

Die Geologie des Zugwald- und des Vereinatunnels

Autor(en): **Keller, Franz / Locher, Thomas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **112 (1994)**

Heft 44

PDF erstellt am: **15.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78546>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

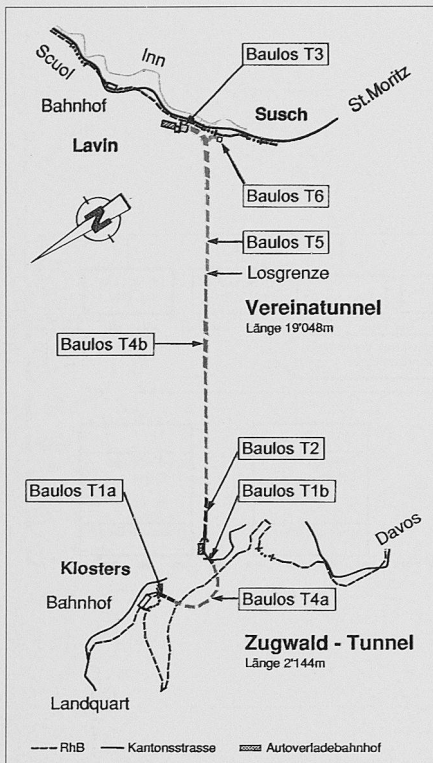


Bild 3. Loseinteilung für den Bau der Vereinalinie

Silvretadecke, erlauben die Aussage, dass der prognostizierte Durchschlag des Vereinatunnels im Jahre 1997 realistisch bleibt. Im Nordvortrieb des Vereinatunnels ist die Aroser Schuppenzone durchörtert worden. Die Mächtigkeit der Serpentine, die bedeutend grösser war als prognostiziert, hat eine Verspätung im Programm von rund sieben Monaten verursacht. Diese Verspätung wird aber praktisch durch den Vorsprung im Vortrieb Süd kompensiert. Der TBM-Vortrieb im Zugwaldtunnel musste äusserst schlechte Zonen, zum Teil Lockergestein, durchfahren. Die Verhältnisse haben sich später aber markant gebessert, so dass der Durchschlag des Zugwaldtunnels im Herbst 1994 erwartet wird. Die TBM wird rechtzeitig für die Aufnahme der Arbeit im Vortrieb Nord zur Verfügung stehen.

Adresse des Verfassers: P. Könz, dipl. Bauing. ETH/SIA, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Bellerivestrasse 36, 8034 Zürich

Beteiligte Hauptunternehmungen

Baulose T1a, T1b, T2

Arge Walo Bertschinger AG
Kopp AG
Schafir & Mugglin AG
H.R. Schmalz
Theiler & Kalbermatter AG

Baulos T3

A. Pitsch AG

Baulose T4a, T4b

Stuag Tunnel AG
Ed. Züblin & Cie AG
Frutiger Bauunternehmung AG
Jäger Baugesellschaft mbH
Bordoli Mario

Baulos T5

Zschokke Chur AG
G. Lazzarini & Co. AG
Murer S.A.
CSC Bauunternehmung AG
Torno Thusis SA
Bezzola & Cie. AG
Hch. Mettler Söhne

Die Geologie des Zugwald- und des Vereinatunnels

Nachdem an der FGU-Tagung 1993 in Davos erstmals über die geologischen Verhältnisse im Bereich der Vereinalinie berichtet wurde (SIA-Dokumentation DO 113) und in der Zwischenzeit weitere Strecken aufgefahen worden sind, wird im folgenden nach einer Übersicht über die geologisch-tektonischen Verhältnisse im Bereich der Tunnels auch auf erste Befunde und die speziellen Prognoseprobleme beim vorliegenden Projekt eingegangen.

Geologisch-tektonische Verhältnisse

Die mit den beiden Tunnellosen zu durchfahrenden tektonischen Einheiten sind aus dem Bild 1 ersichtlich.

VON FRANZ KELLER, SARGANS,
UND THOMAS LOCHER,
ZÜRICH

Während die penninischen Prättigauschiefer und die beiden sich teilweise vertretenden und westlich von Klosters ausdünnenden Einheiten der Falknis- und Sulzfluh-Decke gesamthaft eine untergeordnete Rolle spielen, wird auf

zwei tektonische Einheiten näher eingegangen. Erstens auf die Aroser Schuppenzone, welche vor allem geotechnisch eine Schlüsselrolle einnimmt, und zweitens auf das Silvretta-Kristallin, das den Hauptanteil der mit dem Vereinatunnel zu durchörternden Strecke ausmacht (Bild 2).

