Vorerkundung und Prognose der Basistunnels, Löw & Wyss Hrsg. ©1999 Balkema, Rotterdam. ISBN 90 5410 480 5

Geologisch-geotechnische Verhältnisse im Zugangsstollen Sedrun (Tavetscher Zwischenmassiv)

P. Guntli & P. Berchtold
Sieber Cassina + Handke AG, Untere Gasse 1, CH-7000 Chur

ZUSAMMENFASSUNG: Für den Bau des Gotthard-Basistunnels wird ab Sedrun, Graubünden, ein Zwischenangriff aufgefahren. Dieser umfasst einen Zugangs- und Entlüftungsstollen sowie einen Schacht auf die Achse des Basistunnels, von wo je zwei Vortriebe gegen Norden bzw. gegen Süden erfolgen. Die Geologie des Zugangs- und Entlüftungsstollens wurde detailliert aufgenommen. Dadurch wurden die Grundlagen für eine günstige Plazierung des Vertikalschachtes sowie für die Verfeinerung der geologischen Prognose des Basistunnels im Abschnitt Tavetscher Zwischenmassiv Süd geschaffen.

ABSTRACT: For construction of the Gotthard Base Tunnel, an intermediate point-of-attack starts at Sedrun, Graubünden. This includes an inclined ventilation shaft and an access tunnel to the head of a vertical shaft leading to the axis of the Base Tunnel, from which point, excavation will proceed towards the north and towards the south. Detailed geological investigations of the access tunnel and ventilation shaft provided the basis for a favourable positioning of the vertical shaft and allowed a refined forecast of the geology of the Base Tunnel in the region of the southern Tavetsch massif.

RESUME: Pour accélérer la construction du tunnel de base du Gothard, des forages intermédiaires sont prévus à la hauteur de Sedrun (Graubünden). Ceux-ci comprennent le percement d'une galerie d'accès et d'aération ainsi que le forage d'un puit vertical jusqu'au niveau du tunnel de base. A partir de là, deux galeries seront creusées en direction du nord et du sud. La géologie des galeries d'accès et d'aération a été étudiée en détail afin de choisir l'endroit ideal pour creuser le puit vertical ainsi que pour affiner les projection géologiques dans la zone sud du massif de Tavetsch.

1 EINLEITUNG

1.1 *Allgemeine Einführung zum Bauwerk*

Für den Bau des 57 km langen Gotthard-Basistunnels sind neben den Vortrieben ab den Portalen Erstfeld und Bodio die drei Zwischenangriffe Amsteg, Sedrun und Faido vorgesehen. Mit dem Bau des Zwischenangriffes Sedrun wurde im Sommer 1996 begonnen.

Das Portal zu den Untertagebauwerken des Zwischenangriffes Sedrun befindet sich unmittelbar südlich des Vorderrheins auf Gebiet von Sedrun (Gemeinde Tujetsch, Schweiz) auf einer Höhe von 1335.5 m ü.M. Der Zugang zum Basistunnel erfolgt ab Portal Sedrun über einen ungefähr N-S verlaufenden Zugangsstollen (1 km) und dann über einen 784 m tiefen Vertikalschacht. Ab Schachtfuss werden sowohl in nördlicher als auch in südlicher Richtung je zwei Tunnelvortriebe aufgefahren sowie Kavernen für eine Multifunktionsstelle (Kreuzungs-, Nothaltestelle, Entlüftung) ausgebrochen. Der Zwischenangriff Sedrun dient später via den Schrägschacht ins Val Nalps (400 m) der Entlüftung des Basistunnels.

Im vorliegenden Bericht werden Resultate der geologischen Aufzeichnungen aus dem Zugangsstollen und seiner Fortsetzung, dem Entlüftungsstollen und -schrägschacht Val Nalps, vorgestellt.

1.2 *Regionaltektonische Übersicht*

Der Gotthard Basistunnel wird im wesentlichen alpin überprägtes, voralpines Grundgebirge der penninischen Gneiszone, des Gotthardmassivs, des Tavetscher Zwischenmassivs sowie des Aarmassivs durchqueren. Diese Kristallineinheiten werden getrennt durch mesozoische und z.T. jungpaläozoische Sedimentzüge der Piora-Zone, der Garvera-Zone sowie der Clavaniev-Zone, welche strukturell als westliche Fortsetzung der mesozoischen Disentiser-Zone gilt. Für eine detailliertere Beschreibung der erwähnten Einheiten sei auf die entsprechenden Beiträge in diesem Band verwiesen.

