

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 91 (1973)
Heft: 27

Artikel: Ein Beispiel zur refraktionsseismischen Bestimmung der Felsoberfläche unter geringer Überdeckung
Autor: Scheller, E. / Müller, Th.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-71927>

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: 20.02.2026

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

Ein Beispiel zur refraktionsseismischen Bestimmung der Felsoberfläche unter geringer Überdeckung

DK 550.34:624.131

Von Dr. E. Scheller, Zollikofen, und Th. Müller, Solothurn

Ausgangslage

Im Auftrag der Direktion der eidg. Bauten wurden fünf parallele Stollen gebaut, welche an einer steilen Talflanke auf einer Länge von ungefähr 500 m verteilt sind.

Die Stollen liegen in der Molasse, die in der Portalzone von Alluvionen überdeckt ist. Der Fels besteht zum grössten Teil aus Nagelfluh von feiner bis grober Körnung und ist vorwiegend aus harten, zum Teil verwitterten Komponenten wie Kalk, Quarzit und Granit zusammengesetzt, während das Bindematerial einen mittleren Verfestigungsgrad aufweist. Dazwischen eingelagert kommen Mergel und Sandsteinhorizonte von 10 cm bis zu einigen Metern Stärke vor, die zum Teil auskeilen. Der Fels ist nur unbedeutend zerklüftet. Auf der Felsoberfläche liegen Lockermaterialien von stark verschiedener Mächtigkeit auf, welche aus Ver-

witterungsprodukten von Nagelfluh, Sandstein und Mergel bestehen.

Zur Abklärung der Lage der Felsoberfläche wurden vor Baubeginn Rammsondierungen in einem Raster von 10 m ausgeführt, die bis auf eine Tiefe von 0,6 bis 13,0 m eindringen. Wenn auch die Rammsondierungen allein keine eindeutigen Schlüsse über das Vorhandensein der Felsoberfläche zulassen, so glaubte man doch auf Grund des engen Rasters, dass einzelne Sondierungen den Fels wirklich erreicht hätten. Eine Kontrolle durch Sondierschlitze wäre wegen der grossen Tiefe und der steilen Hangneigung mit grossen Kosten und einem entsprechenden Zeitaufwand verbunden gewesen, so dass man darauf verzichtete.

Beim Vortrieb der drei ersten Stollen im Lockermaterial zeigte sich, dass mit einer Ausnahme die Felsoberfläche