Die Aroser Schuppenzone

Sie wurde in der Kreide, das heisst in einer frühen Phase der alpinen Gebirgsbildung im Bereich einer Subduktionszone angelegt und zwar am aktiven Kontinentalrand am Südufer der Tethys. Sie blieb während der ganzen folgenden Alpenbildung tektonisch aktiv. Bereits in der ersten Phase entstand in

der Fuge zwischen der kontinentalen Platte im Süden und der unter dieser abtauchenden ozeanischen Platte ein sogenanntes Subduktionsmélange, das heisst ein tektonisches Gemenge verschiedenartigster Gesteinstypen wie beispielsweise den Flyschmassen, die im Tiefseegraben vor dem Kontinentalrand entstanden (Akkretionskeil), oder den Ophiolithen, die für die neugebildete ozeanische Kruste typisch sind.

Daneben kommen auch die abgeschürften Sedimente der abtauchenden Platte und kristalline Späne der überliegenden kontinentalen Kruste (Ostalpin) in diesem Mélange vor. Beim weiteren Vorschub der ostalpinen Decken, die im Rheintal auf der Höhe des Fürstentums bekanntlich bis nahe an das am Nordufer der Tethys abgelagerte Helvetikum reichen, wurde die unter der Schubbahn liegende inkompetente Aroser Schuppenzone zusätzlich zerschert.

Das Resultat dieser Vorgänge ist ein Gemenge von tektonisch stark beanspruchten Gesteinspaketen, die aus unterschiedlichen Sedimentationsräumen stammen und deren Grössen von handstückgrossen Linsen bis zu Teildecken mit mehreren km³ Inhalt reichen.

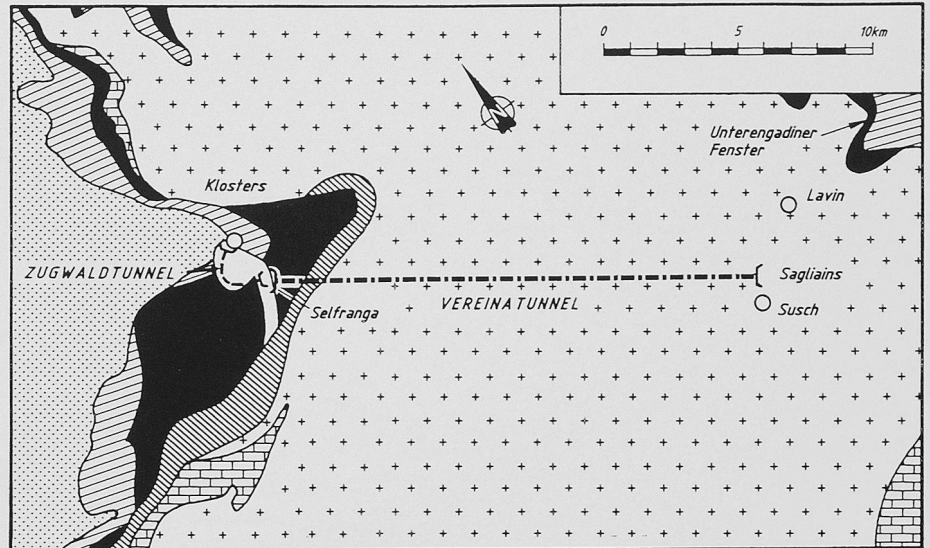
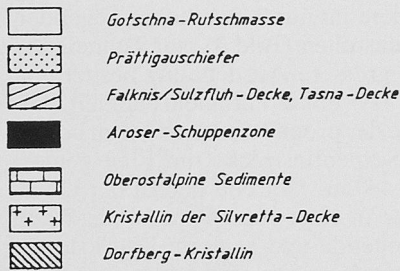


Bild 1. Tektonische Übersicht

Kristallin der Silvretta-Decke

Die Silvretta-Decke wurde als unverfaltete, relativ starre Kristallinmasse mitsamt den auflagernden oberostalpinen Sedimenten überschoben (Schubdecke, traîneau écraseur).

Beim Silvretta-Kristallin handelt es sich um polymetamorphes Altkristallin, das seine heutige Ausbildung im wesentlichen während der variszischen Gebirgsbildung erhielt, aber bereits vorher mindestens zwei weitere Gebirgsbildungen durchlief. Charakteristisch für das Silvretta-Kristallin sind der steilachsige Schlingenbau und der relativ hohe, rund ein Drittel betragende Anteil an Amphiboliten. Der Einfluss der alpinen Metamorphose ist sehr gering (schwache Epimetamorphose im Bereich des Engadiner Fensters). Die beim Tunnelvortrieb zu erwartenden Gesteine sind aus Bild 2 ersichtlich.

