

Eidgenössisches Amt für Verkehr

Eisenbahntransitlinien Gotthard und Splügen

Generelles Projekt für die Splügenbahn
Geologie

Geologischer Vorbericht

vom 28. Februar 1975

erstattet von

Eugen Weber
Ing.-Geologe SIA
Am Mühlbach
7304 Maienfeld

Prof. Walter Nabholz
Geologe
Steinerstrasse 30
3006 Bern

Jean Norbert
Géologue
6, rue Enning
1003 Lausanne

Beilagen:

1. Kartenausschnitt 1 : 25'000, Chur-Thusis, Vogelsangtunnel
2. Tektonische Karte 1 : 250'000, Abschnitt Thusis-Chiavenna
3. Geol. Horizontalschnitt 1 : 50'000, Thusis-Chiavenna
4. Geol. Längensprofil 1964, 1 : 50'000, Thusis-Chiavenna

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
1.1. Auftrag und bisherige Arbeiten	1
1.2. Geologische Literatur und Karten, frühere Berichte	3
1.2.1. Uebersichtskarten über das ganze Gebiet	3
1.2.2. Vogelsangtunnel	3
1.2.3. Splügen-Basistunnel	3
1.2.3.1. Abschnitt Thusis bis Linie Splügen-Suretta- horn-Pass dal Niemet	4
1.2.3.2. Abschnitt von der Linie Splügenpass dal Niemet bis Chiavenna	5
1.2.4. Anschlusslinie Chiavenna-Lecco	5
1.3. Einige besondere Merkmale der Geologie des Splügen- Basistunnels	7
2. Geologisch - geotechnische Beurteilung	9
2.1. Abschnitt Chur - Thusis, Vogelsangtunnel	10
2.2. Splügen Basistunnel	12
2.2.1. Verlauf der schlechten Gesteinszonen	12
2.2.1.1. Splügener-Mulde	12
2.2.1.2. Die Trias der Areua-Bruschghornschuppe	14
2.2.1.3. Nollatonschiefer	15
2.2.2. Möglichkeiten der Schachtstandorte	16
2.2.2.1. Im Hinterrheintal	16
2.2.2.2. Im Avers	17
2.2.2.3. Im Val San Giacomo	18
2.2.2.4. Schacht Macolini, nördlich Madesimo	19
2.2.2.5. Schacht von Calcagnola di sotto	20
2.2.3. Möglichkeiten der Trasseführung	22
2.2.3.1. Trassevariante Ost	22
2.2.3.2. Trassevarianten Mitte	23
2.2.3.3. Trassevarinate West	23

	Seite
2.2.4. Das Nordportal bei Thusis	25
2.2.5. Das Südportal bei Chiavenna	25
2.2.5.1. Südportal, rechte Talseite, San Vittore	25
2.2.6. Bisherige Kenntnisse über Art, Beschaffenheit und Lagerung der Gesteinsformationen	26
2.2.6.1. Viamala-Kieselkalke	26
2.2.6.2. Nolla-Kalkschiefer (incl. Safierkalke)	27
2.2.6.3. Carnusa-Schiefer	28
2.2.6.4. Flysch der Adula-Decke	29
2.2.6.5. Gesteinsserie der Areua-Bruschhorn- Schuppe	30
2.2.6.6. Vignone-Schuppen und Knorren-Zone an der Stirn der Tambo-Decke	31
2.2.6.7. Gneise der Tambo-Decke (incl. Truzzo-Granit- gneise)	33
2.2.6.8. Dolomitlinsen und basische Gesteinszüge in der Tambo-Decke	35
2.2.6.9. Der untere Teil der Splügener-Mulde (Untere Bardan-Zone)	37
2.2.6.10. Sedimente der Splügener-Mulde (Obere Bardan- Zone und Andossi-Zone)	39
2.2.6.11. Gesteinsserie der Gurschus-Kalkberg-Decke	41
2.2.6.12. Gesteinsserie der Gelbhorn-Decke	42
2.2.6.13. Gesteinsserie der Tschera-Decke	43
2.2.6.14. Gneise der Suretta-Decke incl. Rofna-Gneis	45
2.2.6.15. Verrucano und Trias der Suretta-Decke	47
2.3. Abschnitt Chiavenn ^a -Lecco	49
2.3.1. Bisherige Kenntnisse über Art, Beschaffenheit und Lagerung der Gesteinsformation	49
2.3.1.1. Serpentinstock von Chiavenna	49
2.3.1.2. Gneise in den Talflanken des Piano di Chiavenna, nördlich und westlich des Novate- granits und Tonalits	50
2.3.1.3. Novategranit, Tonalit und umgebende Gneise zwischen Stazione di Samölaco und Nuova Olonio	51
2.3.1.4. Störungszone der Insubrischen Linie mit um- gebenden Glimmerschiefern und Sedimenten (bei Nuova Olonio nördlich der Adda)	52

- | | | |
|----------|--|----|
| 2.3.1.5. | Glimmerschiefer und Gneise (Insubrisches Kristallin) zwischen Còlica und Bellano | 53 |
| 2.3.1.6. | "Gneiss chiaro", Verrucano und Servino (incl. Rauhackezüge) bei und direkt südlich Bellano | 54 |
| 2.3.1.7. | Sedimente der südalpiner Trias zwischen Bellano und Lecco | 55 |

1. Einleitung

1.1. Auftrag und bisherige Arbeiten

Unsere Arbeiten begannen mit einer Sitzung auf dem Eidg. Amt für Verkehr am 5.9.1974, zu der die drei unterzeichneten Geologen eingeladen worden waren. Dabei wurden wir über einen neu zu erteilenden Auftrag orientiert, im Anschluss an eine im Nationalrat eingegebene Motion Schmid (SG) als Geologenequipe innerhalb einer grösseren Gemeinschaft von Ingenieuren die Geologie des Splügen-Basistunnelprojektes neu zu überarbeiten und zwar auf der Basis der Erkenntnisse, die für das Projekt des Gotthardbahn-Basistunnels in den letzten Jahren gewonnen werden konnten. Es sei hier kurz erläutert, was in den letzten Jahren neu hinzu gekommen ist: Die wichtigste Zusammenfassung über die früheren Arbeiten ist enthalten in dem 1971 publizierten "Dokumentationsanhang zum Schlussbericht der Kommission des Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartements, Eisenbahntunnel durch die Alpen". Seither sind die Arbeiten für den Gotthard-Basistunnel weitergeführt worden; was seine Geologie anbetrifft, wurde uns ein auf modernen Auffassungen über die Geotechnik beruhendes Prognose-Längenprofil "wahrscheinlich" vom 3.12.1973 übergeben, das als Modell dienen soll für eine entsprechende geologische Bearbeitung des Splügen-Basistunnels.

Als Ausgangspunkt für unsere Arbeiten konnten wir auf die mehr als ein Jahrzehnt zurückliegenden Untersuchungen des einen von uns, Eugen Weber, zurückgreifen. Die damaligen Resultate sind in seinem Geologischen Bericht vom 15.1.1964 über den Basisbahntunnel Thusis-Chiavenna zusammengefasst. Schon in der Sitzung vom 5.9.74 mussten wir darauf hinweisen, dass in den zehn Jahren seit den Untersuchungen von E. Weber wesentliche rein wissenschaftliche Arbeiten ausgeführt und publiziert wurden, die den Gebirgsstreifen zwischen Thusis und Chiavenna betreffen. Im Zusammenhang damit wurde uns klar, dass auch die Wahl des Trasses unbedingt neu überprüft werden muss.

Das andauernd schlechte Wetter mit Schnee und Regen, das die Monate September, Oktober und November 1974 kennzeichnete, liess Geländebegehungen nur in aller kleinstem Umfang und nur in tiefergelegenen Gebieten zu. Leider können deshalb durch diesen Vorbericht wesentliche Fragen noch nicht beantwortet werden. Es gibt den vorläufigen Stand unserer Kenntnisse wieder und nimmt ferner Bezug auf die Wünsche, die Ing. W. Rutschmann hinsichtlich des Inhaltes dieses Vorberichtes in seinem Brief vom 23.12.74 formuliert hat.

1.2. Geologische Literatur und Karten, frühere Berichte

1.2.1. Uebersichtskarten über das ganze Gebiet

Tektonische Karte der Schweiz 1 : 500 000,
Schweiz. Geol. Komm. 1972.

Geologische Karte der Schweiz 1 : 500 000,
Schweiz. Geol. Komm. 1972.

Geologische Generalkarte der Schweiz 1 : 200 000.
Schweiz. Geol. Komm.
Blatt 4 St. Gallen - Chur, 1959
Foglio 7 Ticino, 1955.
Blatt 8 Engadin, 1964.

1.2.2. Vogelsangtunnel

OBERHOLZER J. (1920): Geologische Karte der Alpen zwischen
Linthgebiet und Rhein. Geol. Spezialkarte 63. Schweiz. Geol. Komm.

JAECKLI H. (1944): Zur Geologie der Stätzerhornkette.
Eclogae geol. Helv. 37/1 : 1 - 30.

WEBER E. 1949 - 68: Diverse Gutachten

NABHOLZ W. (1960): Unveröffentlichte geol. Originalkartierung
1 : 50 000.

1.2.3. Splügen-Basistunnel

WEBER E. (19.1.1964): Nicht publizierter geologischer Bericht
über den Basisbahntunnel Thusis-Chiavenna.

1.2.3.1. Abschnitt Thusis bis Linie Splügen-Surettahorn-Pass
dal Niemet

JAECKLI H. (1941): Geologische Untersuchung im nördlichen Westschams. *Eclogae geol. Helv.* 34/1 : 17 - 105.

-- (1967): Strecke Reichenau-Domleschg-Thusis-Via Malazillis. *Geol. Führer der Schweiz*, 8 : 786 - 789.

STREIFF V. (1939): Geologische Untersuchungen im Ostschams. *Diss. Univ. Zürich*.

-- (1962): Zur östlichen Beheimatung der Klippendecken. *Eclogae geol. Helv.* 55/ 1 : 77 - 134.

Geol. Atlas der Schweiz 1 : 25 000. Blatt 56 Andeer (1971). *Schweiz. Geol. Komm.*

WILHELM O. (1929): Geologische Karte der Landschaft Schams, 1 : 50 000. *Geol. Spezialkarte* 114 A & B Schweiz. *Geol. Komm.*

-- (1933): Geologie der Landschaft Schams. *Beitr. zur Geol. Karte der Schweiz*, NF 64.

NEHER J. (1967): Strecke Zillis-Andeer-Roflaschlucht-Sufers-Splügen. *Geol. Führer der Schweiz*, 8 : 789 - 803.

GRUENENFELDER M. (1956): Petrographie des Roffnakristallins in Mittelbünden und seine Eisenvererzung. *Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Ser.* 35.

HUDER J. (1971): Scherfestigkeit eines gebrochenen Bündnerschiefers. *Strasse & Verkehr*, 6/71: 215 - 220.

TRUEMPY R. et al. (1970): Aperçu général sur la géologie des Grisons. *C.R. somm. Soc. géol. France* 9: 330 - 364 et 391 - 394.

1.2.3.2. Abschnitt von der Linie Splügen-Pass dal Niemet bis
Chiavenna

GANSSE A. (1937): Der Nordrand der Tambpdecke. Schweiz.Min.
Petr. Mitt. 17/2 : 291 - 523.

-- (1967): Strecken Splügen - San Bernardino - Misox -
Castione und Splügen-Dorf - Monte Spluga - Chiavenna.
Geol. Führer der Schweiz, 8: 803 - 817

CADISCH J. (1967): Zur Geologie des San-Bernardino-Tunnels.
Terra grisch. 26/6: 308 - 311.

ZURFLUEH E.(1968): Zur Geologie des Monte Spluga. Diss.Zürich.

STROHBACH H.E. (1965): Der mittlere Abschnitt der Tambodecke
samt seiner mesozoischen Unterlage und Bedeckung. Diss. Univ.
Zürich.

BLANC B.L. (1965): Zur Geologie zwischen Madesimo und Chiavenna.
Diss. Univ. Zürich.

WEBER W. (1966): Zur Geologie zwischen Chiavenna und Mesocco.
Diss. ETH Zürich.

1.2.4. Anschlusslinie Chiavenna-Lecco

Carta geologica d'Italia 1 : 100 000
Foglio 17 Chiavenna (1941).
Foglio 32 Como (1937)

MOTICKA P. (1970): Petrographie und Strukturanalyse des westli-
chen Bergeller Massivs und seines Rahmens. Schweiz. Min.Petr.
Mitt. 50/2: 355 - 443.

MERLA G. (1935): Le formazioni cristalline fra l'alta Lario e la Val Bregaglia. Boll. R. Uff. geol. d'Italia 60, III: 1 - 18.

CATALISANO S. (1936): Apunti di geologia alpina. I risultati dei rilevamenti geologici eseguiti in Lombardia (Foglio 1 : 100 000, Chiavenna). Boll. R. Uff. geol. d'Italia 61, VI: 1 - 41.

FUMASOLI M.W. (1974): Geologie des Gebietes nördlich und südlich der Jorio-Tonale-Linie im Westen von Gravedona. Diss. Univ. Zürich.

BUNING W.L. (1932): De geologie van den Cimone di Margno en den Monte die Muggio. Leidsche Geol. Med. 4/3: 321 - 399.

DE SITTER L.U. & DE SITTER-KOOMANS C.M. (1949): The Geology of of the Bergamasc Alps. (Mit geol. Karte 1 : 50 000 des Abschnitts Bellano-Lecco = Plate 40 und Profilen = Plate 42.) Leidse Geol. Med. 14/B: 1 - 257.

TRUEMPY E. (1930): Beitrag zur Geologie der Grignagruppe am Comersee. Eclogae geol. Helv. 23/2: 379 - 487.

GANSSEER A. (1967): Abschnitt Lugano-Menaggio-Chiavenna-Maloja. Geol. Führer der Schweiz, 8: 856 - 863.

CORNELIUS H.P. & CORNELIUS-FURLANI M. (1930): Die Insubrische Linie vom Tessin bis zum Tonalepass, Denkschr. Akad. Wissensch. Wien, Math.-naturw. Kl., 102/7: 207 - 301.

WEBER J. (1957): Petrographische und geologische Untersuchung des Tonalitzuges von Melirolo - Sorico zwischen Tessintal und Comersee. Schweiz. Min.Petr. Mitt. 37/2: 267 - 396.