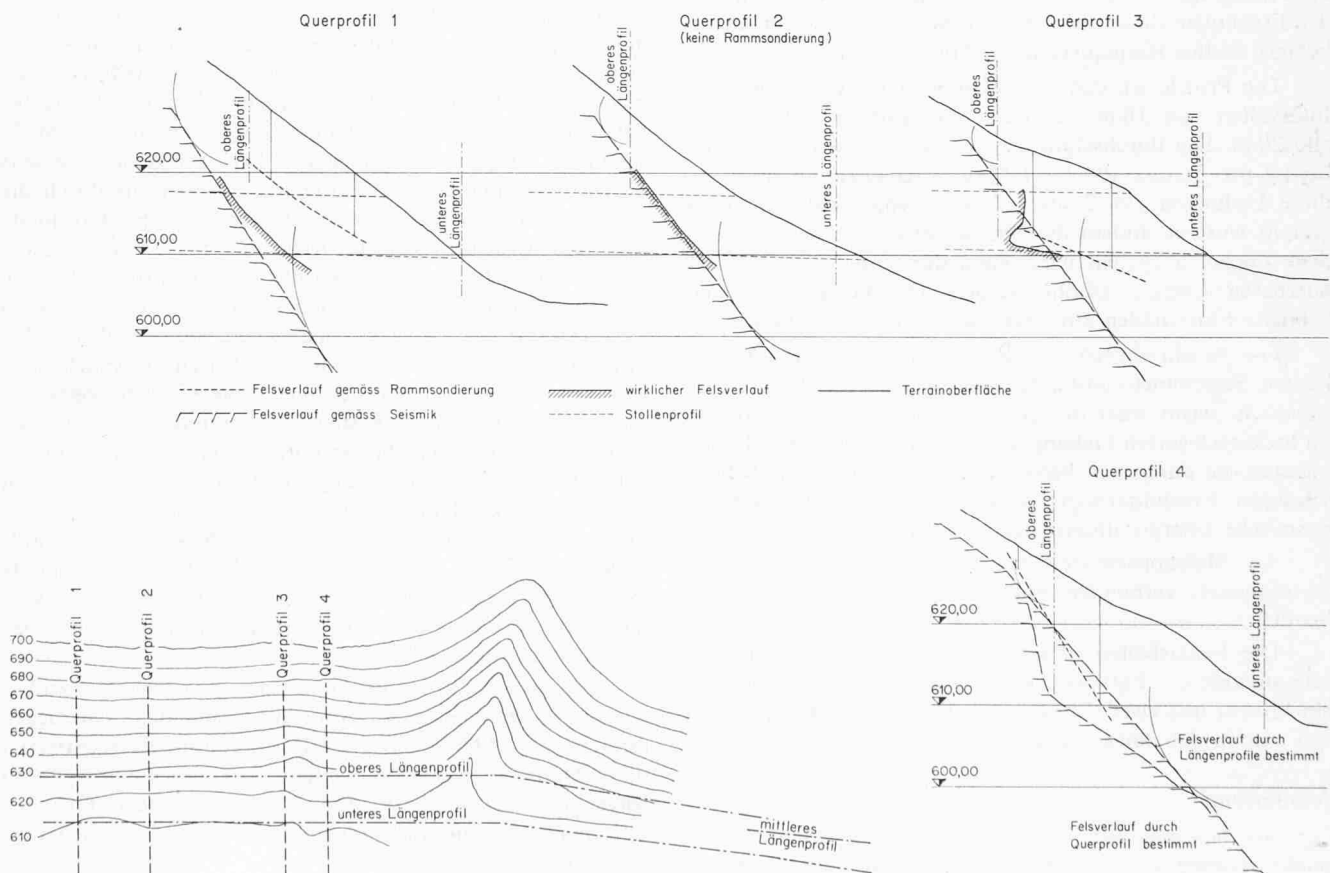


Bild 1. Lageplan (1:4200) des Untersuchungsgebietes und Querprofile 1 bis 4 (1:820). Die Querprofile wurden aus den beiden Längenprofilen hergeleitet. Eigentliche Messresultate stellen nur die Kreisbogen um die Schnittpunkte der Längen- und Querprofile dar, als sinnvolle Interpolation dient die gemeinsame Tangente. Bei Achse 4 wurde zusätzlich ein eigentliches Querprofil gemessen, es zeigt die Abweichung gegenüber der Tangentenlösung augenfällig.

in der durch die Rammsondierungen erreichten Tiefe noch nicht anzutreffen war. Hingegen kamen Nagelfluhtrümmer bis zu mehreren Kubikmetern Grösse zum Vorschein, welche offenbar als Felsoberfläche interpretiert worden waren. Der Vortrieb gestaltete sich bei einer täglichen Vortriebsleistung von 0,3 m sehr mühsam und kostspielig. Obschon das Lockermaterial einen kompakten Eindruck machte, erfolgte an einer Stelle im First ein trichterförmiger Einbruch bis an die Terrainoberfläche, welcher den Vortrieb stilllegte und zusätzliche Sicherheitsmassnahmen erforderte. Bei der rasch zunehmenden Überdeckungshöhe war zu befürchten, dass die angewandte Spriessung mit Einbaubögen und Verzugsblechen den Beanspruchungen nicht mehr standhält und dass auf eine andere Vortriebsmethode umgestellt werden muss.

Aus diesen Gründen drängte sich eine umfassende und zuverlässige Sondierung der Felsoberfläche auf, welche kurzfristig Resultate liefern sollte. Die Anwendung von Rotationskernbohrungen erschien nicht zweckmässig, weil für eine zuverlässige Beurteilung eine grössere Anzahl von Bohrungen erforderlich gewesen wäre. Zur Vermeidung von Fehlbeurteilungen hätten diese einige Meter tief in den Fels verlängert werden müssen. Aus Zeit- und Kostengründen entschied man sich für die Ausführung von refraktionsseismischen Sondierungen.

Technische Durchführung

Da keine gesicherten Angaben über den Felsverlauf im Bereich der Stollenachsen vorhanden waren und der Hangverlauf bei den bereits begonnenen Achsen durch Installationen und Voreinschnitte stark gestört war, waren zwei hangparallele seismische Profile nötig (Bild 1). Anhand der Ergebnisse dieser zwei Profile liessen sich später an beliebigen Stellen Hangquerschnitte konstruieren.

