

**Baugeologische Beschreibung der Ostseite
des Arlberg-Straßentunnels.**

von

F. KUNZ

4 Abb., Beil. 9, 10

Anschrift des Verfassers:
Dr. Ferenc KUNZ
Mitterweg 110/21
6020 Innsbruck

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	118
1. Einleitung	119
2. Planung und Prognose	119
3. Geologischer Überblick	120
4. Bauablauf	121
5. Geologie	122
5.1 Geologische Arbeitsmethoden	122
5.2 Bewertung der Gebirgsverhältnisse	123
5.3 Seriengliederung und Gesteinsbeschreibung	124
5.3.1 Glimmerschieferserie	124
5.3.2 Muskovitgranitgneisserie	125
5.3.3 Feldspatknottengneisserie	126
5.3.4 Hangschutt- und Murenmaterial	126
5.4 Gesteinslagerung und Tektonik	126
6. Vortunnel	127
6.1 Tunnelstreckenbeschreibung	127
6.2 Gesteinslagerung und Tektonik	128
6.2.1 Gesteinslagerung	128
6.2.2 B-Achsen und Lineationen	129
6.2.3 Klüfte und Bewegungsbahnen	129
6.3 Bergwasser	130
6.4 Verwitterung und Grad der Zerlegung	130
6.5 Gebirgsbewegungen	131
6.6 Gebirgsdruck- und -entspannungserscheinungen	132
7. Haupttunnel – Ost	133
7.1 Tunnelstreckenbeschreibung	133
7.2 Gesteinslagerung und Tektonik	136
7.2.1 Gesteinslagerung	136
7.2.2 B-Achsen und Lineationen	137
7.2.3 Klüfte und Bewegungsbahnen	137
7.3 Bergwasser	139
7.4 Verwitterung und Grad der Zerlegung	139
7.5 Gebirgsbewegungen	140
7.6 Gebirgsdruck- und -entspannungserscheinungen	141
8. Schacht Maienwasen	142

Zusammenfassung

Der 13.972 m lange Arlberg-Straßentunnel ist der längste Verkehrstunnel Österreichs, der in einer Rekordzeit von knapp vier Jahren fertiggestellt wurde.

Der nachstehende Aufsatz faßt die geologischen Beobachtungen im östlichen Bauolos (Vortunnel, Haupttunnel–Ost und Schacht Maienwasen) während der Bautätigkeit zusammen und gibt einen Überblick über die angetroffenen Gesteinsserien, über die Tektonik und Wasserverhältnisse im Tunnel, sowie über die baueologischen Erfahrungen.

1. Einleitung

Die geologische Dokumentation und Beratung der Baustellen des Arlberg-Straßentunnels erfolgte durch Dr. Josef Kaiser und den Autor in versetzten Dekaden, um eine kontinuierliche Betreuung zu gewähren. Wie bereits am Tauertunnel, war auch der Arlberg-Straßentunnel ständig mindestens mit einem Geologen besetzt.

In Zusammenarbeit mit den Konsulenten der ASTAG und verschiedenen Instituten wurde eine möglichst vollständige Betreuung und Dokumentation des Untertageprojektes angestrebt.

Die tonmineralogischen Untersuchungen wurden im Institut für Bodenforschung und Geologie der Universität für Bodenkultur Wien, die Wasserproben im Institut für Hygiene der Universität Innsbruck, die bodenmechanischen Untersuchungen im Institut für Bodenmechanik der Technischen Universität Innsbruck und die felsmechanischen bei der TKW-Prüfstelle in Rothenthurn durchgeführt. All diesen Stellen sei gedankt.

Die Stollenbänder, geologischen Pläne und Berichte sind bei der ASTAG in Innsbruck aufbewahrt, die Gesteinsproben wurden in das Geologische Institut der Universität Innsbruck gebracht.

Es ist eine angenehme Pflicht an dieser Stelle dem Vorstand der ASTAG, den Direktoren Dipl. Ing. Baurat h. c. H. Posch und Dr. K. Rainer für das Verständnis, mit dem sie uns Geologen während der Bautätigkeit und bei der Auswertung der Unterlagen behandelt haben, zu danken.

2. Planung und Prognose

Im Zuge des Ausbaues der Arlberg Schnellstraße S 16 zwischen Tirol und Vorarlberg war es notwendig, die 1800 m hoch führende und im Winter oft gesperrte Arlberg-Paßstraße durch einen modernen Straßentunnel zu ersetzen. Um dieses Hindernis im österreichischen Ost-West-Verkehr schneller beseitigen zu können, wurde die Finanzierung, der Ausbau und der Betrieb dieses Straßenstückes einer Sondergesellschaft, der Arlberg-Straßentunnel-AG (ASTAG) übertragen.

Mit der Planung des Tunnels wurde die Ingenieurgemeinschaft Lässer-Feizlmayr (ILF), Innsbruck beauftragt.

Aus mehreren Varianten wurde schließlich die Trasse südlich des Eisenbahntunnels vor allem wegen geologischen Gesichtspunkten gewählt und aus Gründen des Umweltschutzes und der Lawinsicherheit die Umfahrung der Ortschaft St. Anton ebenfalls in den Berg verlegt.

Daher besteht der Arlberg Straßentunnel aus zwei Tunnelabschnitten, und zwar aus dem nach Vortriebsmetern gerechnet 3567 m langen Vortunnel und dem 10.281 m langen Haupttunnel, sowie aus der Rosannaquerung und den Voreinschnitten.

Die gesamte Länge des Tunnels beträgt somit 13.972 m.

Vom Ostportal in St. Jakob verläuft der Tunnel mit 1,67 % Steigung bis zum Scheitelpunkt, der bei Baustation 251 m im Haupttunnel-Ost liegt. Danach fällt er mit einer Neigung von 1,3 % bis zum Westportal in Langen.

Der Ausbruchsquerschnitt des Tunnels ist abhängig von den Fahrraumabmessungen, der Größe der über den Fahrraum liegenden Luftkanäle und den Gebirgsgüteklassen. Er liegt zwischen 90 und 103 qm.

Für die Belüftung des Tunnels waren zwei Luftschächte, und zwar der Schacht Albona (736 m) und der Schacht Maienwasen (218 m) mit Durchmessern von 7,68 m bzw. 9,3 m notwendig.

Für die geologische und felsmechanische Vorhersage wurden Geländeaufnahmen und in den Portalbereichen bzw. bei den Schachtköpfen Erkundungsbohrungen durchgeführt. Von den ausgewählten Bohrkernen wurden Gesteinswerte – Reibungswinkel, Verformungsmodul usw. – ermittelt.

Außerdem konnte der vor 90 Jahren gebaute Eisenbahntunnel, der 50 bis 250 m nördlich der projektierten Tunnelstraße liegt, als wertvoller Aufschluß herangezogen werden.

Die Geländeaufnahmen, die gefügekundlichen und petrographischen Untersuchungen führte Doz. Dr. W. Resch (Universität Innsbruck) durch, die Bohrkerne hat Dr. Mignon (Innsbruck) ausgewertet.

Die baugelogeische Prognose hat Prof. E. H. Weiss (Universität für Bodenkultur, Wien) für die Ingenieurgesellschaft Lässer-Feizlmayr erstellt.

3. Geologischer Überblick

Im Arlberggebiet stoßen zwei geologische Großeinheiten aneinander: die jungpaläozoischen und mesozoischen Sedimente der Nördlichen Kalkalpen (Lechtaler Alpen) und das Silvretta-Kristallin (Verwallgruppe) im Süden. Die Nahtstelle der beiden geologischen Einheiten ist morphologisch in den Talbildungen (Stanzertal, Steißbachgraben, Arlensattel, Alpe Rauz und Klostertal) weitgehend erkennbar.

Der Aufbau der Nördlichen Kalkalpen beginnt hier mit den paläozoischen Sandsteinen, Tonschiefern, Kalken, Mergeln, Rauhwacken und Konglomeraten, darüber folgen Verrucano und Buntsandstein, alpiner Muschelkalk, die Partnach-, die Arlberg- und die Raibler Schichten sowie der Hauptdolomit usw.

Die präkambrischen bis altpaläozoischen, metamorphen Gesteine der Silvrettaeinheit beinhalten tektonisch überprägte Glimmerschiefer und Gneise (Schiefergneise bis Gneisphyllite), Granatglimmerschiefer, Muskovitgranitgneise, Feldspatknottengneise,

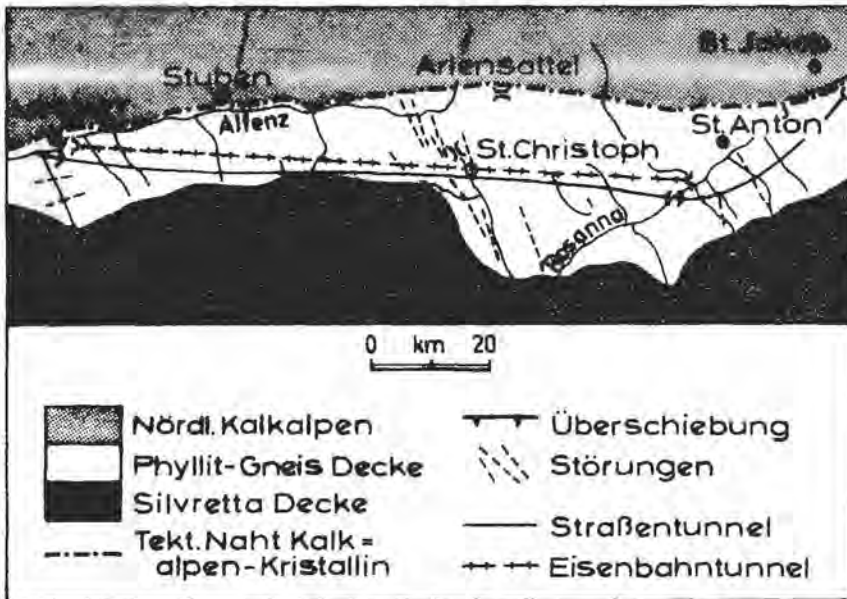


Abb. 1

Biotitplagioklasgneise und verschiedene Grüngesteine.

Das zur Silvrettaeinheit zusammengefaßte Kristallin wird in zwei tektonische Untereinheiten gegliedert, nämlich in die Silvrettadecke im engeren Sinne und in die Phyllitgneisdecke.

Die Silvrettadecke – vorwiegend mit Biotitplagioklasgneisen – hat sich durch einen gewaltigen Nordschub auf die nördlich vorgelagerte Phyllitgneisdecke aufgeschoben. Die Gesteine dieser Decke entsprechen genetisch der tonreichen Randfazies der höher metamorphen Silvrettagesteine. Die flach südeinfallende Überschiebungsbahn der Silvrettadecke streicht am Fuße der Felswände oberhalb der ausgeprägten Verflachungsflur der Albona und Stubiger Alpe durch (Weiss, 1973).

Die Tunnelstraße liegt gänzlich in der Phyllitgneisdecke.

4. Bauablauf

Die Bauarbeiten für den Tunnel und die Schächte konnten an zwei Arbeitsgemeinschaften vergeben werden. Die Bauloslängen wurden aufgrund der zu erwartenden Gebirgsverhältnisse für das Baulos-Ost mit 8470 m (Vortunnel und Haupttunnel-Ost), für das Baulos-West mit 5500 m bei gleitender Losgrenze festgelegt. Die Schachtarbeiten wurden unter Beibehaltung von Spezialunternehmen ebenfalls der Tunnelarbeitsgemeinschaft übertragen.

Die Bauarbeiten im Tunnel begannen im Juni 1974 und wurden im Januar 1978 mit der Eingangsstrecke der Vortunnel-Nordröhre beendet.

Der Vortunnel wurde in der Zeit von Juli 1974 bis Mai 1976 ausgebrochen. Ursprünglich war nur ein Vortrieb von der Ostseite her vorgesehen. Im Zuge der Forcierungsarbeiten wurde im Mai 1975 auf der Westseite, in der Rosannaschlucht, ein Firststollenvortrieb installiert. Der Durchschlag des Vortunnels erfolgte im November 1975 bei Baustation 1796 m. Die Aufweitung des Firststollens dauerte bis Mai 1976.