MOHAMED RAGAIC E. TAHLAWI, Diss. ETH, 1965, Geologie und Petrographie des NE-lichen Comerseegebietes, Prov. Como, Italia

1.3. Einige besondere Merkmale der Geologie des Splügen-Basistunnels

Die geologisch-tektonischen Strukturen des Splügen-Durchstichs unterscheiden sich in wesentlichen Belangen von denjenigen des Gotthard-Basistunnels. Im Gotthard liegen die nördlichen Zweidrittel der Tunnellänge in den kristallinen Zentralmassiven, dem Aar-, Tavetscher und Gotthard-Massiv, sowie den Lucomagno-Gneisen, durchlaufend gekennzeichnet durch fast saiger stehende Kristallformationen, die sich infolge dieser steilen Lagerung ohne wesentliche Fehlerquelle von der gut erforschten Terrainoberfläche ins Tunneltrasse hinunter projizieren lassen. Eine entsprechende Massivzone kommt im Splügenquerschnitt nicht vor.

Das südliche Drittel des Gotthard-Durchstichs liegt im recht gleichmässig flach gelagerten Kristallkörper der Leventina-Gneise, die infolge ihrer alpidischen Rekrystallisation bei hohen Drucken und Temperaturen (sog. Amphibolitfazies der Metamorphose) eine gute Kohäsion besitzen. Aehnliche Verhältnisse sind im Splügentunnel-Profil nur in den südlichsten 5 km bei Chiavenna verwirklicht, nämlich im südlichsten Teil des kristallinen Kerns der Tambo-Decke.

Diese Tambo-Decke liegt im Gesamtdeckengebäude der Alpen rund 10 km höher als die Leventina-Gneise. Dies rührt daher, dass alle penninischen Decken von der Axialkulmination des Tessins mit einem Axialgefälle von 12° - 22° nach E abtauchen, wodurch sukzessive höhere Decken zum Ausbiss mit der Terrainoberfläche gelangen. Ueber den Leventina-Gneisen folgen die mächtigen kristallinen Deckenkörper der Simano- und der Adula-Decke, dann die mesozoische Misoxer Zone und erst in ihrem Hangenden die Tambo-Decke. Von der Gegend bei Chiavenna, die im voranstehenden Abschnitt erwähnt ist, nimmt der Grad der alpidischen Rekrystallisation (Metamorphose) gegen N und NE allmählich ab; damit ist die Möglichkeit für geringere Kohäsion (= Gleitflächenscherfestigkeit) und geringere Gleitflächenreibungswinkel innerhalb der Gesteinskörper gegeben, und zwar dort, wo alpidische Bewegungsflächen

den Gesteinsverband gelockert haben. Ihren Verlauf zu kennen, ist deshalb wichtig.

Das vor mehr als zehn Jahren, nach den damaligen Kenntnissen konstruierte geologische Längsprofil entlang dem Splügen-Basistunnel (Beilage 4) zeigt in aller Deutlichkeit die vorherrschend flachen Strukturen. Die flachen Fallwinkel der Formationen bedingen, dass sie von der Terrainoberfläche her über viel grössere Distanzen als im Gotthard-Basistunnel bis in die Tunnelebene hinunter projiziert werden müssen. Den Messungen an der Terrainoberfläche kommt deshalb für das Splügenprojekt wesentlich grössere Bedeutung zu als beim Gotthardprojekt. Leider können derartige Messwerte aus den bestehenden Karten und der wissenschaftlichen Literatur (vgl. 1.2.3.) über grosse Strecken nur in unbefriedigendem Mass entnommen werden. Zahlreiche Kontrollmessungen im Gelände sind unabdingbar notwendig und konnten bisher, speziell für die Strecke Splügen-Campodolcino, noch nicht gemacht werden.

Schliesslich muss mit Nachdruck festgehalten werden, dass der tektonische Bau des Splügener Querschnitts sich nicht nur durch die flach liegenden Strukturen vom Gotthard-Querschnitt unterscheidet, sondern zudem wesentlich komplizierter ist. Die geologisch-tektonische Karte (Beilage 2) zeigt dies sehr deutlich. Aus dem gleichen Grund ist auch die Liste der Literatur, die es zu berücksichtigen gilt, beachtlich lang (vgl. 1.2.3.). Das sorgfältige Studium des komplizierten tektonischen Baus bringt es mit sich, dass eine beeindruckend grosse Zahl von Daten verarbeitet werden muss, um geologische Voraussagen für den Splügen-Basistunnel machen zu können. Auch hiezu müssen wir bemerken, dass uns im gegenwärtigen Zeitpunkt - nach Berücksichtigung der Literatur und der bestehenden Kartengrundlagen - noch einige Daten fehlen, die das bautechnische Verhalten und dabei insbesondere auch die Wasserführung einzelner Gesteinsformationen, die unter sehr hoher Ueberlagerung stehen, betreffen. Derartige Daten könnten nur durch Geländebegehungen beschafft werden.

2. Geologisch - geotechnische Beurteilung

Siehe Beilagen 1 - 4!

2.1. Abschnitt Chur - Thusis, Vogelsangtunnel

Beilage 1 Kartenausschnitt 1 : 100'000

Im Abschnitt Chur-Ems ist das Trasse noch nicht fixiert. Es verläuft über den Rheintalalluvionen zum Pt. 589.4 südlich Ems. Hier liegt das N-Portal des Vogelsangtunnels, das S-Portal befindet sich N-lich Mulegns im Südosten von Rothenbrunnen (ist im Terrain noch genauer festzulegen). Länge des Vogelsangtunnels ca. 7 km. Ab Rothenbrunnen bis zum Nordportal des Splügentunnels folgt das Trasse nach Ueberquerung des Hinterrheins, demselben linksseitig, alles über die Schotterebene des Domleschgs.

Der Vogelsangtunnel

Tektonische Einheit

Auf seiner ganzen Länge kommt der Tunnel in die Klus-Serie zu liegen, Bündnerschiefer, die mit den Lugnezerschiefern eine Einheit der Adula-Decke bilden. Diese Klus-Serie, die entsprechend dem NE-lichen Axialgefälle nach Chur hinunterstreicht, zieht weiter nördlich in die Klus am Eingang des Prättigaus.

Art., Lagerung und Beschaffenheit der Gesteine der Klus-Serie

Die Schichten der Klus-Serie streichen generell SW - NE und fallen in den nördlichen 3 1/2 km mit 8 - 12° nach SE (also eher flache Lagerung). Der Tunnel wird hier in schleifendem Schnitt gegen die Schichtköpfe aufgeföhren. Aufgebaut wird der Gesteinsverband durch sandige Kalkschiefer mit Tonhäuten, sandig-tonigen Lagen, 3 - 10 cm mächtige Kalk- und Sandkalk-Bänkchen. Von 3 1/2 km ab Nordportal gegen S nimmt die Kleinfaltung in den Schiefern allmählich zu, gleichzeitig stellen sich die SE-fallenden Schieferungsflächen sukzessive steiler und gehen über die Vertikale hinaus

zu N-Fallen über (ca. bei 4 km ab Nordportal). Gegen das Südportal bei Rothenbrunnen geht die Schieferung der stets kleingefalteten Serien über steiles in mittelsteiles SE-Fallen über. Die Verbandfestigkeit ist gut. Es kann über grössere Strecken ein standfestes Gebirge in mittelhartem Gestein aufgefahren werden. Die seismischen Geschwindigkeitswerte betragen: $v = 3900 - 4100$ m/sec, E-Modul ca. $380 - 410$ to/cm². Die Messungen an verschiedenen Stellen ergaben ziemlich einheitliche Werte; eine Richtungsabhängigkeit (in Bezug auf die Schieferung) der Geschwindigkeitswerte konnte nicht festgestellt werden.

Tunnel und Stollenbauten in der Klus-Serie:

- RhB-Tunnel in der Klus zwischen Malans und Seewis-Station;
- Festung Ganda (Eingang Klus);
- Festung Molinära bei Trimmis;
- KW-Nisellas-Rothenbrunnen der Stadt Zürich. Abschnitt Tomilser-tobel-Wasserschloss-Druckschacht;
- KW-Zervreila, Druckstollen-Druckschacht Rothenbrunnen.

Der Wasseranfall dürfte in eher bescheidenem Rahmen liegen. Tropf- und wenig Fliesswasser aus Kluft- und Scherflächen muss erwartet werden.

Bergschlag ist nicht zu erwarten.

2.2. Splügen-Basistunnel

Die Beilage 3 zeigt die uns möglich erscheinenden Schachtstandorte auf, die geologisch noch näher studiert werden müssen. Die eingetragenen Verbindungslinien zwischen den Schächten entsprechen nicht einem künftigen Tunneltrasse, sondern stellen generell mögliche Linienführungen dar, die sowohl in bautechnischer wie auch geologischer Hinsicht näher studiert werden müssen und zu einer ersten Evaluation führen können.

2.2.1. Verlauf der schlechten Gesteinszonen

(bisherige Kenntnisse)

Siehe Beilage 2,3 und 4

Nach unseren bisherigen Kenntnissen nehmen wir an, dass den Triaszonen besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist. In diesen Zonen tritt häufig Rauhwacke auf, vergesellschaftet mit Gips und Anhydrit, eventuell auch zuckerkörnigem Dolomit. Rauhwackezüge können ausgezeichnete Wasserleiter sein. Bei zunehmender Ueberlagerung ist mit hohen Gebirgs- und Wasserdrücken zu rechnen. In Anbetracht des Tunnelquerschnitts und der zu erwartenden hohen Ueberlagerungen liegen in solchen Abschnitten u.E. die grössten bautechnischen Schwierigkeiten.

Solche Abschnitte können speziell in der Splügener Mulde und in der Areua-Bruschhorn-Schuppe angetroffen werden. Es wird Aufgabe der weiteren geologischen Abklärungen sein, die Triaszonen im Detail zu studieren, um ein Trasse mit den kleinsten diesbezüglichen Risiken zu finden.

2.2.1.1. Splügener Mulde

Im Anschluss an unsere obigen Ausführungen sei hier zuerst die Splügener Mulde genannt, die durch eine ausserordentliche Vielfalt verschiedenster Sedimentgesteine gekennzeichnet ist (vgl. 2.2.6.10), von denen wir hier lediglich auf die Rauhwacke hinweisen.

In dieser Hinsicht seien hier die karstartigen Wasserverluste im Stausee Monte Spluga erwähnt.

Der Verlauf der Splügener Mulde geht aus den Beilagen 2,3 und 4 hervor. Kurz rekapituliert: sie zieht hoch durch die rechte Talflanke des Bergell über Avero - Fraciscio - Madesimo - Splügenpass - Splügen nach Sufers. Mit z.T. beträchtlichen Mächtigkeitschwankungen von 0 bis 200 m bildet sie hier die wannenförmige Unterlage des Surettakristallins. Von Sufers an bildet sie in ihrer Fortsetzung über den Lai da Vons - Andeer - Pignia die Stirnumhüllung des Rofna-Kristallins, steigt also aus der Unterlage des Suretta-Kristallins auf und hat ⁺ saigere Stellung. Von Pignia nach S bildet ihre Fortsetzung gegen den Piz la Tschera das Dach des Suretta-Kristallins.

Die Durchstossung der Splügener Mulde ist, je nach Trassewahl, in folgenden Bereichen vorgesehen:

- a) am N-Rand östlich Pignia. Streichen $N 87^{\circ} E$; Fallen: $78^{\circ} S$;
- b) im Gebiet östlich und südöstlich des Splügen-Passes. Streichen: $N 41^{\circ} W$; Fallen $24^{\circ} NE$;
- c) am S-Rand bei Avers und östlich davon. Streichen $E 16^{\circ} S$; Fallen $22^{\circ} NNE$.

Wie aus der Beilage Nr. 3 zu ersehen ist, wird auch in die Studien ein Trasse über einen Schacht bei Tgavrida-Innerferrera in Betracht gezogen.

Stollen- und Tunnelbauten in der Splügenermulde:

- Druckstollen Bärenburg-Sils der KHR. Abschnitt Avas-Pignia
- Druckstollen Sufers-Bärenburg der KHR. Einlaufpartie Sufersensee.
- Ueberleitungsstollen Avers-Madris der KHR.
- Strassentunnel Cröt-Valle die Lei der KHR.
- Pipeline Scheitelstollen der Oleodotto del Rena am Splügen-Pass
- Druckstollen Splügenstausee-Wasserschloss Isola.

2.2.1.2. Die Trias der Areua-Bruschghornschuppe

In der Variante über den Schacht Splügen ist die Durchquerung dieser Zone zur Erreichung des südlichen Tambo-Kristallins unumgänglich. Die Areuazone ist eine selbständige komplexe Serie, die sich auch föziell stark von dem Liegenden (Adulatrias, Uccellozone) unterscheidet. Sie wird wie folgt aufgegliedert:

- a) Areuegneis
- b) Normalstratigraphische Bedeckung des Areuegneises
 - b1) Liegendserie: Basale Triasreste.
 - b2) Hangendserie: Casannaschiefer
 - Carbon (Perm unsicher)
 - Trias
 - Lias (Breccien)
 - Bündnerschiefer

Soviel bis heute bekannt, handelt es sich in diesem Schuppenpaket um vereinzelte Triaseinlagerungen (Rauhwacke) von geringer Mächtigkeit. Im Hinblick auf einen Tunnelbau genügen die vorhandenen Unterlagen nicht, um eine geologisch "wahrscheinliche" Prognose abgeben zu können. Es ist deshalb unerlässlich, im kommenden Sommer eingehende Untersuchungen im Räume Splügen W-Tamboalp durchzuführen.

Die Gesteinsschichten der Areueserie fallen axial mit rund 14° nach Osten ein. Im Bereich des Tunneltrasses zeigt sich an der Oberfläche ein Schichtfallen von rund 29° nach SE.

Untertagbauten in dieser Zone sind uns nicht bekannt. Dagegen liegt eine geolog. Studie über einen Splügen-Strassentunnel: Splügen W - Isola vor, die vom Geologischen Institut der Universität Milano und E. Weber auf Grund von Feldbegehungen erstellt wurde. Ferner bestehen Aufnahmen mit Kurzbohrungen auf der Tamboalp, die im Auftrage der KHR erstellt wurden, zwecks Ueberleitung des Tamboalpwassers in das Wasserschloss Innerferrera.