Die Profile wurden mit Seismometern (Geophonen) in Intervallen von 10 m bestückt, Sprengstellen folgten sich alle 20 m. Die durchschnittlich benötigte Sprengstoffmenge betrug pro Schuss 400 bis 1000 g Sprenggelatine A, wobei diese Ladungen auf 2 bis 5 Löcher von rund 1 m Tiefe verteilt wurden. Indem die Sprengstoffmenge auf verschiedene Löcher aufgeteilt wird, kann der Anteil der seismisch nutzbaren Energie erhöht werden. Die Gefahr, dass erhebliche Flurschäden auftreten, wird gleichzeitig verringert.

Die beschriebenen Ladungen sind in bezug auf die kurzen Seismometerabstände eher gross, werden aber verständlich, wenn man die eher bescheidene Schusswirkung im lockergelagerten Gehängeschutt in Betracht zieht. Ferner mussten die durch den bereits begonnenen Baubetrieb herrschenden Erschütterungen durch entsprechend kräftigere seismische Energie übertroffen werden.

An Messapparaturen wurde ein Verstärker für 24 Seismometer, verbunden mit einer Lichtschreiber-Kamera, benützt.

Die Feldarbeiten dauerten fünf Arbeitstage. Im Einsatz standen ein Equipenchef-Sprengmeister, ein Operateur, ein Mineur und zwei Hilfsarbeiter. Der leitende Geophysiker war nur in der Anfangsphase anwesend.

Auswertung

Als Ausbeute der Feldarbeiten fallen für jeden Schusspunkt Seismogramme an. Es gilt, daraus die Laufzeiten vom Zeitpunkt der Sprengung bis zum Eintreffen der elastischen Wellen bei den einzelnen Geophonen herauszulesen. Diese Laufzeiten werden als Funktion der Distanzen zwischen Schusspunkten und Geophonen aufgetragen. In einer derart

gewonnenen Laufzeitkurve lassen sich auf Grund ihrer abweichenden Neigungen einzelne Abschnitte (Laufzeitäste) unterscheiden (Bild 2), die verschiedene Schichtgeschwindigkeiten anzeigen. Dabei entsprechen die steil verlaufenden Abschnitte der Laufzeitkurven den in den lockeren oberflächlichen Schichten gelaufenen Wellen. Die flacheren Kurvenabschnitte sind hingegen durch Wellen bedingt, die infolge Refraktion in den Fels gelangten und dort schneller laufen konnten.

Anhand des Brechungsgesetzes für elastische Wellen, das dem der Optik analog ist, lassen sich aus den Laufzeitkurven Schichtgeschwindigkeiten und -mächtigkeiten bestimmen.

Es muss hier betont werden, dass ein derartiges Modell der Schichtmächtigkeiten allein auf den *elastischen* Verhältnissen des Untergrundes beruht. Anhand von Erfahrungswerten und Kenntnissen der geologischen Lage ist es jedoch in den meisten Fällen möglich, das gewonnene *physikalische* Schichtmodell in ein *geologisches* umzusetzen. Wenn aber die physikalischen Parameter in geologisch verschiedenen Schichten übereinstimmen, so wird eine Unterscheidung dieser Schichten auf Grund von geophysikalischen Untersuchungen unmöglich.

Im vorliegenden Beispiel liegen klare Unterschiede in den Geschwindigkeiten der elastischen Wellen in den einzelnen geologischen Schichten vor. Die Laufzeitkurven eines Profilabschnittes zeigen (Bild 2), wie deutlich sich die steil verlaufenden Laufzeitäste der Quartärformation von den schwächer geneigten der Molasse unterscheiden. Bei den Sprengpunkten 2 bis 5 sind die vom Zeitnullpunkt ausgehenden steilen Laufzeitäste, die niedrige Quartärgeschwindigkeiten verraten, stark ausgeprägt. Verlängert man die flach verlaufenden Laufzeitäste bis zu den Ordinaten durch die entsprechenden Schusspunkte, so werden auf diesen Ordinaten Zeitabschnitte von mehr als 30 Millisekunden markiert. Im Gegensatz dazu betragen diese Abschnitte bei den Schusspunkten 7 bis 9 nur zwischen 6 und 11 Millisekunden. Da die Tiefenlage der Felsoberfläche einerseits durch die Neigungen der Laufzeitäste, andererseits durch die eben erwähnten Zeitabschnitte auf der Schusspunktordinate bestimmt wird, lässt sich das Relief der Felsoberfläche qualitativ bereits durch Betrachten der Laufzeitkurven ableiten.

