



BUNDESAMT FÜR VERKEHR
 OFFICE FEDERAL DES TRANSPORTS
 UFFICIO FEDERALE DEI TRASPORTI
 UFFIZI FEDERAL DA TRAFFIC



AlpTransit

Projektleitung Bauvorhaben

ACHSE GOTTHARD

GOTTHARD - BASISSTUNNEL

SONDIERSTOLLEN PIORA-MULDE

EINGANG

18. Sep. 1992

GGTA
 Stabsorgan Alp Transit

Geologisch-geotechnische Projektierungsgrundlagen

Autor: DR. T.R. SCHNEIDER Beratender Geologe Rütihofstrasse 53 8713 Uerikon/ZH	AlpTransit Code	Herkunft	Abschnitt	Fachgebiete
		PGGB	GB	VOR
	Datum: 31.8.91	Rev.:		GEOL
	Bericht Nr. 425ac			SOND

Bundesamt für Verkehr

INHALT

AlpTransit

Seite

1.	EINLEITUNG	1
1.1	Zweck GOTTHARD - BASISTUNNEL	1
1.2	Grundlagen für das geologisch-geotechnische Gutachten	2
2.	GEOLOGISCH - TEKTONISCHE SITUATION	3
2.1	SONDIERSTOLLEN PIORA-MULDE	3
2.2	Tektonik	4
2.3	Petrographie	4
2.4	Trennflächenverhältnisse und Störzonen	6
3.	GEOTECHNIK	9
3.1	Felsmechanische Eigenschaften der Gesteinstypen	9
3.2	Allgemeine geotechnische Eigenschaften der Gesteinstypen	12
3.3	Geotechnische Verhältnisse in den einzelnen Bauwerkteilen	13
4.	ZUVERLÄSSIGKEIT I Geologisch-geotechnische	15
5.	ZUSAMMENFASSUNG Projektierungsgrundlagen	16

VERZEICHNIS DER BEILAGEN

Beilage 1:	Geologische Karte/Situation	1:10'000
Beilage 2:	Geologisch-geotechnisches Längsprofil	1:10'000
Beilage 3:	Geologischer Horizontalschnitt	1:10'000

Nr. 425ac

Sachbearbeiter: Dr. T. Dietler

Dr. T.R. Schneider Beratender Geologe

Rütihofstrasse 53 8713 Uerikon/ZH

INHALT

	<u>Seite:</u>
1. EINLEITUNG	1
1.1 Zweck des Sondierstollens	1
1.2 Grundlagen für das geologisch-geotechnische Gutachten	2
2. GEOLOGISCH - TEKTONISCHE SITUATION	3
2.1 Morphologische Verhältnisse	3
2.2 Tektonik	4
2.3 Petrographie	4
2.4 Trennflächenverhältnisse und Störzonen	6
3. GEOTECHNIK	9
3.1 Felsmechanische Eigenschaften der Gesteinstypen	9
3.2 Allgemeine geotechnische Eigenschaften der Gesteinstypen	12
3.3 Geotechnische Verhältnisse in den einzelnen Bauwerkteilen	12
4. ZUVERLÄSSIGKEIT DER PROGNOSE	15
5. ZUSAMMENFASSUNG	16

VERZEICHNIS DER BEILAGEN

Beilage 1: Geologische Karte/Situation	1:10'000
Beilage 2: Geologisch-geotechnisches Längsprofil	1:10'000
Beilage 3: Geologischer Horizontalschnitt	1:10'000

1. EINLEITUNG

1.1 Zweck des Sondierstollens

Seit Beginn der Projektierungsarbeiten für einen Gotthard-Basistunnel in den frühen 1960er Jahren bildete die Grenzregion zwischen dem Gotthard-Massiv im Norden und der Penninischen Gneiszone im Süden eine Schlüsselstelle der geologisch-geotechnischen Untersuchungen. Die beiden tektonischen Haupteinheiten werden an der Oberfläche durch die im Projektbereich rund 800m breite, in ost-westlicher Richtung verlaufende Piora-Mulde voneinander getrennt. Die in dieser asymmetrisch ausgebildeten Synform eingefalteten mesozoischen Metasedimente bestehen hauptsächlich aus geotechnisch äusserst ungünstigem, z.T. zuckerkörnigem Dolomit sowie aus Rauhwacken und z.T. Gips/Anhydrit (Röti-Serie der Trias).