2.2.1.3. Nolla-Tonschiefer

Es handelt sich um eine 600 - 700 m mächtige graue und schwarze Tonschiefer-Serie, die keinen bis geringen Kalkgehalt, oft aber hohen SiO_2 -Gehalt in der Pelit- und Silt-Fraktion aufweist. Man nimmt an, dass die Nolla-Tonschiefer als Tunnelgebirge bei Ueberlagerungen von mehr als 1000 m druckhaft sind, bei plastischer Verformung des Gesteins. Von Westen her bis zur Viamala treten allmählich Uebergänge zu Kieselkalken und Sandsteinen auf. Bei der Trassewahl sollte darauf geachtet werden, den Nolla-Tonschiefern auszuweichen, was realisierbar ist.

2.2.2. Möglichkeiten der Schachtstandorte

Siehe Beilage Nr. 3 (Alle Höhenangaben ca.). Siehe auch die jeweils einschlägigen Gesteinsbeschreibungen unter 2.2.6.

In seinem Schreiben von Herrn Dipl. Ing. Rutschmann vom 23.12.74 wurden unter 1. die Bedingungen umschrieben, die an einen Schachtstandort gestellt werden, im Hinblick auf Geologie-Geotechnik, Bauausführung und Bauzeit. "Das Konzept der Bauausführung des Splügentunnels muss auftragsgemäss gleich sein wie dasjenige für den Gotthard-Basistunnel. Im Hinblick auf eine möglichst kurze Bauzeit ist grundsätzlich die Zahl der Zwischenangriffschächte, verglichen mit den früheren Projekten, zu erhöhen, sofern die topographischen und geologischen Gegebenheiten dies ermöglichen. Nun lässt sich nicht einfach eine Zahl von 3 oder 4 Schächten fordern. Massgebend für die Bauzeit ist nicht diese Zahl allein, sondern die Eigenheiten des sogenannten bauzeitentscheidenden Abschnittes. Diese Eigenheiten sind, seine Länge sowie die Tiefe bzw. Tiefen des bzw. der an den Abschnitt angrenzenden Schächte sowie die geologischen Verhältnisse für Schächte und Tunnel. Ich bin der Meinung, dass der bauzeitentscheidende Abschnitt im mittleren Bereich des Tunnels und nicht etwa unter der Via Mala oder dem Val San Giacomo liegen wird. Die Distanz zwischen den beiden, den mittleren Abschnitt begrenzenden Schächten soll möglichst kurz sein. Daraus resultiert zwar ein langer nördlicher und ein ebensolcher südlicher Bereich, diese lassen sich aber - falls sie zuerst bauzeitentscheidend wären - durch weitere Schächte in kürzere Abschnitte unterteilen." Die in Beilage Nr. 3 eingetragenen Schachtstandorte wurden unter diesen Aspekten untersucht und provisorisch festgelegt. Sobald die endgültige Trassewahl vorliegt, sind die in Frage kommenden Schächte einer genaueren geologischen Abklärung zu unterziehen. Es sind dies:

2.2.2.1. Im Hinterrheintal (alle Höhenangaben ca.)

Die 3 Schachtstandorte Rania (OKT 890 m), Malogna (OKT 980 m), Patzen-E (OKT 1000 m).

Verkehrslage: Rania und Malogna über bestehende Strasse mit kurzen Anschlussstücken erreichbar. Patzen-E verlangt einen Strassenausbau.

Geologische Verhältnisse: Alle 3 Schächte durchstossen im obern Teil Gesteine des Adulaflysches, im untern Teil die Nolla-Kalkschiefer, ausser dem Schacht Patzen-E, der vermutlich auf seiner ganzen Länge im Flysch steckt. Schichtlage: Streichen SW - NE, Fallen 25° SE. Wasserhaltung gering.

Der Schacht von Andeer (OKT 1000 m)

Verkehrslage: Strassenzufahrt

Geologische Verhältnisse: Ganzer Schacht in massigem Rofnaporphyr. Gute Ausbruchverhältnisse. Wasserhaltung mittel.

Schächte Splügen N und S (OKT beide 1460 m)

Verkehrslage: Strassenzufahrt

Geologische Verhältnisse: Nach Durchörterung der Areua-Zone im tieferen Teil in den Nolla-Kalkschiefern. Eine genauere Beurteilung über das geotechnische Verhalten der Gesteine der Areua-Zone ist erst nach Abschluss der für den Sommer 75 in Aussicht stehenden Feldbegehungen möglich.

2.2.2.2. Im Avers

Schacht Tgavrida (OKT 1440 m), nördlich Innerferrera.

Verkehrslage: Strassenzufahrt

Geologische Verhältnisse: Schacht im Rofnagneis. Die Einschaltung einer Triasschicht bis zu 30 m Mächtigkeit ist möglich, wobei die Trias auch Rauhwacken enthalten könnte. Eine genauere Ueberprüfung an Ort und Stelle drängt sich auf. Im Rofnagneis gute Schachtverhältnisse, bei einem Triasvorkommen ist mit Schwierigkeiten im Schachtbau zu rechnen. Dann auch erhöhter Wasserzufluss in der Trias.

Schacht Val Niemet (OKT 1890 m).

Verkehrslage: Bau einer Strasse von Innerferrera nach Schachtstelle Niemet unumgänglich. (Event. Schwerseilbahn und Personenbahn?)

Geologische Verhältnisse: Der Schacht kommt auf seiner ganzen Länge in das Kristallin der Timunschiefer zu liegen. Der ganze Schichtverband ist z.T. in Grossfalten ausgebildet, im allgemeinen aber entsprechend dem Axialgefälle nach E abfallend (5° - 35°) Die Wasserhaltung ist unbedeutend.

2.2.2.3. Im Val San Giacomo

Die 4 Schächte Soste (OKT 1500 m), Isola (OKT 1350 m), Pianazza (OKT 1170 m) und Vho (OKT 950 m) liegen in unmittelbarer Nähe des Liro.

Verkehrslage: Für den Schacht Soste ist von Isola aus eine Zufahrt von rund 2 km Länge, ca. 220 m Höhendifferenz, zu bauen. Die Schachtstandorte Isola, Pianazza und Vho können als erschlossen bezeichnet werden.

Geologische Verhältnisse: Alle 4 Schächte kommen in ihrer ganzen Länge in Ortho- und Paragneise der Tambo-Decke zu stehen. Das allgemeine Fallen der Schicht- und Schieferungsflächen geht nach E, wobei lokal Fallwinkel zwischen 21° - 55° gemessen werden können.

Für einen Schachtausbruch dürften sich die Tambogneise eignen, wenn auch über kürzere Strecken mit Absicherung zu rechnen ist. Die Wasserhaltung dürfte sich auf Tropf- und geringe Mengen von Fließwasser aus Klüften beschränken.

Kein Bergschlag zu erwarten.

2.2.2.4. Schacht Macolini (1700 m), nördlich Madesimo. Event. in unmittelbarer Umgebung von Madesimo selbst.

Herr Rutschmann hat gesprächsweise einmal diesen Schachtstandort kurz gestreift und bedauert, dass derselbe in der Trias der Splügener Mulde angesetzt werden müsste. In der Folge haben wir uns mit diesem Problem etwas näher befasst und sind zur Ueberzeugung gelangt, dass diese Idee doch einer genaueren Untersuchung wert ist.

Unsere Ueberlegungen gehen dahin, eine kurze obere, erste Schachstrecke direkt in der Bardan-Zone abzuteufen, um dann in die liegenden Tambogneise zu gelangen. Die Gesamtmächtigkeit der Splügener-Mulde ist im Abschnitt Madesimo ca. 320 m, die Schichten fallen mit rund 35° nach E, sodass sich eine maximale Schachthöhe in der Splügener Mulde von 390 m ergibt. Es gilt nun folgendes zu beachten:

- Von Madesimo nach Macolini weicht der Tallauf des Scalcoggiabaches zum Streichen der Splügener Mulde unter einem Winkel von rund 30° nach ENE ab, d.h. gegen Macolini hin quert das Tal die Splügener Mulde von unten nach oben. Je mehr der Schacht in Richtung Madesimo geschoben wird, umso kürzer wird die Strecke der Splügener Mulde im Schacht. Im unmittelbaren Bereich von Madesimo kann der Schacht in der unteren Bardan-Zone angesetzt werden und erreicht vermutlich nach rund 60 m das Tambokristallin.

- Um zur Durchörterung der Splügener Mulde eine möglichst kurze Strecke im Bahntunnel bewältigen zu müssen, ist der Schachtstandort Macolini einem rund 3 km südlich gelegenen bei Madesimo vorzuziehen.

Wir haben also die Wahl: Schacht Macolini, Splügener^Mmulde im Schacht gross (ca. 200 m), Strecke im Basistunnel zum Schacht Rofla rund 12 km, zu einem Schacht im Val Niemet rund 6,5 km; oder Schacht Madesimo, Splügener^Mmulde im Schacht klein (ca. 60 m), dafür Strecke im Basistunnel zum Schacht Rofna rund 15 km, zum Schacht Niemet rund 9,5 km.

Die Zugänglichkeit zu den Schachtstandorten ist natürlich in Madesimo praktisch voll erschlossen. Für den nördlichen Schacht bei Macolini ist eine rund 3 km lange Strasse zu erstellen.

Dieses ganze Problem, Schachtlage im Raume Madesimo bedarf noch einer genaueren geologischen Abklärung.

2.2.2.5. Schacht von Calcagnola di sotto (OKT 1600 m), oberhalb Fraciscio.

Verkehrslage: Die Erstellung einer neuen Strasse von Fraciscio zur Schachtbaustelle ist nicht realisierbar. Es käme nur die alte Schweiseilbahn nach Valle di Lei in Frage. Heute stehen nur noch die Fundamente, sodass auf diesen neue Masten erstellt werden müssten.

Geologische Verhältnisse: Der Schacht käme in seiner ganzen Höhe in die kristallinen Timunschiefer der Surettadecke zu liegen. Sicher ein gutes Tunnelgebirge. Schieferungslage: Streichen N-S. Fallen 37° E.

Wasserhaltung: Tropf- und Fliesswasser aus Klüften.

Zusammenfassend darf festgehalten werden, dass folgende Schächte noch eine genauere geologisch-geotechnische Ueberprüfung erfordern: Splügen N und S; Tgavrida, Macolini - Madesimo und Soste. Besondere erschliessungstechnische Probleme bringen die Schächte Val Niemet und Calcagnola di sotto mit sich.

Im weiteren sollte unseres Erachtens auch noch folgende Ueberlegung überprüft werden: Wäre es nicht möglich einen der Schächte im unmittelbaren Bereich der Splügener^Mmulde oder der Areua-Vignone-Schuppen so anzusetzen, dass in seinem unteren Teil diese Zonen gequert würden, das untere Schachtende jedoch im liegenden Kristallin resp. in den Nolla-Kalkschiefer stecken würde? Dies hätte den Vorteil, dass die prekären Gesteinsstrecken unmittelbar in Schachtnähe aufgeföhren werden könnten, und bereits deren Zusammensetzung, Bau und geotechnischen Daten bekannt wären.

2.2.3. Möglichkeiten der Trasseführung

Siehe Beilage Nr. 3

Die sich anbietenden Möglichkeiten von Tunneltrassen sind in der Beilage Nr. 3 schematisch eingetragen. Um überhaupt auf realem Boden zu bleiben, ist ein Blick auf mögliche Schachtstandorte unerlässlich.

Geologisch-geotechnisch gesehen liegt das Problem darin, nach Möglichkeit den zu vermutenden schwierigen Gesteinszonen der Splügener Mulde, resp. deren Triasgesteinen auszuweichen. Wo dies nicht möglich ist, soll diese Zone in Abschnitten mit ausgesprochen reduzierter Mächtigkeit gequert werden. Dabei sollten auch die Schachtstandorte so verteilt sein, dass wenn möglich wenigstens von einem Schachtpunkt aus die baulich schwierigen Gesteinszonen auf kürzerer Distanz an- und aufgefahren werden können.

Die einzelnen Gesteinselemente und ihre ungefähren Längen, die von den verschiedenen Trassevarianten durchfahren werden, können aus der Beilage 3 abgeschätzt werden.

In blauer Farbe ist das alte Splügenbahntrasse eingetragen mit 2 Schächten, im Norden Schacht Rofla und im Süden Schacht Isola. Das dazugehörige geologische Längenprofil 1 : 50 000 liegt als Beilage 4 bei. Siehe auch geolog. Bericht vom 15.1.64, sowie Ergänzungsbericht vom März 1965.

Die in Beilage Nr. 3 eingetragenen Varianten können als Trasse Ost, Trasse Mitte und Trasse West bezeichnet werden.

2.2.3.1. Trassemöglichkeit Ost (grün)

Diese Variante quert 2 mal die Splügener Mulde, im Norden bei Andeer, im Süden südlich Calcagnola di sotto. Sie führt von Thusis über die Schächte Andeer-Tgavrida-Calcagnola di sotto nach Chiavenna.

Diese Trassemöglichkeit würde die Voraussetzung erfüllen, Querung der Splügener Mulde an Stellen mit reduzierter Mächtigkeit. Die Strecke Andeer-Tgavrida und der Schacht bei Calcagnola di sotto bedürfen aber noch weiterer geologischer Abklärung (Siehe rote Ringe auf Beilage 3). Beim Schacht im Süden steht auch noch die Frage nach einer möglichen Baustellenerschliessung offen.

2.2.3.2. Trassemöglichkeiten Mitte (violett)

All diese Varianten haben von Norden her ein und dasselbe Trasse bis zum Schacht Rofla. Von hier führt ein Strang über den Schacht Niemet, Schacht Calcagnola di sotto nach Chiavenna; der andere über den Schacht Macolini-Madesimo-Vho nach Chiavenna.

Die Variante Schacht Niemet quert im Süden die Splügener Mulde an einer Stelle mit wahrscheinlich reduzierter Mächtigkeit. Die Variante Macolini-Madesimo benützt voraussichtlich ebenfalls eine Stelle mit reduzierter Mächtigkeit in der Verengung SE-lich des Splügen-Passes.

Endlich sei noch eine Zwischenvariante angeführt, die vom Schacht Niemet zum Schacht Madesimo führt, mit Querung der Splügener Mulde SE-lich des Splügen-Passes, wie sie von Herrn Rutschmann postuliert wurde. Für oder wider einen Schacht Niemet liegt die Entscheidung allein bei den Ingenieuren.

