Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 142 (2016)
Heft: 18-19: Durch Gneis und Granit : der längste Bahntunnel

Artikel: Signale aus dem Herzen des Gotthards
Autor: Dietsche, Daniela
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-632746

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: 16.07.2025

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

DIE GEOLOGIE DES GOTTHARD-BASISTUNNELS

Signale aus dem Herzen des Gotthards

Tiefbau und Geologie kann man nicht trennen: Grosse geologische Herausforderungen – unterschiedlichste Gesteinsschichten und Störungszonen – haben den Bau des 57 km langen Gotthard-Basistunnels geprägt. Mehrmals mussten die Ingenieure darauf reagieren.

Text: Daniela Dietsche et al.

Der Gotthard-Basistunnel darf als Schweizer Jahrhundertbauwerk bezeichnet werden. Die Berechtigung bezieht sich zum einen auf den fast 70 Jahre langen politischen Weg von der ersten Projektidee bis zur Eröffnung und zum anderen auf die natürlichen und technischen Hindernisse, die das Vorhaben anfänglich als hoch riskant oder gar unmöglich erscheinen liessen. Gewarnt wurde etwa vor dem «schwimmenden Gebirge», der Pioramulde: einer nahezu unüberwindlich befürchteten Störungszone. Die geologischen Erkenntnisse im tiefen Berg fielen schliesslich positiv aus. Mit unangenehmen Überraschungen waren die Tunnelbauer dagegen in anderen Fällen konfrontiert. Wie die schwierigen geologischen Verhältnisse gemeistert werden konnten und mit welchen Massnahmen deren Beherrschung gelang, wird weiter unten erklärt. Zunächst empfiehlt sich ein Blick auf die generelle geologische Situation, um einen Eindruck von der Dimension des Gotthard-Basistunnels (GBT) zu erhalten.