Trotz intensiven geologischen Untersuchungen seit den 1960er Jahren mit mehrmaligen geologischen Kartierungen, drei Sondierbohrungen und seismischen Aufnahmen, reichen die heute vorliegenden Informationen nicht aus, um eine für die Projektierung des Basistunnels ausreichend genaue und verlässliche Vorhersage der auf Projektniveau anzutreffenden Verhältnisse auszuarbeiten. So ist weiterhin unbekannt, ob die Metasedimente überhaupt bis auf das Projektniveau hinunterreichen und, falls ja, in welcher Form der Dolomit dort vorliegt. Aufgrund der ausgedehnten Sackungs- und Rutschungsmassen sowie Hakenwurfgebieten im Bereich der östlichen Leventina-Hänge, können die an der Oberfläche gewonnenen strukturgeologischen Informationen über die Lucomagno-Gneise ebenfalls nicht vorbehaltlos auf das Tunnelniveau extrapoliert werden.

Aufgrund der angeführten Unsicherheiten und der Tatsache, dass keine anderen Aufschlussmöglichkeiten zu realistischen Ergebnissen führen würden, wurde von der IG-GBT und dem Unterzeichneten (PG-GB) der Projektleitung (PL-B) die Ausführung eines Sondierstollens von Polmengo aus (nördlich von Faido) in den potentiellen Kreuzungsbereich des Tunnels mit der Piora-Mulde vorgeschlagen. Mit dem vorliegenden Konzept ist der Sondierstollen effektiv der einzig mögliche Weg, verlässliche Informationen über die tatsächlich vorhandenen geologischen Verhältnisse im Bereich der frontalen Penninischen Gneiszone und der Piora-Mulde zu gewinnen. Zusätzlich kann dadurch das Gebirge vorbehandelt und die kritische Tunnelstrecke vorzeitig gebaut werden, was ermöglicht, dass nach Ankunft der TBM keine kostbare Bauzeit verloren geht (vgl. Bericht Machbarkeit der IG-GBT), indem diese durch den bereits erstell-

ten Tunnel durchgezogen werden kann.

Das vorliegende Gutachten bildet die geologisch-geotechnischen Grundlagen für die Projektierung des Sondierstollens. Gleichzeitig kann es als Grundlage für die Submission der Ausführungsarbeiten verwendet werden.

1.2 Grundlagen für das geologisch-geotechnische Gutachten

Die im folgenden präsentierten geologischen Informationen widerspiegeln den aktuellen Stand der Kenntnisse über das betreffende Gebiet und können lediglich als wahrscheinlichste Lösung des Problems betrachtet werden (vgl. Kapitel 4).

Als wichtigste Grundlagen, die zum vorliegenden Gutachten geführt haben, sind die "Geologische Karte der Tessiner Alpen" (Preiswerk et al., 1934)¹, die Aufnahmen der Sondierbohrung Gana Bubaira (Dal Vesco, 1965)², die geologische Karte der Piora-Mulde von Etter (1991)³ sowie die detaillierten Felduntersuchungen in der Penninischen Gneiszone (Bericht Nr. 425aa, Büro Dr. T.R. Schneider) zu nennen. Für die grösseren Zusammenhänge sowie geologische Hintergrundinformationen wird auf den zuvor erwähnten Bericht Nr. 425aa verwiesen, in dem die verschiedenen geologischen Phänomene detailliert diskutiert werden (Ablieferung Winter 1991/92).

-
- 1 Preiswerk, H., Bossard, L., Grütter, O., Niggli, P., Kündig, E. & Ambühl, E. (1934): Geologische Karte der Tessiner Alpen zwischen Maggia- und Blenio-Tal, 1:50'000. Spezialkarte No. 116, Schweiz. Geol. Kom..
 - 2 Dal Vesco, E. (1965): Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Studiengruppe Eisenbahntunnel durch die Alpen; Gotthard-Basistunnel: Die geophysikalischen Resultate der Tiefenbohrung Gana Bubaira.
 - 3 Etter, U. (1991): AlpTransit: Gotthardachse, Abschnitt Basistunnel - Geologische Vorarbeiten im Bereich der Piora-Zone. Auftraggeber: Schweiz. Eidg., Bundesamt für Verkehr.

2. GEOLOGISCH - TEKTONISCHE SITUATION

2.1 Morphologische Verhältnisse

Die östlichen Hänge der Leventina von Airolo bis Faido sind durch eine ausgedehnte postglaziale Morphologie gekennzeichnet. Diese Hänge, die durch stark verwitterungsanfällige sowie gut geschieferte Paragesteine der Lucomagno-Gneise aufgebaut werden, weisen seit dem Rückzug des grossen Talgletschers ein labiles bis instabiles Gleichgewicht auf.

Die augenfälligsten Merkmale der kritischen Stabilitätsverhältnisse bilden die ausgedehnten Rutschungs- und Sackungsmassen von Osco (Beilage 1; vgl. auch CETI, 1990)⁴, sowie von Lurengo-Deggio und Altanca (nördlich Ambri-Piotta). Diese Bewegungen erfassen sowohl die Lockergesteinsmassen als auch ganze Felspakete und erreichen im Falle des Gebiets von Osco Mächtigkeiten von bis zu 100m (Geotest, 1989)⁵.