Im Haupttunnel-Ost war zuerst ein Richtstollen vorgesehen. Bis Mai 1975 reichte der Richtstollen bzw. ab Baustation 1761 m eine kleine Kalotte bis zur Baustation 1860 m. Aufgrund von geologischen Schwierigkeiten wurde der weitere Vortrieb des Richtstollens zugunsten des Firststollenvortriebes im Vortunnel aufgelassen. Während der Aufbruch des Pilotschachtes und die Aufweitung des Schachtes Maienwasen getätigt wurden, wurde der Richtstollen in der Kalotte von der Kaverne Maienwasen aufgeweitet und bis zur Baustation 2590 m vorgetrieben. Ab Mai 1976 hat man mit Vortrieb und Gegenvortrieb den Bereich zwischen Ostportal und Kaverne Maienwasen voll ausgebrochen. Ab September 1976 trieb man die Kalotte ab Baustation 2590 m vor und gleichzeitig begann das Reißen der Strosse ab Kaverne Maienwasen.

Im Oktober 1977 wurde der Haupttunnel durchgeschlagen.

Der Schacht Maienwasen wurde zuerst mit einem Pilotschacht in der Größe von 2 x 2 m von unten nach oben ausgebrochen und in der Zeit von April bis September 1976 von oben nach unten aufgeweitet.

Der Ostabschnitt des Arlberg Straßentunnels umfaßt rund 8663 Vortriebsmeter. Als Nebenbauten mußten 10 Abstellnischen mit 48 m bzw. 55 m Länge, 5 Verbindungstunnel (je 30 m lang), 13 Verbindungsstollen (je 20 m lang) und die Kaverne Maienwasen ausgebrochen werden.

Der fertiggestellte Tunnel ist die Südröhre der vierspurig geplanten Schnellstraße. Für die Nordröhre wurden die Eingangsstrecken, insgesamt 343,5 m bereits ausgebrochen, um später den Betrieb in der Südröhre nicht zu gefährden.

5. Geologie

5.1 Geologische Arbeitsmethoden

Die Hauptaufgaben der geologischen Betreuung während der Ausbruchsarbeiten waren: die tägliche Aufnahme der Geologie der Ortsbrust; die Auswertung der Aufnahmen; die Vergleiche zwischen Geologie, Gebirgsbewegungen und den Stützmaßnahmen; sowie die mündliche und schriftliche Information der örtlichen Bauleitungen und der Abschnittsleitung. Die täglichen geologischen Aufzeichnungen richteten sich nach der Art und Weise des Vortriebes.

Beim Kalottenvortrieb mußte die Ortsbrust und die Tunnelleibung gleich nach dem Abschlag und Ausschuttern aufgenommen werden. Innerhalb von fünf bis zehn Minuten wurden die Geologie beurteilt, aufgezeichnet, die Schieferungsflächen und die Klüfte eingemessen.

Die Länge der aufgenommenen Tunnelleibung variierte nach Abschlagstiefen, zwischen 0,7 bis 4,0 m. Beim Abbau der Strossen konnten die geologischen Aufzeichnungen ergänzt werden. Da die Sohle nicht gereinigt wurde, entfiel hier die Aufnahme.

Im First- und Richtstollen war meist eine streckenweise Kartierung möglich, weil die Ulmen längere Zeit ohne Spritzbetonsicherung offen standen.

Im Schacht wurde die Geologie nach Reinigung der Schachtleibung bzw. Sohle aufgenommen. Für die Aufnahme selbst stand hier eine längere Zeit zur Verfügung. Die Höhe der offenen Schachtleibung betrug 2,0 m.

Ein wesentlicher Bestandteil der täglichen Aufnahme war die Bestimmung des Gesteinszerlegungsgrades, die im nächsten Punkt behandelt wird.

Gesteinsproben wurden durchschnittlich im Abstand von 30 m entnommen, bei wechselhafter Geologie öfters. Für die felsmechanischen Untersuchungen wurden gezielt Proben gesammelt. Bei größeren Wasserzutritten wurden für Analysen je 1 l Wasser entnommen.

Nach den geologischen Arbeiten im Tunnel bzw. im Schacht begann die Auswertung der Aufzeichnungen. Die einzelnen Brustbilder bzw. Stoß- und Schachtleibungsaufnahmen wurden zu einem geologischen Stollenband zusammengezeichnet.

Die Art, die Länge und der Maßstab der Stollenbänder richteten sich nach den Erfordernissen des Baubetriebes. Im Vortunnel und Haupttunnel-Ost wurden die Stollenbänder als Ulmabwicklung im Maßstab 1:200 aufgetragen. Zur Information der örtlichen Bauleitung wurden 50 m lange Strecken im Maßstab 1:200 als Grundrißdarstellung in der Tunnelmitte als provisorische Blätter gleich nach der Durchörterung des Bereiches übergeben.

Bei der endgültigen Tunneldokumentation umfassen alle geologischen Stollenbänder der Gesellschaftsstrecke der Arlberg-Schnellstraße einen Bereich von je 200 m im Maßstab 1:200 (wie auch die Abrechnungspläne der Arbeitsgemeinschaften) und sind als Grundrißdarstellung in der Tunnelmitte angefertigt.

Der Schacht Maierenwasen wurde im Maßstab 1:200 als Idealprofil dargestellt; die einzelnen Schachtbänder umfassen 100 m.

Bei der Auswertung der geologischen Daten wurden auch die felsmechanischen Messungen (Konvergenzen, Druckdosen, Extensometer und Meßanker) in Betracht gezogen.

Das Vergleichen der Geologie und der gemessenen Gebirgsbewegungen mit den ausgeführten Stützmaßnahmen ergab die Diskussion über die notwendige Anzahl der Stützmittel.

Der Geologe hatte hierbei eine beratende Funktion. Aufgrund seiner Aufzeichnungen konnte ein bereits aufgefahrenes und verbautes Gebirge mit seinen Maßnahmen für geologisch und geomechanisch ähnliche Verhältnisse als Maßstab für den benötigten Ausbauwiderstand herangezogen werden. Bei schwierigen Strecken war der Geologe bei den täglichen Begehungen und Besprechungen der örtlichen Bauleitung und der ausführenden Firmen, bei denen die Gebirgsverhältnisse begutachtet und die Gebirgsgütekategorie beschlossen wurde, anwesend.

5.2 Bewertung der Gebirgsverhältnisse

Die Gebirgsverhältnisse werden in jedem Tunnel etwas anders beurteilt. Die Grundlage der Beurteilung bildet immer die in der Bauausschreibung festgehaltene Gebirgsklassifizierung (WEISS, 1976).

Die Festlegung der Güteklassen oblag, gemäß der Ausschreibung des Arlberg-Straßentunnels, den Bauleitern des Auftraggebers und des Auftragnehmers.

Deswegen wurde das Gebirge vorwiegend nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten (Anzahl und Länge der Anker; Stahlbögen; Abschlagstiefe; Vortriebsgeschwindigkeit usw.) beurteilt und weniger nach geologischen Kriterien.

Ohne die technischen und wirtschaftlichen Erfordernisse des Baubetriebes außer acht zu lassen, wurde eine vorwiegend geologisch begründete Beurteilung des aufgefahrenen Gebirges vorgenommen.

Bei der geologischen Beurteilung eines Gebirges spielen Faktoren, wie Mineralzusammensetzung, Schieferungsmächtigkeit und Lagerung des Gesteins; die Häufigkeit und Ausprägung der Klüfte; die Beanspruchung des Gesteins durch Störungszonen; die Wasserführung; sowie die allgemeine mechanische und chemische Zersetzung des Gebirges eine wesentliche Rolle.

Die Häufigkeit und die Ausprägung der Klüfte, die Beanspruchung des Gesteins durch Bewegungsbahnen, sowie die mechanische und chemische Zersetzung des Felsens bilden die Grundlagen zur Beurteilung eines Gebirges nach dem „Grad der Zerlegung“.

Der Grad der Zerlegung (oder Grad der Gesteinszerlegung), die Wasserführung, die Gesteinszusammensetzung, das Gefüge und die Standfestigkeit des Gebirges bezogen auf die Querschnittsgröße (Gebirgsverhalten) sind in den geologischen Stollenbändern aufgezeichnet.

Während der Ausbruchsarbeiten wurden sechs Stufen, und zwar minimal, schwach, mäßig, stark, sehr stark und äußerst stark für den Grad der Zerlegung verwendet, später haben wir die Gruppen minimal und schwach bzw. sehr stark und äußerst stark in je einer Stufe vereinigt.

Die Einteilung erfolgte vor Ort, nach dem Ausschüttern der Kalotte im wesentlichen nach folgenden Merkmalen:

- minimal bis schwach

Das Gestein ist allgemein gesund, die Schieferung ist einheitlich (dünn-schiefrig oder plattig), die Klüftung ist weitständig, vereinzelt sind Harnische vorhanden.

- mäßig

Das Gestein ist tektonisch gering beansprucht, die Schieferung ist wechselhaft, die Klüftung ist mittelständig, Harnische und Mylonite (meist innerhalb der Schieferung) sind in verschiedenen Abständen und in verschiedener Mächtigkeit zu beobachten.

- stark
Das Gestein ist tektonisch überprägt, die Schieferung ist sehr dünnblättrig, die Klüftung ist engständig. Das Klüftgefüge beherrscht das Brustbild. Mehrere Harnische und Mylonite bis zu 1 m Mächtigkeit und in verschiedener Länge sind zu beobachten.
- sehr stark bis äußerst stark
Das Gestein ist tektonisch stark überprägt oder in seinem Gefüge nicht mehr erkennbar. Die Schieferung ist sehr dünnblättrig oder ruschelrig, viele kleinere und größere Mylonite zersetzen sie. Die Klüftung ist scharig und engständig mit größeren Störungen. Die Mylonite sind bis zu 2 m mächtig, größere Zerrüttungen sind fallweise vorhanden.

5.3 Seriengliederung und Gesteinsbeschreibung

Im Ostabschnitt des Arlberg Straßentunnels wurde ein Gesteinspaket von etwa 1800 m Mächtigkeit aufgeschlossen. Diese Gesteinsserie wurde bereits im Vortunnel bis zur Baustation 3020 m durchörtert. Anschließend wurden dieselben Gesteinsserien bedingt durch die Trassenführung des Straßentunnels und durch einige tektonische Verstellungen mehrmals durchfahren.

Beim Durchschlag des Haupttunnels waren etwa die Gesteinspakete vorhanden, wie wir sie in der Rosannaschlucht angetroffen haben. Eine geringfügige Fehlerquelle bei der Abschätzung der Gesteinsmächtigkeit bilden die Verstellungen, deren Größen nur ungefähr zu ermitteln waren.

Die Gesteinsarten reichen von den phyllitisch überprägten und quarzitischen Glimmerschiefern (z. T. auch echte Phyllite) bis zu den Feldspatnotengneisen und Muskovitgranitgneisen. Außerdem wurden beim Ostportal des Vortunnels der Hangschutt und eine Mure angefahren.

Die geologisch gleichartigen, bzw. makroskopisch nicht unterscheidbaren oder im Kleinbereich stark wechselhaften Gesteine wurden zu Serien zusammengefaßt. Diese Serien sind keine felsmechanischen Homogenbereiche, sondern geologisch-petrographisch ähnliche Gesteinsarten.

Die Felseigenschaften sind in erster Linie vom Grad der tektonischen Beanspruchung und der Zerklüftung abhängig, weniger von der petrographischen Zusammensetzung der Gesteine.

5.3.1 Glimmerschieferserie

In der Glimmerschieferserie wurden die tektonisch überprägten, diaphthoritischen und die quarzitischen Glimmerschiefer bis Schiefergneise zusammengefaßt.

Die tektonisch überprägten und diaphthoritischen Glimmerschiefer werden nachfolgend wegen ihrem phyllitischen Charakter, d. h. Seidenglanz, Feinkörnigkeit und makroskopisch kaum erkennbare Muskovitkristalle, die auch feldgeologisch leicht zu ermitteln sind, als phyllitische Glimmerschiefer bezeichnet.

Die phyllitischen Gesteine sind während der tektonischen Durchbewegung durch die retrograde Metamorphose entstanden.

Das Ausgangsmaterial war ein sehr tonreiches Sediment, aus dem durch die steigenden Druck- und Temperaturverhältnisse zuerst Phyllite, dann Glimmerschiefer und schließlich Schiefergneise entstanden sind. Später wurden die Schiefergneise durch die tektonischen Vorgänge (Gebirgsbildung) in rückschreitender Gesteinsumwandlung zu Glimmerschiefern bis phyllitischen Glimmerschiefern umgeformt.