Bisheriger Befund im Baulos T2 (3- und 2-Spur-Strecke ab Selfranga)

Das Tunnelbaulos T2 setzt in Gesteinen der Aroser Schuppenzone an, die geotechnisch vorwiegend als ungünstig einzustufen sind. Im Bereich des weitgespannten Gewölbes der 3-Spur-Strecke war die Geologie deshalb mit drei Sondierbohrungen, im Portalbereich zusätzlich auch seismisch und mit Baggerschlitzen erkundet worden (Bild 3). Ergänzende Informationen über die geologischen Verhältnisse im Bereich der 2-Spur-Strecke lieferte der Befund im Druckstollen Davos-Klosters. Oberflächenaufschlüsse sind in der steilen Flanke bis etwa oberhalb von Tm 700 vorhanden. Im nördlich des Tunnels gelegenen Talabschnitt Klosters-Monbiel sind jedoch die Gesteine der Aroser Schuppenzone nur sehr spärlich aufge-

schlossen. Um in der Prognose das geotechnische Risiko beim Durchfahren der ungünstigen Gesteine der Aroser Schuppenzone abzudecken, wurde ein relativ flacher Grenzverlauf zwischen Aroser Schuppenzone und Dorfberg-Kristallin angenommen.

Gleich zu Beginn des bergmännischen Vortriebes wurde ein Mélange freigelegt, das aus einer Dolomitlinse, triadischen Schiefern, Verrucano und Flysch-schiefern bestand. Anschliessend durchfuhr der Tunnel, wie aufgrund der Bohrungen zu erwarten war, roten Verrucano und Flysch. Dass diese Flyschmasse ebenfalls tektonisch verschuppt ist, zeigt die bei Tm 800 angetroffene Linse aus Gips der Trias. Bei Tm 1015 schnitt der Tunnel im rechten Parament früher als erwartet Serpentin an, der, in völliger Abweichung von den Aufschlüssen an der Oberfläche und insbe-