2.2.3.3. Trassemöglichkeit West (rot)

Die Tunnelmöglichkeit West umfährt das Suretta-Kristallin und damit die eigentliche Splügener Mulde. Sie führt von Thusis über die Schächte Patzen-E-Splügen N oder S, Soste, Vho, nach Chiavenna.

Unmittelbar nach dem Schacht Splügen muss die Areua- und Knorren-Zone durchörtert werden. Besonders die Areua-Zone weist einen komplizierten Schuppenbau, sowohl in tektonischer wie stratigraphischer Hinsicht auf. Es ist unumgänglich, dass im kommenden Sommer von den Geologen Begehungen in diesem Gebiet durchgeführt werden, um die geotechnischen Eigenschaften der ganzen Zone in

Bezug auf einen Tunnelbau abklären zu können. Mit dem Ergebnis unserer Untersuchung steht oder fällt die Variante Splügen.

Von Thusis nach Süden werden nacheinander aufgeföhren: Viamala-Kieselkalke, Nolla-Kalkschiefer, ⁸Canusaschiefer, Adulaflysch und Sedimente der Areua-Zone, Tambokristallin, im Süden Truzzogranit-Serpentin. Ueber die einzelnen Gesteinsformationen, ihre Art und Lagerung verweisen wir auf den Abschnitt unter 2.2.6.

2.2.4. Das Nordportal bei Thusis

Das N-Portal liegt in 677 m Höhe, der Portaleingang ca. bei Koordinaten 753'700 / 173'620, identisch mit dem Projekt 1964. Ueber die Alluvialebene Thusis-Sils unterquert das Trasse die Schynstrasse um das Portal Nord zu erreichen. Dieses muss in Gehängeschutt angesetzt werden. Nach der Tiefe zu folgt über dem Fels vermutlich Moränenmaterial. Die ganze Schuttstrecke dürfte rund 20 m betragen, wovon rund 7 m im offenen Einschnitt aufgefahren werden kann. Der anstehende Fels besteht aus Schiefern der Viamalaserie.

2.2.5. Das Südportal bei Chiavenna

Das Südportal des Splügenbahntunnels (332 m) liegt rund 150 m nördlich des bergseitigen Prellbockes der Station. Der Tunnel kann direkt in anstehendem, massigem Serpentin-Amphibolit aufgefahren werden.

2.2.5.1. Eine Variante für das Südportal befindet sich im Raume San Vittore, rechts von Piano di Chiavenna. Unsere Begehung im vergangenen Herbst hat gezeigt, dass die scheinbar sich als günstigste anbietende Portalstelle infolge der EW-Bauten und eines nahen Druckschachtes nicht in Frage kommt.

Als möglichen neuen Portalpunkt rund 450 m talaufwärts des EW haben wir einen neuen Standort ~~festgelegt~~^{rekognosziert}. Höhe ca. 330 m, Koordinaten 749'500 / 130'450. Der Tunnel kann ab Portal direkt im Fels aufgefahren werden. Das Gestein, zur Tambodecke gehörend, ist ein Muskowit- bis Phengit -K- Feldspatgneis von guter Qualität.

Wir sind der Ansicht, dass über den definitiven Standort eines rechtseitigen Tunnelportals oberhalb San Vittore noch weitere Untersuchungen in technischer und geologischer Hinsicht notwendig sind.

2.2.6. Bisherige Kenntnisse über Art, Beschaffenheit und Lagerung der Gesteinsformationen

Siehe Beilage Nr. 3

2.2.6.1. Viamala-Kieselkalke

Hauptgesteinstyp: Kalke- und Kieselkalke

Untergeordnete Gesteinstypen: Sandsteine

Lagerung: In ihrer Mächtigkeit stark schwankende:
~~Gesteinsplatten~~, 10 - 120 m; Axial E-fallend.
Steichen SW - NE; Fallen mit ca. 14 - 40° E.

Geotechnische Eigenschaften:

Härte: hart bis sehr hart

Schichtung: meist grobbankig

Klüftung: z.T. ausgeprägte Kreuzklüftung

Verbandfestigkeit: sehr gut

Sprengzügigkeit: gut

Fräsbarkeit: zu den Schichtköpfen sehr gut

Wasserhaltung: Tropf-, an Klüften wenig Fließwasser

Bergschlaggefahr: keine

Bemerkungen: gemessene seismische Werte $v = 4700 - 5000$ m/s. $E = 470 - 550$ to/cm²

Ueberlagerung über Basistunnel: ca. 40 m - 700 m.

Bekannte Untertagbauwerke: Strassentunnel Solis im Schyn;
Rongellentunnel der N 13; Wasserschloss und Druckschacht Sils der KHR; Pipelinestollen Rongellen;
Druckstollen Rongellen-Thusis der Rätischen Werke.
Höchste Ueberlagerung der Bauwerke bis 300 m.

2.2.6.2. Nolla-Kalkschiefer (incl. Safierkalke)

Hauptgesteinstyp: Graue Kalkschiefer mit dunklen Tonhäuten auf den Schichtflächen, mit Einlagerungen bis zu 30 m mächtiger heller marmorisierter Kalke (Safierkalk)

Lagerung: rund 200 - 400 m mächtig, nach NE abnehmend, zum Raum Splügen bis 400 m zunehmend infolge Verfaltung. Axial E-fallend; Streichen SW - NE bis SSW - NNE; Fallen 14 - 26° nach NE bis ENE; im Abschnitt Reischen mit rund 30° S-fallen. Sie ziehen von Reischen nach SW in den Raum von Splügen.

Geotechnische Eigenschaften:

Härte: mittelhart bis unter mittelhart

Schichtung: geschiefert

Klüftung: ausser in den Safierkalcken gering

Verbandfestigkeit: gut, wenige Scherflächen

Sprengzügigkeit: gut bis mittel

Fräsbarkeit: sehr gut

Wasserhaltung: gering

Bergschlaggefahr: keine

Maximale Ueberlagerung über Basistunnel: 1700 m

Bemerkungen: Gemessene seismische Werte: $v = 3400 \text{ m/s}$;
 $E = \text{ca. } 230 \text{ to/cm}^2$

Bekannte Untertagbauwerke: (Höchste Ueberlagerung)

KW-Rothenbrunnen, Abschnitt Scharans-Solis, (300m);

Schyn-Strassentunnel, Abschnitt Bendertobel, (120m)

KHR, Druckstollen + Druckschacht Reischen-Sils (500m)

N 13 Rongellentunnel I, (100 m)

Pipelinestollen Viamala (150 m)

Räthische Werke, Druckstollen, (300 m)

EMD, Magazine Viamala (80 m)

2.2.6.3. Carnusa-Schiefer

Hauptgesteinstyp: Sandstein, Sandkalke, kieslige Kalkschiefer

Untergeordnete Gesteinstypen: schwarze Tonschiefer

Lagerung: rund 100 m Mächtigkeit. Streichen SW - NE bis E - W;
Fallen 16 - 30° SE bis S.

Geotechnische Eigenschaften:

Härte: mittelhart bis unter mittelhart

Schichtung: stark geschiefert

Klüftung: gering

Verbandfestigkeit: gut, wenige Scherflächen

Sprengzügigkeit: mittel bis gut

Fräsbarkeit: sehr gut

Wasserhaltung: gering

Bergschlaggefahr: keine

Maximale Ueberlagerung über Basistunnel: (500m)

Bekannte Untertagbauten: (Höchste Ueberlagerung)

KHR, Druckstollen Reischen abwärts (400 m)

Pipelinestollen Rania (100 m)

2.2.6.4. Flysch der Adula-Decke

Hauptgesteinstyp: von oben nach unten:

Sandsteine und sandig-tonige Kalkschiefer mit feinen Breccien; Kalke und grobschiefrige Kalkschiefer mit gröberem Breccien; tonige Kalkschiefer; Hauptkonglomerat mit schwach verschieferter kalkiger Grundmasse.

Lagerung: rund 100 - 150 m Mächtigkeit, oft verschuppt. Die Schichten streichen in unserem Untersuchungsgebiet von der Muttner Höhe über Reischen-Casti ins Rheinwald bis südlich Sufers. Bei axialem NE-Fallen verläuft die Streichrichtung generell SW - NE bis WSW - ENE im Norden; Fallen rund 25° SE.

Geotechnische Eigenschaften:

Härte: mittelhart

Schichtung: meist geschiefert, oft auch wechsellagernd mit Kalk und Breccienbänklein

Klüftung: gering bis mittel

Verbandfestigkeit: gut, wenige Scherflächen

Sprengzügigkeit: mittel

Fräsbarkeit: gut

Wasserhaltung: gering, Tropf

Bergschlaggefahr: keine

Maximale Ueberlagerung über Basistunnel: 1500 m

Bemerkungen: Gemessene seismische Werte: $v = 3500$ m/s;
 $E = 245$ to/cm²

Bekannte Untertagbauwerke: (Höchste Ueberlagerung)

KHR Druckstollen Reischen - Viaplana (600 m)

2.2.6.5. Gesteinsserie der Areua-Bruschhorn-Schuppe

Im Norden, d.h. nördlich Andeer wird die Areua-Bruschhorn-Schuppe von keiner der Tunnelvarianten durchfahren. Die Durchörterung dieser Zone erfolgt im Raume Splügen-S und ist unter 2.2.6.6. angeführt.

2.2.6.6. Vignone-Schuppen und Knorren-Zone an der Stirn der Tambo-Decke

Wie bereits unter 2.2.3. angeführt ist dieses ganze Schichtpaket noch Gegenstand eingehender Untersuchungen durch die Geologen im Terrain, und zwar speziell im Bereich Splügen-Tamboalp (Siehe Beilage Nr. 3). Im Nachstehenden soll lediglich eine kurze Zusammenfassung über Bau und Stratigraphie gegeben werden, während eine genauere Prognose incl. der geotechnischen Daten dem eigentlichen Bericht vorbehalten bleiben müssen.

Im Abschnitt Splügen können wir von unten nach oben, resp. von NW nach SE folgende Grosseinheiten auseinander halten:

1. Die Aduladecke
2. Die Misoxermulde
3. Die Tambodecke
4. Die Splügenermulde
5. Die Surettadecke

Um die Stirn des Tambo- und Suretta-Kristallins ziehen sich komplex zusammengesetzte Schuppenzonen aus Sedimenten und Kristallinkeilen. Diese Schuppenzonen, die z.T. noch in die Misoxer und Splügener Mulde hineinreichen, bestehen im Bereich der Tambostirn aus der Areua-Bruschhorn-Schuppe, den Vignone-Schuppen und der Knorrenzone; im Bereich der Surettastirn aus der Areua-Bruschhorn-Schuppe und Keilen der Schamser-Decken (Tschera-Decke und Gelbhorn-Decke). Nördlich vor diesen Schuppenzonen liegt die gewaltige Masse von Bündnerschiefern und Flysch des Aul- und Tomüllappens der Adula-Decke. Sie reicht von Thusis bis zum Ostrand des Adula-Kristallins, d.h. bis östlich einer Linie San Bernardino - Hinterrhein. Im Gebiet zwischen Andeer, Pigna und Zillis ist Flysch der Adula-Decke lokal eingewickelt in die Areua-Bruschhorn-Schuppe, wie die neuesten Aufnahmen für das geologische Atlasblatt "Andeer" ergeben haben.

Von der Misoxer Mulde setzt sich der westliche Teil, die Adula-Trias, unverändert über das Hinterrheintal hinweg bis nach Vals fort. Untere Ucellozone, Gadriolzug und Obere Ucellozone gehen über in die Bündnerschiefer des Aul- und Tomüllappens der

Adula-Decke. Die Untere Ucellozone ist verbunden mit dem Aullappen, die Obere Ucellozone mit dem Tomüllappen. Der geringmächtige und z.T. auch fehlende Gadriolzug trennt den Aullappen vom Tomüllappen. Der Zusammenhang Untere Ucellozone - Aullappen und Obere Ucellozone - Tomüllappen ist rein geologisch-wissenschaftlich von Interesse.

Die Tambo-Trias, der östlichste Teil der Misoxer Mulde, setzt sich in die Sedimente der Areua-Bruschghorn-Schuppe und der Vignone-Schuppen fort.

Die Areua-Bruschghorn-Schuppe und die Vignone-Schuppen bestehen einerseits aus Kristallin (Gneis der Splügener Burgruine), z.T. mit Grüngesteinen, und andererseits aus Sedimenten. Die Sedimente setzen sich zusammen aus Phylliten (Karbon); Quarzit, Dolomit, gipsführenden Rauhwacken, Kalkmarmor (Trias); Brekzien, Kalkschiefer, Marmor (Jura).

Die Gesteine sind für die Durchtunnelung allgemein mässig günstig, die Triaszonen wenig günstig.

Die Knorrenzone besteht aus metamorphen sandigen Kalkschiefern, verschuppt mit Kristallin und ist z.T. als mässig günstiges Gebirge zu beurteilen.

Das ganze Schuppenpaket vor ^{der} Tambostirn zeigt ein generelles axiales ENE-Fallen von rund 20° . Im Bereich der Querung dieser Zone erreicht die Gesteinsüberlagerung über dem Basistunneltrasse ca. 900 m bis 1800 m.

2.2.6.7. Gneise der Tambo-Decke (incl. Truzzo-Granitgneise)

T = Bemerkungen über Truzzo-Granit

Hauptgesteinstypen: Von Norden nach Süden kann die Tambo-Decke gegliedert werden in:

- eine Stirnzone mit ~~Ortho~~, Augengneisen; untergeordnet feinkörnige Serizit-Chloritgneise
- eine Zwischenzone mit Dolomitlinsen; casannaartige Schiefer
- Curciusazone mit Amphiboliten, Hauptmasse vorw. feinkörnige Gneise und Schiefer;
- Tambobasis-Lappen darin konkordant gelagert der Truzzo-Granitgneis (siehe Beilagen 3 + 4);

Stirnzone, Curciusazone und Basislappen zeigen neben der alpinen, eine oder mehrere voralpine Metamorphosen.

Lagerung: Generell kann in unserem möglichen Trassebereich von einem axialen E-Fallen gesprochen werden. Die Schicht- und Schieferungsflächen können nur in der Stirnzone sowie in der Zwischenzone mit Dolomitlinsen mit einem Fallen von rund 35 - 50° angegeben werden. Allgemein ist zu vermuten, dass von Isola und S-lich in Richtung Chiavenna eine wechselnde, vorwiegend flache Lagerung vorherrscht, was wiederum auf eine eher flache Schubbahn der ganzen Tambomasse schliessen lässt.