Die phyllitischen Glimmerschiefer sind grau bis dunkelgrau gefärbt, fein bis mittelkörnig und recht dünnblättrig. Die Schieferungsmächtigkeit liegt im mm-Bereich. Die Schieferungsflächen sind mit einer Glimmerhaut überzogen, die fettig-schmierig ist. Die fallweise auftretenden zerriebenen Zonen und die Harnischflächen innerhalb der s-Flächen sind als Bewegungsbahnen anzusehen.

Die Hauptgemengteile der phyllitischen Glimmerschiefer sind: Quarz, Plagioklas, Biotit und Muskovit bzw. Serizit.

Als Nebengemengteile sind Granat (oft namengebend), Staurolith und Chlorit zu beobachten.

An Akzessorien finden sich unter anderem Karbonat, Apatit, Chloritoid, Zirkon, sulfidische und oxydische Eisenerze.

Diese und die nachfolgenden mikroskopischen Untersuchungsergebnisse stammen von Doz. W. RESCH (Geol. Institut der Universität Innsbruck).

Die quarzitischen Glimmerschiefer sind hellgrau bis grau, grobkörniger und mächtiger geschiefert als die phyllitischen Glimmerschiefer. Die Schieferungsmächtigkeit liegt hier im mm- bis cm-Bereich. Die glimmerreichen Lagen sind meist sehr dünn. Der Quarzgehalt nimmt zu. Der Quarz ist über das Gestein gleichmäßig verteilt.

Die Hauptgemengteile der quarzitischen Glimmerschiefer sind Quarz, Muskovit, Plagioklas und Serizit.

An Nebengemengteilen und Akzessorien sind diese Gesteine ärmer als die phyllitischen Glimmerschiefer.

Innerhalb dieser Serie kommen höchstens 15 m mächtige, hellgrüne, tektonisch stark zerlegte Chloritschieferzwischenlagen oder -linsen vor, die höchstwahrscheinlich aus Amphibolitlinsen umgewandelt wurden.

5.3.2 Muskovitgranitgneisserie

Die Muskovitgranitgneisserie besteht aus mehreren Muskovitgranitgneiszügen und dazwischen eingelagerten, meist tektonisch zerlegten Glimmerschieferlagen.

Der Muskovitgranitgneis ist ein hellgraues, plattig brechendes, mittel- bis grobkörniges, mitunter flaseriges und meist mehrere cm-, seltener dm-mächtig geschiefertes Gestein. Er ist kaum gefaltet, ziemlich homogen und reagiert auf tektonische Beanspruchung eher spröde.

Nach seinem Gefüge ist der Muskovitgranitgneis eigentlich mehr ein typischer Gneis und nur selten einem Granitgneis ähnlich. Die Feldspatprossung verleiht ihm fallweise ein flaserig-schiefriges Gefüge.

Die Hauptgemengteile des Muskovitgranitgneises sind Plagioklas, Quarz und Muskovit.

Als Nebengemengteile kommen Kalifeldspat, Serizit, Biotit und Chlorit vor.

Akzessorisch sind Granat, Apatit, Klinozoisit, Epidot, Turmalin und Erze zu finden.

Innerhalb der Muskovitgranitgneise sind tektonisch stark beanspruchte, anscheinend an Störungszonen eingeschleppte, phyllitische Glimmerschiefer und stark aufgearbeitete Gneise eingelagert. Es sind hauptsächlich hellgraue bis weiße, mechanisch zertrümmerte und z. T. wieder verfestigte Gesteine, die Brocken von nicht aufgearbeiteten Muskovitgranitgneisen und Glimmerschiefern beinhalten.

Die Grenze zwischen den Glimmerschiefern und der Feldspatknottengneisserie einerseits und den Muskovitgranitgneisen andererseits ist anscheinend tektonischer Natur.

Die aufgearbeitete Zone um den Muskovitgranitgneis hat eine Mächtigkeit von 10 bis 40 m und ist möglicherweise durch die Reibung der härteren Muskovitgranitgneise und der weicheren Glimmerschiefer während der Gebirgsbildung und bei der Anpressung der Silvrettamasse an die Nördlichen Kalkalpen entstanden.

5.3.3 Feldspatknotengneisserie

Die Feldspatknotengneisserie besteht aus deutlich feldspatreichen Gneisen, Schiefergneisen, Biotitplagioklasgneisen und mehrheitlich aus Glimmerschiefern mit gneisigen Lagen.

Da die Feldspatknotengneise einerseits durch Abnahme von Quarz und Feldspat ohne scharfe Grenze allmählich in die Glimmerschiefer und durch Abnahme von Glimmer bei gleichzeitiger Zunahme von Quarz in die quarzitischen Gneise übergehen, kann man hier von einer echten Gesteinsserie sprechen, während die anderen Serien mehr eine Gesteinsmischung einer Tunnelstrecke darstellen.

Der Wechsel der einzelnen Gesteinstypen findet auch im Tunnel im kleinsten Raum statt. Daher konnte eine petrographische Unterteilung kartenmäßig nicht bewerkstelligt werden. Der Versuch, die Serie nach glimmerreichen und gneisigen Bereichen mit einer Übersignatur zu trennen, ist unvollständig.

Die Feldspatknotengneise sind mittelgraue, wellig bis plattig brechende, mm- bis cm-mächtig geschieferte Gesteine mit mehr oder weniger deutlicher Feldspatsprossung, die eine flaserige Textur bewirkt.

Allgemein ist ein rasches Wechseln der härteren, quarz- bzw. feldspatreichen und den dünn geschieferten, glimmerreichen Lagen zu beobachten.

Die Hauptgemengteile der Feldspatknotengneise sind Quarz, Feldspat (Plagioklas), Biotit und Muskovit.

Als Nebengemengteile kommen Granat, Chlorit, Serizit und Staurolith vor, Akzessorisch findet man Zirkon, Rutil, Apatit, Turmalin, Titanit, Kalzit, Epidot und sulfidische Erze.

5.3.4 Hangschutt- und Murenmaterial

Die Überlagerungsstrecke beim Vortunnel-Ostportal besteht in erster Linie aus dicht gelagertem Murenmaterial und nur untergeordnet aus geringmächtigem Hangschutt.

Das Hangschuttmaterial beinhaltet grobes, eckiges und locker gebundenes Schuttblockwerk in verschiedener Größe. Das Bindemittel ist sandig. Das Murenmaterial ist feiner; das Bindemittel wird aus scharfkantigen Grob-, Mittel- und Feinkiesen und aus glimmerreichen Sanden und Tonen gebildet. Die Komponenten sind ausschließlich kristallinen Ursprungs.

In der Mure wurden Ast- und Baumreste von Lärchen gefunden, die etwa vor 9000 Jahren verschüttet worden sind. Die Baumreste waren im feinen, wasserundurchlässigen Ton eingebettet.

5.4 Gesteinslagerung und Tektonik

Die Schieferungsflächen fallen allgemein mittelsteil bis steil nach SSE bis SSW ein. Während im Vortunnel ein mittelsteiles SSE bis S-Einfallen der s-Flächen vorherrscht, ist im Haupttunnel nach Westen hin ein steiles bis sehr steiles Einfallen nach Süden bis SSW festzustellen. Stellenweise fallen hier die s-Flächen sehr steil nach N bis NNE ein.

Bei den Klüften dominieren mehrere Kluftrichtungen:

- 1) Die mittelsteil bis steil nach SW einfallenden Klüfte, die auch die Christoph-Furche bilden, sind am häufigsten zu beobachten.
- 2) Die Ost-West-streichenden, mehr oder minder schieferungsparallelen Klüfte, die besonders im Haupttunnel dominieren und abwechselnd nach S oder N einfallen.
- 3) Die Nord-Süd-streichenden Klüfte fallen mehrheitlich mittelsteil bis steil nach E ein und sind überall anzutreffen.
- 4) Die flach nach S einfallenden Kluftscharen sind im mittleren Bereich des Haupttunnels auffallend häufig.

Der Bewegungssinn der Harnischflächen und Mylonite ist nicht immer zu erkennen. Bei der Ost-West-streichenden Klüftung ist meist eine Absenkung der Südseite zu beobachten. Bei den flach nach S einfallenden Kluftscharen wurde der Hangendteil nach N aufgeschoben. Bei den anderen Klüften ist keine klare Tendenz zu ersehen.

Die Nord-Süd-streichenden Klüfte weisen eine ältere und eine jüngere Kluftgeneration auf.

6. Vortunnel

6.1 Tunnelstreckenbeschreibung

Im Vortunnel wurde ein Gesteinspaket von etwa 1800 m Mächtigkeit aufgeschlossen. Die Gesteinsarten reichen von den phyllitischen und quarzitischen Glimmerschiefern bis zu den Feldspatknoten- und Muskovitgranitgneisen. Außerdem wurde beim Ostportal der Hangschutt und eine Mure durchörtert.

Die angetroffenen Gesteinsarten von Osten nach Westen:

- Baustation 0 – 124 m: Hangschutt und Mure (Überlagerungsstrecke)
- Baustation 124 – 1920 m: Serie der phyllitischen und quarzitischen Glimmerschiefer mit Chloritschieferlinsen (1250 m mächtig).
- Baustation 1920 – 2300 m: Muskovitgranitgneise mit tektonisch zerlegten Gesteinen und phyllitischen Glimmerschiefern (200 m mächtig).
- Baustation 2300 – 3567 m: Feldspatknotengneissserie mit glimmerigen und gneisigen Bereichen (350 m mächtig).

Der Vortunnel begann mit der 124 m langen Hangschutt- und Murenstrecke. Die Überlagerungsstrecke besteht in erster Linie aus dicht gelagertem Murenmaterial und nur in den oberflächennahen Bereichen aus grobem und lockerem Hangschuttblockwerk.

In der Mure wurden zwischen den Baustationen 78 und 98 m mehrere aufrechtstehende Baumstämme gefunden, die einen Durchmesser bis zu einem Meter hatten. Die Bäume waren im feinen, wasserundurchlässigen Ton eingebettet und sahen daher erstaunlich frisch aus. An den Stämmen war noch die Borke erhalten. In der Umgebung der Bäume wurden Reste von Ästen gefunden.

Bei den Bäumen handelt es sich um *Larix decidua* (Dr. H. HILSCHER, Botanisches Institut der Universität Innsbruck), die etwa vor 9000 Jahren durch eine Mure verschüttet wurden.

Die untersuchten Baumstämme sind 9331 ± 60 , sowie 9458 ± 63 Jahre alt (Institut für Umweltp Physik der Universität Heidelberg, Kennnummer der Proben 4206–3413 bzw. 4207–3414). Die Lärchen selbst hatten ein Alter von fast 400 Jahren erreicht.

Nach der Überlagerungsstrecke wurden recht dünnblättrige, phyllitische Glimmerschiefer, die an den Klufflächen schwache Verwitterungsmerkmale aufwiesen, angetroffen. Nach etwa 10 m verschwanden die Verwitterungserscheinungen, das Gestein war gesund.

Zwischen den Baustationen 315–375 m herrschten stark quarzitisches Glimmerschiefer vor. Ebenso in den Bereichen Baustation 450–570 m und Baustation 940–980 m. Dazwischen waren dünnblättrige, z. T. phyllitische Glimmerschiefer mit mehr oder weniger Granat.

Der Bereich bis Baustation 1000 m wurde ziemlich problemlos bewältigt, nur Baustation 640–710 m, wo stark zerlegte Glimmerschiefer und Chloritschiefer mit schieferungsparallelen Bewegungsbahnen angetroffen wurden, hemmte den Vortrieb.

Zwischen den Baustationen 1000–1200 m verschlechterten sich die Gebirgsverhältnisse zunehmend, wobei hier der Wechsel verschieden harter Gesteine besonders unangenehm war. Zum ersten Mal wurden breite, schieferungsparallele Störungszonen mit dm-mächtigen, zerriebenen Bereichen aufgeföhren. Teilweise bestand die ganze Brust aus tektonisch aufgearbeiteten Gesteinen.

Ausgeprägte Störungszonen mit stark zerlegten und überprägten Glimmerschiefern kamen in der weiteren Folge zwischen Baustation 1310–1360 m und Baustation 1410–1420 m vor.

Ab Baustation 1500 m wird der einseitige, südliche Druck, wenn auch minderer Intensität, immer augenfälliger, vor allem zwischen Baustation 1600–1880 m.

Bis Baustation 1920 m wurde die Glimmerschieferserie mit wechselnder Beschaffenheit aufgeföhren. Härtere und mächtiger geschieferte, quarzitisches Lagen wechselten mit dünnblättrigen und weicheren, glimmerreichen Bereichen.