Aufgrund des nördlichen Einfallens der Schieferungsflächen sowie des steilen Abfallens des Hanges gegen Süden neigt das ganze Hanggebiet bis zum Hauptkamm hinauf zu Hakenwurfbildungen (Beilage 1). Im Bereich zwischen dem Pizzo del Sole im Westen und dem Pizzo Predèlp im Osten, also genau über dem Trasse des Basistunnels und des zur Diskussion stehenden Sondierstollens, sind die Auswirkungen des Hakenwurfes und der Sackungen derart gross, dass der gesamte, flach ausgebildete Bergrücken total zerrissen ist und praktisch nur aus Blockschutt besteht. Meterweit geöffnete Spalten und riesige Senken sowie Nackentäler bilden eindrückliche Zeugen der anhaltenden oberflächlichen Bewegungen.

Aufgrund dieser morphologisch extremen Verhältnisse ist eine vorbehaltlose, genaue und detaillierte Extrapolation der an der Oberfläche beobachtbaren Strukturen in die Tiefe nicht möglich.

⁴ CETI (1990): Centre Interdepartemental d'Etude des Terrain Instables (CETI, EPFL). Etude des mouvements du glissement de terrain de Faido affectant la culée du pont de Pardoreia, dans la Leventine. Avis demandé par le Département des Travaux Publics du Canton du Tessin.

⁵ Geotest (1989): Dipartimento dell'Economia Pubblica, Bellinzona, Ufficio Geologico Cantonale. Osco - Profili sismici a rifrazione nella zona di franamento. Rapporto No. 88189.

2.2 Tektonik

Aufgrund zahlreicher Forschungsarbeiten erfährt die regionaltektonische Deutung des Grenzbereiches Gotthard-Massiv - Penninische Gneiszone momentan eine bedeutende Änderung. Petrographische Vergleiche, strukturgeologische Interpretationen sowie tiefenseismische Erkundungen liefern immer deutlicher werdende Hinweise, dass die früher als Gotthard-Massiv einerseits und als Lucomagno-, Simano- und Leventina-Decke andererseits bezeichneten Einheiten eher zusammenhängende Teile eines "Subpenninischen Kristallinkomplexes" darstellen, als dass sie einzelne, voneinander völlig getrennte Decken bilden (vgl. Bericht 425u, Büro Dr. T.R. Schneider). Dementsprechend ist der Tiefgang der Piora-Mulde als eher gering einzustufen. Er kann jedoch nicht quantifiziert werden.

Der geplante Sondierstollen durchörtert in seiner südlichen Hälfte die *Leventina-Gneise* um im nördlichen Teil vollständig in den *Lucomagno-Gneisen* zu liegen. Nördlich anschliessend sind entweder die tektonisierten Metasedimente der *Piora-Mulde* in unbekannter Mächtigkeit oder eine ebenfalls unbekannt breite, tektonisierte Störzzone mit oder ohne Sedimentlinsen zu durchqueren. Wird die Durchquerung der Piora-Mulde aufgrund eines grossen Tiefganges notwendig, so enden die Annexbauwerke des Sondierstollens in einem herzynischen Intrusivkörper (Cristallina-Granodiorit, westliche Fortsetzung der Selva Secca) des "Gotthard-Massivs".

2.3 Petrographie

Leventina-Gneise

Die Leventina-Gneise sind generell relativ homogen aufgebaut. Im zu durchquerenden Frontalbereich handelt es sich vorwiegend um lagig-flaserige bis flaserig-porphyrische Granitgneise, welche eine herzynisch(?) intrudierte und alpin überprägte Granitmassen darstellen dürften. Im unmittelbaren Grenzbereich zu den Lucomagno-Gneisen sind die Leventina-Gneise meist glimmer- oder quarzreicher ausgebildet als im Normalfall. Diese nicht eindeutigen petrographischen Verhältnisse verunmöglichen eine genaue Festlegung der Grenze zwischen den beiden Gneistypen und bedingen die Angabe einer grossen Streubreite (rund 600m) im Längsprofil der Beilage 2. An der Oberfläche sind innerhalb der Leventina-Gneise Amphibolitlagen sowie im Übergangsbereich zu den Lucomagno-Gneisen z.T. Karbonatlinsen ausgebildet. Während die Amphibolithbänder jederzeit angefahren werden können, dürften sich die Karbonat-

linsen auf den Bereich beschränken, wo sie an der Oberfläche aufgeschlossen sind (ausserhalb Projektbereich des Sondierstollens).