Geotechnische Eigenschaften:

Härte: mittelhart bis hart, T = hart

Schichtung: siehe unter Lagerung, T = leichte Schieferung

Klüftung: In den vorherrschenden Augengneisen ausgeprägt.

Verbandfestigkeit: gut, in der Zwischenzone mittel,
oft Scherzonen

Sprengzügigkeit: mittel, in Augengneisen und T =
gut

Wasserhaltung: Zonen stärkeren Wasserandranges sind
zu vermuten

Bergschlaggefahr: in Augengneisen und in T

Ueberlagerung über Basistunnel: ca. 800 m; 2200 m
im Abschnitt Piz Tamborello.

Bekannte Untertagbauwerke: Stollen der KW im Valle San Gia-
como und Bacino del Truzzo

2.2.6.8. Dolomitlinsen und basische Gesteinszüge in der Tambo-Decke

Hauptgesteinstyp: Am Nordrand der Zwischenzone treten in den Paraschiefern braun anwitternde Dolomitlinsen auf, die sehr stark beansprucht sind. Die mächtigste derselben dürfte 2 m nicht übersteigen. Oft stecken die Dolomitlinsen muldenartig in den Schiefern. Bis fünf solcher Linsenzüge können auftreten. Nach Prof. Gansser handelt es sich um alte vormesozoische Ablagerungen, die zur Hauptsache aus Quarz und Dolomit bestehen.

Im nördlichen Teil der Curciusazone kann das reichliche Auftreten von Amphibolitzügen beobachtet werden. Diese Tatsachen sprechen gegen die sich unwillkürlich aufdrängende Annahme, die ganze Zwischenzone sei als einfache Mulde zu deuten. Vermutlich ja, aber es sind in dieser Frage doch noch Abklärungen von geologischer Seite notwendig. Die basischen Züge treten vor allem als Hornblendegesteine auf, die untereinander in epidotreiche, granatführende, granatfreie unterschieden werden können.

Lagerung: In unserem Projektgebiet streichen die Dolomitlinsenzüge WSW - ENE und fallen mit rund 60° nach SSE.

Die Amphibolite weisen praktisch das selbe Streichen auf, fallen aber sehr steil nach NNW ein, um nach der Tiefe zu in senkrechte Stellung zu geraten. Nach der Darstellung von W.Weber biegen sie dann nach Süden um, vermutlich über dem Tunneltrasse.

Es ist durchaus möglich, dass weder die Dolomitlinsen noch die Amphibolite bis auf Tunnelniveau absteigen. Wenn dies der Fall ist, so sollten sich geotechnisch bei beiden Gesteinsarten keine wesentlichen Schwierigkeiten ergeben. Für die Durchörterung der Amphibolite

gelten folgende Daten:

Härte: mittel bis untermittel

Schichtung: bankig

Klüftung: z.T. stark

Verbandfestigkeit: gut

Sprengzügigkeit: gut

Erbohrbarkeit: mittel, da federnd

Fräsbarkeit: unterdurchschnittlich

Wasserhaltung: mässig bis stark

Bergschlaggefahr: keine

Ueberlagerung: ca. 2000 m.

2.2.6.9. Der untere Teil der Splügener Mulde (Untere Bardan-Zone)

Die Splügener Mulde ist auch unter dem Sammelbegriff Andossi-Zone bekannt, und lässt sich von unten nach oben aufgliedern in: Untere Bardan-Zone, Obere Bardan-Zone und Andossi-Zone. Die Untere Bardan-Zone besteht aus metamorphen permischen Ablagerungen, darüber als normalstratigraphische Fortsetzung folgt die Obere Bardan-Zone und als selbständige Serie die Andossi-Zone. Obere Bardan-Zone und Andossi-Zone vertreten die karbonatischen Gesteine der Splügener Mulde und werden deshalb unter 2.2.6.10 gemeinsam beschrieben.

Hauptgesteinstypen: grüne Chloritgneise und Schiefer, hellgrüne Quarzite, quarzitische Gneise.

Lagerung: (Siehe Beilage 3) Mächtigkeit ca. 90 m. Im Gebiet des M. Tignoso flächenhaft direkt der Curciusa-Zone (Tambo-Decke) aufliegend. Von Avero nach N bis nach Splügen ziehend, dann nicht sicher nachgewiesen bis Andeer, bei Pignia aber vorhanden. Im unteren Avers kommen die Muldenelemente teilweise auf, teilweise in Einschüppungen ins Suretta-Kristallin zu liegen.

Die Gesteinsschichten der Splügener Mulde und damit auch der Unteren Bardan-Zone fallen allgemein nach E bis SE. Der Einfallwinkel wechselt zwischen 20 - 65°.

Geotechnische Eigenschaften:

Härte: mittel bis hart

Schichtung: kleinbankig bis schiefrig

Klüftung: z.T. enges Kluftgitter in bankigem Gestein

Verbandfestigkeit: mittelmässig, oft Scherflächen vorhanden

Sprengzügigkeit: gut

Erbohrbarkeit: mässig gut

Fräsbarkeit: mässig gut

Wasserhaltung: Tropf, auch Fliesswasser

Bergschlaggefahr: keine

Ueberlagerung: extrem bis zu 2500 m

Bekannte Untertagbauten: Siehe unter 2.2.1.

2.2.6.10. Sedimente der Splügener-Mulde (Obere Bardan-Zone und Andossi-Zone)

Unter 2.2.6.9. wurde die tektonische Stellung dieser zwei Zonen beschrieben. Im Normalprofil hat diese Schichtfolge eine Mächtigkeit von rund 170 m, sodass die Gesamtmächtigkeit der Splügener-Mulde rund 260 m beträgt incl. Untere Bardan-Zone.

Hauptgesteinstypen: (nach H.E. Strohbach)

Rauhwanke, zellige Dolomit-Kalkspatgesteine;
aschgraue, gebänderte, z.T. stinkende Kalk-
marmore und Dolomite;
gelbe Dolomite und Kalkmarmore;
Rauhwanke, dunkle Schiefer, Quarzit;
weisse und graue z.T. gebänderte
Kalkmarmore, weissliche und gelbliche
Dolomite, Rauhwanke;

} Andossi-
Zone
Obere
Bardan-
Zone

Lagerung: Durch Verschuppung starke Mächtigkeitszunahme, bis zu 350 m; durch Schleppungen und Pressung Reduktion der ganzen Zone bis auf 30 m. Siehe Beilage Nr. 3. Streichen und Fallen siehe unter 2.2.6.9. Max. Ueberlagerung: bis 2500 m.

Geotechnische Eigenschaften:

Härte: weich bis mittelhart

Schichtung: massig, schieferig bis uneinheitlich

Bewegungsflächen: zahlreiche Verscherungen

Verbandfestigkeit: oft schlecht, Einbau, Brustverzug, fliessend

Sprengzügigkeit: mittel bis schlecht

Fräsbarkeit: mittel bis schlecht

Wasserhaltung: mittel bis gross

~~Bemerkungen: es ist stellenweise mit Manciovanti-
vortrieb mit allen Schikanen zu rechnen.~~

Bekannte Untertagbauwerke: KHR, Stollen Reischen-Pignia,
Pipelinestollen Splügenpass und ob Splügen;
KW-Stollen unterhalb L. di Monte Splüga;
Bergeller Kraftwerke Vicosoprano aufwärts.

2.2.6.11. Gesteinsserie der Gurschus-Kalkberg-Decke

Die Gurschus-Kalkberg-Decke ist die tiefste der 3 Schamser-Decken. Sie wird vom Basistunnel nur im Norden bei Pignia auf kurzer Strecke (ca. 25 m) durchstossen. Sie setzt sich zusammen aus Linsen von Quarzporphyren und Serizitschmitzen, sowie aus Kalkmarmoren und Dolomiten. Das Einfallen der Schichten ist steil nach SSE. Im Druckstollen Auas-Pignia ergaben sich sehr gute Ausbruchverhältnisse in einem mittelharten Gestein. Ueberlagerung im Druckstollen ca. 350 m; im Basistunnel ca. 650 m. Siehe Beilage Nr. 4.

2.2.6.12. Gesteinsserie der Gelbhorn-Decke

Die Gelbhorn-Decke ist die mittlere der Schamser-Decken. Sie ist im Stollen der KHR nicht angetroffen worden, was natürlich nicht heissen will, dass sie im tieferen Niveau des Bahntunnels nicht vorhanden ist. Die beiden oberen Schamser-Decken können entweder nebeneinander vorkommen, oder eine Decke wird von der anderen abgelöst.

Hauptgesteinstypen: Triasschiefer z.T. mit wenig Rauhdecken und sandigen Mergeln, Dolomit, Rauhdecke; dunkle Tonschiefer, Kalkschiefer und Breccien; Marmor, Sericitmarmor, Hyänenmarmor; schiefrige Kalke und Tonschiefer, Tristalbreccien, Quarziten, Kieselkalcken, event. Gaultsandsteine und Flysch.
Eine praktisch vollständige Serie von der Trias bis zur Kreide.

Lagerung: Die Mächtigkeit der Gelbhorn-Decke beträgt schätzungsweise 400 m. Ein allfälliges Auffahren dieser Schichten käme nur im Norden von Andeer in Frage. Die Schichten streichen WSW - ENE und fallen mit rund 35° nach SSE.

Geotechnische Eigenschaften:

Angesichts der Vielzahl von Gesteinsschichten in unterschiedlichster Zusammensetzung nehmen wir von einer detaillierten Beschreibung Umgang. Ein Auffahren der Gesteine der Gelbhorn-Decke wird in jedem Fall die unterschiedlichste Anwendung der verschiedenen Ausbruchsmethoden erfordern.

Die Ueberlagerungshöhe würde rund 650 m betragen.

2.2.6.13. Gesteinsserie der Tschera-Decke

Die Tscheraserie ist die oberste der Schamser-Decken. Sie wird vom Basistunnel nördlich Andeer gequert. Die ganze Decke hat eine Mächtigkeit von rund 800 - 900 m, und ihre Schichtreihe reicht von der Trias bis zur Oberkreide.

Hauptgesteinstypen: in der Trias: Gips, Rauhwanke, Dolomit, bunte Schiefer;

Lias-Dogger: grobe Breccien, Breccienlagen in Schiefern, kalkige bis tonige Schiefer, Serpentin-Ophiolithe i.a.;

Malm: Weisser Marmor, Serizitmarmor, Radiolarit;

Kreide: tonige Kalkschiefer, helle Kalke, massige Breccie mit Kristallinkomponenten, massiger bis plattieger Quarzit (Gault), Breccien mit Tonschiefern.

Lagerung: Auf eine Länge von rund 2300 m wurde im Druckstollen der KHR die Tschera-Decke aufgeföhren. Stollendurchmesser 5.80 m. Die Schichtung: Streichen WSW - ENE; Fallen 30° SSE.

Geotechnische Eigenschaften:

Nach Durchföhren der Rauhwanke ergaben sich durchwegs gute bis sehr gute Ausbruchverhältnisse. Erbohrbarkeit, Sprengzügigkeit und Standfestigkeit waren gut. Der Wasseranfall gering.

Die geotechnischen Verhältnisse in der Rauhwanke müssen als schlecht bezeichnet werden. Die rund 40 m mächtige Schicht wurde mit einem Sohlstollen im Teilausbruchverfahren durchörtert (teils Marciavanti mit Brustverzug). Wasserandrang bis 20 lt/sc. Ausserordentlich schwierig gestaltete sich der Uebergang

von Adula-Flysch in die Tschera-Rauhacke, da hier unter starkem Wasserandrang (Mineralwasser) die Kontaktzone von rund 3 m einstürzte (Kamin). Ueberlagerung im Druckstollen KHR = 360 m; im Basistunnel = 700 m.

2.2.6.14. Gneise der Suretta-Decke inkl. Rofna-Gneis

Das Mittelpenninikum Graubündens wird durch die Grosseinheit der Tambo-Suretta-Decke gebildet. Der Kristallkern der Tambo-Decke stirnt auf der Danatz-Alp S Splügen; auch die ihn umhüllenden Sedimente, sowie der aus dem Tambo-Dach stammende Areuegneis samt seiner mesozoischen Bedeckung bleiben in der Gegend um Splügen zurück. Die höhere Suretta-Decke hingegen stösst weiter gegen N vor. Bei Sufers den Hinterrhein überschreitend, lässt sie sich über den Lai da Vons bis oberhalb Andeer verfolgen, wo sie deutlich stirnt. Die Stirnbiegung ist auch noch auf der E-Seite des Schams am Pignieurbach zu beobachten. Infolge des ziemlich starken Axialgefälles sinkt die Suretta-Decke gegen E unter die Schamser-Decken, deren Unterlage sie von Andeer bis an die S-Grenze am Starlerapass bildet.

Hauptgesteinstypen: Während sich das Kristallin der südlichen Suretta-Decke aus einer wechselvollen Serie von Paraschiefern und -Gneisen (Casannaschiefer) mit untergeordneten Einlagerungen von Orthogneisen zusammensetzt, wird der frontale Teil, etwa vom Piz Mietz an, von einer einheitlichen Orthogneis-Masse gebildet. Es ist der mächtige Komplex der nach der Rofnaschlucht S Andeer "Rofnagestein", "Rofnaporphyr" oder "Rofnagneis" benannt wurde.

Die Hauptmasse des Rofnaporphyr zeigt eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Schieferung. Besonders der Glimmer bildet eigentliche dünne Lagen, längs denen das Gestein ausgezeichnet spaltet.

Im südlichen Teil befinden sich die mächtigen Kristallinschiefer der Timunmasse. Es sind Para- und Orthogneise.

Lagerung: In der Stirnregion (Rofla) fallen die Schieferungsflächen mit rund 60° nach NNE. Je weiter wir in der Suretta-Decke nach S und SE gehen, umso flacher wird die Lagerung. Im Abschnitt Niemet-Valle di Lei stellt sich dann ein konstantes E-Fallen bis zu 45° ein.

Geotechnische Eigenschaften:

Härte: mittelhart bis hart

Schichtung: selten erkennbar, nur Schieferung ausgeprägt

Klüftung: im Rofnagneis ausgesprochen Kreuzklüftung. In den Timunschiefern normales grobes Klüftgitter.

Verbandfestigkeit: gut

Sprengzügigkeit: gut

Fräsbarkeit: gut

Wasserhaltung: Tropf, Fließwasser, grösserer konzentrierter Wasserandrang ist möglich.