Die Muskovitgranitgneisserie war wesentlich härter und besser zu beherrschen als die Glimmerschieferserie.

Innerhalb der Muskovitgranitgneise sind bei Baustation 1960 bis 1990 m, sowie zwischen Baustation 2160–2180 m tektonisch stark beanspruchte, anscheinend an Störungszonen eingeschleppte, phyllitische Glimmerschiefer und stark aufgearbeitete Gneise eingelagert. Beide Störungen fallen steil nach SW.

In der Feldspatknottengneisserie sind mehrere gesteinsbedingte Abschnitte zu unterscheiden: Zwischen Baustation 2300–2500 m und Baustation 2570–2930 m dominieren die Glimmerschiefer mit den gneisigen Lagen. Der Bereich von Baustation 2500–2560 m ist biotit- und platioklasbetont, während zwischen Baustation 3000–3235 m die Granatglimmerschiefer vorherrschen. Die restliche Strecke (Baustation 3245–3567 m) besteht aus einer Mischung von Feldspatknottengneisen und Glimmerschiefern, wobei der Wechsel der gneisigen und glimmerigen Lagen auffällig ist.

An vier Stellen (Baustation 2560–2570 m; 2700–2710 m; 2930–3000 m und 3235–3245 m) sind Störungszonen mit tektonisch stark beanspruchten und in Richtung der Störung verstellten, phyllitischen Glimmerschiefern zu beobachten. Die erstgenannten zwei Störungen fallen steil nach W ein. Die dritte Störungszone beginnt s-parallel und dreht bei Baustation 2950 m langsam nach W. Die vierte fällt steil nach E ein.

6.2 Gesteinslagerung und Tektonik

6.2.1 Gesteinslagerung

Im Vortunnel wurden während des Vortriebes rund 1000 Schieferungsmessun-

gen durchgeführt. Die Auswertung aller Meßergebnisse brachte ein Maximum bei Südost bis Süden mit 45 bis 70 Grad Einfallswinkel. Hier lagen ein Drittel aller Messungen.

Der Vortunnel wurde in drei Abschnitte mit etwa gleicher Anzahl Messungen eingeteilt. Im ersten Abschnitt fallen die s-Flächen mehr nach SSE, nach Westen gehend, mehr in Richtung Süden bis SSW ein.

Nach Abschnitten bot sich das folgende Bild:

- Baustation 124–1000 m
Die Schieferungsflächen fallen meist nach S bis SSE mit 50–70° ein. Eine schwache Streuung nach SSW bis S und einige Male auch Nordeinfallen sind zu beobachten. Der Einfallswinkel beträgt minimal 40° und maximal 85°.
- Baustation 1000–2000 m
Die s-Flächen fallen allgemein 160–190/50–70 ein. Das Maximum der Polpunkte verschiebt sich gegenüber dem ersten Abschnitt leicht nach Westen. Nordeinfallen ist nicht vorhanden. Der Einfallswinkel beträgt minimal 30° und maximal 80°.
- Baustation 2000–3567 m
Das Maximum der s-Flächen liegt im Süden mit Abweichungen nach SSE und SSW. Der Einfallswinkel ist meist zwischen 45 und 60°, die Streuung liegt zwischen 20 und 85°. Eine deutliche Verflachung des Einfallswinkels ist hier festzustellen. Bedingt durch die tektonischen Verstellungen sind bereichsweise Westeinfallen der s-Flächen zu beobachten. Nordeinfallen wurde nicht registriert.

6.2.2 B-Achsen und Lineationen

Im Vortunnel wurden relativ wenig B-Achsen beobachtet. Die eingemessenen B-Achsen sind meistens Kleinfaltungen im dm-Bereich.

Es dominieren die flach (10–20°) nach Osten bzw. Westen eintauchenden Falten mit einer geringen Streuung. Diese B-Achsen entsprechen der Anlage der Gebirgsbewegung von Süden nach Norden.

Eine deutliche Lineation an den s-Flächen ist nicht zu erkennen. Lineationen sind nur an den Harnischflächen und Störungszonen vorhanden.

6.2.3 Klüfte und Bewegungsbahnen

Es wurden rund 500 Klüfte und 200 Harnische und Mylonite eingemessen. Die Auswertung aller Meßergebnisse zeigt, daß die meisten Klüfte steil nach SW oder SE mit einer Streuung von W bis ESE einfallen. Eine andere Kluftchar fällt steil nach NE ein. Der Einfallswinkel der Klüfte beträgt im allgemeinen 65–80°. Flache Klüfte wurden selten beobachtet.

Die Einfallrichtungen der Harnischflächen und Mylonite haben ein Häufigkeitsmaximum im SW mit Abweichungen nach WSW bis SSE bei einem Einfallswinkel von 60–85°. Einige wenige Bewegungsbahnen fallen mittelsteil bis steil nach N bzw. NE bis Osten ein.

Auf die einzelnen Abschnitte verteilt, ergibt sich das folgende Bild:

- Baustation 124–1000 m
Hier dominieren die steilen und mittelsteilen, nach SW und SE einfallenden Klüfte mit Abweichungen von W bis E. Seltener sind steil nach NE einfallende Kluftchar zu beobachten.
Die Anzahl der Bewegungsbahnen in diesem Abschnitt ist gering. Ein deutliches Maximum zeigt steil nach SW und sehr steil nach NE.

- Baustation 1000–2000 m
In diesem Bereich ist eine Zunahme der Bewegungsbahnen gegenüber der Klüftung festzustellen. Bei den Klüften ist eine größere Streuung als vorher zu beobachten. Die meisten Klüfte fallen nach SW, NE und S ein. Die Streuung reicht von W bis S und von N bis E. Auffallend wenig Klüfte fallen nach SE ein, wo im ersten Abschnitt ein Maximum war. Bei den Harnischflächen und Myloniten ergibt sich ein mittelsteil bis steil nach S gerichtetes Maximum mit Abweichungen von SSW bis S, sowie Scharen, die sehr steil nach N bis NE einfallen.
- Baustation 2000–3567 m
Hier ist die Klüftung wieder ausgeprägter als die Harnischflächen und Mylonite. Bei den beobachteten Klüften herrschen drei Richtungen vor, und zwar die steil nach W, SW und ENE einfallen. Die Streuungen reichen von W bis S und N bis NE. Auch in diesem Bereich sind die SE-Klüfte selten. Das Maximum der Harnischflächen und Mylonite ist im W und im S.

6.3 Bergwasser

Die Wasserschüttung des gesamten Vortunnels ist sehr gering. Nach Abschluß der Betonierarbeiten wurde eine Gesamtschüttung unter 2 l/sec gemessen.

Wohl waren während des Vortriebes an einigen Stellen anfangs größere Wasserzuflüsse zu registrieren, die später vertrockneten.

Die Überlagerungsstrecke war mehr oder minder bergfeucht. Vor allem am Anfang des Tunnels waren größere Tropfstellen zu beobachten, deren Schüttung nach Jahreszeiten wechselte.

Im Bereich der Glimmerschieferserie war der Tunnel allgemein bergfeucht mit einzelnen Tropfstellen. Bei geringer Überlagerung (30–100 m) war mehr Tropfwasser zu registrieren als bei der durchschnittlichen (250–330 m). Die größte Wasserschüttung wurde bei Baustation 270 m mit 12 l/sec gemessen.

In der Muskovitgranitgneisserie ist der Tunnel bergfeucht. An den Grenzen zu den Glimmerschiefern wurden mehrere Tropfstellen festgestellt, die aber keine meßbaren Wassermengen führten.

In der Feldspatknottengneisserie sind besonders an Klüften unter den Grabeneinschnitten kleinere und größere Tropfstellen, die z. T. Oberflächenwasser bringen, zu beobachten. Die Überlagerung beträgt hier 40 bis 150 m.

Um die Betonaggressivität der Wässer festzustellen wurden bei Baustation 2050 m und 2750 m Wasserproben entnommen und im Institut für Hygiene der Universität Innsbruck untersucht (Prot. Nr. 3129/76/2 und 3129/76/3). Die Proben hatten eine Gesamthärte von 1,0–1,11; pH-Wert von 9,18–9,8; SO_4 -Gehalt von 12–25,5 mg/l und MgO-Gehalt von 1,3 mg/l.

Die untersuchten Wasserproben ergaben keine Betongefährdung.

6.4 Verwitterung und Grad der Zerlegung

Die Gesteinsverwitterung spielt im Vortunnel kaum eine Rolle. Lediglich in den ersten 10 m der Felsstrecke nach der Mure und beim Westportal auf einigen Metern konnte man Gesteinsverwitterung beobachten.

Im Ostportalbereich waren die phyllitischen Glimmerschiefer, sowohl der Schieferung nach, wie an den Klüften einige Meter lang angewittert. Im Westportalbereich waren die Verwitterungserscheinungen nur an den Klüften und Harnischflächen geringmächtig zu erkennen. Eine tiefgreifende Gesteinszersetzung wurden nirgends festgestellt.

Eine wesentlich wichtigere Rolle spielte der Grad der Gesteinszerlegung (GdZ), der eine subjektive Einteilung des Gebirges darstellt. Die Einteilung erfolgte gleich vor Ort, die Merkmale der einzelnen Stufen sind im Absatz 5.2 beschrieben.

Danach wurde die 3443 m lange Felsstrecke des Vortunnels wie folgt aufgeteilt:

minimal bis schwach	2036 m (57,1 % des gesamten Vortunnels)
mäßig	1156 m (32,4 %)
stark	251 m (7,0 %)

Dabei muß vor Augen gehalten werden, daß die westliche Strecke von Baustation 1796–3567 m aufgrund der günstigeren Verhältnisse im kleinen Firststollen beurteilt wurde.

Nach einzelnen Abschnitten bewertet ist der Bereich zwischen Baustation 1000–1500 m am stärksten beansprucht. Über 20 % dieser Strecke sind stark zerlegt.

In den Bereichen zwischen Baustation 124–1000 m und 2500–3567 m haben etwa drei Viertel der Strecke minimalen oder schwachen Zerlegungsgrad und die starke Gesteinszerlegung liegt unter 10 %.

Der Abschnitt Baustation 1500–2500 m ist der gesteinsmäßig günstigste Bereich des Vortunnels. Hier sind lediglich 12 % der Strecke mäßig und nur 6 m stark zerlegt.

6.5 Gebirgsbewegungen

Die Gebirgsbewegungen wurden vorwiegend mit Konvergenzmessungen erfaßt. Das ist die billigste und schnellste Methode, die Gebirgsbewegungen bzw. die Gebirgsspannung auf längere Strecken effektiv zu messen.

Im gesamten Vortunnel (Südröhre) wurden 110 Meßstellen und 6900 Messungen (durchschnittlich 63 Messungen je Meßstelle) durchgeführt. Dazu kommen noch 15 Meßstellen mit 262 Messungen in der Nordröhre.

Die Meßstellen wurden bei schlechten Gebirgsverhältnissen in 20 m Entfernung, im guten Gebirge in Abständen von 50 m gesetzt.

Nach der Größe der Streckenverkürzung kann man den Vortunnel in folgende Abschnitte einteilen:

Baustat.	0– 590 m	unter 25 mm, selten bis 50 mm
Baustat.	590– 950 m	zwischen 25 und 50 mm
Baustat.	950–1360 m	zwischen 80 und 120 mm, Spitze bei 170 mm
Baustat.	1360–1670 m	zwischen 25 und 50 mm
Baustat.	1670–3000 m	unter 25 mm, selten bis 50 mm
Baustat.	3000–3050 m	zwischen 25 und 50 mm
Baustat.	3050–3567 m	unter 25 mm

Der Bewegungsablauf (Konvergenzkurve) zeigt, daß die meisten Bewegungen nach dem Ausbruch der Kalotte und später beim Reißen der Strosse gemessen werden. Zwischen dem Ausbruch der Kalotte und der Strosse findet eine Beruhigung (Abflachung der Kurve) statt.

Im überwiegenden Teil des Vortunnels, vor allem wo der Firststollen bereits eine Gebirgsspannung gebracht hat, ist nach einem Monat die Beruhigung eingetreten.

Allgemein ist die Konvergenzverkürzung im Kalottenbereich größer als im Strossenbereich. Es gibt einige wenige Ausnahmen.

Im Bereich der großen Bewegungen zwischen Baustation 950–1360 m trat die Beruhigung erst nach 3 bis 4 Monaten ein und im letzten Monat vor der Innengewölbebetonierung wurden noch immer 5–10 mm Streckenverkürzung gemessen. Trotzdem wurden im Innengewölbe bis Sommer 1978 keine Beschädigungen, die auf Gebirgs-

druck zurückzuführen wären, beobachtet. Anscheinend wurden die letzten Reste der Gebirgsentspannung mit dem Innenring abgefangen.