Im allgemeinen verlaufen die Laufzeitäste, die den im Fels refraktierten Wellen entsprechen, nur in den Lehrbüchern geradlinig. Sobald, wie in vielen zu untersuchenden Fällen, ein Relief in der Felsoberfläche vorliegt, verlaufen diese Äste gekrümmt, bestenfalls abschnittsweise gerade. Um die zur Tiefenberechnung nötigen Zeitabschnitte auf der Schusspunktordinate überhaupt bestimmen zu können, ist man auf den Verlauf der entsprechenden Kurvenabschnitte in benachbarten Schüssen angewiesen. Aus diesem Grunde werden jeweils in der Verlängerung der Profile sogenannte Weitschüsse angeordnet, die es ermöglichen sollen, den Verlauf der Kurvenäste der refraktierten Wellen über das ganze Profil zu verfolgen.

Ein derartiges Schusspunktdispositiv ist naheliegenderweise mit grossem Arbeitsaufwand verbunden. Die damit erreichbare wesentlich bessere Resultatausbeute rechtfertigt diese Methode jedoch bei weitem. Aus diesen Darlegungen folgt, dass seismische Profile aus methodischen Gründen stets länger als die auftragsgemäss zu untersuchenden Profilabschnitte sein müssen.

Ergebnis und Interpretation

Nach der ersten Untersuchungsphase war es möglich, in einem oberen bzw. unteren Längsprofil den Verlauf der

Felsoberfläche anzugeben. Für das ermittelte Geschwindigkeitsintervall von 3600 bis 4200 m/s bestand kein Zweifel, dass es sich um den hangaufwärts anstehenden Molassefels von guter Qualität handeln musste. Es liess sich mit Sicherheit ausschliessen, dass die Ergebnisse durch einzelne Nagelfluhlöcher innerhalb des Gehängeschuttes beeinflusst worden wären.

Bild 1 zeigt vier aus den beiden Längsprofilen konstruierte Querprofile über den entsprechenden Stollenachsen. Als wahrscheinlichster Felsverlauf wird die gemeinsame Tangente an die Kreise mit den Tiefenangaben im Schnitt mit den Längsprofilen betrachtet.

Die beiden Längsprofile sind relativ weit voneinander entfernt, was eine beträchtliche Unsicherheit im Felsverlauf zwischen den Kreisbögen auf den konstruierten Querprofilen offen lässt. Aus diesem Grunde musste der Felsverlauf in einem direkten Querprofil über der Achse 4 detailliert bestimmt werden. Aus Bild 1 ist ersichtlich, dass diese Ergänzungen einen gegenüber der gemeinsamen Tangente abweichenden Felsverlauf ergeben, aber nicht im Widerspruch zu den Angaben in den Schnittpunkten mit den Längsprofilen stehen.

In dem an das Untersuchungsgebiet angrenzenden Hangbereich waren aus morphologischen Gründen geringere Felstiefen zu erwarten. Die in der Schlussphase der Untersuchungen ausgeführten drei zusätzlichen Längsprofile bestätigen dies.

Folgerungen

Die seismischen Untersuchungen lieferten einen Aufschluss über die Felsüberdeckung auf der ganzen Länge der Baustelle. Ein Vergleich der angetroffenen Verhältnisse mit den Prognosen der Seismik zeigt Abweichungen von 0 bis 2 m auf halber Stollenhöhe, bei einer entsprechenden Stollenlänge von 15 bzw. 22 m. Die Abweichungen liegen somit innerhalb von 10 %. Dabei ist zu bemerken, dass nur die Radien der Kreisbögen in Bild 1 seismisch bestimmt sind. Der als gemeinsame Tangente eingezeichnete Felsverlauf stellt bereits eine Interpolation dar.

Vergleicht man die wirklichen Felsverhältnisse mit den Prognosen auf Grund der Rammsondierungen, so ergibt sich für den Stollen 1 eine gegenüber der Prognose um 10 m erhöhte Alluvialstrecke. Im vorliegenden Beispiel konnte die gewählte Baumethode zwar noch beibehalten werden, doch sind Fälle denkbar, wo durch Fehlprognosen von solchem Ausmass Umstellungen in der Vortriebsmethode unumgänglich werden.

Über der Achse von Stollen 2 wurden keine Rammsondierungen ausgeführt.

Das bewegte Relief der Felsoberfläche bei Stollen 3 konnte weder mit den Rammsondierungen noch mit der Seismik genau erfasst werden. Immerhin ergab die grobe Interpolation nach beiden Methoden für die mittlere Stollenhöhe eine brauchbare Genauigkeit. Hier hätte eine einzelne Sondierbohrung möglicherweise zu falschen Schlüssen verleiten können.