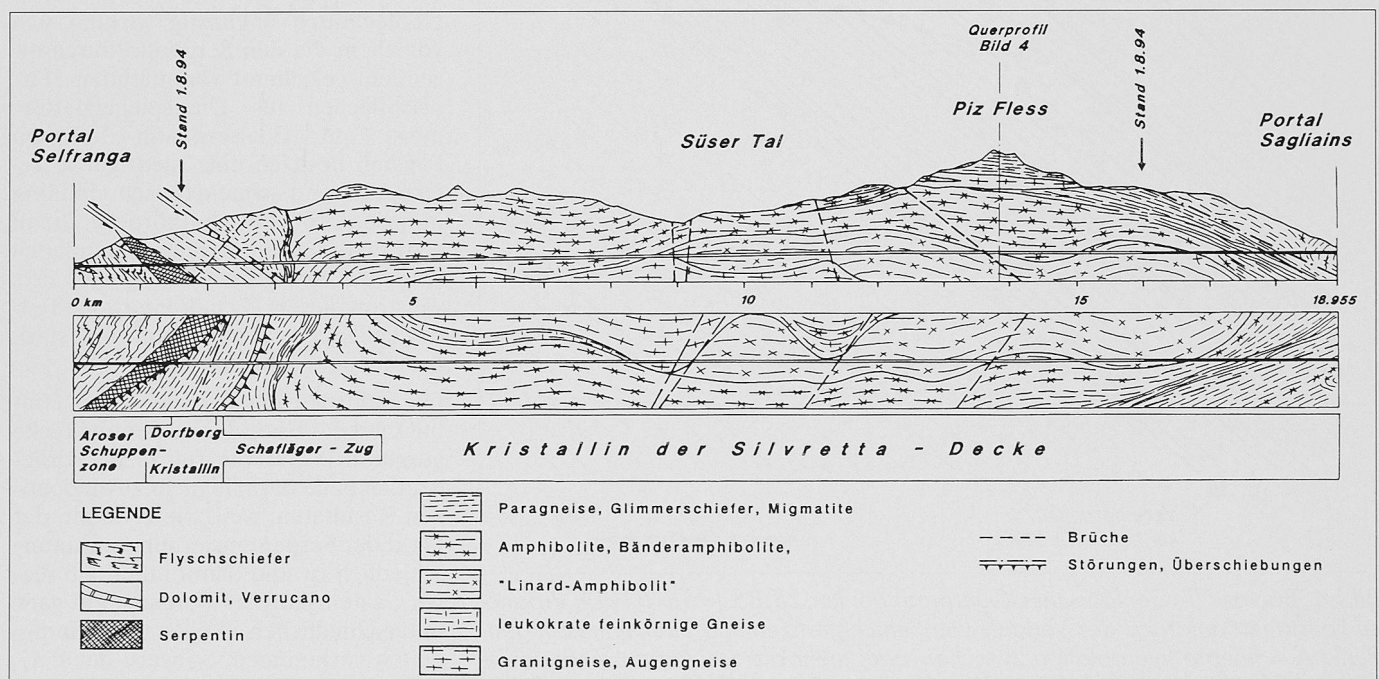


Bild 2. Geologie Vereinatunnel; Profil und Horizontalschnitt

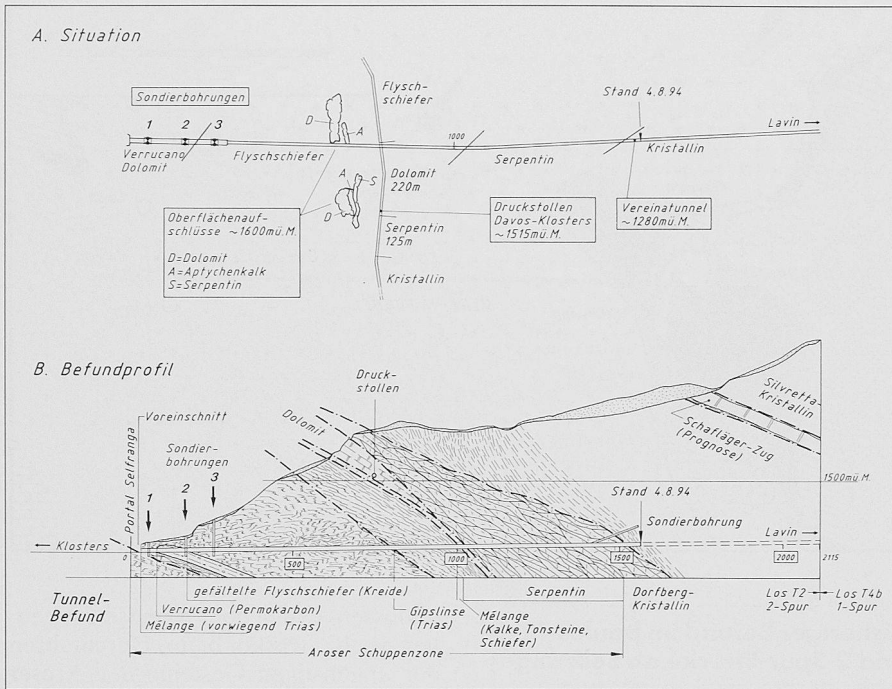


Bild 3. Baulos T2, 2-Spur-Strecke Selfranga

A. Situation mit Sondierungen, wesentlichen Oberflächenaufschlüssen und Aufschlüssen im Druckstollen Davos-Klosters sowie Gesteinsgrenzen im Tunnel
 B. Geologisches Befundprofil, Stand 4. August 1994

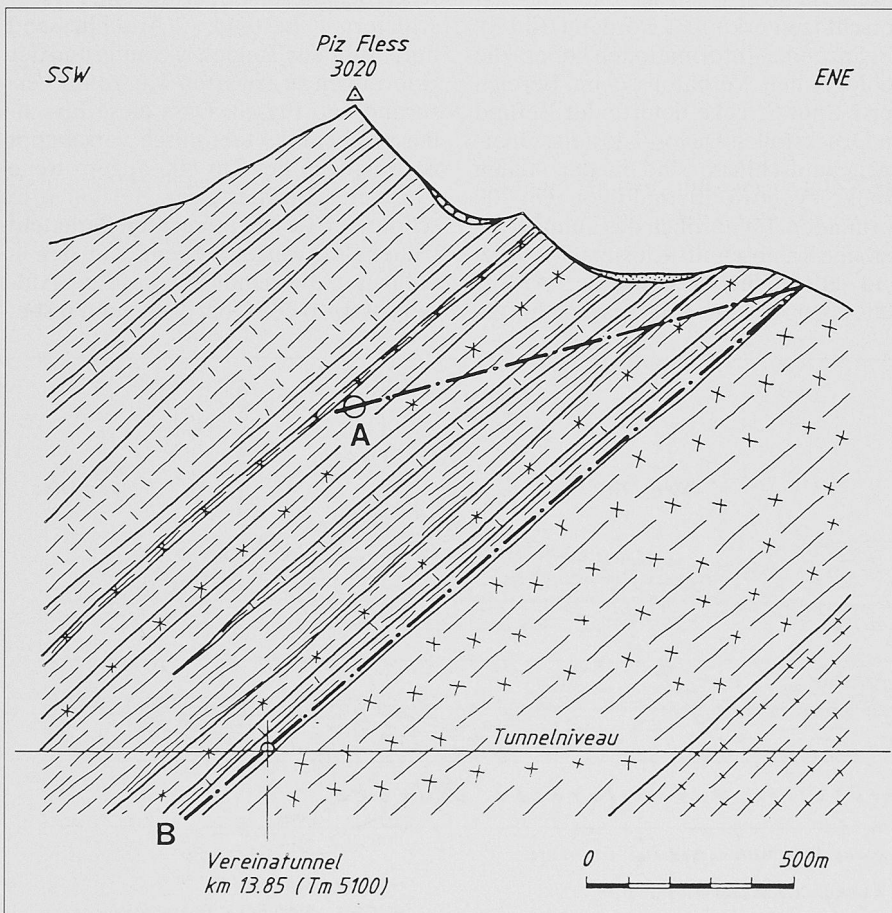


Bild 4. Baulos T5, Geologisches Querprofil bei km 13,85 (= Tm 5100); Prognose konstruiert aufgrund des Verlaufs von Schichtgrenzen und Strukturmessungen. Punkt A = lineare Interpolation zwischen zwei mehr als drei km auseinanderliegenden Oberflächenaufschlüssen. Punkt B = Extrapolation Gefügemessung (Schieferung). Signaturen analog Bild 2

sondere im nur 220 m höher liegenden Druckstollen (Bild 3), auf Tunnelhöhe eine grössere Ausdehnung besitzt und bis 1519 (linkes Parament) anhielt. Anstelle der prognostizierten 145 m betrug die Serpentinestrecke, im First gemessen, 480 m, während der an der Oberfläche in einer rund 50 m hohen Wand anstehende und auch im Druckstollen angetroffene Dolomit fehlt.