Der Zugangsstollen mit der Schachtkopfkaverne und seine Fortsetzung, der Entlüftungsstollen und -schrägschacht Val Nalps, sowie der Schacht Sedrun liegen im Tavetscher Zwischenmassiv. Das Tavetscher Zwischenmassiv kann sowohl tektonisch als auch bautechnisch in zwei unterschiedliche Einheiten unterteilt werden:

- in ein nördlich gelegenes, alpin stark bis extrem duktil und später sprödtektonisch beanspruchtes und dabei verschiefertes bzw. kakiritisiertes Nördliches Tavetscher Zwischenmassivs (TZM N), und
- in ein alpin vorwiegend duktil beanspruchtes, von Gneisen und Schiefergneisen dominiertes Südliches Tavetscher Zwischenmassiv (TZM S).

Der Zwischenangriff Sedrun wurde in den südlichen Bereichen des Tavetscher Zwischenmassivs positioniert. Er liegt damit in einem bautechnisch günstigen Bereich, von welchem zwei nahegelegene, als schwierig eingestufte Abschnitte des Gotthard Basistunnels in Angriff genommen werden können. Dies sind namentlich die nördlichen Teile des Tavetscher Zwischenmassivs und die Clavaniev-Zone gegen Norden sowie die Urseren-Garvera-Zone im Süden.

1.3 *Bisherige Untersuchungen Sedrun*

Die Kenntnisse zu den Gesteinen des Tavetscher Zwischenmassiv, deren Metamorphoseentwicklung sowie Mineralogie beruhen auf den Arbeiten u.a. von Niggli (1944), Jäger et al. (1967), Kramers (1973) sowie aus jüngerer Zeit Biino (1994).

Im Rahmen der geologischen Untersuchungen zum Gotthard Basistunnel wurden Detailkartierungen entlang der Tunnelachse (Schneider 1993) sowie mehrere Sondierbohrungen im Bereich des TZM N bzw. TZM S (Schneider 1998a) ausgeführt. Die Arbeiten im nördlichen Tavetscher Zwischenmassiv werden im Beitrag von Y. Bonanomi in diesem Band dargelegt.

1.4 *Ziel der geologischen Aufnahmen im Zugangsstollen Sedrun*

Die im Zugangsstollen und im Entlüftungsstollen/ -schrägschacht vorgefundene Geologie wird beim vorherrschenden steilen Einfallen der Serien des Tavetscher Zwischenmassivs ca. 800 m tiefer bei den Vortrieben des Gotthard Basistunnels und beim Bau der Multifunktionstelle im Bereich des Schachtfuss noch mehrfach angetroffen. Die bisherige geologische Prognose für diese Bauwerke beruhte in erster Linie auf einer Extrapolation von Oberflächenbefunden und auf den Erkenntnissen der Sondierbohrung SB 4.1 (Schneider 1998a). Die Ziele der detaillierten Aufnahmen im Zugangsstollen wurden aus ingenieurgeologischer Sicht definiert. Es sollten vor allem bautechnisch relevanten Informationen ins Zentrum gerückt werden. Die besondere Zielsetzung war die Erarbeitung von Grundlagen für die Wahl des günstigsten Schachtstandortes. Die neuen Informationen aus dem Zugangsstollen sollten zudem eine Verfeinerung und Überprüfung der ingenieurgeologischen Prognose für den Basistunnel im Bereich Tavetscher Zwischenmassiv Süd ermöglichen.

2 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

2.1 *Petrographische Verhältnisse*

Der Zugangsstollen und seine Fortsetzung, der Entlüftungsstollen, quert über eine Gesamtlänge von 1464 m ausschliesslich kristalline Gesteinsserien (vgl. Fig. 1 Zitat Schneider, dieser Band, Planbeilage 3), welche sich grob in folgende Gesteinstypen unterteilen lassen:

- Paragneise,
- Serizitschiefer und -phyllite,
- Pegmatite,
- Metaignimbrite,
- Metaultrabasische Linsen,
- Kakirite.