Bemerkungen: gemessene seismische Werte

Rofnaporphyr: $v = 4700 - 5000$ m/s, $E = 470-540$ to/cm²

Timungneis: $v = 4500 - 4800$ m/s, $E = 450-510$ to/cm²

Felstemperatur bei einer Ueberlagerung von 1240 m = 15.2° C.

Ueberlagerung über Basistunnel: bis 2300 m

Bekannte Untertagbauwerke: Stollen der KHR: Val Madris-Valle di Lei, Valle di Lei - Ferrera, Wasserschloss-Druckschacht und Kavernenzentrale Ferrera, Ferrera-Sufers, Sufers - Bärenburg, Wasserschloss - Druckschacht Bärenburg Pignia.

Strassentunnel N 13: Bärenburg und Rofla.

Strassentunnel Aversenstrasse: Innerferrera-Cröt und Valle di Lei

2.2.6.15. Verrucano und Trias der Suretta-Decke

Es ist nur ein sicher festgestelltes Verrucanovorkommen (Konglomerat) auf Salin bekannt. Dasselbe befindet sich in diskondanter Lagerung im Rofnagneis und tangiert unser Bahntrasse nicht.

Zum Verständnis der Trias der Suretta-Decke im Osten sei kurz folgendes angeführt: gegen die Deckenstirn hin, westlich Andeer und ob Pignia zeigt sich bereits eine deutliche Aufbiegung der Deckenstirn. Unter dem Piz la Tschera durch verläuft die Obergrenze der Decke gegen S zurück über Alp Albin - Alp Moos - Starlerapass und unter dem Averser Weissberg durch ins hintere Avers. Erst südlich Alp Albin stellen sich grössere Triasmassen und gegen die Alp Moos schliesslich auch Bündnerschiefer ein, den Rücken des Suretta-Kristallins einhüllend und bedeckend.

In den frontalen Teil des Kristallins greifen von oben mehrere Sedimentkeile, das Dach bis tief hinunter zerschlitzend. Ein kleiner Zug von Alp Tobel über la Hütta bis Gruaba westlich des Averser Rheins. Weiter südlich folgen die mächtigeren Keile von Ausserferrera-Seehorn, Piz Mazza, Innerferrera und Piz Mietz.

Lagerung: Allen diesen Sedimentmulden (Trias) gemeinsam ist das abnorme Fallen: Sie greifen von Süden her in das Kristallin ein und fallen generell nach Norden. Die durch diese Keile voneinander getrennten Gneislappen dagegen endigen in S-wärts gerichteten Antiklinalkernen. Diese Keile wurden schon früh als Rückfalten erkannt, die bei einem späteren Vordringen der Suretta-Decke unter der Last der überliegenden Massen nach hinten (S) rückgekämmt wurden.

In diesen verbogenen und verdrehten Keilen können keine genaueren Angaben über die Schichtlage gemacht werden. Im Blick auf das tiefliegende Trasse

des Basistunnels ist eine Durchörterung eines dieser Keile unwahrscheinlich (Vergleiche Freispiegelstollen Innerferrera-Sufers).

Hauptgesteinstypen: (von unten nach oben) Quarzit (auch Rosenquarz), Rauhwanke, Dolomit, Marmor.

Nebengesteinstypen: Dolomitmergel, Kalkmarmor, Arkose, Konglomerat.

Lagerung: Streichen: \pm SW - NE; Fallen: variabel

Geotechnische Eigenschaften:

Härte: weich (Rauhwanke) bis sehr hart (Quarzit)

Schichtung: neben extremen Anschwellungen liegen stark ausgedünnte Triaszüge mit ausgesprochener Lamination.

Klüftung und Scherflächen: ausgesprochene Kleinklüftung. In weicheren Gesteinen häufig Scherflächenbildungen.

Verbandfestigkeit: mittel bis schlecht

Sprengzügigkeit: untermittel

Fräsbarkeit: event. nicht möglich in der Rauhwanke

Wasserhaltung: mittel bis gross

Bergschlaggefahr: keine

Bemerkungen: Im Freispiegelstollen Innerferrera-Sufers betrug die Temperatur bei einer Ueberlagerung von 1200 m in der Trias 13.7° C.

Bekannte Untertagbauwerke: KHR, Freispiegelstollen Innerferrera-Sufers, und Freispiegelstollen Avers-Madris. Ferner wurde im Valle di Lei die Trias mittels eines Schachtes untersucht.

2.3. Abschnitt Chiavenna - Lecco

Unter 1.1. haben wir den 1971 veröffentlichten "Dokumentationsanhang zum Schlussbericht der Kommission des Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartements, Eisenbahntunnel durch die Alpen" erwähnt, der die Strecke Chiavenna - Lecco sehr kurz behandelt (Ueberblick siehe Fig. 69 und 70 des genannten Berichtes). Damals ging man von einem Grenzbahnhof am Süden des Splügen-Basistunnels aus, der auf einem 30 m über der Talsohle liegenden Planum direkt bei der Ortschaft Chiavenna geplant war. Im linken Talhang hätte gegen Süden anschliessend der 3.43 km lange Chiavenna-Tunnel begonnen, dann weitere vier linksseitige Tunnel bis Colico (Streckenlänge Chiavenna - Colico 24.68 km, davon 12.35 km im Tunnel). Von Colico bis Lecco (Streckenlänge 37.65 km) waren damals 13 Tunnel mit 20.42 km Länge vorgesehen.

Wie wir in den bisherigen Besprechungen mit den Ingenieuren gehört haben, müsste heute für die Trasseführung eine abgeänderte Konzeption gewählt werden. Erwogen wird ein Südportal des Basistunnels, das südwestlich Chiavenna bei San Vittore liegen würde, ferner eine gestrecktere Linienführung gegen Süden, die vielleicht längere Tunnel als früher geplant bedingen würde. Von Ingenieurseite liegt hiefür noch kein Projekt vor, so dass in den nachfolgenden geologisch-geotechnischen Beschreibungen und Beurteilungen nur summarische Angaben gemacht werden. Sie sind so abgefasst, dass sie schon bei den ersten erneuten Studien über ein revidiertes Trasse nützlich sein sollen.

2.3.1. Bisherige Kenntnisse über Art, Beschaffenheit und Lagerung der Gesteinsformationen

2.3.1.1. Serpentinstock von Chiavenna

Er liegt im Talhang, der von der Hangfusslinie Prosto-Chiavenna-Prata gegen SE ansteigt und besteht aus Serpentin (mit zugehörigen Periotiten), enthält viele Talklagen sowie Einlagerungen von Granitlinien. Die Schieferung ist im Serpentin sehr unterschiedlich

ausgeprägt, die Klüftung indessen sehr stark und kleinmaschig. Die felsmechanischen Parameter sind uns nicht bekannt und wir können sie auch noch nicht abschätzen, immerhin rechnen wir im Tunnel mit stark gebrächem Gebirge. Der Serpentinstock von Chiavenna wird 1 km S Prata an steil stehendem tektonischem Kontakt von Triasgesteinen (Dolomit) begrenzt. Für den Tunnel wäre hier mit einer bautechnisch schlechten Zone zu rechnen (starke Wasserführung und tektonisch zertrümmerte Gesteine).

2.3.1.2. Gneise in den Talflanken des Piano di Chiavenna, nördlich und westlich des Novategranits und Tonalits

Von Gordona bis zur Insubrischen Linie, die durch das Nordende des Comersees und durch den Nordhang der Veltlinausmündung in West-Ost-Richtung verläuft, wurden die beidseits der Mera-Ebene in den steilen Talflanken anstehenden Gneisserien bei sehr hohem Metamorphosegrad alpidisch umkristallisiert (Sillimanit-Muskowitzzone mit Rekristallisationstemperaturen von 630 - 680° und Drucken von 2 - 4 kb). Wir befinden uns hier in der lepontinischen Gneisregion, die in der Leventina oberhalb Biasca durch flache, hier durch steilstehende tektonische Grossstrukturen gekennzeichnet ist.

Der Mineralbestand der Gneise umfasst die Hauptgemengteile Quarz, Feldspat, Biotit und Hellglimmer, gelegentlich auch Granat. Hornblende tritt im Kontaktbereich des Tonalits hinzu. Das Gefüge der Gneise ist recht verschieden: Im nördlichen Teil der östlichen Talflanken der Mera sind Granitgneise verbreitet, die grobgebänderte, diffus gegeneinander abgegrenzte Lagen und flasrige Ausbildung zeigen. Südlich San Cassiano, auf der linken Talflanke, herrschen gebänderte und flasrige Glimmergneise vor. Die Dicke der einzelnen hellen und dunklen Lagen liegt im mm-Bereich. Die feingebänderten Gesteine mit scharfen Lagengrenzen wirken ausgesprochen plattig. Sehr verbreitet, aber in geringer Menge sind Augengneise anzutreffen.

Die Augen sind bei diesem Gestein selten monomineralisch, vielmehr grobkörnige Vergesellschaftungen von Quarz und Feldspat. Das Gefüge kann sowohl fein- wie auch grobgebändert sein. Ferner kommen Migmatite vor, in Form von Ader- und Lagengneisen sowie als Scholleneinlagerungen. Selten trifft man auf Einlagerungen von Amphiboliten, Marmoren und Kalksilikatfelse.

Die Schieferung der Gneise reicht von deutlich bis sehr stark. Bevorzugt streicht die Schieferung in W-E-Richtung und fällt sehr steil gegen N oder S ein, doch kommen auch Abschnitte mit talparallelen Streichrichtungen vor. Ueber Klüftung, Häufigkeit der Trennflächen und felsmechanische Parameter können wir noch keine Angaben machen.

2.3.1.3. Novategranit, Tonalit und umgebende Gneise zwischen Stazione di Samòlaco und Nuova Olonio

Etwas südlich des grossen Schuttkegels, der mit seinem Zentrum aus der steilen Ostflanke des Meratals gegen den Bahnhof Samòlaco zielt, erscheint in der Ostflanke der Novategranit. Er reicht gegen Süden bis zum Steinbruch 500 m nördlich der Kirche Novate. In Form grosser oder kleiner Schollen kommt er gegen Süden bis Campo vor, ferner bei San Fedelino in der Felsnase, die rechts der Meramündung das Ufer des Lago di Mezzola bildet. Aber auch weiter im Norden, bis über Somaggia und San Pietro hinaus, ist er in Schollenform in die Gneise auf beiden Talflanken eingelagert. Seine Platznahme ist nach den alpidischen Deckenbewegungen erfolgt. Deshalb schneidet er alle andern Gesteinsformationen diskordant ab. Der Granit weist meistens eine leicht gneisige Textur auf (selten massig). Selbst von Auge erkennt man seine hauptsächliche mineralogische Zusammensetzung mit Quarz (20 - 40 %), Feldspat (50 - 75 %) Hellglimmer (1 - 5 %) und Biotit (1 - 6 %). Kluft- und Scherflächensystem: ausgeprägt und weitmaschig (geht nicht ins Nebengestein hinein). Felsmechanische Parameter: uns nicht bekannt.

Der Tonalit begleitet den Novategranit als bis 500 m mächtiger Gesteinskörper im Süden (Hänge bei Mezzolpiano östlich Novate) und erscheint - durch eine 3 bis 4 km mächtige Gneiszone getrennt - weiter im Süden als 1,3 km mächtiger, steilstehender Gesteinskörper in der Westflanke des Monte Bassetta, und zwar entlang dem Hangfuss von der Strassengabel nördlich Nuova Olonio bis 600 m südlich der SE-Ecke des Lago di Mezzola. Der Tonalit setzt sich nach Osten in die südliche Umhüllung des Bergeller Granits fort, nach Westen zum Jorio-Pass. Es handelt sich um ein meist grobkörniges, gneisiges Gestein, mit oft pophyrartigen Einsprenglingen von Hornblende und Biotitschlieren. Mittlerer Mineralbestand: Plagioklas (45 - 60 %), Quarz (8 - 20 %), Hornblende (15 - 25 %), Biotit (2 - 15 %), daneben Epidot, Chlorit, Kalifeldspat. Klüftung: weitmaschig und ausgeprägt, zudem muschelartige Entlastungsklüfte. Felsmechanische Parameter: uns nicht bekannt.

Novategranit und Tonalit sind granitische Gesteinskörper. Die Platznahme des Novategranits erfolgte nach den alpidischen Deckenbewegungen und nach der alpidischen Metamorphose, etwas später als diejenige des Tonalits. Beide granitischen Gesteinskörper liegen in den Gneisen, die in 2.3.1.2. beschrieben sind. Am Ostufer des Lago di Mezzola stehen südlich San Fedele hiezu gehörige Sillimanit-Granat-Biotitgneise an. In der Nähe des Kontakts gegen den Tonalit, 600 m südlich der SE-Ecke des Lago di Mezzola, sind Kalksilikatfels- und Amphibolit-Einlagerungen vorhanden. Diese Gneiszone zeigt steilstehende Schieferung, die von einem N-S-verlaufenden Tunnel in günstiger querschlägiger Richtung durchörtert würde. Weitere felsmechanische Eigenschaften sind uns einstweilen nicht bekannt.

2.3.1.4. Störungszone der Insubrischen Linie mit umgebenden Glimmerschiefern und Sedimenten (bei Nuova Olonio nördlich der Adda)

900 m südlich des Tonalitkörpers in der Westflanke des Monte Bassetta zieht die Insubrische Linie in W-E-Richtung durch. Es ist

eine sehr steil bis vertikal stehende Bewegungsfläche erster Ordnung, längs welcher alpidisch gewaltige Verschiebungen stattgefunden haben. Man nimmt an, der Südblock habe sich längs dieser Linie um 2 - 12 km gehoben und um den mehrfachen Betrag lateral verschoben. Zwischen der Insubrischen Linie und dem oben genannten Tonalit liegen die steilstehenden Tonaleschiefer; es sind tektonisch gequälte, sehr stark geschieferte Biotitgneise und Glimmerschiefer. Südlich der Insubrischen Linie beginnen die Südalpen, zuerst mit einer ca. 400 m mächtigen, W-E-streichenden steilstehenden Sedimentzone, die am Hangfuss bei Nuova Olonio aus Verrucano (vgl. 2.3.1.6.) besteht. Längs seinem Nordrand schaltet sich gegen Osten zu ein Dolomitzug ein. Südlich des Verrucanozuges besteht der Hangfuss, der bis zur Talebene der Adda hinunter reicht, aus steilstehenden, W-E-streichenden Glimmerschiefern und Gneisen des Insubrischen Kristallins (vgl. 2.3.1.5.). Für die Trassewahl empfehlen wir, in der in diesem Abschnitt beschriebenen Zone keinen Tunnel zu projektieren. Die dem Hangfuss vorgelagerte Ebene Piano di Spagna bietet für offene Linienführung genügend Raum.