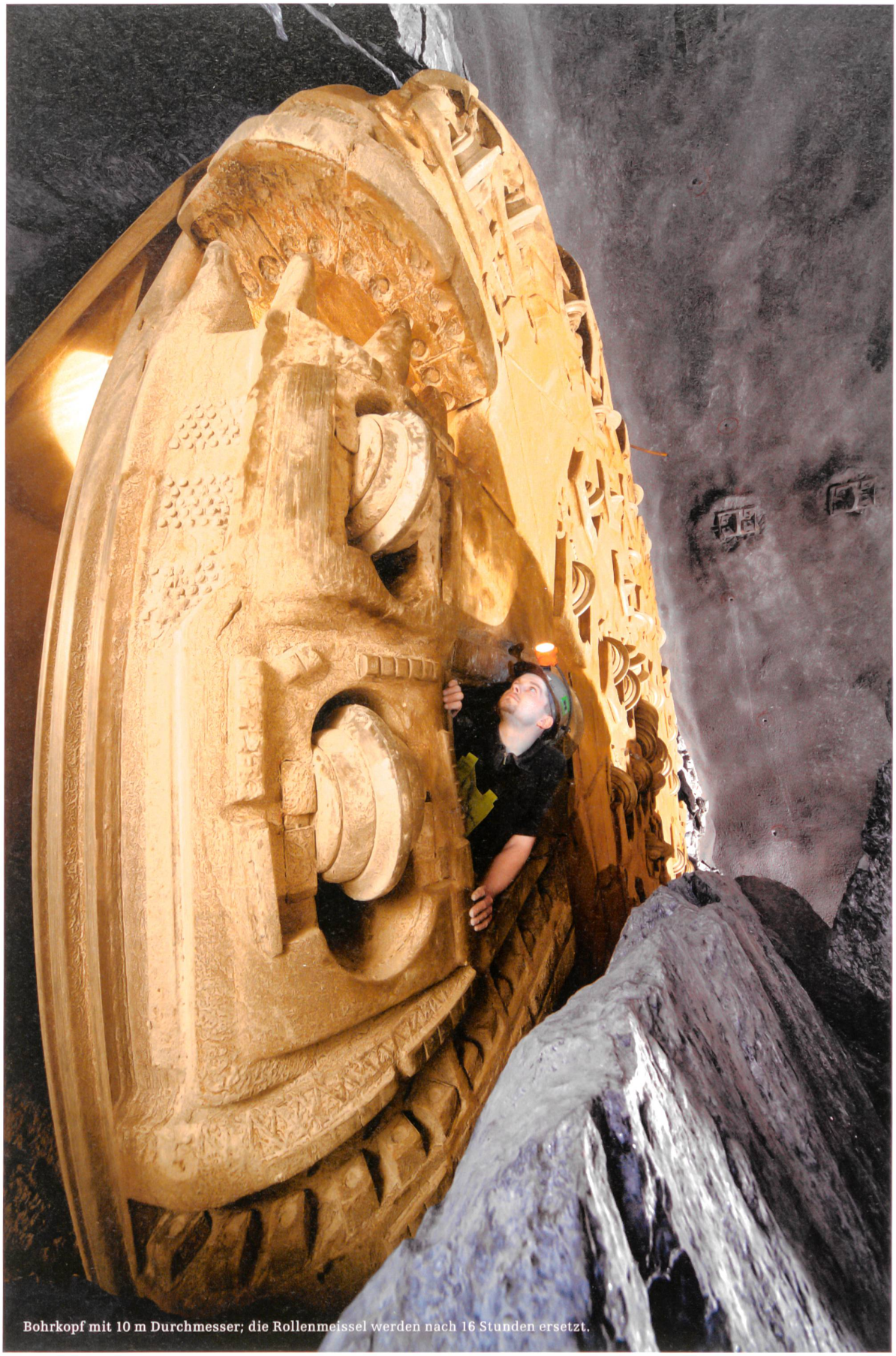
Die beim Bau durchörterten Gesteinsformationen ergeben eine anschauliche Darstellung des geologischen Aufbaus der Schweizer Zentralalpen. Vom Nordportal bei Erstfeld bis zum Südportal bei Bodio bohrten oder sprengten sich die Tunnelbauer durch drei – auch historisch und kulturell bezüglich ihrer Besiedlung an der Oberfläche – grundsätzlich verschiedene Gebirgsmassive: das Aarmassiv im Norden, aufgebaut aus Gneisen und Graniten, in der Mitte das vorwiegend aus denselben Gesteinsarten, aber in anderen Modifikationen zusammengesetzte Gotthardmassiv sowie die Penninische Gneiszone im Süden. Zwischen Aar- und Gotthardmassiv ist ein kleineres, von vielen Störungen durchzogenes Massiv eingebettet, das Tavetscher Zwischenmassiv (TZM). Dieses bildet das Tal des Vorderrheins, im oberen Teil Tavetsch genannt, und ist geologisch in ein stark gestörtes, rund 1150 m mächtiges, nördliches TZM und ein südliches, bautechnisch günstigeres, mehr als 2.3 km mächtiges TZM unterteilt – die Grenze verläuft ungefähr in der Talsohle.

Die Massive der Zentralalpen sind nicht homogen, sondern bestehen aus vielen unterschiedlich dicken Gesteinsschichten mit verschiedenen kristallinen Strukturen und Eigenschaften (vgl. Grafik S. 36/37). Die Alpenfaltung hat die Schichten vorwiegend steil bis senkrecht aufgerichtet, mit Ausnahme des südlichen, vom Alpenhauptkamm weiter entfernten Teils der Penninischen Gneiszone, dessen Schichten in einen horizontalen Verlauf abschwenken. Aufgrund dieser unterschiedlichen Schichtung unterscheidet die Geologie im Süden des GBT zwischen den alpennahen, senkrecht stehenden Lucomagno-Gneisen und den vorwiegend horizontal gebankten Leventina-Gneisen.