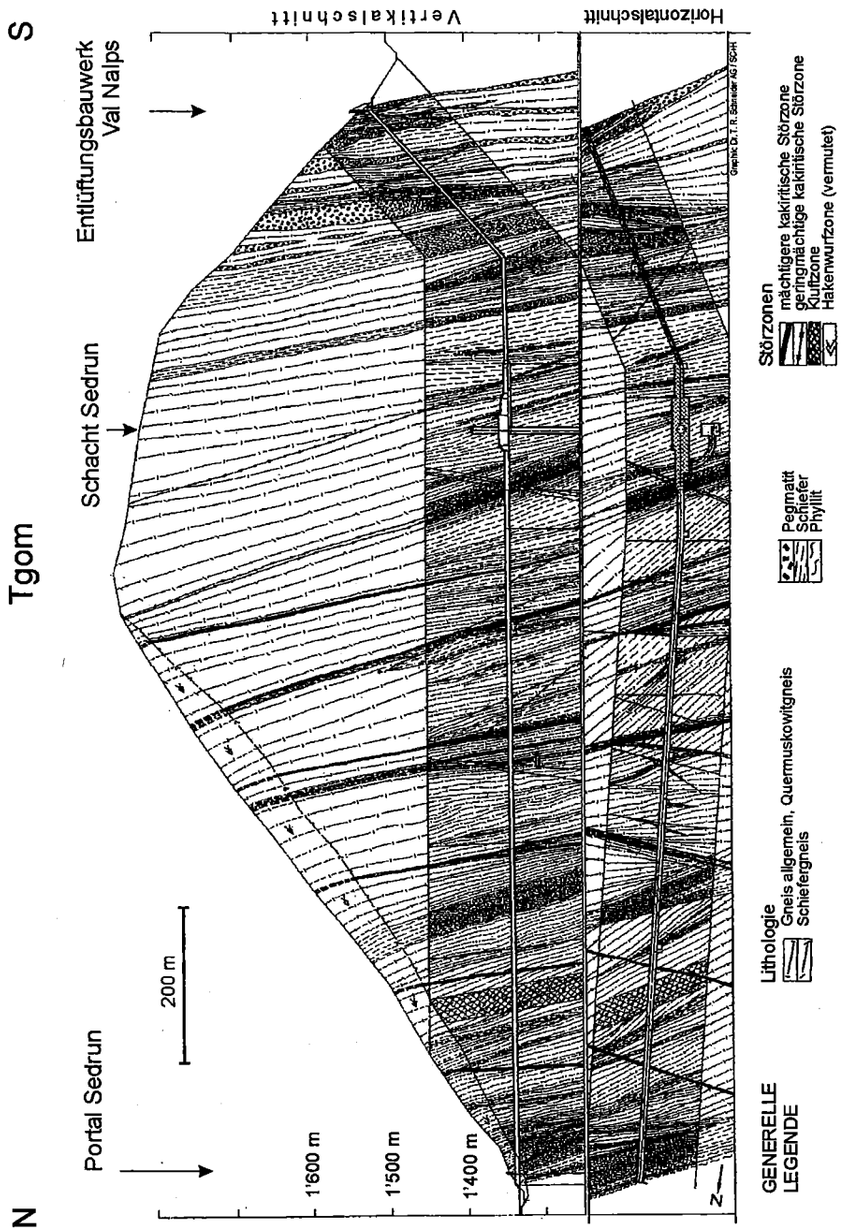
Paragneise: Der grösste Anteil des durchörterten Gebirges besteht aus fein- und mittelkörnigen, plattig bis grob gebankten (Biotit)-Hellglimmer-, (Chlorit)-Biotit- und Chlorit-Plagioklasgneisen, welche aufgrund einer meist deutlichen Stoffbänderung eine ursprünglich sedimentäre Herkunft haben müssen. Sie sind im allgemeinen durch die Einregelung von Biotit, Muskovit, Serizit oder Chlorit deutlich paralleltexturiert. Stark schieferige Gneise wurden speziell als Schiefergneise ausgeschieden. Die am weitesten verbreiteten (Biotit)-Hellglimmer-gneise führen zudem häufig grobblättrige, quer zur Schieferung orientierte Muskovitplättchen, und wurden deshalb als Quermuskovitgneis ausgeschieden. Die Paralleltextur verläuft subparallel zur älteren stofflichen Bänderung. Neben den vorwiegend gebänderten Gneisen treten im speziellen bei den Quermuskovitgneisen Varietäten mit augig-flaserigen bis schlierig-lagigen Quarz-Feldspat-Mobilisationen auf. Bei den feinkörnigen, eher quarzreichen Gneisen kommen immer wieder massige, teilweise hornfelsartige Felstypen vor. Sowohl die schlierig-lagige als auch die hornfelsartige Textur sind vermutlich durch eine hochmetamorphe Überprägung entstanden und höchstwahrscheinlich migmatischen Ursprungs.

Serizitschiefer und -phyllite: Dunkle Serizitschiefer und -phyllite schalten sich meter- bis zehnermetermächtig zwischen den Paragneisen ein. Sie führen hauptsächlich feinschuppigen Serizit, Biotit, Chlorit, einen grossen Anteil Quarz und Feldspat sowie zonal schieferungsparallele Pyrit-, Chalkopyrit oder Arsenopyrit-Vererzungen. Teilweise sind Relikte von Texturen wie Bänderung, Feldspataugen und -flasern oder Quermuskovitplättchen, welche für die Gneise typisch sind, als Klasten noch erhalten. Die Schiefereinschaltungen können deshalb als duktile Scherzonen innerhalb des Tavetscher Zwischenmassivs gedeutet werden. Im Bereich dieser Scherzonen wurden die Gneise zu Serizitschiefern oder untergeordnet Serizitphylliten (Phylloniten) überprägt.