2.3.1.5. Glimmerschiefer und Gneise (Insubrisches Kristallin) zwischen Còlica und Bellano

Das Insubrische Kristallin, das die Berge zwischen der Insubrischen Linie und Bellano aufbaut, sieht als Ganzes recht monoton aus, im Detail sind aber verschiedene Gesteinstypen und uneinheitliche Strukturen vorhanden. Der Grossteil des Kristallins besteht aus sehr glimmerreichen Muskowit-Biotit-Gneisen (mit Quarz, Albit, Kalifeldspat, oft auch Hornblende), die bei zurücktretendem Feldspatgehalt in Glimmerschiefer, stellenweise auch in Phyllite übergehen. Kennzeichnend ist die durch den hohen Glimmergehalt erzeugte engständige und ausgeprägte Schieferung. Wir kennen diese Gneiszone noch recht ungenau (moderne geologisch-petrographische Kartenaufnahmen konnten wir nicht finden). Zonen mit W-E-streichender Schieferung, die mittelsteil gegen N wie auch gegen S fällt, kommen vor, aber auch andere Streichrichtungen mit flachen

Fallwinkeln, ferner einige deutliche Mylonitzonen. Vereinzelt sind Amphibolitzüge eingelagert. Ueber das geotechnische Verhalten und hinsichtlich felsmechanischer Daten können wir einstweilen nur die Aussage machen, dass sich das Tunnelgebirge mit den Verhältnissen im Ceneri- und im Massagno-Tunnel SBB vergleichen lässt.

2.3.1.6. "Gneiss chiaro", Verrucano und Servino (inkl. Rauhwackezüge) bei und direkt südlich Bellano

In der Gegend von Bellano taucht das Insubrische Kristallin gegen Süden unter das Seeniveau ab. Sein Dach wird von der etwa 1 km mächtigen Masse des "Gneiss chiaro" gebildet, den man im Südteil der Ortschaft Bellano in Aufschlüssen längs der Hauptstrasse studieren kann. Es handelt sich um einen hellen, grobkörnigen Gneis mit Quarz, oft idiomorphem Kalifeldspat, Muskowit und wenig Albit-Oligoklas-Feldspat. Er spaltet in dezimeter- bis meterdicken Bänken, die weitständige Klüftung aufweisen. Die Bankfugen enthalten kataklastisch zertrümmerte Körner. Die Schieferung streicht bei Bellano W-E und fällt 20 - 60° steil gegen S und SW ein. Weitere geotechnische oder felsmechanische Daten sind uns einstweilen nicht bekannt, doch nehmen wir an, es sei für Tunnelbau mit vorwiegend standfestem Gebirge zu rechnen.

Der "Gneiss chiaro", der das Dach des Insubrischen Grundgebirges bildet, wird bei Bellano von fast 100 m mächtigem Verrucano überlagert (Alter: Perm). Die Gesteinsgrenze zwischen "Gneiss chiaro" und Verrucano zieht am Seeufer 1.1 km SSW der Kirche Bellano in E-W- bis WNW-ESE-Richtung durch und fällt 40 - 50° steil gegen S bis SSW ein. Der Verrucano baut sich aus roten und grünen Konglomeraten auf, die meist in groben Bänken gelagert sind; die Komponenten sind bis faustgross, wenig gerundet und bestehen vorwiegend aus Porphyren und Quarzen, sowie vereinzelt Gneisgeröllen. Als Bindemittel erkennt man Quarz, wenig Feldspat und Tuffmaterial. Zwischen den Konglomeratbänken findet man recht verbreitet bis zu ein paar Meter mächtige Zwischenlagen von grobkörnigem, muskowitzführendem Arkosesandstein. Im Tunnelbau ist mit leicht gebrächem,

stellenweise mit hartem standfestem Fels zu rechnen; weitere geotechnische oder felsmechanische Parameter sind uns nicht bekannt. Gegen oben geht der Verrucano ohne scharfe Grenze in den Servino über (geologisches Alter = untere Trias = Werfénien). Er besteht südlich Bellano aus folgender Abfolge: Unten 150 m mächtige Serie mit weichen Glimmersandsteinen, darüber 100 m Sandsteine, in die Dolomitbänke eingeschaltet sind. Diese Dolomitbänke werden vom Seeufer gegen Osten kavernös und gehen in Rauhacken über. Wahrscheinlich enthalten letztere im Berginnern Gips und Anhydrit. Dieser inkompetente Gesteinshorizont hat dazu Anlass gegeben, dass sich hier eine Ueberschiebungsfläche erster Ordnung installiert hat, längs welcher das ganze überlagernde, viele km mächtige Sedimentpaket (vgl. 2.3.1.7.), das bis Lecco reicht, nach Süden verfrachtet worden ist. Im Hangenden dieses Horizontes folgen 50 m harte Sandsteine in regelmässiger Wechsellagerung mit Dolomitbänken, darüber 20 m Sandsteine, in denen die Dolomitlagen allmählich durch Mergellagen ersetzt werden. Die über 300 m mächtige Servinoabfolge (im querschlägigen Horizontalschnitt 450 m lang), die im Mittel 45° steil nach SSW einfällt, ist in geotechnischer Hinsicht durch den häufigen Gesteinswechsel von Hart zu Weich gekennzeichnet. Als Trennflächen sind die Schichtfugen wirksam, die in den Sandsteinen teils in cm-Abstand, teils in 2 m-Abstand aufeinander folgen. Im Tunnel wird die Variationsbreite von standfestem bis zu stark gebrächem Gebirge, in kurzen Abständen aufeinander folgend, reichen; in der Rauhacke, in der die Hauptüberschiebung durchzieht, ist mit druckhaftem, eventuell anhydritführendem Gebirge zu rechnen. Weitere Angaben über geotechnische und felsmechanische Parameter sind uns noch nicht möglich.

2.3.1.7. Sedimente der südalpiner Trias zwischen Bellano und Lecco

Das sedimentäre Gebirge der Südalpen, das im Abschnitt zwischen Bellano und Lecco im Grignone (2410 m = Grigna settentrionale) und in der Grignetta (2184 m = Grigna meridionale) gipfelt, ist im Rauhackehorizont des Servino (vgl. 2.3.1.6.) abgeschert und

nach Süden verfrachtet worden. Die Hauptabscherungsfläche taucht bei Bellano unter das Seenniveau nach Süden ab, nimmt gegen Süden die Form eines weitgespannten Muldenbogens an, der weiter im Süden wieder über das Seenniveau aufsteigt, wobei sich diese Abscherungsfläche in ihrem südvergenten Aufstieg aufspaltet. Durch diese Aufspaltung werden die Südalpen in grosse tektonische Schollen zerlegt. Die Nordscholle wird nach der Grigna settentrionale bezeichnet; in ihrer Basis steigt die Abscherungsfläche mit 20° Nordfallen bei Lierna aus dem Seespiegel auf. Die nächstsüdlichere Grigna-meridionale-Scholle liegt einer basalen Ueberschiebungsfläche auf, die bei Mandello mit etwa 10° Nordfallen durchzieht. Schliesslich sticht noch weiter im Süden, bei San Giovanni/Lecco, eine flach nordfallende Ueberschiebungsfläche aus, welche die Basis der Monte-Coltignone-Scholle bildet. Neben diesen Ueberschiebungen spielen im Gebirgsbau Brüche eine grosse Rolle. Sie stehen meistens steil und haben Sprunghöhen bis 1000 m. - Im Folgenden beschreiben wir nur die Gesteinsformationen bis etwa 70 m über Seespiegel, da ja das Bahntrasse kaum höher denkbar ist.

Im Dach des Servino südlich Bellano (vgl. 2.3.1.6.) setzt mit 45° SW-Fallen der Mendola-Dolomit ein, der in einer 200 m hohen Felswand, die der Mächtigkeit dieses Dolomites entspricht, im Gelände markant hervortritt. Der Dolomit hat grauweisse Farbe und wittert gelblich an; in seinem untern Teil ist er gut geschichtet, in 10 - 50 cm dicken Bänken; gegen oben werden die Bänke dicker, wobei der Dolomit feinkörnig-kristalline Struktur bekommt. Als Tunnelgebirge ist der Mendola-Dolomit gut geeignet, standfest, mit einzelnen gebrächen Partien, wo er in Bruchzonen stärker geklüftet ist. Felsmechanische Werte sind uns nicht bekannt.

Gegen das Hangende gehen die Mendola-Dolomite ohne scharfe Grenze in die bis 500 m mächtigen Perledo-Varenna-Kalke über. Südlich Bellano, in der Basis dieser Serie, werden Schichtstellungen mit 40° SW-Fallen angetroffen, dann folgt gegen Süden flache Lagerung und bei Varenna Uebergang in 30° NW-Fallen. Es handelt sich um plattige schwarzblaue Kalke mit splittrigem Bruch (sie werden in einigen Steinbrüchen abgebaut) und um dünngeschichtete Kalkschiefer, beides in mächtigen Schichtstössen. Im meist feinkörnigen Kalk,

der fast immer Quarzkörner enthält, treten oft Kieselknollen auf, daneben Lagen von gut zementierten Primärbreccien, welche die Kohäsion des Kalkes kaum beeinträchtigen. Bautechnisch ungünstig werden sich die bitumenreichen Tonhäute auswirken, die weitverbreitet sind und auf Bewegungsflächen als glänzende Rutschharnische erscheinen. Wahrscheinlich würde die nähere Untersuchung ergeben, dass in Tunnelstrecken die Gefahr der Bildung von Methan und andern Kohlenwasserstoffen besteht. Im übrigen sind die Perledo-Varenna-Kalke als Tunnelgebirge geeignet und werden, wie die zahlreichen kurzen Strassen und Bahntunnel in der Strecke von südlich Bellano bis 2 km nördlich Lierna zeigen, vorwiegend standfestes Gebirge abgeben. Felsmechanische Parameter sind uns nicht bekannt.

2 km nördlich Lierna gehen die Perledo-Varenna-Kalke gegen Süden ganz allmählich in den Esino-Dolomit über ; dies ist ein grauweisser feinkristalliner Dolomit, der hellgrau oder bräunlich anwittert. Stellenweise erscheint er grobgebankt, meistens aber klotzig ohne erkennbare Schichtung. Merkwürdig gewundene Hohlräume, deren Wände mit weissen Dolomitkristallen austapeziert sind, bedingen seine weitverbreitete kavernöse Struktur. Wir nehmen an, er werde sich vorwiegend als standfestes Tunnelgebirge erweisen. Felsmechanische Daten sind uns nicht bekannt.

Von der Felswand 2 km nördlich Lierna bis zum Bach, der bei Grumo in den See mündet (1 km südlich Bahnhof Lierna), empfehlen wir offene Streckenführung, da im Untergrund Servino ansteht, mit einer Hauptabscherungsfläche in seiner Basis.

Von Grumo bis 1,5 km nordnordwestlich Bahnhof Mandello bestehen die zum See abfallenden Felswände aus Perledo-Varenna-Kalken, die hier flach (mit 10 - 30°) nach NE einfallen (Beschreibung siehe im vorletzten Abschnitt).

Unter dem mächtigen Schuttkegel von Mandello liegt schlechter Fels, ebenso auch unter den östlich anschliessenden Hängen bis Rongio und Maggiana hinauf, nämlich Raibler-Sandsteine, die mergeligfeinkörnig entwickelt sind und Lagen von Mergeln und bröckligem Dolomit

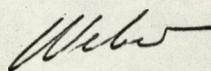
enthalten. Offene oder in offenem Schlitz geführte Linie sollte hier angestrebt werden.

Der bestehende 350 m lange Bahntunnel südlich des Bahnhofs Mandello durchörtert Esino-Kalk. Teilweise zeigt er gleichen Habitus wie der oben beschriebene Esino-Dolomit, aus dem er sich in der geologischen Schichtreihe allmählich entwickelt, teilweise findet man Uebergänge zu dichtem weissem Kalk, mit eckig muscheligen Bruch, der gut gebankt ist. Im Esino-Kalk darf mit vorwiegend standfestem Tunnelgebirge gerechnet werden. Seine felsmechanischen Parameter sind uns nicht bekannt.

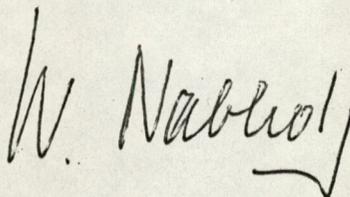
Hinter und unter dem Schuttkegel von Abbadia besteht der Felssockel aus Hauptdolomit. Es ist ein grauweißer feinkörniger Dolomit, in Bänken von 5 - 10 cm Mächtigkeit gelagert, die hier mit etwa 30° gegen Norden einfallen. Der Hauptdolomit wird sich im Tunnel wahrscheinlich vorwiegend als standfestes Gebirge erweisen; seine felsmechanischen Parameter sind uns nicht bekannt.

1,1 km östlich des Bahnhofs Abbadia trennt eine Ueberschiebungsfläche den genannten Hauptdolomit von dem gegen Süden anschließenden Esino-Kalk, den wir im vorletzten Abschnitt beschrieben haben. In diesem südlichsten Abschnitt ist der Kalk flach gelagert, mit vorwiegend 10° gegen NE gerichtetem Einfallen. In der gegen den See hinunter abfallenden Flanke des Monte Coltignone bedecken mächtige trockene Schuttkegel den aus Esino-Kalk bestehenden Felssockel. Die jetztige Bahnlinie führt in diesem Teilstücke durch lange Steinschlaggalxerien.

