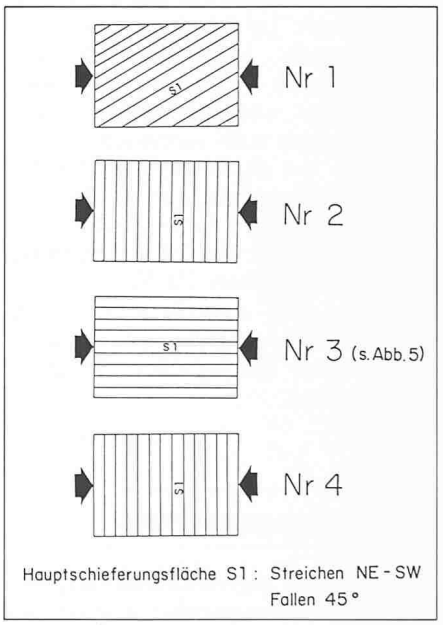


Bild 3. Schema der durchgeführten vier Doppel-Lastplattentests

Bild 1. Lage des geplanten Kraftwerks Mulin des Elektrizitätswerks Bündner Oberland AG

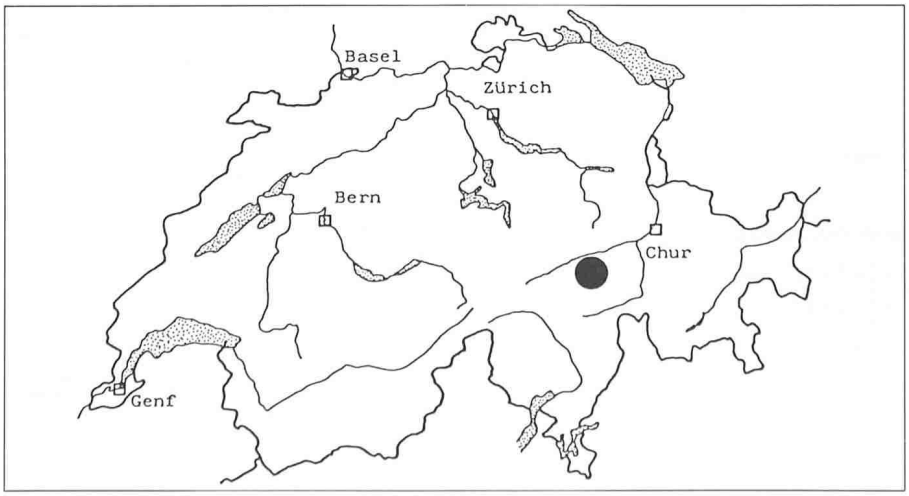
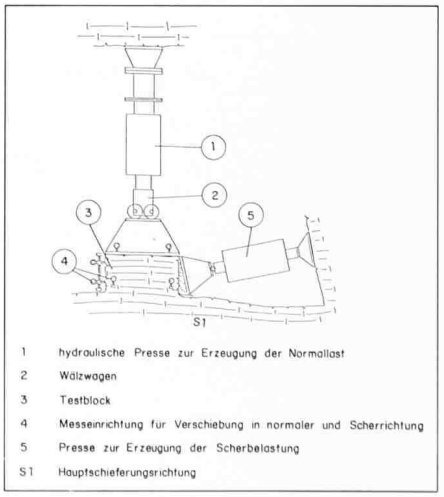