Ein regelmäßiges Beobachten, aber vor allem das Messen der Druckdosen können über den weiteren Verlauf der Spannungszustände im Gebirge Aufschluß geben und sollen jährlich durchgeführt werden.

6.6 Gebirgsdruck- und -entspannungserscheinungen

Die Gebirgsdruckerscheinungen werden am leichtesten am Außengewölbe registriert. Sind die Gebirgsdrücke besonders kräftig, werden sie bereits knapp nach dem Abschlag beobachtet. Diese schweren Gebirgsdruckerscheinungen waren im Vortunnel nicht vorhanden.

Hier konnte man zwei Arten feststellen:

- 1) Nachbrechen und Abplattung des Gesteins, meist als Überprofil erkennbar.
- 2) Risse im Spritzbeton und das Schließen der Bewegungs- oder Dehnfugen, sowie Deformation der Ankerköpfe.

Natürlich mußte man bei der Bewertung der Druckerscheinungen die Abschlagstiefe und den Ausbauwiderstand in Betracht ziehen. So war z. B. bei kleineren Abschlagstiefen mit Bogenabständen von 1 m die Gefahr eines Überprofils bei gleichen Gebirgsverhältnissen geringer als bei längeren Abschlügen.

Das Nachbrechen und die Abplattung des Gesteins ist nur in den standfesten Gesteinsarten als eine Folge des Gebirgsdruckes (Bergschlag) anzusehen. Die dünnblättrigen Gesteine sind bereits beim Ausbrechen des Tunnels nachbrüchig, Besonders dann, wenn die Tunnelachse und das Streichen der Schieferung oder der Klüftung einen flachen Winkel einschließen. Im Tunnel bedeutete das, daß sich im südlichen Kämpferbereich und in der Firste die Ausbrüche häuften.

Im Firststollen konnte man, bedingt durch die Geometrie der Schieferung und

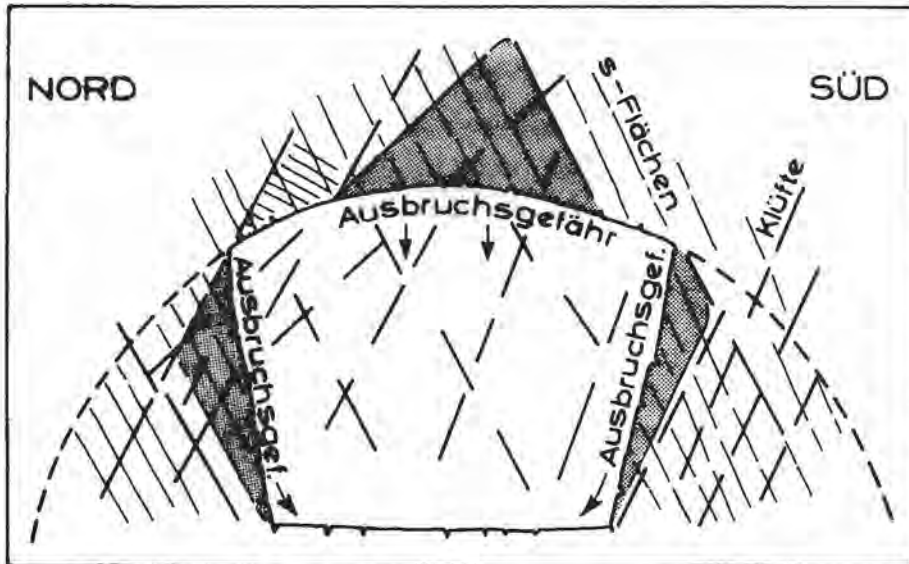


Abb: 2

der Klüftung in den ungesicherten Ulmen beidseitig Abplattungen und Nachbrüche beobachten, die auf die Entspannung und auf das Einwirken des Wassers und der Luftfeuchtigkeit zurückzuführen sind (Abb. 2).

Beschädigungen im Spritzbeton (vorwiegend Risse) wurden an folgenden Stellen beobachtet:

- Baustat. 220–250 m auf der Südseite
- Baustat. 975–1200 m auf der Südseite, z. T. Nordseite und Firste
- Baustat. 1480–1530 m auf der Südseite, auch an der Nordseite
- Baustat. 1600–1780 m auf der Südseite (geringfügig)
- Baustat. 2920–2940 m auf der Nordseite
- Baustat. 2940–3000 m im Gesamttunnelbereich kleine Risse

Stärker beanspruchte Ankerköpfe wurden in den Bereichen der Baustat. 975–1040 m; 1180–1220 m und 1360–1420 m gesichtet.

Aufgrund der festgestellten Beschädigungen kann man die Strecke zwischen Baustation 975 und 1530 m mit einigen Ausnahmen als den druckhaftesten Bereich im gesamten Vortunnel bezeichnen.

Standfestigkeit der Gesteine im Vollprofil:

- Baustat. 124–975 m nachbrüchig
- Baustat. 975–1800 m gebräch bis leicht druckhaft
- Baustat. 1800–2940 m nachbrüchig
- Baustat. 2940–3040 m gebräch bis leicht druckhaft
- Baustat. 3040–3567 m nachbrüchig.

Insgesamt waren 2518 m oder 70,5 % der Strecke nachbrüchig und 925 m oder 26 % gebräch bis leicht druckhaft. Das entspricht mit etwa 10 % Verschiebung den Gebirgs-
güteklassen III (59,5 %) und GGKl. IV (37 %).

7. Haupttunnel–Ost

7.1 Tunnelstreckenbeschreibung

Im 5096 m langen Haupttunnel–Ost wurde ein Gesteinspaket von etwa 400 m Mächtigkeit aufgeschlossen. Bedingt durch die Trassenführung und das Streichen der s-Flächen, aber auch durch tektonische Verstellungen wurden einige Gesteinspakete zwischen dem Ostportal und Baustat. 2200 m mindestens zweimal aufgefahren.

Ähnlich wie im Vortunnel werden die gleichartigen Gesteine zu Serien zusammengefaßt.

Die angetroffenen Gesteinsarten von Osten nach Westen:

- Baustation 0–800 m
Feldspatknottengneisserie mit glimmerigen und gneisigen Lagen (230 m mächtig)
- Baustation 800–1080 m
Phyllitische Glimmerschiefer und Gneise als Randgesteine des Muskovitgranitgneises (65 m mächtig).
- Baustation 1080–1760 m
Muskovitgranitgneisserie (125 m mächtig)
- Baustation 1760–1900 m
Phyllitische Glimmerschiefer und Gneise als Randgesteine des Muskovitgranitgneises.

- Baustation 1900–2120 m
Muskovitgranitgneisserie (durch tektonische Verstellung wieder sichtbar).
- Baustation 2120–2200 m
Phyllitische Glimmerschiefer und Gneise als Randgesteine des Muskovitgranitgneises
- Baustation 2200–5096 m
Feldspatknottengneisserie mit glimmerigen und gneisigen Lagen (100–120 m mächtig, bereits früher durchörtert).

Die Feldspatknottengneisserie besteht am Anfang des Haupttunnels aus Feldspatknottengneisen, quarzitischen Feldspatknottengneisen, aus Glimmerschiefern mit gneisigen und quarzitischen Lagen, Granatglimmerschiefern und tektonisch überprägten, sehr dünnblättrigen, phyllitischen Glimmerschiefern.

In der Feldspatknottengneisserie sind an zwei Stellen Störungszonen mit tektonisch überprägten Gesteinen zu verzeichnen. Die Störungszone bei Baustation 410 m ist nur etwa 1 m breit und die Gesteine zwischen den Harnischflächen sind stark aufgearbeitet und nach Osten verstellt. Zwischen den Baustationen 605 und 620 m sind phyllitische Glimmerschiefer ohne wesentliche Verstellung der Schieferungsflächen zu beobachten. Bereichsweise treten hier s-parallele Harnische und Mylonite auf. Bei der Aufweitung des Richtstollens sind typische Überprofile und Nachbrüche entstanden (Abb. 3, 4).

Die den Muskovitgranitgneisstock umhüllende Glimmerschieferserie beginnt mit dünnblättrigen, phyllitischen Glimmerschiefern, in denen häufig s-parallele Mylonite vorkommen. Ab Baustation 900 m werden die dünnblättrigen Glimmerschiefer von mächtiger geschieferten, quarzitischen Glimmerschiefern und z. T. von Quarziten, sowie von Gneispaketen abgelöst. Der Übergang zu den Muskovitgranitgneisen ist allmählich.

Die Muskovitgranitgneisserie ist die baueologisch und felsmechanisch beste Strecke im gesamten Arlberg-Haupttunnel.

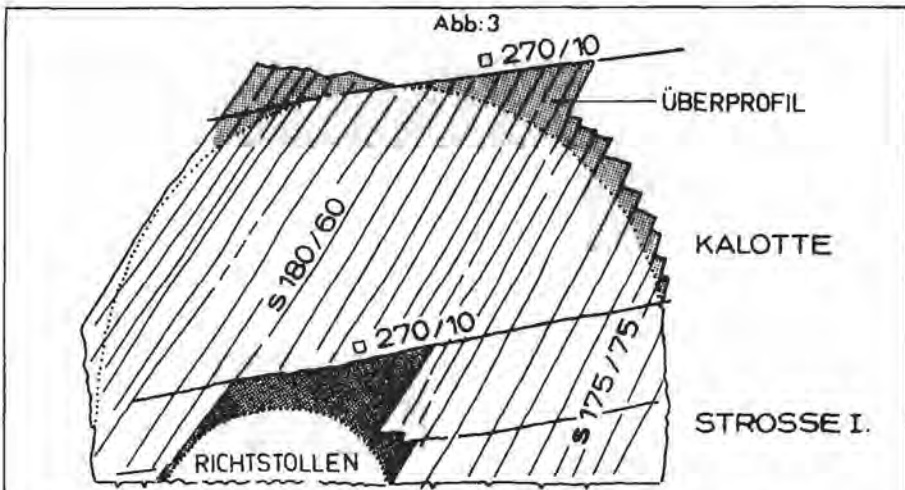
Zwischen den Baustationen 1080 und 1630 m wurden mehr oder minder mächtig (cm bis dm) geschieferte, mittel- bis grobkörnige Muskovitgranitgneise, stellenweise mit dünnblättrigen und glimmerigen Lagen angefahren.

Zwischen den Baustationen 1550 und 1575 m wurden anscheinend an Störungen gebundene, massige bis schwach geschieferte, tektonisch stark zerlegte Chloritfelsen bis Chloritschiefer angetroffen. Die s-Flächen der Chloritgesteine, soweit sie vorhanden waren, verliefen fast senkrecht auf die normale Schieferung. Die tektonische Position der Gesteine war nicht ganz klar zu ersehen. Es wird eine linsenartige Lagerung vermutet.

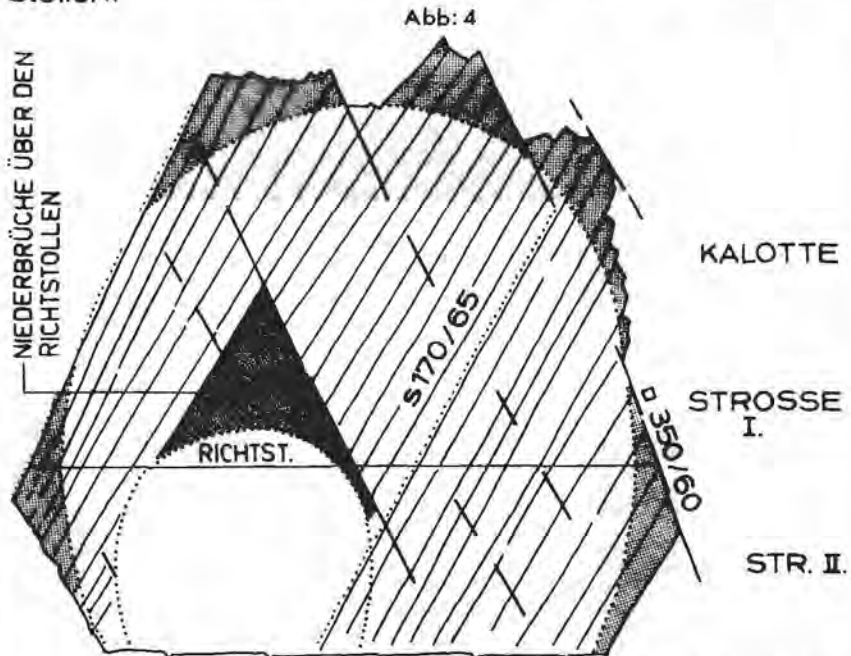
Ab Baustation 1610 m beginnt eine ausgeprägte, tektonisch zerlegte Zone. Die Muskovitgranitgneise sind stark zermürbt oder zermahlen. Daneben kommen sehr dünnblättrige, wild verfaltete, phyllitische Glimmerschiefer als Zwischenlagen vor.