Tektonisch stark beanspruchte Störungen

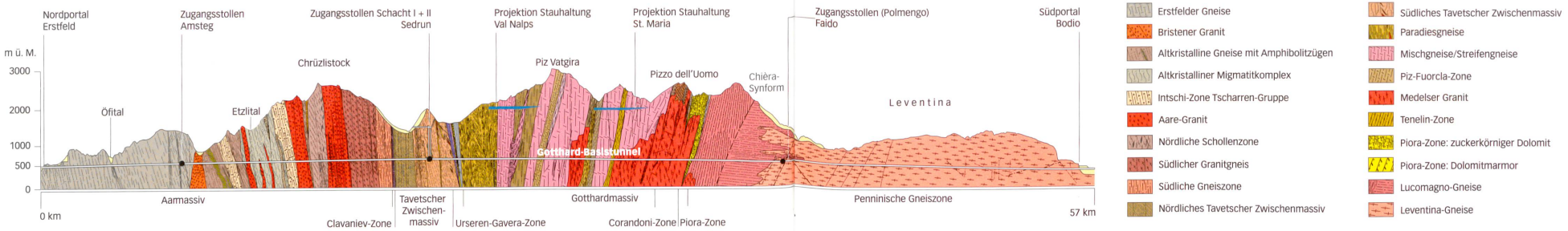
Sowohl die grossen Massive als auch ihre mehr oder weniger homogenen Gesteinsschichten sind in der Regel nicht scharf voneinander abgegrenzt. Infolge gegenseitiger Verschiebungen sind die Störungsbereiche durch zerschertes oder zerriebenes Gestein getrennt. Die Geologie bezeichnet diese teilweise wenig stabilen Grenzstrukturen als «tektonisch stark beansprucht». Einige dieser unterschiedlich ausgebildeten Störungszonen sind an der Erdoberfläche erkennbar und waren den Geologen schon bekannt. Andere Störungen hingegen wurden bei den Erkundungsbohrungen vor Baubeginn oder erst bei Sondierbohrungen während des Tunnelvortriebs entdeckt, was Projektanpassungen und Verzögerungen zur Folge hatte. Die Breite der Störungszonen schwankt auf GBT-Niveau zwischen einigen Dezimetern und einigen hundert Metern.

Es gibt auch Ausnahmen unter den Grenzbereichen, wie Projektgeologe Franz Keller schildert[1]: «Aus geologischer Sicht am erstaunlichsten ist die Tatsache, dass [...] jene Stelle, an der zwei grosse tektonische Einheiten – nämlich das Gotthardmassiv und das Tavetscher Zwischenmassiv – aneinander stossen, aus einer messerscharfen ungestörten Fuge besteht.» Das war aber die Ausnahme, denn Konzept, Detailprojektierung und besonders die Ausführung des GBT waren



Bohrkopf mit 10 m Durchmesser; die Rollenmeissel werden nach 16 Stunden ersetzt.

Foto: Keystone / LAIF / Thomas Ernsting



Geologisches Längenprofil des Gotthard-Basistunnels

Grafik: ATG

in wesentlichem Ausmass von den Störungszonen und den Massnahmen zu deren Beherrschung bestimmt.

Bautechnisch eher ein Vorteil war, dass eine grosse Anzahl unterschiedlicher Gesteinsschichten und Störungszonen ungefähr im rechten Winkel angefahren und durchörtert werden musste. Dadurch waren die Störungen dank vorauseilenden Sondierbohrungen überblickbar und beim Vortrieb relativ rasch durchfahrbar. Horizontale Schichten konnten hingegen, wenn sie von horizontal verlaufenden Störungen begleitet werden, ernsthafte und langwierige Hindernisse für einen Vortrieb der Tunnelbohrmaschine (TBM) sein. Bei Baubeginn waren 48 bautechnisch relevante Störzonen prognostiziert worden, von denen einige beim Vortrieb nicht angetroffen wurden. Im Gegenzug sind diverse unerwartete geologische Störungen eingetreten, sodass die effektive Anzahl deutlich grösser als die ursprüngliche Annahme gewesen sein dürfte. Im Folgenden werden drei repräsentative Beispiele von grossen Störungen sowie ihre Bewältigung näher beschrieben.

Tavetsch: nachgiebiger schwerer Einbau

Der nördliche Teil des Tavetscher Zwischenmassivs (TZM) ist eine unregelmässige Formation aus Schiefern, Phylliten und schiefrigen Gneisen. Seine geologische Erkundung erfolgte weitgehend im Vorfeld des Tunnelbaus. Der kritische Nordabschnitt ist 1150 m lang und weist eine Überlagerung von rund 800 m auf.