Pegmatite: Pegmatite treten in den Paragneisen, den Serizitschiefern und -phylliten auf. Sie sind eindeutig diskordant zur Bänderung und vermutlich auch zur Paralleltextur der Gneise. In den Schiefer- und Phyllitzonen sind die Pegmatite von den alpinen Deformationen zerrissen und teilweise stark zerbrochen. Das Intrusionsalter der Pegmatite wird mit ca. 295±14 my als herzynisch angenommen (Jäger et al. 1967).

Metaignimbrite, Metatuffe (Quarzreiche Gneise, Serizitschiefer): Im Entlüftungsschrägschacht wurden helle, quarzreiche Serizitschiefer und -phyllite sowie massige, quarzreiche Gneise beobachtet. In Analogie zur Interpretation von Niggli (1944) werden diese Gesteine als Relikte von Metaignimbriten oder Metatuffen gedeutet. Diese innerhalb des Tavetschermassivs speziellen Lithologien haben ihre Bedeutung als Leitzonen bei der Projektion der Schichten auf das Tunnelniveau.

Ultrabasische Linsen: Im Zugangsstollen wurden zweimal ultrabasische Linsen angefahren, und zwar bei Tunnelmeter 720 und im Entlüftungsstollen. Die Linsen haben eine Mächtigkeit von ca. 10 m und bestehen aus Serpentinit und randlich Talkschiefer.



Figur 1. Geologischer Befund Zugangsstollen / Entlüftungsstollen Sedrun.

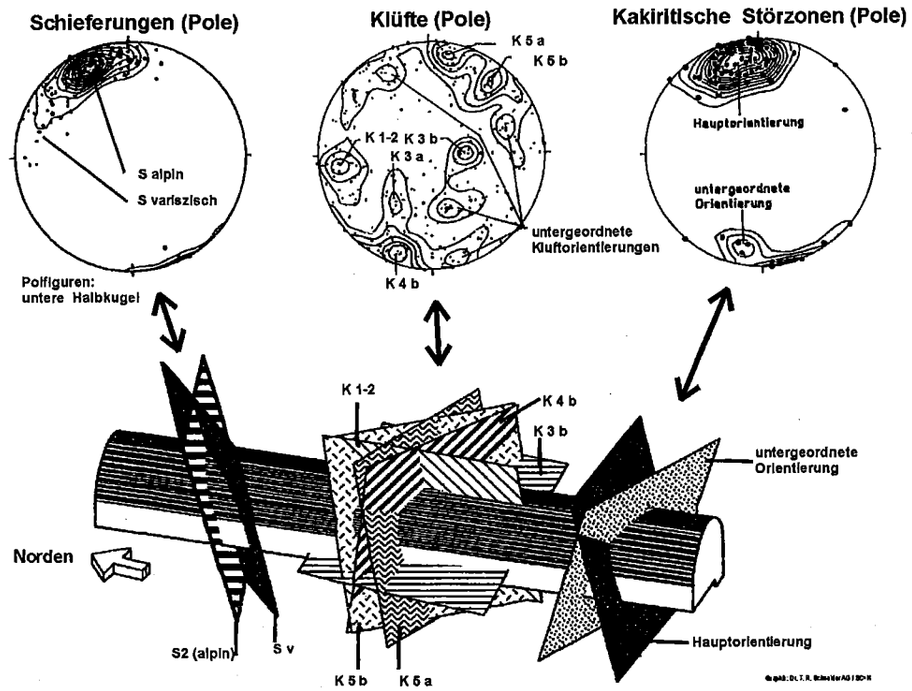
2.2 *Schieferungen*

Wie bereits aus den Oberflächenbefunden bekannt, konnten im Zugangsstollen zwei Schieferungen unterschieden werden: eine jüngere alpine bzw. eine ältere variszische (vgl. Fig. 2). Die alpine Schieferung (im Mittel 158/75) ist in der Regel penetrativ, die variszische Schieferung hingegen hat nur teilweise penetrativen Charakter. Die variszische Schieferung (im Mittel 132/78) weicht in ihrer Orientierung um ca. 25° vom alpinen Streichen ab und fällt annähernd gleich steil ein. Bereiche, in denen die variszische Schieferung erhalten ist, werden von alpin verschieferten Zonen diskordant abgeschnitten. Dies führt zum Teil zu einer zopfartigen Internstrukur des TZM S. Für die alpine Schieferung wurde im Zugangsstollen generell ein Südfallen festgestellt, wobei der Einfallswinkel von N nach S zunehmend steiler (von 72° auf 82°) wird.