Da der Serpentin mit einem hohen Aufwand durchfahren werden musste (siehe Artikel Amberg), soll auf dieses Gestein näher eingegangen werden.

Ein Gürtel von Ophiolithen, zu denen der Serpentin gehört, zieht sich von Klosters/Davos über Arosa und das Oberhalbstein bis ins Engadin. Ein ausgedehntes Vorkommen in der näheren Umgebung des Vereinattunnels, der sogenannte Totalserpentin bei Davos wurde von T. Peters (1963) im Rahmen seiner Dissertation untersucht. Der Totalserpentin dehnt sich über mehr als 4 km² aus und ist mindestens 600 m mächtig. Die östlich anschliessenden Serpentinaufschlüsse bei Klosters beschrieb Gees (1954).

Der bei Klosters und im Tunnel vorkommende Serpentin ist petrographisch ein serpentinierter Peridotit, das heisst ein Gestein, das ursprünglich aus den Hauptgemengteilen Olivin und Pyroxen bestand und in unterschiedlichem Ausmass und selektiv in Serpentin umgewandelt wurden. Der Tunnelvortrieb traf deshalb neben blockig geklüfteten Bereichen mit grobkörnigem, wenig serpentiniertem Peridotit auch auf stark zerschnittene Bereiche, in denen nahezu ausschliesslich Serpentinminerale vorkommen (Serpentinite).

Geotechnisch ungünstig wirkten sich vor allem die den Serpentin durchsetzenden, gekrümmt verlaufenden Harnischflächen aus. Die spiegelglatten, meist mit Edelserpentin belegten Flächen besitzen eine niedrige Scherfestigkeit und schneiden sich vielfältig in linsenförmigen Klüftkörpern, die in stark zersetzten Bereichen nur noch Kies- bis Steingrösse haben. Der Fels weist aus diesem Grunde eine hohe Teilbeweglichkeit auf und verhält sich stark gebräuch und druckhaft.

Die während des Vortriebes im Hinblick auf das Ende der Serpentinestrecke ausgeführte Seismik führte im vorliegenden Falle deshalb nicht zu eindeutigen Resultaten, weil, wie erwähnt, der Grad der Serpentinisierung sehr unterschiedlich ist und damit innerhalb dieses Gesteinskörpers Bereiche mit ganz unterschiedlichen Wellengeschwindigkeiten vorkommen. So weist der Peridotit als sehr dichtes, auch im Erdmantel vorkommendes Gestein, sehr hohe

Wellengeschwindigkeiten auf. Um die Seismik zu verifizieren, wurde deshalb bei Tm 1410 eine Schlagbohrung vorge-
trieben (Bild 3).

Bei der Serpentinstrecke ist die Abweichung zwischen Befund und Prognose auf die für dieses Gestein typische Linsenform zurückzuführen. Wie schwierig Serpentinorkommen zu prognostizieren sind, geht beispielsweise daraus hervor, dass einerseits im letzten Jahrhundert der Gotthard-Bahntunnel im Gotthardmassiv bei völligem Fehlen entsprechender Oberflächenaufschlüsse 440 m Serpentin durchörterte, während im nur 2 km entfernten Strassentunnel trotz eines oberflächlichen Serpentinorkommens lediglich unbedeutende Linsen aus Serpentin angetroffen wurden.

Zur Prognostizierbarkeit der Aroser Schuppenzone

Es stellt sich die Frage, was überhaupt bei einem Mélange wie jenem der Aroser Schuppenzone in einem derart schlecht aufgeschlossenen Gebiet vorhersagbar ist, respektive mit welchen Mitteln die Prognose allenfalls verbessert werden könnte. Wir kennen zwar die in der Aroser Schuppenzone vorkommenden Gesteinstypen und deren geotechnische Eigenschaften. Die Tatsache, dass Linsen und Gesteinspakete jeder Grössenordnung miteinander verschuppt sind, macht es jedoch vor allem in Bereichen mit einem kleinräumigen Mélange schwer vorherzusagen, welcher Gesteinstyp bei welchem Tunnelmeter zu erwarten ist. In einem solchen Falle trägt auch eine Vielzahl von Bohrungen nicht zu einer Klärung der Verhältnisse bei, wie die für die kantonale Umfahrungsstrasse ausgeführten Sondierungen zeigen.