Bild 4. Prinzipskizze des Scherversuchs in situ



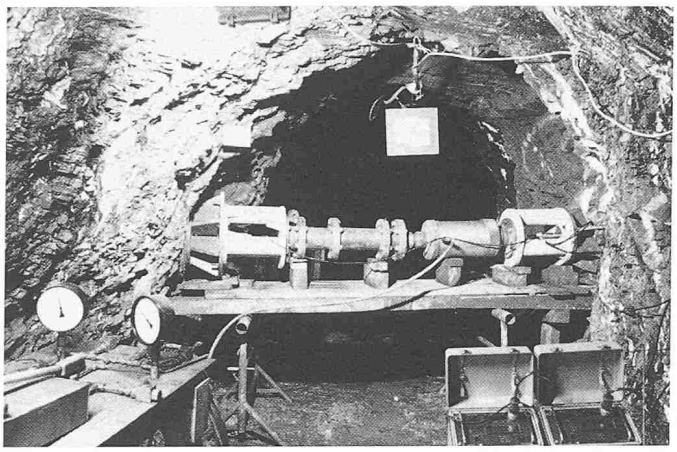


Bild 5. Durchführung des Doppel-Lastplattentests Nr. 3 im Sondierstollen

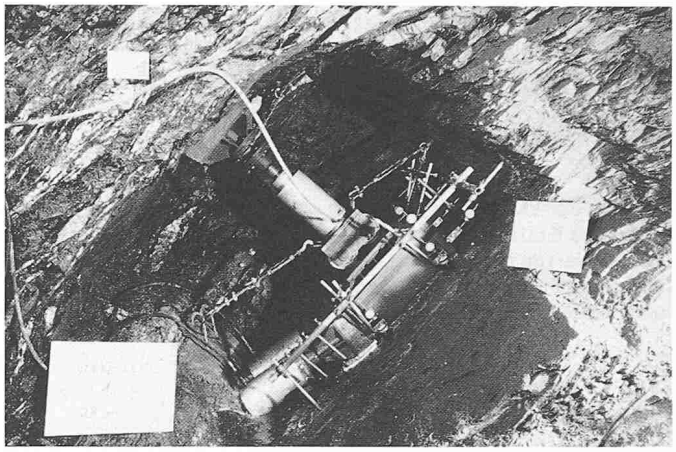


Bild 6. Messergebnisse Doppel-Lastplattentest Nr. 3 L (kleine Platte 0,1 m²)

parameter an ausgesuchten, typischen Stellen im frischen Felsausbruch im *Grossversuch*, und zwar richtungsorientiert, zu bestimmen. Dies ist in einem Sondierstollen optimal möglich, da sich hier nahezu ideale Voraussetzungen für die Standortwahl der einzelnen Versuche anbieten. Im Vergleich dazu sind entsprechende Laboruntersuchungen an Bohrkernen - obwohl solche auch wichtig sind und bei ausreichender Zahl vor allem auch statistischen Wert besitzen - fast als Zufallstreffer zu bewerten, insbesondere was die Probengrösse im Vergleich zum massgebenden Gebirgsverband betrifft. Ergebnisse von Grossversuchen im Versuchsstollen lassen sich ausserdem in idealer Weise anhand der am Versuchsstandort herrschenden geologischen Situation interpretieren.

Untersuchungsprogramm

Im Zuge des konventionell durchgeführten Stollenvortriebs wurden zu einer ersten Bestimmung der Gesteinsverformungen an insgesamt zwölf, über die ganze Stollenlänge verteilten Messprofilen zu je vier Messbolzen *Konvergenzmessungen* durchgeführt. Die Ergebnisse entsprachen den Erwartungen und bestätigten die späteren Resultate der Verformungsmessungen im Grossversuch.

Zur Bestimmung des *Verformungsverhaltens* bzw. der *Deformations- und Elastizitätsmoduli* des Tonschiefers unter einer ähnlichen Belastung, wie sie später die Staumauer erzeugen wird, wurden an vier ausgewählten Stellen im Versuchsstollen *Doppel-Lastplattentests* durchgeführt. Ihr Standort geht aus Bild 2 hervor. Sie wurden parallel, senkrecht und schief zur baulich massgebenden Hauptschieferungsfläche angeordnet, wie Bild 3 veranschaulicht.

Zur Bestimmung der Verformungsmoduli wurde das Gebirge mittels zwei verschieden grossen, einander gegenüber liegenden, runden Druckplatten gleichzeitig belastet (Druckplattenflächen 0,1 und 0,2 m²). Zur Druckerzeugung diente eine hydraulische Presse. Im Zentrum der Druckplatten wurden vorgängig Mehrfachextensometer von 4 m Länge mit Messpunkten bei 0,25 m, 0,5 m, 1,0 m und 3,8 m eingebaut, welche die Verformungen innerhalb des beanspruchten Gebirges registrierten. Die Versuchsanordnung für die Doppel-Lastplattentests wird durch Abbildung 5 veranschaulicht.

Das *Scherverhalten* des Tonschiefers wurde im Versuchsstollen mittels zweier Grossscherversuche abgeklärt.

Die Versuchsstandorte gehen aus Abbildung 2 hervor. Sie befinden sich in der Endkammer des Hauptstollens bzw. in der Endkammer des Seitenstollens. Beim direkten Scherversuch wurde ein Prüfkörper von rund 0,70×0,70 m Grundfläche untersucht.