Zwischen den Baustationen 1650 und 1670 m sind nur noch sehr dünnblättrige, tektonisch überprägte Glimmerschiefer mit Gneisbrocken zu beobachten. Anschließend bis Baustation 1760 m kamen wieder Muskovitgranitgneise, die dünnschiefbrig und stark zerklüftet waren, mit quarzreichen Lagen zum Vorschein. Diese Zone war von mehreren Kluftscharen zerlegt.

Die scharfe, tektonisch bedingte Grenze zwischen den Muskovitgranitgneisen und den phyllitischen Glimmerschiefern verlief zwischen Baustation 1760 m (im Süden) und 1780 m (im Norden).



Durch flache westeinfallende Klüfte bedingte Überprofile in der Firste und Niederbrüche über den Richtstollen.



Häufigste Überprofile, bedingt durch die Schieferung u. s-parallele Bewegungszonen, sowie durch die Klüftung.

Ab dieser Station wurden nur noch sehr dünnblättrige, steil gestellte Phyllonite mit härteren, quarzreichen Lagen beobachtet.

In den Phylloniten wurden des öfteren Granatkristalle und aufgearbeitete Gneisbrocken festgestellt. Der ursprüngliche Granatglimmerschiefer und Muskovitgranitgneis wurden durch tiefgreifende tektonische Vorgänge zerlegt. Der härtere Muskovitgranitgneis hat den weicheren Glimmerschiefer im Grenzbereich aufgerieben.

Im oben beschriebenen Bereich mußte der Richtstollen, aufgrund der geologischen Schwierigkeiten aufgegeben werden. Die zur Sicherung des Stollens notwendigen Stützmaßnahmen hätten ein Vielfaches der vorgeschriebenen Mittel überschritten. Außerdem war die Auflockerungszone zu groß. Man hätte für den später ausgebrochenen Tunnel schlechte Gebirgsbedingungen (Auflockerung der südlichen Ulmbereiche) geschaffen.

Die Strecke Baustation 1760–1860 m wurde zuerst nur in der Kalotte ausgebrochen. Sie war tektonisch stark zerlegt; mehrere s-parallele Störungen wurden angetroffen. Hier mußte später überfirstet werden, weil das notwendige Profil wegen der Größe der Bewegungen nicht mehr vorhanden war.

Bei Baustation 1900 m wurden wieder die Muskovitgranitgneise, die durch eine Verwerfung in südlicher Richtung versetzt waren, angetroffen. Im unmittelbaren Störungsbereich waren die Muskovitgranitgneise tektonisch zerlegt. Die Muskovitgranitgneisserie reichte auf der Südseite des Tunnels bis Baustation 2100 m, auf der Nordseite bis Baustation 2140 m.

Die anschließende Störungszone, bestehend aus phyllitischen Glimmerschiefern und Muskovitgranitgneisen endete bei Baustation 2165 m, die sehr dünnblättrigen Glimmerschiefer bei Baustation 2200 m.

Bis zur Baulosgrenze wurde dann eine ziemlich eintönige Feldspatknotengneisserie mit glimmerigen und gneisigen Bereichen aufgefahren.

Tektonisch stark überprägte, phyllitisch anmutende Glimmerschiefer, begleitet von s-parallelen Bewegungsbahnen wurden bei den Baustationen 2340 bis 2380 m und 4400 bis 4480 m angetroffen.

Ausgeprägte s-parallele Bewegungsbahnen, die in die eintönige Formation eine gewisse, für den Tunnelbau aber sehr unangenehme Abwechslung brachten, wurden bei den Baustationen 2100 bis 2400 m; 2650 bis 2800 m und 3900 bis 5096 m festgestellt. Die Intensität der Bewegungsbahnen (Breite der Mylonite, Ausprägung der Harnischflächen) war sehr unterschiedlich.

SW- bis SSW-einfallende Störungen mit Verstaltungen der s-Flächen wurden zwischen Baustation 2800 bis 2825 m und bei Baustation 3350 m beobachtet.

Im Haupttunnel-Ost sind 6 Abstelnischen und die Kaverne Maienwasen zur Ausführung gekommen. Die geologische Situation der planmäßig ausgeführten Abstelnischen war – wie auch im Vortunnel – nicht gerade optimal. Es war eine Ironie des Schicksals, daß alle Abstelnischen des östlichen Bauloses in schlechteren Gebirgsverhältnissen zu liegen kamen als die Strecken davor und dahinter. Die Gebirgsverhältnisse in der Kaverne Maienwasen wiederum müssen als ausgesprochen günstig bezeichnet werden.

7.2 Gesteinslagerung und Tektonik

7.2.1 Gesteinslagerung

Im Haupttunnel-Ost wurden während des Vortriebes fast 2000 Schieferungsflä-

chenmessungen vorgenommen. Die Auswertung aller Meßergebnisse brachte ein Maximum bei 190/60. Über die Hälfte der Messungen lagen im Bereich 170–190/50–70.

Der Haupttunnel–Ost wurde in 5 Abschnitte mit etwa gleicher Anzahl Messungen eingeteilt. Die s-Flächen fallen im östlichen Bereich mehr nach SSE ein. In den mittleren Abschnitten ist eine Drehung nach W, etwa in Richtung S bis SSW und auch Nord-einfallen zu verzeichnen. Zum Westbaulos hin wird ein Südeinfallen mit leichter Schlangenbewegung festgestellt.

Nach Abschnitten bot sich das folgende Bild:

- Baustation 0–1000 m
Die Schieferungsflächen fallen allgemein (Maximum) nach 170–180/50–65, also mittelsteil nach S bis SSE ein. Der Einfallswinkel ist minimal 30° und maximal 85°.
- Baustation 1000–2000 m
Die s-Flächen fallen allgemein nach 180–200/50–70, also mittelsteil nach S bis SSW ein. Es ist eine große Streuung der s-Flächen sowohl in Richtung wie auch in bezug auf den Einfallswinkel festzustellen. Einige wenige s-Flächen fallen sogar nach N ein.
- Baustation 2000–3000 m
Die s-Flächen fallen allgemein nach S bis SW mit 50–85° ein. Es ist ein Steilerwerden der s-Flächen festzustellen, das Nordeinfallen der Schieferungsflächen wird häufiger. Die Streuung liegt von SSE bis SW bzw. NE bis NNW.
- Baustation 3000–4000 m
Das Maximum der s-Flächen liegt bei 180–200/60–85. Allgemein ist das Einfallen recht steil, das Nordeinfallen häufig (von NNE verlagert sich mehr nach N bis NNW). Die Streuung ist geringer geworden.
- Baustation 4000–5096 m
Das Maximum der s-Flächen liegt bei 170–190/60–80, also steil nach S. Die Streuung reicht von SE bis SSW bzw. NNE bis NW, die des Einfallswinkels von 30 bis 90 Grad.

7.2.2 B-Achsen und Lineationen

Im Haupttunnel–Ost wurden relativ wenig meßbare Faltungsachsen beobachtet. Meistens sind es Faltungen im dm-Bereich.

Es dominieren, wie schon im Vortunnel, die flach (10–25°) nach Osten oder nach Westen eintauchenden Falten mit einer Streuung von NE bis SE bzw. SW bis NW.

Im Kleinbereich konnte man nicht meß-, aber konstruierbare Falten, die flach nach N, bzw. nach S zeigen, beobachten.

Die meisten B-Achsen entsprechen der Gebirgsbewegung von Süden nach Norden. Die im Kleinbereich beobachteten Falten sind der Ost-West-Einengung zuzuschreiben.

Eine deutliche Lineation an den s-Flächen ist nicht zu erkennen. Lineationen sind nur, sehr unterschiedlich, an den Harnischflächen und an Störungszonen zu finden.

7.2.3 Klüfte und Bewegungsbahnen

Im Haupttunnel–Ost wurden rund 560 Klüfte und 620 Harnische und Mylonite eingemessen. Die Auswertung aller Meßergebnisse zeigt, daß die meisten Klüfte steil bis mittelsteil nach NNW einfallen. Andere Klüftscharen fallen ebenfalls steil bis mittelsteil nach ESE bis ENE bzw. WSW bis W ein.

Die Harnischflächen und Mylonite haben ein Maximum bei 170–190/70–85. Wei-

tere Häufungen sind steil bis mittelsteil im Süden und ebenfalls steil bis mittelsteil von E bis ESE bzw. im SW zu beobachten.

Sowohl die Klüfte wie auch die Harnischflächen und die Bewegungsbahnen haben eine sehr große Streuung in jeder Richtung.

In den einzelnen Abschnitten sind folgende Gefügemerkmale zu beobachten:

- Baustation 0–1000 m

In diesem Bereich ist allgemein eine große Streuung der Klüfte und E- bis SW-einfallende Bewegungsbahnen festzustellen.

Bei den Klüften dominieren die NW-SE-streichenden, steil bis mittelsteil nach SW bzw. NE einfallenden und die mittelsteil nach E einfallenden Trennflächen.

Bei den Bewegungsbahnen ist das Maximum steil bis mittelsteil im Süden (mehr oder minder s-parallel), sowie sehr steil im SE bzw. NW und mittelsteil im E und SW. In diesem Bereich können wir von einer vierscharigen Zerklüftung sprechen. Die Hauptlinien streichen E-W; N-S; NW-SE und NE-SW.

- Baustation 1000–2000 m

In diesem Bereich ist die Streuung der Klüfte kleiner. Es sind deutliche Anhäufungen im Norden und im Osten zu beobachten. Bei den Bewegungsbahnen zeichnet sich ebenfalls im Norden und im Osten eine Anhäufung ab, das deutliche Maximum liegt aber im Süden.

Die Maxima der Klüfte liegen steil im Norden, mittelsteil im NNW und E bis ESE. Besonders stark besetzt ist der steile Bereich von NW bis SE. Die Bewegungsbahnen fallen steil nach S bzw. N, mehr oder minder s-parallel ein, sowie mittelsteil bis steil nach E. Streuungen sind NW bis N und SW bis E steil bis mittelsteil zu registrieren.

Hier dominiert eine zweischarige, von E nach W und N nach S streichende Zerklüftung.

- Baustation 2000–3000 m

In diesem Bereich ist die Streuung der Klüfte wieder größer, ein deutliches Maximum ist steil im Osten abzulesen. Bei den Harnischflächen und Myloniten verlagert sich das Schwergewicht in Richtung Westen. Die ausgeprägten, NNW zu SSE streichenden Trennflächen stehen mit der Bildung der Christoph-Furche in Zusammenhang. Bei den Klüften sind in erster Linie die steil nach E einfallenden, die mittelsteil nach NE, NW, SE und W einfallenden Scharen von Bedeutung.

Bei den Bewegungsbahnen sind die Schwerpunkte bei sehr steil bis mittelsteil nach N bis NNE und S bis W. Die Streuung ist mittelmäßig. Gegenüber den vorderen Strecken ist die Hauptstreichrichtung von WSW-ESE auf NW-SE umgeschlagen.

In diesem Bereich können wir eine besonders gut ausgeprägte, dreischarige Zerklüftung beobachten. Die Hauptlinien streichen N-S, E-W und NW-SE. Während die Klüfte nach Osten einfallen, fallen die Harnische und Mylonite hauptsächlich nach Westen ein.

- Baustation 3000–4000 m

Hier sind mittelsteil nach E und SW einfallende Klüfte dominant. Bei den Harnischflächen und Myloniten ist eine große Besetzungsdichte im mittelsteilen bis steilen SW- bis Westbereich zu sehen.

Bei den Klüften sind neben den oben erwähnten Richtungen, Streuungen zwischen NNE bis SE und SW bis NW, allgemein mittelsteil bis steil festzustellen. Klüfte, die nach N oder S einfallen, fehlen gänzlich.

Bei den Bewegungsbahnen dominieren die steilen bis mittelsteilen Trennflächen von

NNE bis SSE, hauptsächlich steil angelegt, zu beobachten.