Sicherheit würde einzig der Vortrieb eines Sondierstollens schaffen. Abgesehen von den hohen, zeitlich noch vor der Ausschreibung zu erbringenden Kosten waren Sondierstollen im Falle der Vereinalinie aus folgenden Gründen nicht sinnvoll:

- beim Zugwaldtunnel ist das Querschnittsverhältnis zwischen Stollen und Einspurtunnel von 7,6 m Durchmesser zu klein;
- beim Vereinatunnel war die Dreispurstrecke mit den drei Bohrungen genügend erschlossen. In der folgenden Zweispurstrecke würde in schlechten Zonen das Gebirge durch einen Stollenausbruch innerhalb des Tunnelprofils gestört und aufgelockert, so dass der Nutzen im Endeffekt zu gering wäre.

Sinnvoller ist, wie R. Amberg (1994) dargelegt hat, eine Abdeckung des geo-

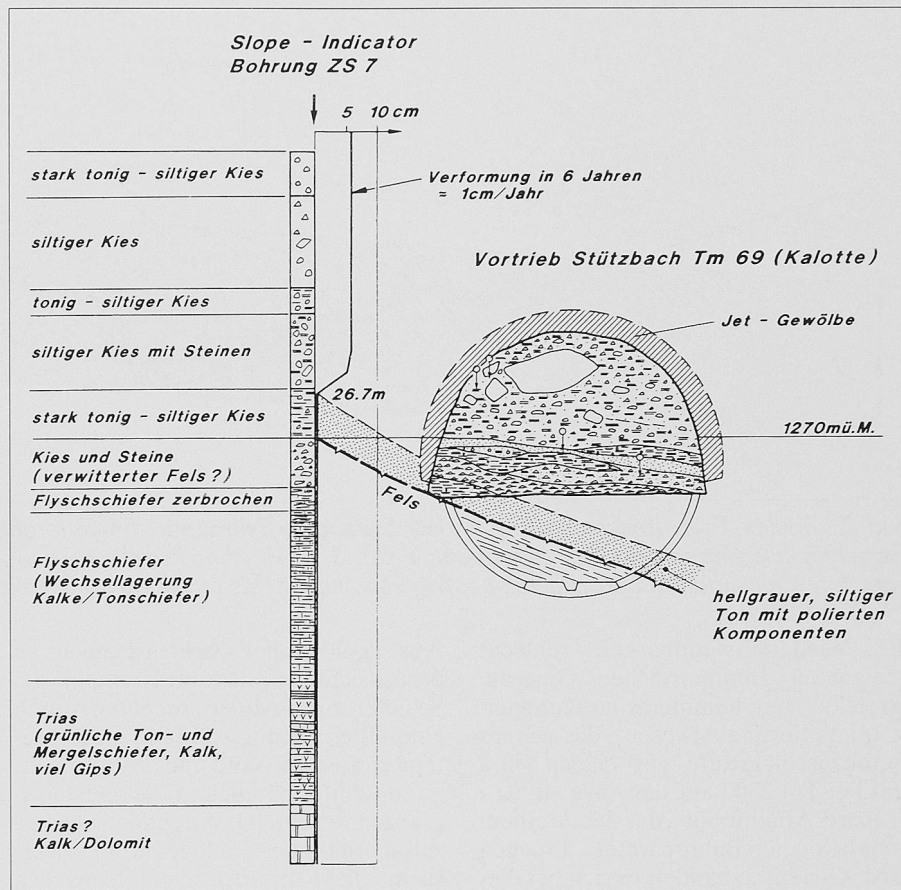


Bild 5. Diagramm der Abweichung des Schnittpunktes einer extrapolierten Strukturmessung mit dem Tunnel, in Abhängigkeit vom Schnittwinkel ϕ zwischen Profilrichtung und Streichrichtung bezogen auf 100 m Vertikalabstand bei einem Messfehler des Fallwinkels α von $\pm 5^\circ$

logischen Risikos mit einer genügenden zeitlichen und finanziellen Reserve.

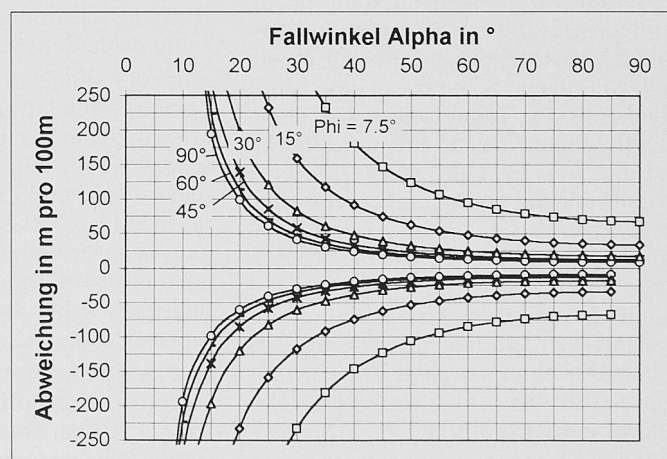
Baulos T5 (Vortrieb Sagliains)

Das Baulos T5 liegt vollständig im Silvretta-Kristallin. Zu durchörtern ist ein Spektrum von Gesteinen, das Glimmerschiefer, mesokrate Zweiglimmergneise (Paragneise), Amphibolite und möglicherweise Granitgneise umfasst. Als eher ungünstig ist der spitze Schnittwinkel zwischen der Schieferung als Haupttrennflächensystem und der

Tunnelachse zu werten (Horizontalschnitt in Bild 2). Über weite Strecken beträgt der mittlere Einfall gegen Süden 40 bis 60°.