Seit den ersten Vorprojekten rechnete man mit grossen bautechnischen Schwierigkeiten aufgrund schwerer Druckerscheinungen in dieser Störungszone, weshalb neben diversen anderen Sondierbohrungen bereits 1997/98 eine 1750 m lange Schrägbohrung vom Talgrund bis unter Tunnelniveau abgeteuft wurde. Die Bohrungen zeigten auf, dass das Gebirge ein kleinräumiges Gemenge von weichen, duktil brechenden Gesteinen und harten, spröd brechenden Gesteinen ist – eine tunnelbautechnisch sehr anspruchsvolle Kombination. Von Anfang an war auch klar, dass ein zweispuriger Tunnelquerschnitt in einer derartigen Formation weder realisierbar noch stabilisierbar war und dass eine solche kritische Formation von einem nahe gelegenen Zwischenangriff aus angegangen werden musste, um nicht den gesamten Bau zu hemmen. So waren die Voruntersuchungen im TZM Nord mitentscheidend für das definitive Layout des GBT: zwei separate Röhren und ein Zwischenangriff mit Schacht bei Sedrun.

Wie aber sollte die kritische, 1150 m mächtige Zone in druckhaftem, mal weichem und duktilem, mal hartem und sprödem Gestein ausgebrochen und gesichert werden? Oder: Wie soll ein Tunnel gebohrt werden, wenn der frisch ausgebohrte Querschnitt sofort enger wird?[2] Ein vergleichbares Vorhaben war in der Schweiz in diesen Dimensionen noch nie angegangen worden. Diese als Konvergenz bezeichnete Phänomene wurden bislang erst an kleineren Ausbruchquerschnitten in anderen Gesteinen beobachtet und analysiert. Die Tunnelbautechnik berücksichtigt dazu zwei Bauprinzipien: das Widerstandsprinzip, bei dem der Tunnelquerschnitt so stark ausgebaut wird, dass er durch das Gebirge nicht zusammengedrückt werden kann. Diese Bauweise ist zuletzt in den 1990er-Jahren in Italien beim Bau der Transversalen durch den Apennin angewendet worden – respektive ist aus dem Kohlebergbau seit den 1930er-Jahren als Ausweichprinzip bekannt. Das Gebirge wird zusätzlich ausgebrochen, um mehr Raum zur Ausdehnung und zum Spannungsabbau zu schaffen.

In Vorversuchen zeigte sich bald, dass die Überlagerungshöhe im TZM von 800 m kombiniert mit dem grossen Ausbruchdurchmesser bis 13 m von einem Bauprinzip allein nicht bewältigbar war. Die Lösung brachte eine Verschmelzung beider Bauweisen – ein Novum im Tunnelbau: italienische Tunnelbauweise mit schwerem Ausbau für hohen Widerstand und deutsche Bergbaumethode mit Mehrausbruch und nachgiebiger Sicherung, um dem Gebirgsdruck auszuweichen. Der technische Aufwand stieg allerdings an: Radial wurden bis 70 cm mehr ausgebrochen, um die Konvergenz aufzufangen. Zudem wurden Anker für die Ortsbrustsicherung sowie nachgiebige, deformierbare und nachstellbare Stahlbögen zur Profilsicherung eingesetzt. Als weiteres Sicherungsmittel in diesem engen Raum wurde der mehrfach bewährte Spritzbetonausbau für die Felssicherung gewählt. So gelang es, die 1150 kritischen Meter vom Zwischenangriff Sedrun aus in Tagesschritten von über 1 m langsam, aber stetig zwischen Januar 2005 und November 2007 auszubrechen und zu sichern.

Piora: High Noon mit Happy End

Wie Aufschlüsse an der Erdoberfläche und erste tastende Sondierungen noch vor Projektierungsbeginn befürchten liessen, lauerte an der Grenze zwischen dem Gotthardmassiv und der Penninischen Gneiszone ein geologisches Ungeheuer auf die Tunnelbauer: Der einige hundert Meter mächtige Zwischenraum zwischen den Hauptformationen ist bis in eine unbekannte grosse Tiefe mit zuckerkörnigem Dolomit unter hohem Wasserdruck ausgefüllt. Die Gebirgsüberlagerung beträgt an dieser Stelle rund 1800 m. Die Befürchtung war daher, dass dies für den Tunnelbau ein fast unüberwindliches Hindernis darstellt. Um Klarheit über das effektive Gefährdungspotenzial der Pioramulde zu erhalten, wurde vor 20 Jahren ein Sondierstollen von der Lukmanierpassstrasse bis zur Mulde erstellt. Das damalige Ergebnis hätte beinahe das Aus für das GBT-Projekt bedeutet.