2.3 *Störzonen und Kluftzonen*

Es handelt sich dabei um Strukturen, die hauptsächlich aufgrund später alpiner Sprödbeanspruchung entstanden sind. Als Störzonen wurden mürbe, verlehmte Schiefer/Phyllite sowie Kakirite ausgeschieden. Sie sind oftmals an Bereiche gebunden, in denen die Gneise schon alpin duktil beansprucht und verschiefert wurden. Der Anteil der Störzonen im untersuchten Gebirgsabschnitt ist kleiner als 5 %. Bei den meisten Störzonen handelt es sich um geringmächtige Horizonte von weniger als 0.5 m. Die maximalen Mächtigkeiten betragen 7 - 8 m.

Neben den Störzonen wurden Kluftzonen speziell erfasst. Als Kluftzonen werden stark geklüftete bis spröd zerbrochene Bereiche bezeichnet. Kluftzonen treten vor allen in Abschnitten mit kompetenten, hornfelsartigen Gneisen auf. Der Anteil der Kluftzonen im untersuchten Gebirgsabschnitt ist ebenfalls kleiner als 5 %. Es gibt Übergänge zwischen Stör- und Kluftzonen.



Figur 2. Räumliche Orientierung von Strukturelementen.

2.4 *Orientierung von Strukturelementen*

2.4.1 *Störzonen*

Die Mehrzahl der Störzonen lassen sich zwei Orientierungen zuordnen (vgl. Fig. 2). Die Hauptorientierung liegt bei 172/76 scheinbar subparallel zur alpinen Schieferung, eine untergeordnete Orientierung beträgt 012/73. Allerdings verlaufen die Störzonen, wie sie eingemessen und kartiert wurden, vielfach diskordant zur alpinen Schieferung.

2.4.2 *Kluftscharen*

Es konnten sechs Hauptkluftscharen und eine Kluftschar von untergeordneter Bedeutung ausgeschieden werden. Die Kluftschar K 4a (in Fig. 2 aus graphischen Gründen nicht dargestellt) wird dabei als die massgebende Trennfläche parallel zur alpinen Schieferung betrachtet.

Tabelle 1. Übersicht Trennflächen.

	Orientierung	Streubereich	Mittlere Trennflächenabstände .... % Verbreitungsstrecke im Zugangsstollen
Schieferungen			
S2	158/75	136-186/59-90	vgl. K4a
Sv	132/78	084-151/62-90	
Klüfte			
K1-2	083/70	059-115/47-90	0.6 m ..... 50 %
K3a	042/43	025-071/22-57	1.1 m ..... 25 %
K3b	269/25	±015/±13	0.6 m ..... 50 %
K4a	325/90	±008/±05	0.6 m 40%
nordfallend	329/76	300-360/60-90	
südfallend	147/73	124-165/60-90	
K4b	020/82	010-034/65-90	0.6 m ..... 30 %
K5a	190/78	±015/±15	0.8 m ..... 40 %
K5b	220/70	±010/±20	0.8 m ..... 40 %

Im Allgemeinen sind die Kluftabstände der verschiedenen Kluftscharen eng bis mittel (0.1 - 2.0 m). Die beobachteten Ausbisslängen der Klüfte liegen im Mittel zwischen (3.0 - 5.0 m). Die Klüftung des Gebirges kann als mässig bis intensiv eingestuft werden.

3 HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

Die hydrogeologischen Verhältnisse wurden sowohl durch Erfassung der Quellaustritte, deren Schüttung und Chemismus im Vortriebsbereich als auch durch Beobachtung der stationären Abflüsse am Portal und abschnittsweise auf der Tunnelstrecke erfasst.

Während des Vortriebs wurden einige Kluftquellen angefahren, welche sowohl initial als auch stationär bedeutende Wassermengen lieferten. In den oberflächennahen Tunnelbereichen (Portal, Entlüftungsstollen) betrug der initiale Wasserzutritt unmittelbar nach dem Ausbruch (bis 25 m hinter der Ortsbrust) im Maximum 39 l/s, im Normalfall rund 5 - 15 l/s. Diese initialen Ergüsse aus Kluftentleerungen gingen meist schnell und deutlich auf einen stationären Wasseranfall zurück. Im mittleren Tunnelabschnitt und im Schachtkopfbereich blieben die Schüttungen seit dem Anfahren der Quellen nahezu konstant. Der stationäre Wasseranfall aus der ganzen Tunnelstrecke schwankt heute zwischen ca. 15 - 25 l/s.