Die Kontaktfläche zu seiner Unterlage war die zu prüfende Scherfläche. Bei Versuch 1 war diese identisch mit der Hauptschieferungsfläche, bei Versuch 2 lag sie senkrecht zu ihr, was den beiden Beanspruchungsrichtungen der Mauerwiderlager entsprechen wird. Der Testkörper wurde gemäss dem Schema in Bild 4 bzw. der Foto des Versuchs 1 in Bild 7 mit einer Normalkraft belastet und danach durch die Scherkraft abge-

Bild 7. Scherversuch Nr. 1 in der Endkammer des Hauptstollens (Versuch parallel der Hauptschieferungsfläche). Von oben links = Normalkraft. Von unten links = Scherkraft

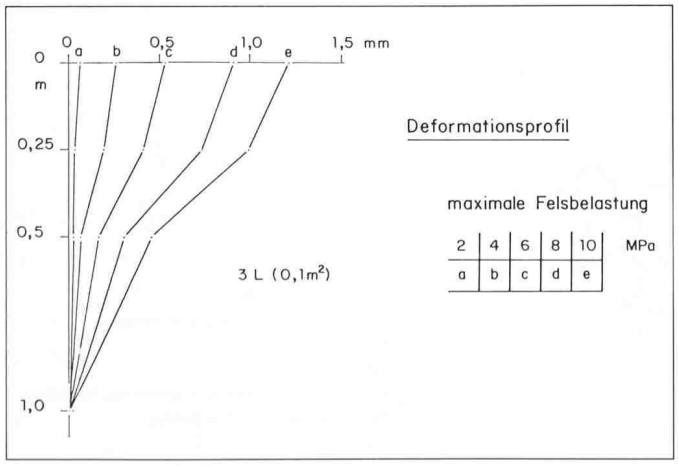
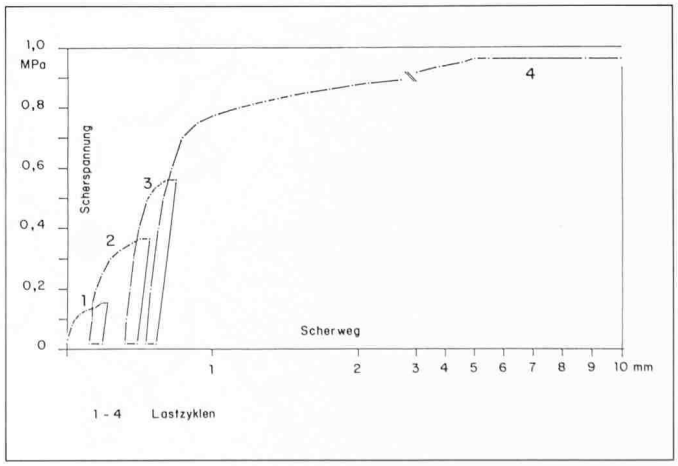


Bild 8. Messergebnisse Scherversuch Nr. 1



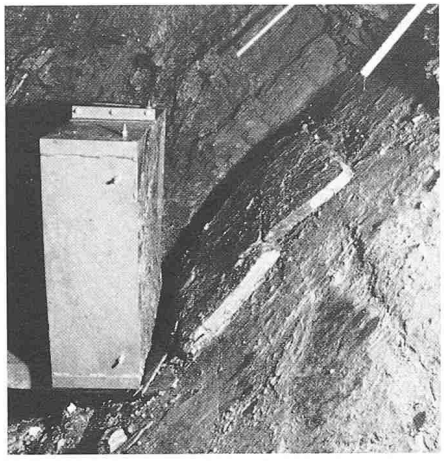


Bild 9. Scherversuch Nr. 1, freigelegte, glatte Abscherfläche in Bildmitte. Links davon aufgestellter, abgescherter Gesteinsblock 0,70×0,70 m

schert. Um die Scherbeanspruchung durch den Schwerpunkt der Scherfläche zu lenken und Zugspannungen in ihr zu vermeiden, erfolgte die Einleitung der Scherkraft unter einer gewissen Neigung zur potentiellen Scherfläche (Bild 7).

Versuchsergebnisse

Es hat sich bei dieser Untersuchung einmal mehr gezeigt, dass zur Festlegung wirklichkeitsnaher bzw. repräsentativer Felskennwerte für eine Staumauerbemessung in eher kritisch zu beurteilenden Gebirgsverhältnissen und bei ausgesprochener Gesteinsanisotropie Sondierstollen und felsmechanische Grossversuche unerlässlich sind. Felsdaten aus Laborversuchen und geophysikalischen Messungen lassen sich nur anhand von zuverlässigen Ergebnissen aus Grossversuchen in ihrem Stellenwert richtig einschätzen. Ein abgerundetes Bild über die effektiven Verhältnisse ist einzig und allein mit einer Kombination der vorerwähnten Verfahren zu gewinnen.