Der mit einer Tunnelbohrmaschine vorgetriebene, horizontal angelegte Sondierstollen mit 5 m Durchmesser lag jedoch rund 300 m höher als das Niveau des geplanten Basistunnels. Auf dieser Höhe ist die Pioramulde rund 200 m breit und tatsächlich mit zuckerkörnigen Dolomit und Wasser unter hohem Druck gefüllt. Das mussten die Tunnelbauer am 31. März 1996 schmerzhaft erfahren, als vor dem Anbohren der Mulde grosse Wasser- und Sandmengen in den Sondierstollen einbrachen. Der Einbruch konnte gestoppt werden, aber der Basistunnel schien infrage gestellt. Weil die Tunnelbauer nicht aufgeben wollten, erkundeten sie auch die tieferen Gebirgslagen in der Umgebung der Pioramulde mit vier Sondierbohrungen. Erst dadurch wurde der glückliche, unerwartete und das Projekt in der ursprünglichen Form rettende Umstand aufgedeckt: Unterhalb des Sondierstollenniveaus verengt sich die klaffende Störungszone nicht nur, sondern wird auch rund 50 m über dem GBT-Niveau mit einem sogenannten Gipshut, einer harten, wenige Meter dicken wasserdichten Schicht, verschlossen. Die Mulde erstreckt sich zwar weit unter das Niveau des Basistunnels; sie ist aber mit kompaktem, gut zu bearbeitendem Anydritgestein gefüllt und führt kein Wasser. Damit war die zeitweise zum Schreckgespenst hochstilisierte Pioramulde zum überblickbaren geotechnischen Hindernis geschrumpft. Die 26 Sondierbohrungen mit einer Gesamtlänge von rund 8300 m bis auf Tunnelniveau liessen eine rund 125 m lange Strecke erwarten, mit festem, trockenem und leicht zu bearbeitendem Dolomit-Anhydritgestein (Dolomitmarmor). Der problemlose TBM-Ausbruch dieses Abschnitts in nur zwei Wochen im Herbst 2008 konnte dies bestätigen.

MFS Faido: teure Überraschung

Vor dem Südportal verläuft der Tunnel durch wenig problematisch eingestuften Leventina-Gneis. Trotzdem sind beim Ausbruch der MFS Faido unerwartete und in ihrem Ausmass überraschende Störungszonen aufgefahren worden. Die Schichtung des Gesteins erwies sich als dermassen komplex und kleinräumig, dass die Befunde beim Ausbruch der ersten Röhre praktisch nicht auf die nachfolgende zweite Röhre im Abstand von rund 30 m übertragen werden konnten. Der Vortrieb nach dem Sprengverfahren war wegen der permanenten Gefahr von Niederbrüchen nur unter grössten Vorsichtsmassnahmen überhaupt möglich. Schliesslich wurde der widerspenstige zerklüftete Fels im Übergang vom Lucomagno- zum Leventina-Gneis, der entgegen den Prognosen genau durch die projektierte Multifunktionsstelle verlief, als zu grosses bautechnisches Risiko für den Ausbruch der Verzweigungskavernen mit bis zu 250 m² Querschnitt eingestuft. Die Lösung dieses Problems war die Verschiebung der grossen Kavernen für die Verzweigungen und Spurwechsel um rund 600 m nach Süden in den stabilen Leventina-Gneis, der keine aussergewöhnlichen Baumassnahmen erforderte. •

Daniela Dietsche, Redaktorin
Bauingenieurwesen / Verkehr, et al.

Anmerkungen

1 Franz Keller in: SIA-Dokumentation D 025, AlpTransit-Tagung 2005, S. 72.

2 In diesem druckhaften Gestein gibt es keine lineare Beziehung zwischen dem Ausbauwiderstand – der für die Erhaltung des Gleichgewichts zwischen Tunnelquerschnitt und gewachsenem Gebirge erforderlich ist – und der radialen Verschiebung, d. h. der Zunahme des ausgebrochenen Querschnitts.