Die Analysen der Wasserzutritte divergieren bezüglich ihrer hydrochemischen Charakteristika. Diejenigen aus den Abschnitten bei Tm 400 und 600 weisen eine erhöhte Mineralisation auf, die insbesondere auf einen erhöhten Sulfatgehalt (bis 292 mg SO_4^{2-}/l) zurückzuführen ist.

Vergleicht man die Wasserzutritte und die Unterschiede in der Bergwasserchemie mit dem geologischen Aufbau, so ist zu erkennen, dass sich die hydrogeologischen Verhältnisse vor

allem bei schiefrig-phyllitischen Einschaltungen mit kakiritischen Störungen ändern. Grosse Wasserzutritte (und veränderte Bergwasserchemie) wurden in den zerklüfteten Gneisen im Hangenden der Schiefer/phyllite und Kakirite angefahren. Das Bergwasser staut sich an den schlecht durchlässigen Schiefern und Kakiriten, die Gebirgsdurchlässigkeit ist in Richtung der Stollenachse gering. Hingegen zirkuliert das Bergwasser nachweisbar parallel zum Streichen der Einheiten.

4 GEOTECHNIK

4.1 *Gesteins- und Gebirgsfestigkeit, Verformbarkeit*

Neben den dominierenden Quermuskovitgneisen wurden auch immer wieder Schiefergneise, Schiefer und spröde Störzonen beziehungsweise Pakete aus kompetenteren, quarzreicheren Gneistypen durchörtert. Die verschiedenen Gesteine besitzen unterschiedliche, durch Laborversuche und im Handstück mittels Geologenhammer bestimmte, beziehungsweise abgeschätzte Festigkeiten.

Die Festigkeit der Gneise und Schiefergneise ist mittel bis hoch und nimmt mit zunehmender Verschieferung ab. Schiefer weisen noch eine mittlere bis geringe, während die Kakirite eine sehr geringe Festigkeit aufweisen. Die Verformbarkeit der verschiedenen Gesteine ist mit Ausnahme der Kakirite klein.

Im Hinblick auf die auf die Stabilität des Ausbruchsprofils und auf die Beanspruchung des Einbaus spielt hier aber vor allem das Trennflächengefüge, bestehend aus Schieferungs- und Kluftelementen, eine massgebende Rolle.

Die alpine Schieferung ist in der Regel penetrativ und stellt eine tatsächliche Festigkeitsanisotropie dar. Das Verhältnis der Festigkeiten parallel und senkrecht zur Schieferung ist dementsprechend klein. Die variszische Schieferung hingegen hat nur teilweise penetrativen Charakter. Die Festigkeitsanisotropie aufgrund der Schieferungen ist daher in alpin schwach überprägten Gebirgszonen in der Regel wesentlich schwächer ausgebildet als in Bereichen mit alpiner Schieferung.

Im Gegensatz zur Schieferung führen die Klüfte je nach Auftreten zur Ausbildung von Kluftkörpern. Die sechs Hauptkluftscharen treten im Zugangsstollen nicht immer gemeinsam auf. Im Mittel wurden nur deren vier gleichzeitig beobachtet. Es konnte eine deutliche Abnahme der Klüftungsziffer KLZ des Gebirges vom Portal im N (KLZ $\geq$ 12) zum Schachtkopf im S hin (KLZ $\leq$ 3) festgestellt werden. Weiter liegt der Durchtrennungsgrad der einzelnen Kluftscharen im Mittel zwischen 3 - 6 m, d.h. es treten immer wieder Gesteinsbrücken auf, und die Kluftflächen sind mehrheitlich uneben und rauh. Im Detail wurde analog der Erkenntnisse aus den Oberflächenbefunden festgestellt, dass die Verteilung der Trennflächenabstände nicht stetig ist. Die Kluftabstände sind zonenweise vorwiegend eng- bis mittelständig und dann wiederum weitständig. Der prozentuale Anteil der Bereiche mit eng- bis mittelständigen Abständen liegt bei den einzelnen Kluftscharen zwischen 25 und 50 % (vgl. Tab. 1).

4.2 *Ausbruchsklassen und Masshaltigkeit*

Insgesamt konnte eine vorwiegend gute Standfestigkeit des Gebirgstrennflächengefüges festgestellt werden, aufgrund der steil und mehr oder weniger senkrecht zur Tunnelachse gerichteten, günstigen Orientierung der Schieferung und der geringen Ausdehnung der Störzonen. Die in der Regel geringmächtigen Störzonen führten zu keinen nennenswerten Erschwernissen.