Die allgemeinen geologischen und geotechnischen Verhältnisse sind somit bei diesem Los recht gut bekannt. Wenn sich trotzdem ein Prognoseproblem stellt, so deshalb, weil die Materialbewirtschaftung, das heisst das Problem Deponie - Wiederverwertung beim heutigen Tunnelbau einen immer grösseren Stellenwert erhält. Der Tunnelvortrieb begann in einem Paragneiszug mit für

Bild 6. Zugwaldtunnel Baulos T 1b (Vortrieb Stützbach/Selfranga) Profil durch Sondierbohrung mit Verschiebungsmessungen und geologischer Befund bei Tm 69



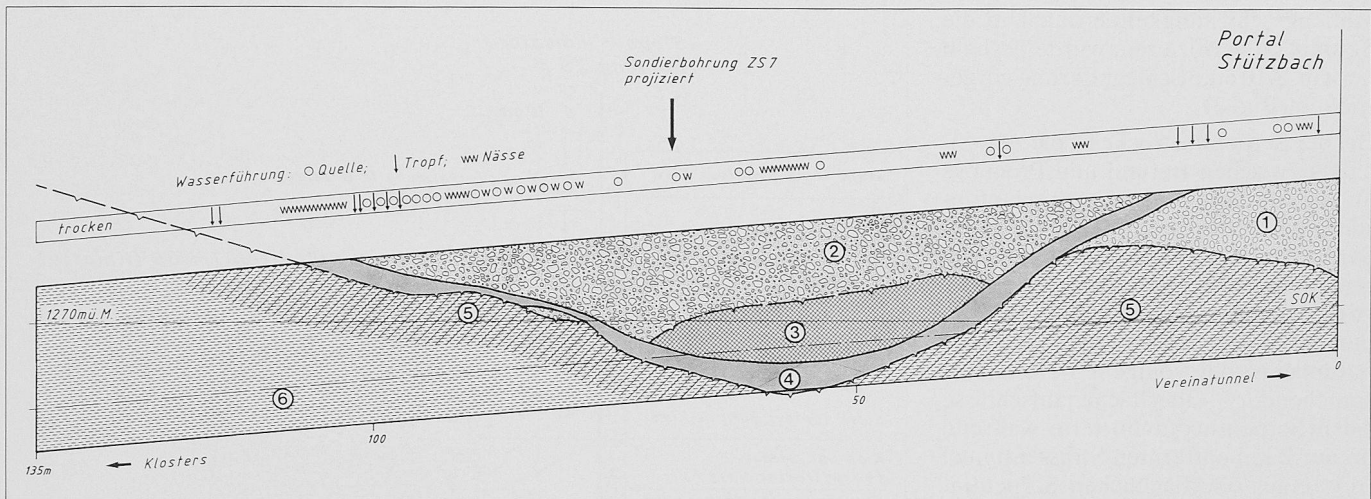


Bild 7. Baulos T 1b (Lockergesteinsvortrieb Stützbach/Selfranga), Befundprofil; 1 = Lockergestein (fluvioglazial); 2 = Gotschna-Rutschmasse (fluvioglaziale Sedimente); 3 = Gotschna-Rutschmasse (abgeschürftes Felspaket); 4 = hellgrauer siltiger Ton = mutmassliche Basisgleitzone; 5 = verwitterter Fels (vorwiegend Schiefer); 6 = gesunder Fels (Schiefer)

die Wiederverwendbarkeit schlecht geeigneten glimmerreichen Gneisen, erreichte dann glimmerarme Paragneise (metamorphe Arkosen), die sich als Betonzuschlagstoffe gut eignen, und traf bei Tm 2300 auf den sogenannten «Linard-Amphibolit», der sich zu einem erstklassigen Bahnschotter brechen lässt. Genetisch handelt es sich bei diesem Plagioklas-Amphibolit, in dem der Vortrieb zur Zeit immer noch steckt, um ein ursprünglich plutonisches Gestein von dioritischer bis quarzdioritischer Zusammensetzung.

Für den Ingenieur ist es aufgrund der guten Wiederverwertungsmöglichkeiten von grosser Bedeutung, ob der Tunnel weiter in diesem Gestein bleibt oder nicht. Unglücklicherweise verläuft das Trasse durch die Randzone dieses Gesteinskörpers, dessen Grenze leicht unduliert.