Bei der Zerklüftung ist nur eine Streichrichtung (NW zu SE) ausschlaggebend. Die Einfallrichtung wechselt von SW nach NE. Die E-einfallende Klüftung ist weniger ausgeprägt.

● Baustation 4000–5096 m

Hier ist die Streuung der Klüfte größer. Auffallend häufig sind die flach nach Süden einfallenden Klüfte. Bei den Harnischen und Myloniten sind die mittelsteilen Bereiche im Norden und im Süden, also mehr oder minder s-parallel, am meisten besetzt.

Bei den Einfallswerten der Klüfte liegt das Maximum mittelsteil zwischen NW und N. Dazu kommen noch die flachen Klüfte im Süden. Weitere Scharen sind von NE bis SE und im SW festzustellen.

Für die Zerklüftung ist, ebenso wie im vorherigen Abschnitt, eine Streichrichtung (Ost–West) ausschlaggebend.

7.3 Bergwasser

Die Wasserführung des gesamten Haupttunnels–Ost ist minimal. Nach Abschluß der Betonierarbeiten wurde im Ostportalbereich (die ersten 251 m, die steigend ausgebrochen wurden; der weitere Bereich war wegen westlicher Fließrichtung nicht mehr meßbar und auch zu gering) weniger als 1 l/sec. gemessen.

Im wesentlichen waren Naßflächen und schwache Tropfstellen nur bis Baustation 1700 m zu beobachten. Danach wurde noch bei Baustation 2125 m und Baustation 2530 bis 2550 m Wasser aus der Sohle austretend festgestellt.

Im Richtstollen wurden noch an mehreren Stellen relativ ausgiebige Tropfstellen, die nach Jahreszeiten schwankend 1–2 l/sec Wasser lieferten, registriert. An einzelnen Stellen mußte das Wasser gefaßt werden.

Um die Betonaggressivität der Wässer festzustellen, wurden bei Baustation 160 m und 360 m Wasserproben entnommen und im Institut für Hygiene der Universität Innsbruck untersucht (Prot. Nr. 3129/76/2). Die Proben hatten eine Gesamthärte von 5,74–6,23; pH-Wert von 7,1–7,87; SO₄-Gehalt von 13,9–15,9 mg/l und MgO-Gehalt von 8,89–10,4 mg/l.

Die untersuchten Wasserproben ergaben keine Betongefährdung.

7.4 Verwitterung und Grad der Zerlegung

Die Gesteinsverwitterung spielt im Haupttunnel–Ost eine unbedeutende Rolle. Nur im Portalbereich konnte man in den ersten 70 m, an Klüfte gebundene Verwitterungserscheinungen beobachten.

Eine wesentlich wichtigere Rolle spielte der Grad der Gesteinszerlegung (GdZ). Die Einteilung erfolgte gleich vor Ort; die Merkmale der einzelnen Stufen sind im Absatz 5.2 beschrieben.

Danach wurde der 5096 m lange Haupttunnel–Ost wie folgt unterteilt:

minimal bis schwach	2583 m (50,7 % der Strecke)
mäßig	1877 m (36,9 %)
stark	516 m (10,1 %)
sehr stark	120 m (2,3 %)

Die Strecke bis Baustation 1760 m (34,5 % des gesamten Haupttunnel–Ost) wurde mit dem Richtstollen aufgeföhren. Daher waren in diesem Bereich für das große Profil günstigere geologische Verhältnisse, da die Beurteilung in der Kalotte vorgenommen wurde.

Nach einzelnen Abschnitten ist der Bereich von Baustation 1500 m bis 2000 m am stärksten beansprucht. Ein Drittel der gesamten Strecke ist stark bis sehr stark zerlegt.

Zwischen den Baustationen 4000 und 5096 m finden wir über 20 % stark bis sehr stark zerlegte Gesteine. 10 % des Gebirges ist zwischen den Baustationen 500 m und 1000 m sowie 2000 und 3000 m stark bis sehr stark beansprucht.

Während zwischen den Baustationen 3000 und 4000 m das Gebirge noch 2–3 % stark zerlegt ist, weisen die anderen Strecken überhaupt keinen starken Zerlegungsgrad auf.

7.5 Gebirgsbewegungen

Die Gebirgsbewegungen wurden im Haupttunnel–Ost, ebenso wie im Vortunnel vorwiegend mit Konvergenzmessungen erfaßt.

Im Haupttunnel–Ost (Südröhre) wurden 239 Meßstellen und 12.322 Messungen (durchschnittlich 52 Messungen je Meßstelle) durchgeführt. Dazu kommen noch 103 Messungen in der Kaverne Maienwasen und in den Verbindungstunneln und 247 Messungen im Richtstollen, also insgesamt 12.672 Messungen im gesamten Baulos „Haupttunnel–Ost“.

Die Meßstellen wurden allgemein bei schlechten Gebirgsverhältnissen in 20 m Entfernung, im guten Gebirge in Abständen von 50 m gesetzt.

Nach der Größe der Streckenverkürzung kann man im Haupttunnel–Ost folgende Abschnitte unterscheiden:

Baustat.	0– 810 m	unter 20 mm
Baustat.	810–1000 m	zwischen 50 und 80 mm, Spitze bei 120 mm
Baustat.	1000–1170 m	unter 50 mm
Baustat.	1170–1570 m	unter 20 mm
Baustat.	1570–1730 m	unter 120 mm
Baustat.	1730–1870 m	bis 250 mm
Baustat.	1870–1950 m	unter 120 mm
Baustat.	1950–2120 m	unter 50 mm
Baustat.	2120–2200 m	zwischen 200 und 350 mm
Baustat.	2200–2385 m	unter 120 mm
Baustat.	2385–2510 m	zwischen 150 und 300 mm
Baustat.	2510–2610 m	unter 120 mm
Baustat.	2610–3355 m	zwischen 150 und 250 mm, Spitze bei 605 mm
Baustat.	3355–3500 m	unter 120 mm
Baustat.	3500–4000 m	zwischen 80 und 200 mm, Spitze bei 322 mm
Baustat.	4000–4060 m	zwischen 250 und 450 mm
Baustat.	4060–4600 m	zwischen 150 und 350 mm, Spitze bei 436 mm
Baustat.	4600–5096 m	zwischen 250 und 550 mm, Spitze bei 678 mm

Der Bewegungsablauf gestaltete sich ähnlich wie im Vortunnel. Die Konvergenzkurve zeigt, vor allem in den Bereichen, wo zwischen dem Ausbruch der Kalotte und der Strosse einige Monate verstrichen sind, daß die größten Bewegungen nach dem Ausbruch der Kalotte entstehen. Zwischen dem Ausbruch der Kalotte und der Strosse findet eine Beruhigung statt. Bei dem Abbau der Strosse wird das Gebirge wieder aktiv. Es können ähnliche Gebirgsbewegungsgeschwindigkeiten wie beim Ausbruch der Kalotte erreicht werden. Im allgemeinen sind sie aber deutlich kleiner.

Am Ende des Haupttunnel–Ost ist die Beruhigungsperiode zwischen dem Abbau der Kalotte und Strosse zu gering um eine echte Beruhigung zu bewirken.

Mit Ausnahme der Eingangsstrecke und der Muskovitgranitgneisbereiche (Konvergenzen hier bis 50 mm) sind die Bewegungen außerordentlich groß. Bewegungen mittlerer Größenordnung (bis 120 mm Verkürzung) erreichen die den Muskovitgranitgneis umhüllenden Gesteine, sowie in der Feldspatknottengneisserie die besseren Bereiche. Der Großteil der Feldspatknottengneisserie weist Konvergenzverkürzungen von 250 mm oder noch mehr auf.

Die großen Konvergenzverkürzungen im westlichen Bereich des Haupttunnel-Ostabschnittes gehen mit recht großen Tagesleistungen (6–8 m) und mit Abschlagstiefen bis zu 4 m in einer großen Kalotte Hand in Hand.

7.6 Gebirgsdruck- und -entspannungserscheinungen

Im Haupttunnel–Ost konnte man drei Arten von Druckerscheinungen beobachten:

- 1) Nachbrechen und Abplattung des Gesteins, meist als geologisch bedingtes Überprofil aufgezeichnet.
- 2) Risse im Spritzbeton und das Schließen der Bewegungs- oder Dehnfugen, sowie Deformation der Ankerköpfe.
- 3) Reißen der Ankerköpfe und bereichsweise Zerstörung des Spritzbetongewölbes. Überprofile sind, ähnlich wie im Vortunnel auf der gesamten Strecke mehr oder minder häufig zu beobachten. Die Häufung der Überprofile ist naturgemäß in den Strecken mit größeren Abschlagstiefen größer als in den Bereichen mit kürzeren Abschlägen. Auch die Festigkeit des Gesteins spielt eine nicht unwesentliche Rolle.

Statistisch gesehen sind in den ersten 2000 m und zwischen Baustation 4000 bis 5000 m die meisten Überprofile zu finden. Im wesentlichen hängen die geologisch bedingten Überprofile auch von der lokalen Kluffgeometrie und der Richtung der Schieferung ab.

Beschädigungen im kleineren Maßstab (Risse im Spritzbeton, Deformation der Ankerköpfe) wurden an folgenden Stellen beobachtet:

- Baustat. 260– 370 m auf der Südseite
- Baustat. 870– 910 m auf der Südseite
- Baustat. 1170–1210 m auf der Nordseite
- Baustat. 1880–1910 m mehrheitlich auf dem Südkämpfer
- Baustat. 2340–2380 m hauptsächlich in der Firse
- Baustat. 2620–3200 m auf der Südseite, seltener auf der Nordseite

Beschädigungen im größeren Maßstab (Reißen der Ankerköpfe und bereichsweise Zerstörung des Spritzbetons), die auf höhere Gebirgsdrücke hinweisen, wurden in den folgenden Bereichen beobachtet:

- Baustat. 1630–1650 m um den ganzen Tunnel
- Baustat. 1760–1860 m meist um den ganzen Tunnel (Überfirstung)
- Baustat. 2120–2200 m um den ganzen Tunnel
- Baustat. 2800–2825 m auf der Süd- und Nordseite
- Baustat. 4280–4850 m auf der Südseite, seltener auf der Nordseite

Aufgrund der gesichteten Beschädigungen kann man generell nach Westen gehend mit zunehmenden Gebirgsdrücken rechnen. Die vorher genannten Strecken waren im Haupttunnel–Ost die druckhaftesten Bereiche.

Nach der Standfestigkeit der Gesteine ist die folgende Einteilung zu treffen:

- Baustat. 0– 260 m nachbrüchig
- Baustat. 260– 380 m gebräch bis schwach druckhaft
- Baustat. 380– 800 m nachbrüchig

- Baustat. 800– 920 m druckhaft
- Baustat. 920–1170 m standfest bis nachbrüchig
- Baustat. 1170–1210 m gebräch bis schwach druckhaft
- Baustat. 1210–1630 m standfest bis nachbrüchig
- Baustat. 1630–1905 m druckhaft
- Baustat. 1905–2100 m standfest bis nachbrüchig
- Baustat. 2100–2200 m stark druckhaft
- Baustat. 2200–2780 m gebräch bis druckhaft
- Baustat. 2780–2825 m stark druckhaft
- Baustat. 2825–4000 m gebräch bis druckhaft
- Baustat. 4000–5096 m druckhaft bis stark druckhaft

Im Haupttunnel–Ost waren 1585 m oder 31,1 % der Strecke standfest bis nachbrüchig, 1305 m oder 25,6 % gebräch bis schwach druckhaft und 2206 m oder 43,3 % druckhaft bis stark druckhaft.

Auf die Gebirgsgüteklassen umgelegt sind die Bereiche mit standfesten und nachbrüchigen Gesteinen der GGKl. III (1410 m oder 27,7 %) gleichzusetzen. Die Bereiche mit gebrächen, schwach bis stark druckhaften Gesteinen sind hauptsächlich der GGKl. IV (3663 m oder 71,9 %) und nur geringfügiger der GGKl. V (23 m oder 0,4 %) zuzuordnen.

8. Schacht Maienwasen

Im Schacht Maienwasen werden die Baustationen in Höhenmetern angegeben. Der Schachtkopf liegt in 1528,0 m N. N. (Teufe 0 m), der Schachtfuß bei 1314,1 m N.N. (Teufe 214 m). Davon entfallen 206 m auf den Schacht und 8 m auf die Kaverne Maienwasen.