Die Kluftkörper, welche durch die Verschneidung der Hauptkluftscharen entstehen, bildeten das massgebliche Gefährdungsbild, welches für die Ausbruchssicherung und den Ausbau des Zugangs- und Entlüftungsstollens zu beachten war.

Aufgrund der Ausbildung der Trennflächensysteme waren besonders im portalnahen stärker geklüfteten Bereich bis ca. Tm 350 rhomboedrische Firstausbrüche, die sich teilweise während resp. kurz nach der Sprengung ablösten und ein entsprechendes Überprofil bildeten, zu berücksichtigen. In diesem Bereich wurden z.T. Ausbruchsklassen III und IV nach SIA-Norm 198 angewendet. Aufgrund der abnehmenden Zerklüftung in südlicher Richtung wurden nur noch vereinzelte Firstausbrüche geringen Ausmasses festgestellt, so dass dieser Bereich den Ausbruchs-

klassen III und II zugeordnet werden konnte. Insbesondere konnte der Schachtkopfkavernenbereich in der günstigen Ausbruchsklasse II durchfahren werden.

Die Masshaltigkeit war vor allem in Schiefergneiszonen deutlich besser als in Zonen mit kompetenten, massigen Gneisen. Die massigeren Gneise waren häufig wesentlich stärker geklüftet und die Ausbruchslinie folgte vielfach den Kluftflächen. Dieser Wechsel wiederspiegelt sich ebenfalls deutlich in der Wiederverwertbarkeit der Gesteine für Zuschlagstoffe.

Während des ganzen Stollenvortriebs stellten sich nur sehr geringe Verformungen, namentlich Firstsetzungen in der Grössenordnung < 20 mm ein. Selbst in den grossen Ausbruchsquerschnitten der Schachtkopfkaverne konnten mit der angewendeten Felssicherung und dem nachfolgenden Ausbau die Verformungen gering gehalten werden. Hier zeigte sich aber deutlich, dass die Verformungen bei Anwesenheit ungünstiger Grosskluftkonstellationen zunehmen und verstärkte Sicherungsmassnahmen verlangen können.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Beim Bau des Zugangsstollens und seiner Fortsetzung, des Entlüftungsstollens, wurden Gesteine des südlichen Tavetscher Zwischenmassiv auf einer Stollenlänge von 1464 m durchörtert. Dabei wurden hauptsächlich gebänderte Gneise angetroffen, wobei (Biotit)-Hellglimmergneise mit grobblättrigem Muskovit (Quermuskovitgneise) vorherrschend waren. Innerhalb der Gneise traten sporadisch Pegmatit-Gänge sowie ultrabasische Linsen (Serpentinite, Talkschiefer) auf. In verschiedenen Bereichen des Zugangsstollen führten die Bewegungen der alpinen Gebirgsbildung zur kompletten Überprägung der Gneise zu Serizitschiefern oder untergeordnet zu Serizitphylliten unter grünschieferfaziellen Metamorphosebedingungen.

Obwohl die alpine Schieferung in den Gneisen meist stark ausgeprägt ist, sind voralpin gebildete Gefüge und Mineralbestände erhalten. Zu diesen gehören schlierig-lagige oder massige, hornfelsartige Texturen in Gneisen, möglicherweise Relikte einer migmatischen Überprägung, eine voralpine variszische Schieferung sowie die Pegmatit-Gänge. In Übereinstimmung mit anderen Autoren (Jäger et al. 1967 oder Biino 1994) wird eine variszische und kaledonische Metamorphose-Vorgeschichte ähnlich dem nördlichen Gotthardmassiv vermutet.

Die jüngere alpine und die ältere voralpine variszische Schieferung können aufgrund ihrer unterschiedlichen Orientierung voneinander unterschieden werden. Die alpine Schieferung fällt mit 70° bis maximal 90° gegen SSE ein. Die variszische Schieferung weicht in ihrer Orientierung um ca. 25° vom alpinen Streichen ab und fällt annähernd gleich steil ein. Das unterschiedliche Einfallen überlagert mit den lithologischen Wechseln führt zum Teil zu einer zopfartigen Internstrukur des Tavetscher Zwischenmassivs Süd. Dies erschwert die Prognose der lithologischen Einheiten überall dort, wo die Befunde sowohl aus Zugangsstollen als auch der Sondierbohrung SB 4.1 (Schneider 1998a) über mehrere 100 m auf das Niveau des Basistunnels projiziert werden müssen. Zudem wurde für die alpine Schieferung im Zugangsstollen generell ein Südfallen festgestellt, wobei der Einfallswinkel von N nach S zunehmend steiler (von 72° auf 82°) wird. Der Trend der Schieferungsdaten aus der Sondierbohrung SB 4.1 ist jedoch gegenläufig, d.h. die Schieferung flacht von N nach S von 90° auf 75° ab (Schneider 1998a). Dieser unterschiedliche Verlauf der Schieferung in verschiedener Tiefe könnte mit einer grosswelligen Verformung im TZM S erklärt werden.