Die beiden letzten Stollen 4 und 5 wurden wegen der überraschend mächtigen Felsüberdeckung an einen günstigeren Standort verschoben, der auf Grund der ergänzenden seismischen Untersuchungen zuverlässig bestimmt werden konnte.

Der Bau der Stollen am alten Standort hätte eine Bauzeitverlängerung von ungefähr einem halben Jahr und wesentliche Mehrkosten zur Folge gehabt.

Im vorliegenden Fall konnte durch die Anwendung der seismischen Untersuchungsmethode die zu erwartende Felsüberdeckung mit guter Genauigkeit vorausgesagt werden, was das Risiko für Überraschungen in der Alluvialzone wesentlich verminderte. Die Voraussage gestattete der Bauleitung, rechtzeitig Umdispositionen vorzunehmen und damit Kosten einzusparen. Die Unternehmung war in der Lage, die Baumethode rechtzeitig dem zu erwartenden Schwierigkeitsgrad anzupassen.

Das vorgelegte Beispiel zeigt, dass die seismische Methode zur Bestimmung der Felsoberfläche auch bei kleinräumigen Projekten vermehrt in Betracht gezogen werden sollte. Voraussetzung für eine erfolgreiche seismische Kampagne bilden jedoch klare Kontraste der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten für elastische Wellen in den zu untersuchenden geologischen Formationen.

Der beschränkten Genauigkeit bei seismischen Arbeiten stehen bedeutende Vorteile, wie rascher Arbeitsablauf und vor allem eine flächenhafte Erfassung des Untersuchungsgebietes, gegenüber. Im Normalfall ist eine Kombination zwischen Seismik und Bohrungen anzustreben, um die Vorteile beider Aufschlussmethoden ausschöpfen zu können.

Die Verfasser danken der Direktion der eidg. Bauten für die Erlaubnis zur Veröffentlichung der Ergebnisse sowie dem örtlichen Bauleiter, Herrn F. Wagner, für seine Unterstützung bei den Feldarbeiten.

Adressen der Verfasser: Dr. E. Scheller, in Firma Geotest AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen, und Th. Müller, dipl. Bauing. ETH/SIA, Wengistrasse 26, 4500 Solothurn.

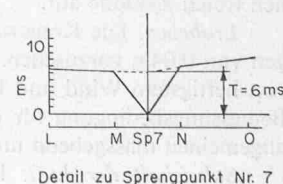
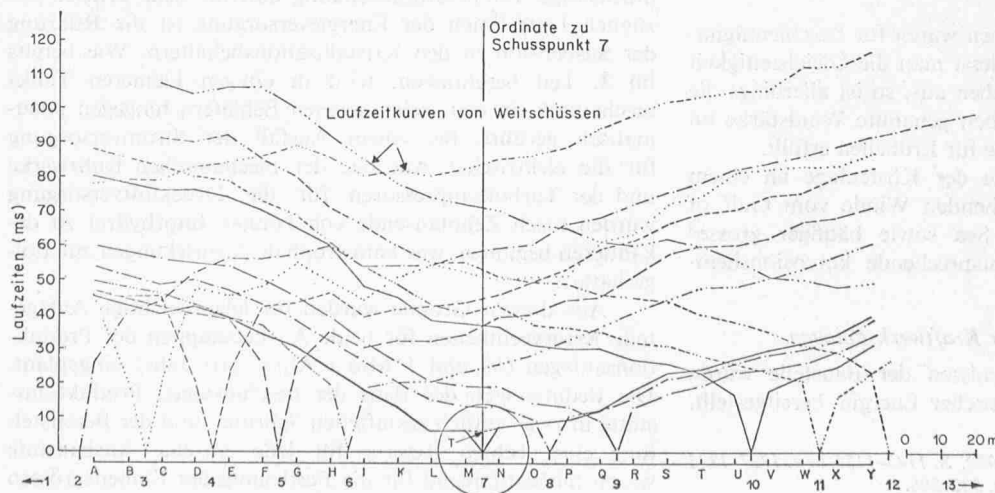


Bild 2. Laufzeitkurven eines Abschnittes des oberen Längsprofils. Die Nummern 1 bis 13 entsprechen Schusspunkten, die Buchstaben A bis Y Geophonstandorten. Für die stark ausgezogene Laufzeitkurve 7 ist der für die Tiefenbestimmung notwendige Zeitabschnitt T auf der Ordinate markiert. Die Felstiefe nimmt von Geophon A bis L ab, von Q bis Y nimmt sie zu.