Im Schacht wurden zuoberst die Glimmerschiefer der Feldspatknottengneisserie und ab Baustation 1383 m (Teufe 145 m) der Muskovitgranitgneis angetroffen. Die Randbereiche des Muskovitgranitgneises waren etwa 25 m mächtig und tektonisch weniger beansprucht als dies im Tunnel der Fall war.

Am Anfang durchhörte man hauptsächlich dünnblättrige, oft stark angewitterte Granatglimmerschiefer mit gneisigen Lagen. Bedingt durch das steile Einfallen der s-Flächen (teilweise auch Nordeinfallen) und einer ausgeprägten Klüftung reichte die Verwitterung fast 30 m tief. Vorwiegend waren die dünnblättrigen Glimmerlagen angewittert, während die gneisigen Lagen nur an den Klüften verwittert waren.

Anschließend stieg die Schieferungsmächtigkeit und auch die Gesteinsfestigkeit. Erst bei der Grenze zu den Muskovitgranitgneisen kamen wieder dünnblättrige, z. T. phyllitische Glimmerschiefer. Der Muskovitgranitgneis war einige cm bis dm mächtig geschiefert und plattig brechend.

Die s-Flächen fallen im oberen Bereich des Schachtes steil (teilweise nach Norden), dann mittelsteil nach Süden ein.

Hauptkluftrichtungen wurden steil nach NE bis E; SW und NW einfallend festgestellt. Allgemein ist die Streuung der Klüfte recht groß.

Die Harnische und Mylonite sind mehr oder minder s-parallel oder sehr steil nach NW bis NE gerichtet.

40 % der Gesteine waren minimal bis schwach, ebenfalls 40 % mäßig und etwa 20 % stark zerlegt. Der hohe Anteil der stark zerlegten Gesteine ist auf die tiefgreifende Verwitterung in den ersten 30 m zurückzuführen. Der Muskovitgranitgneis war durchgehend minimal bis schwach zerlegt.

Die gesamte Wasserschüttung lag bei etwa 2 l/sec, wobei eine gewisse Menge Ober-

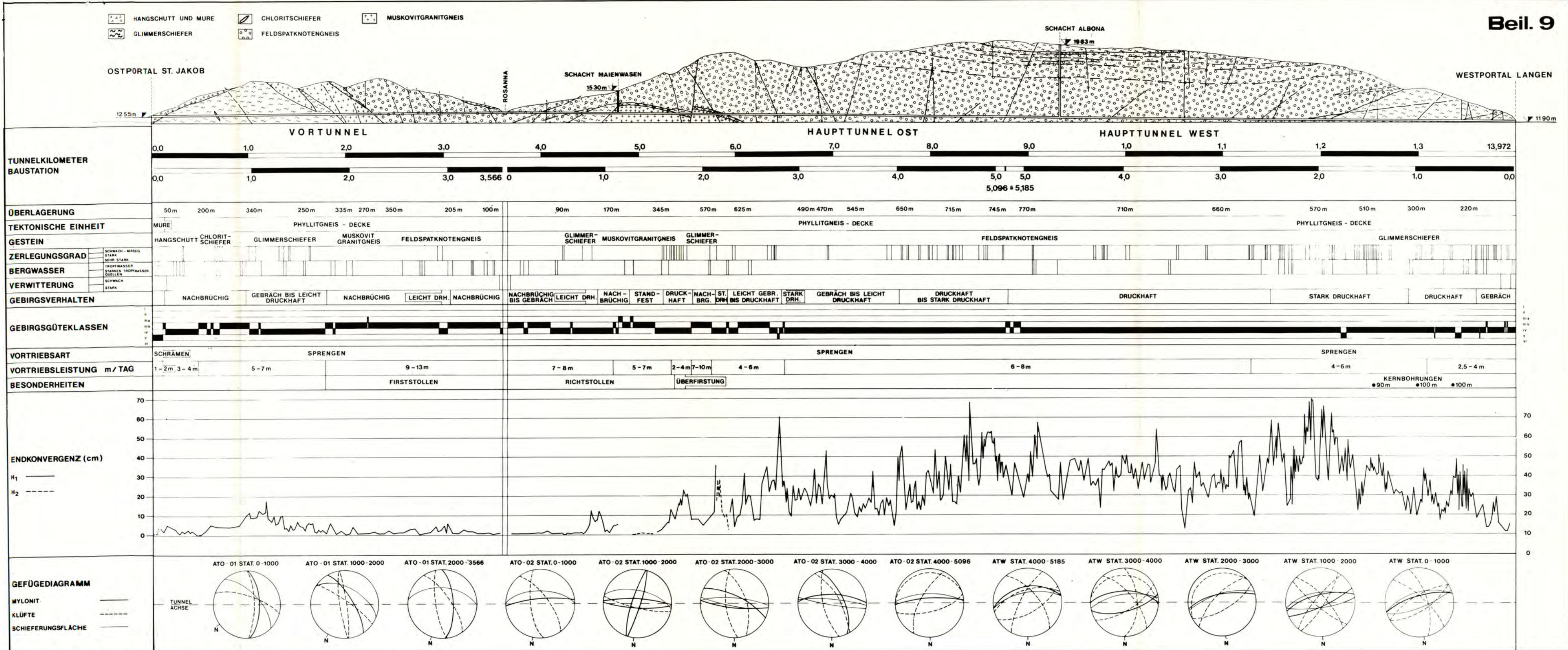
flächenwasser mitgemessen wurde.

Die gemessenen Konvergenzbewegungen waren gering. Von einem echten Gebirgsdruck kann man nirgends sprechen.

In den ersten 80 m Teufe waren keilartige Ausbrüche, vorwiegend aus dem N, durch ungünstige Klüftung und steiles Einfallen der s-Flächen bedingt, unumgänglich.

Literaturverzeichnis

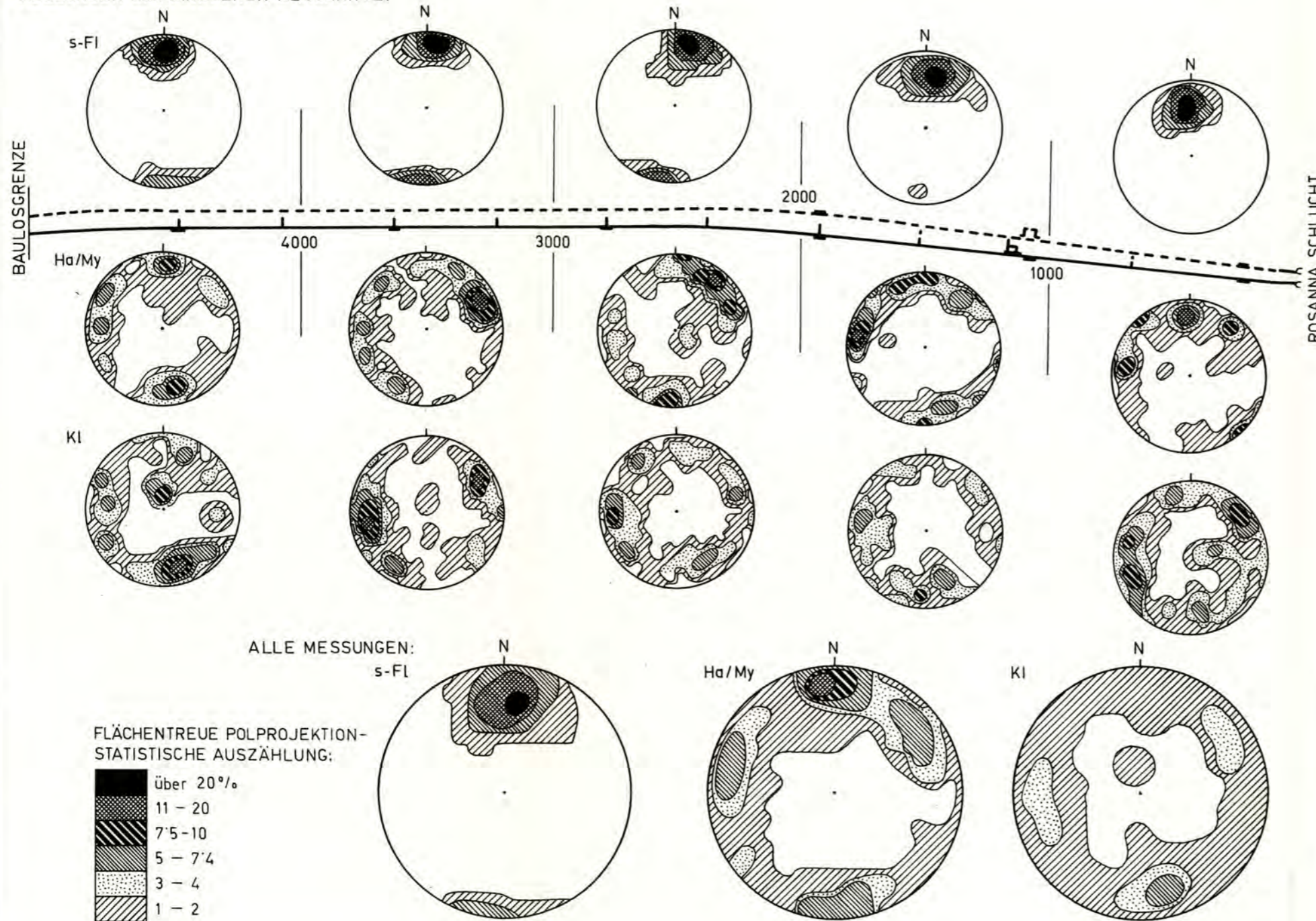
- AMPFERER, O., 1932: Über den Südrand der Lechtaler Alpen zwischen Arlberg und Ötztal. – Jb. geol. B.-A., 40 (1930), H. 3/4, Wien.
- 1932: Geologische Karte der Lechtaler Alpen, Arlberg Gebiet, 1 : 25.000. – Geol. B.-A., Wien.
- 1932: Erläuterungen zu den geologischen Karten der Lechtaler Alpen. – Wien.
- ARLBERG STRASSENTUNNEL AG., 1973: Ausschreibungsunterlagen – Vortunnel und Haupttunnel; Planung ILF. – Innsbruck, Juni 1973.
- JOHN, M., 1976: Die geotechnischen Messungen im Arlbergtunnel und deren Auswirkung auf das Baugehen. – Rock Mechanics, 5, Wien.
- KAISER, J. & KUNZ, F., 1974–1980: Geologische Stollenbänder des Arlberg Straßentunnels. – Archiv ASTAG, Innsbruck.
- 1980: Die baugewissenschaftliche Betreuung des Arlberg Straßentunnels. – Arlbergbuch (in Druck), Innsbruck.
- KUNZ, F., 1980: Geologischer Abschlußbericht – Bauabschnitt Vortunnel, Haupttunnel–Ost, Schacht Maierwasen. – Archiv ASTAG, Innsbruck.
- LÄSSER, P. & FEIZLMAYR, A., 1978: Vorbereitung, Planung und Bauleitung für den Arlberg Straßentunnel. – ÖIZ, 21, H. 11, Wien.
- POSCH, H., 1978: Die Bewältigung des Verkehrshindernisses Arlberg. – ÖIZ, 21, H. 11, Wien.
- RESCH, W., 1973: Arlbergschnellstraße S 16. Petrographische Untersuchungen. – Archiv ILF, Innsbruck.
- RIEDMÜLLER, G. & WEISS, E. H., 1976: Mineralogisch-petrographische Untersuchungsergebnisse. – Archiv ASTAG und BoKu Wien.
- 1979: Junge tektonische Bewegungen im Grenzgebiet des Kontaktes Silvrettkristallin/Phyllitgneiszone (Arlberg). – Verh. geol. B.-A., 1979, Wien.
- TREICHL, H., 1977: Arlberg Straßentunnel Ost-Vortrieb und Ausbau. – Sonderh. d. ATO, St. Anton.
- WEISS, E. H., 1973: Arlbergschnellstraße S 16 – Baugewissenschaftliches Gutachten für das generelle Tunnelprojekt. – Archiv ASTAG, Innsbruck.
- 1976: Die baugewissenschaftliche Prognose für den Straßentunnel durch den Arlberg, Tirol–Vorarlberg. – Rock Mechanics, 5, Wien.
- 1978: Geologische Erfahrungen beim Bau des Arlberg Straßentunnels. – ÖIZ, 21, H. 11, Wien.



POLPUNKTAUSWERTUNG: HAUPTTUNNEL

von F. KUNZ 1979

MESSUNGEN DER EINZELNEN ABSCHNITTE:



VORTUNNEL

Beil. 10