Die vier durchgeführten *Doppel-Lastplattentests* ergaben eine eindeutige Richtungsabhängigkeit der Gebirgsmoduli von der Hauptschieferungsfläche. Der Unterschied zwischen den Verformungsmodulis parallel und senkrecht zu ihr lag bei Faktor 5–6. Wie das Deformationsdiagramm in Bild 6 zeigt, nahmen die Verformungen von der Belastungsfläche an der Stollenwand gegen das Gebirgsinnere bei allen Laststufen relativ gleichmässig ab und erreichten bei einer Tiefe von rund 2,8mal Plattendurchmesser ihren Nullwert.

Nicht weniger interessant und aufschlussreich waren die Ergebnisse der *Scherversuche*. Erwartungsgemäss war die Bruchscherfestigkeit, die der Restscherfestigkeit gleichgesetzt werden kann, parallel der Hauptschieferungsfläche mit ihrem feinen tonigen Graphit- und Glimmerbeschlag rund 5mal geringer als senkrecht zu ihr. Grosse Unterschiede resultierten dabei in der Ausbildung der Bruchfläche. Beim Scherversuch parallel zur Hauptschieferungsfläche war sie glatt (vgl. Bild 9), beim Versuch senkrecht zu dieser war sie völlig verzahnt.

Adresse des Verfassers: *Dr. Ulrich Schär*, Beratender Ingenieurgeologe SIA/ASIC, Bergstrasse 125, 8032 Zürich.

Grundwasserentlastung im Niederterrassenschotter

Schutzmassnahmen bei Eingriffen in das Grundwasser

Von René Studer, Reinach BL

Der knappe Baugrund und die daraus resultierenden hohen Grundstückpreise sowie einschränkende Bestimmungen aus Bauordnungen führen dazu, dass bei Neubauten versucht wird, auch den Untergrund maximal zu nutzen. Diese unterirdischen Baukörper können jedoch vorhandene Grundwasserströmungen in unerwünschter Weise beeinflussen. Im folgenden Beispiel wird gezeigt, wie mit baulichen Massnahmen erfolgreich verhindert werden kann, dass sich ein Grundwasserstrom an einem Neubauriegel aufstaut.

Problemstellung

Der *Schweizerische Bankverein* erstellt in verschiedenen Etappen neue Büro- und Verwaltungsgebäude am Aeschenplatz in Basel:

- In den Jahren 1969–1974 entstand die Liegenschaft Gartenstrasse 9 mit einer Grundrissfläche von etwa 6000 m².
- Das Verwaltungsgebäude der Generaldirektion am Aeschenplatz mit einer Grundrissfläche von etwa 11 000 m² ist kurz vor der Fertigstellung. Bild 2 zeigt die offene Baugrube des Neubaus.

Die beiden im Bild 1 dargestellten teilweise oder ganz erstellten Gebäude haben je fünf Untergeschosse. Sie reichen mit ihren grossen unterirdischen Baukörpern bis in eine Tiefe von 19 m unter Terrain.

Im Gebiet des Aeschenplatzes besteht der Untergrund aus einer grundwasserführenden Schotterschicht mit einer Mächtigkeit von etwa 15 m. Dieser quartäre Niederterrassenschotter des Rheins liegt auf dem tertiären Molassefels, dem sogenannten «Blauen Letten». Auf der Felssohle fliesst im Schotter das Grundwasser in einer Mächtigkeit von etwa 2,6 m [1]. Die Strömungsrichtung im Bereich des Aeschenplatzes ist in Bild 3 dargestellt. Das Strömungsgefälle beträgt etwa 1%.

Da die beiden Gebäude des *Schweizerischen Bankvereins* voll im Molassefels eingebunden sind und damit bis unter die Sohle des Grundwasserstromes reichen, bilden ihre Untergeschosse eigentliche Grundwasserbarrieren. Der Riegel weist dabei eine Länge von etwa 160 m auf. Er ist nur im Bereich der Gartenstrasse kurz unterbrochen. Der Grundwasserstau, der durch einen solchen Riegel entsteht, wurde mit numerischen Simulationsmethoden berechnet. Es zeigten sich dabei zwei Hauptprobleme:

- Bestehende Gebäude würden bezüglich ihrer Grundwasserisolation zu hoch eingestaut.
- Es entständen grossräumige Veränderungen des Grundwasserabflusses, die ökologisch unerwünscht und damit nach gesetzlichen Vorschriften und Empfehlungen [2] zu vermeiden sind.

Es musste also nach Lösungsmöglichkeiten gesucht werden, um den unzulässigen Anstau von Grundwasser vor den beiden Gebäuden zu vermeiden.