Während alpinen Sprödeformationsphasen wurde das Tavetscher Zwischenmassiv stark überprägt. Während das nördliche Tavetscher Zwischenmassivs zu einem erheblichen Teil aus kohäsionslosen Kakiritzonen besteht, wurden innerhalb des Tavetscher Zwischenmassivs Süd maximal einige Meter mächtige kakiritische Störzonen und mehrere Kluftsysteme beobachtet. Die kakiritischen Störzonen verlaufen meist (sub)parallel, aber untergeordnet auch deutlich diskordant zur alpinen Schieferung. Eine einfache Projektion von Störzonen auf die zukünftige Tunnelachse kann nicht systematisch vorgenommen werden, weil räumliche Variationen in der Orientierung und der Ausbildung der Störzonen durchaus erwartet werden müssen.

Bei den Kluftsystemen wurden sechs Hauptorientierungen vorgefunden. Die Klüftung durchtrennt das Gebirge mässig bis intensiv und bestimmt zusammen mit der alpinen Schieferung die Gebirgsfestigkeiten in den durchörterten Gesteinen des südlichen Tavetscher Zwischenmassivs. Unterschiede in den Gesteinsfestigkeiten zwischen Gneisen und Schiefern wurden durch der Einfluss der Trennflächen verwischt, was dazu führte, dass Schiefergneise oder

zum Teil auch Schiefer – aufgrund ihrer zum Teil geringeren Klüftigkeit – trotz niedriger Gesteinsfestigkeiten teilweise bautechnisch günstiger zu durchfahren waren als stärker geklüftete, massige Gneise. Im Generellen ergaben sich beim Ausbrechen auch von grossen Hohlräumen (Kavernen bis 250 m^2 Querschnitt) keine grösseren Schwierigkeiten.

Während des Vortriebes wurden Kluftquellen angefahren, welche sowohl initial als auch stationär bedeutende Wassermengen lieferten. Der stationäre Wasseranfall aus der ganzen Stollenstrecke schwankt heute zwischen ca. 15 - 25 l/s. In gewissen Abschnitten, in denen sich das Bergwasser nicht oder nur wenig mit weichem Meteorwasser vermischt hat, wurden erhöhte Mineralisation gemessen. Der Wechsel von stärker zu weniger stark wasserführenden Zonen (Stauwirkung an kakiritischen Störzonen bzw. an Schiefern und Phylliten) und von chemisch unterschiedlichen Bergwässern entlang der Stollenachse lassen folgern, dass die Bergwasserbewegung nur untergeordnet stollenparallel in Richtung zum Vorderrheintal, dagegen vorwiegend parallel zum Streichen der steil einfallenden Gesteinspakete stattfindet.

LITERATUR

Biino, G.G. 1994. The pre Late Ordovician metamorphic evolution of the Gotthard-Tavetsch massivs (Central Alps): from lawsonite to kyanite eclogites to granulite retrogression. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 74:87-104.

Jäger, E., Niggli, E. & Wenk, E. 1967. Rb-Sr Altersbestimmung an Glimmern der Zentralalpen. *Beitr. Geol. Karte Schweiz* N.F. 143.

Kramers, J.D. 1973. Zur Mineralogie, Entstehung und alpinen Metamorphose der Uranvorkommen bei Trun, Graubünden. *Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie* 52.

Niggli, E. 1944. Tavetscher Zwischenmassiv und Nordrand des Gotthardmassivs. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 28:165-300.

Schneider, T.R. 1993. Gotthard Basistunnel, Auswertung der Detailkartierungen 1991/1992. *Bericht 425aa, Büro Dr. T.R. Schneider AG.*

Schneider, T.R. 1998a. Gotthard Basistunnel, Tunnel Sedrun MFS Sedrun: Auswertung der Sondierbohrung SB 4.1. *Ingenieurgemeinschaft Gotthard Basistunnel Süd Bericht 425cr Büro Dr. T.R. Schneider AG.*

Schneider, T.R. 1998b. AlpTransit Schachtanlagen Sedrun, Baulos 350, Geologisch-geotechnisch-hydrogeologisch-geothermischer Schlussbericht. *Ingenieurgemeinschaft Gotthard Basistunnel Süd Bericht 425dk Büro Dr. T.R. Schneider AG.*