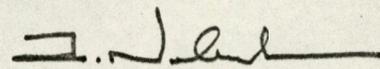
Maienfeld, Bern, Lausanne, den 28. Februar 1975



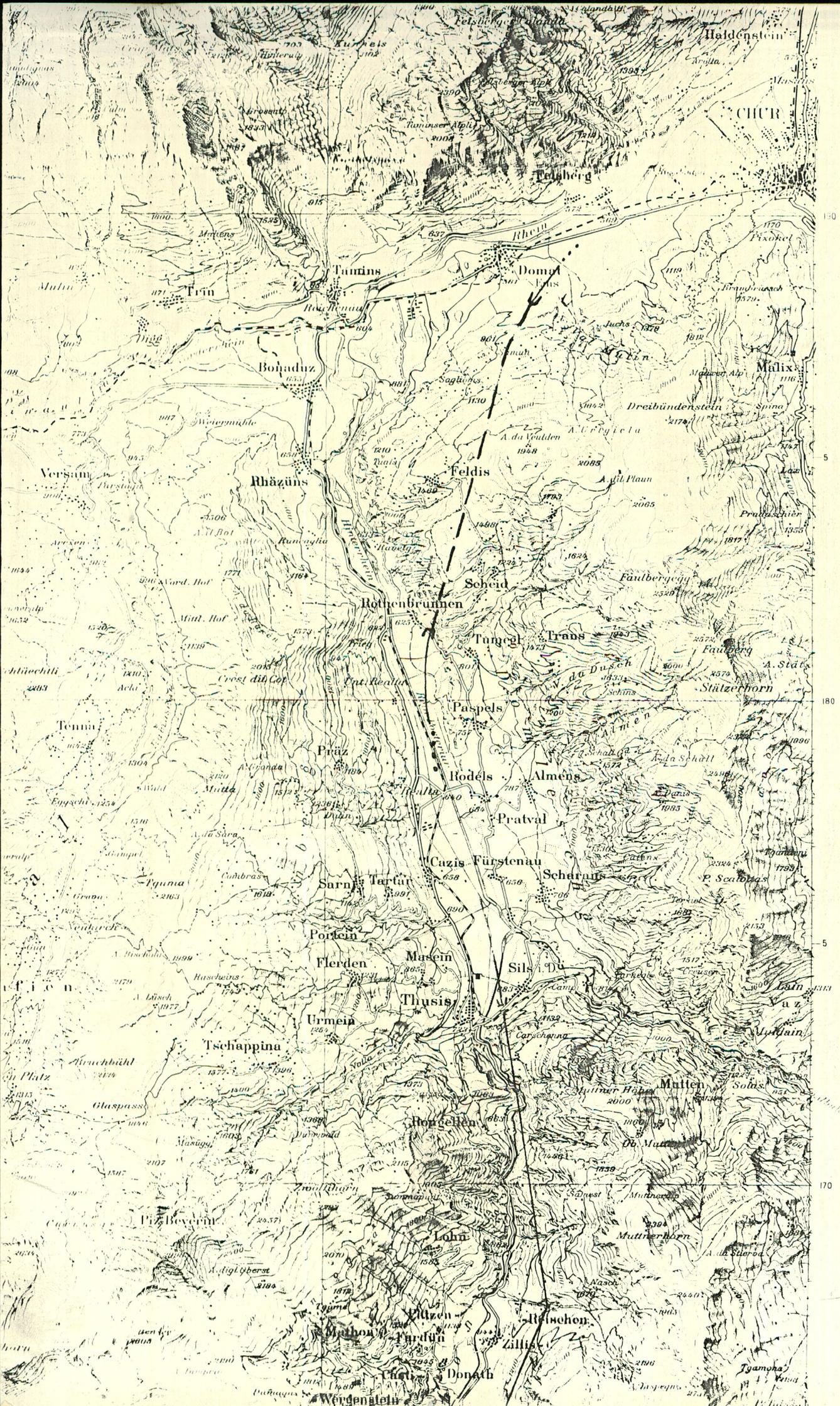
Eugen Weber



Prof. Walter Nabholz



Jean Norbert



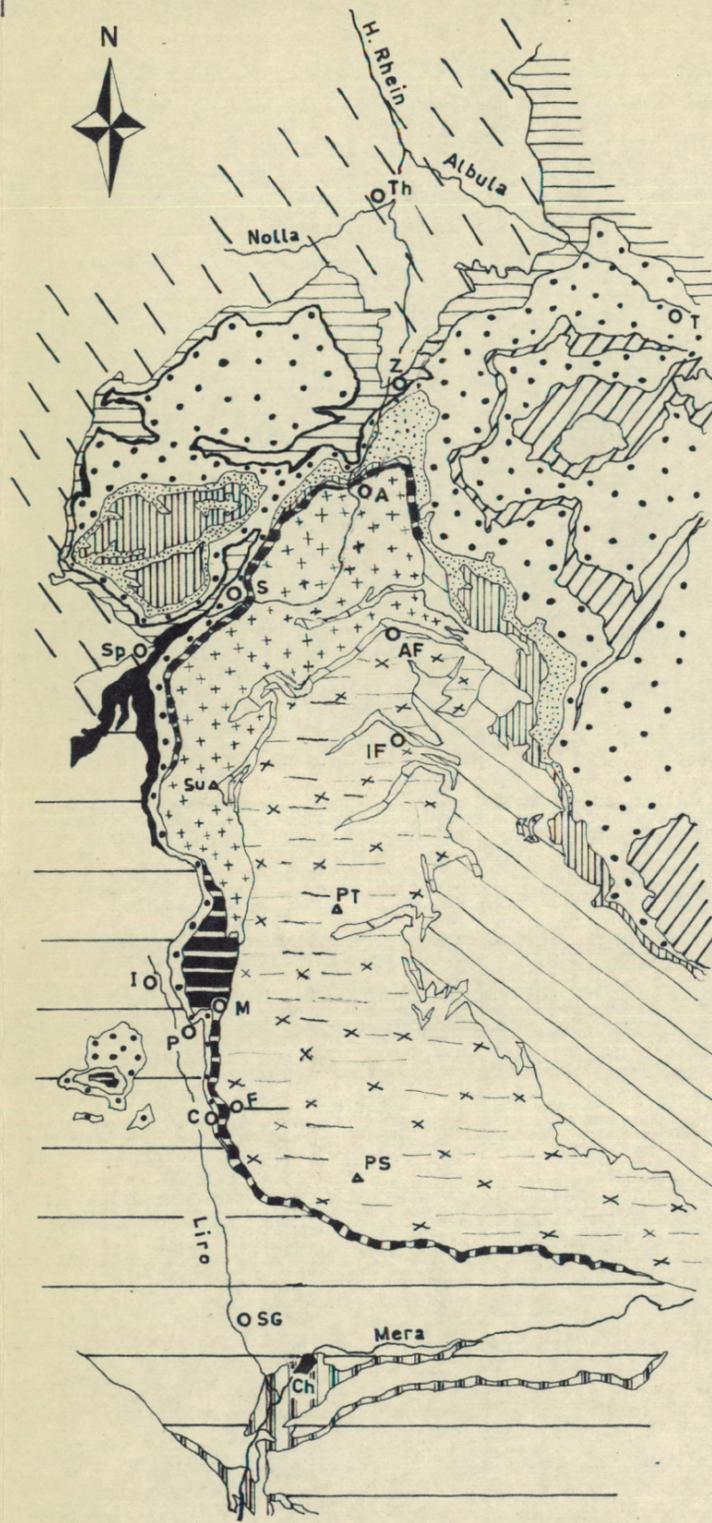
Anschlussblatt 39, Finelapass

190
160
5
180
5
46°
40°
170

Generelles Projekt
Bahntunnel THUSIS-CHIAVENNA

Geologisch-tektonische Karte
 1:250'000

Geologisches Büro
 E. Weber, Maienfeld



LOKALITÄTEN

- A Andeer
- AF Ausserferrera
- C Campodolcino
- Ch Chiavenna
- F Fraciscio
- I Isola
- IF Innerferrera
- M Madesimo
- P Pianazzo
- S Sufers
- SG S. Giacomo Filippo
- Sp Splügen
- T Tiefenkastel
- Th Thusis
- Z Zillis

- PS P. Stella
- PT P. Timun
- Su Surettahorn

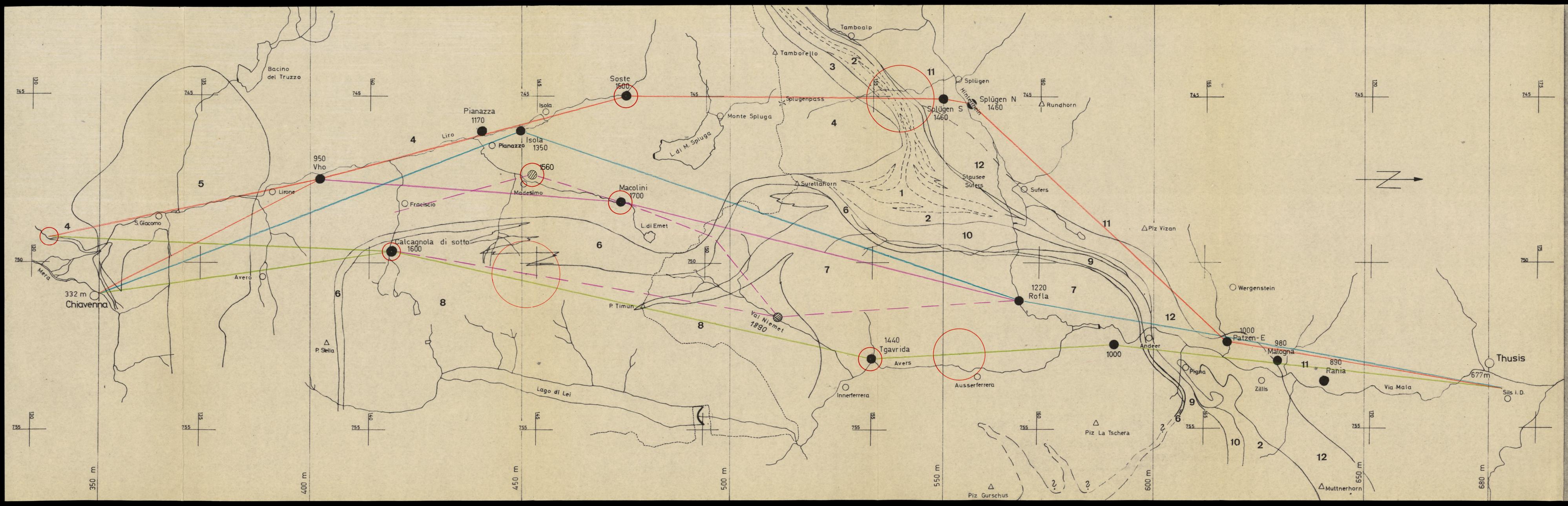
- | | | | |
|--|----------------------------|--|---------------------------------------|
| | Ostalpine Decken | | Gurschus-Kalkberg-Zone |
| | Platta-Decke | | Splügener Mulde |
| | Sedimente | | Bruschhorn-Schuppe |
| | Rofnaporphyr | | Ortho- und Paragneise der Tambo-Decke |
| | Casannaschiefer | | Serpentin |
| | Tschera-Sulzfluh-Teildecke | | Flysch |
| | Gelbhorn-Falknis-Teildecke | | Bündnerschiefer |
| | | | } Adula-Decke |

Splügen - Bahn
Basistunnel
Geologischer Horizontalschnitt
 1 : 50'000

LEGENDE

- | | | |
|-----------|-------------------------------------|------------------------------|
| 1 | Areua- u. Vignonekristallin) | Areua-Bruschhorn-Schuppen |
| 2 | Areua- u. Vignonesedimente) | Vignone-Schuppen |
| 3 | Knorrenzone | |
| 4 | Kristallin) | |
| 5 | Truzzogranit) | Tambodecke |
| 6 | Suretta Trias ----- Splügener Mulde | |
| 7 | Rofnagneis) | |
| 8 | Timunschiefer) | Kristallin der Suretta-Decke |
| 9 | Tschera-Decke) | |
| 10 | Gelbhorn-Decke) | Schamser-Decken |
| 11 | Nolla-Kalkschiefer) | Tomül-Lappen |
| 12 | Flysch) | der Adula-Decke |
| ● | Potentielle Schachtstandorte | |
| ○ | Bedürfen im Feld weiterer Abklärung | |

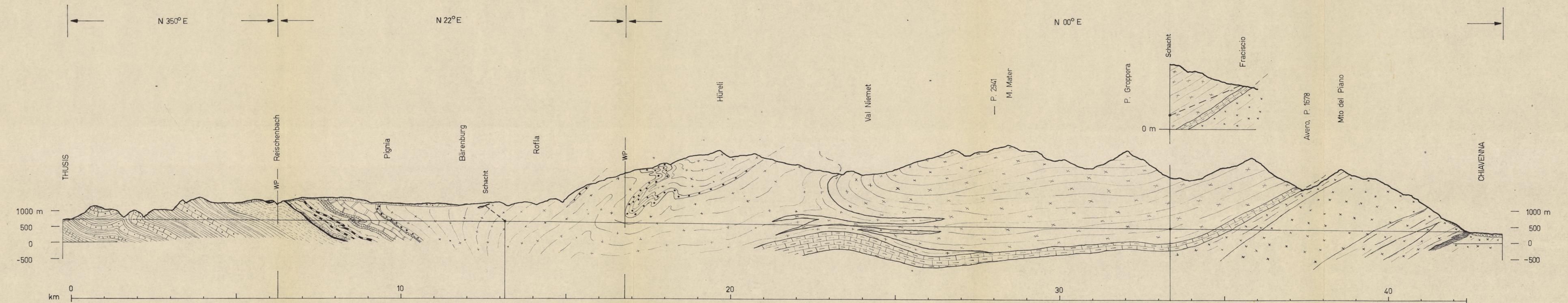
Nabholz, Norbert, Weber



Generelles Projekt
Bahntunnel THUSIS-CHIAVENNA

Geologisches Längenprofil
 1:50'000

Geologisches Büro
 E. Weber, Maienfeld
 1964



- | | | |
|---|---|---|
| Moränen, Alluvionen, Gehängeschutt | Nivaigl-Serie; Dogger, Flysch | Gurschus-Kalkberg-Zone |
| Nolla-Schiefer | Obertrias-Lias (mit Rauhwacke) } Gelhorn-Zone | Rauhwacke, Anhydrit; Marmore |
| Kalkzüge, Kiesel, kalk | Gault-Quarzit | Quarzite (Trias) |
| Flysch | Tithon-Kreide | Rofnaporphyr |
| Rauhwacke (Bruschhorn-Schuppe) } Tomül-Lappen | Malm-Marmor | Casannaschiefer (Paragneise), Timun-Stella-Masse mit Amphiboliten |
| | Trias-Dogger | |
| | | Sedimente der Splügener-Mulde |
| | | Ortho- und Paragneise der Tambo-Decke |
| | | Truzzo Granit |
| | | Serpentin, (Ophiolithzug von Chiavenna) |