Wie genau kann eine oberflächliche Strukturmessung überhaupt extrapoliert werden? Wird von einem mittleren Messfehler von $\pm 5^\circ$ ausgegangen, so ergeben sich für verschiedene Schnittwinkel zwischen Profil und gemessenem Streichen in Abhängigkeit vom Fallwinkel die im Diagramm (Bild 5) dargestellten Streuungen im Längsprofil. Im Falle des Loses T5 beträgt das Einfallen vorwiegend rund 50° bei einem spitzwinkligen Schneiden des Streichens mit der Tunnelachse. Für einen Schnittwinkel von 15° und eine Überlagerung von 1000 m ergibt sich eine Streubreite des Grenzpunktes von +620 m bis -540 m, bei einem Schnittwinkel von $7,5^\circ$ sogar von +1230 m bis -1065 m oder rund ± 1 km. Die Prognose kann somit für eine reine Extrapolation angesichts der vorliegenden geometrischen Beziehungen gar nicht genauer sein als die oberen auf den reinen Messfehler zurückzuführenden Streubreiten!

Aus geologischer Sicht ist noch zu berücksichtigen, dass im Kristallin die Schieferung (= Mineralregelung) durch eine Überprägung während einer Metamorphose entstand und deshalb nicht zwangsläufig parallel zu den Gesteinsgrenzen verläuft. Das zuverlässigste Resultat erhält der Geologe, wenn er versucht, die Körperform mit Isohypsen der Grenzfläche zu modellieren, was allerdings genügende Intersektionen mit dem Gelände voraussetzt. Wird so vorgegangen, so besteht die berechtigte Hoffnung, dass der Linard-Amphibolit über eine längere Strecke im Tunnel verbleibt. Die reine Interpolation zwischen weit auseinanderliegenden Punkten (Punkt A in Bild 4) ergibt allerdings ein zu optimistisches Bild.

Baulos T1, Lockergesteinsstrecken Zugwaldtunnel

Der ganze Hang über dem Zugwaldtunnel ist von Lockergestein bedeckt, das sich in Bewegung befindet (Gotschna-Rutschmasse). Messungen in Slope- und Trivec-Messrohren ergaben, dass eine Basisgleitung mit einer Rutschgeschwindigkeit von rund 1 cm/Jahr vorhanden ist.

Auf der Seite Klosters betrug die Lockergesteinsstrecke 250 m. Durchörtet wurde ein kiesig steiniger Schutt mit unterschiedlichem Feinanteil, der zwischen Tm 50 und Tm 100 reichlich grosse Felssturzböcke führte. Die Basisgleitfläche konnte nicht direkt beobachtet werden. Indizien sprechen dafür, dass sie zwischen Tm 170 und 185 durchfahren wurde.

Auf der Seite Stützbach/Selfranga befindet sich die Bohrung ZS 7 unmittelbar neben dem Tunnel (Bild 6). Die Deformationsmessungen ergaben, dass die

Literatur

Amberg R.: Die Bewältigung unvorhergesehener geologisch schwieriger Zonen aus der Sicht des Ingenieurs und Bauleiters. Tagungsband 2. Europäisches Symposium für Tunnelbau (1994)

Gees R.A.: Geologie von Klosters. Diss. Universität Bern (1954)

Keller F.: Geologie des Zugwald- und Vereinatunnels. FGU-Studentagung vom 14./15. Oktober 1993. SIA Dokumentation D 0113 (1993)

Maggetti M., Flisch M., Bollin R.: Bericht über die Exkursion der Schweiz. Mineralogischen und Petrographischen Gesellschaft ins Silvretta-Kristallin und in den Westrand des Engadiner Fensters vom 11.-14. September 1989. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 70, 121-157 (1990)

Peters Tj.: Mineralogie und Petrographie des Totalp-Serpentins bei Davos. Diss. Universität Bern (1963)

Streckeisen A., Grauert B., Peters Tj.: Bericht über die Exkursion der Schweiz. Mineralogischen und Petrographischen Gesellschaft ins Silvretta-Kristallin und in den Totalp-Serpentin vom 26.-29. September 1966. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 46, 704-722 (1966)

Gleitfläche in 26,7 m Tiefe liegt. Im Tunnel entspricht ein hellgrauer, zähplastischer, siltiger Ton mit polierten Komponenten der Gleitzone in der Bohrung. Wie das Befundprofil (Bild 7) zeigt, durchschneidet die Basisgleitzone den Tunnel nicht vollständig, sondern steigt gegen aussen wieder an. Dieses Aufstossen der Basisgleitfläche im Fussbereich der Rutschmasse ist durch Messungen in Trivec-Messrohren bestätigt worden.

Adressen der Verfasser: F. Keller, Dr. phil. II, Geologe, Büro Dr. M. Kobel + Partner AG, Grossfeldstrasse 78, 7320 Sargans. Th. Locher, Dr. phil. II, Geologe, Hegarstrasse 22, 8032 Zürich