Lucomagno-Gneise

Die Lucomagno-Gneise sind äusserst heterogen aufgebaut, was eine detaillierte Ausscheidung der unterschiedlichen Gesteinstypen verunmöglicht. Die Feldarbeiten in der Penninischen Gneiszone zeigten, dass die in der geologischen Karte der Tessiner Alpen enthaltenen Zusammenfassungen von verschiedenen Lithologien vernünftig sind und die einzige Möglichkeit darstellt, die petrographischen Verhältnisse einigermaßen übersichtlich darzustellen. Die Lucomagno-Gneise sind demnach als eine heterogene Wechsellagerung von unterschiedlich stark verscherten Granitgneisen und Glimmergneisen/schiefern mit unterschiedlichen Anteilen an Granat und Hornblende (bis zu reinen Amphiboliten) ausgebildet. Die im Längsprofil (Beilage 2) dargestellte Verteilung der verschiedenen Gneistypen beruht auf der Oberflächenverteilung sowie den Befunden aus der Sondierbohrung Gana Bubaira. Aufgrund der im Kapitel 2.1 diskutierten morphologischen Verhältnisse und der zuvor erwähnten heterogenen Wechsellagerung kann nur eine generelle Tendenz der Gesteinsverteilung im Gebirgsinnern angegeben werden. Aus diesen Gründen sowie den meist fließenden Übergängen zwischen den unterschiedlichen Gneistypen sind die Lagen der Lithologiegrenzen auf dem Stollenniveau approximativ und die Streubreiten entsprechend gross (Beilage 2).

Piora-Mulde

Über die Verhältnisse in der Piora-Mulde kann nur spekuliert werden und der Hauptgrund des vorliegenden Sondierstollenprojektes ist ja die Erkundung der tatsächlichen Verhältnisse in diesem Bereich.

Im günstigsten Fall ist an dieser Stelle der verscherte, primäre Kontakt zwischen den Lucomagno-Gneisen und der spätherzynischen Intrusion des Cristallina-Granodiorites oder eine stärker tektonisierte Störzone ausgebildet. In letzterer können kleinere Linsen aus Metasedimenten nicht ausgeschlossen werden. In diesem Falle sind keine aufwendige, gebirgsverbessernde Massnahmen notwendig, wie dies für die ungünstigsten Verhältnisse, in denen im Extremfall mit rund 200m karbonatischer Trias gerechnet werden muss, erforderlich würde. Von den 200m Karbonatgesteinen dürften insgesamt 50m aus zuckerkörnigem Dolomit bestehen, wobei im ungünstigsten Fall eine Stollenstrecke von maximal 30m Länge vollständig in dieses geotechnisch schwierige Gestein zu liegen kommen dürfte.

Spätherzynische Intrusiva

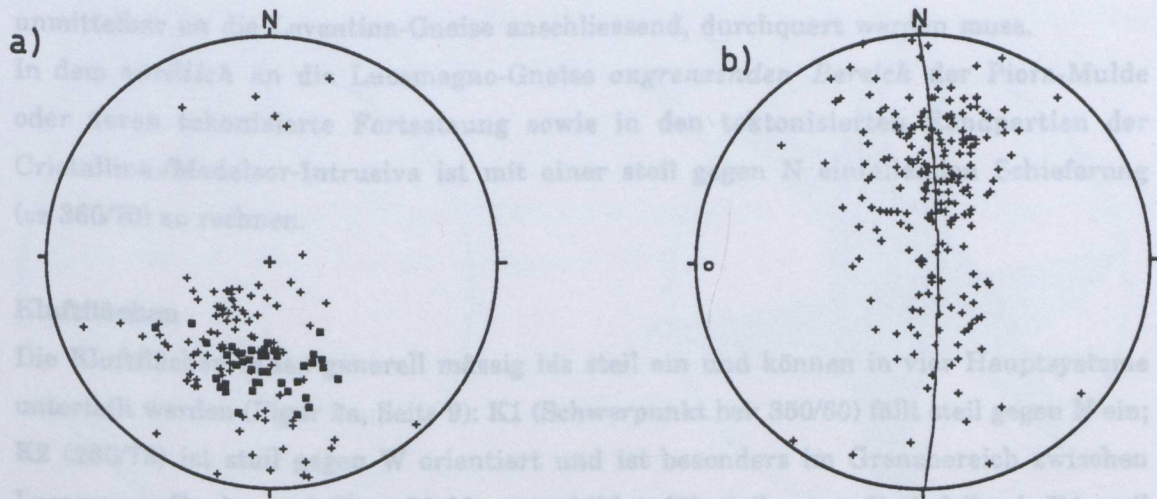
Nördlich der Piora-Mulde schliesst der Intrusivkomplex des Cristallina-Granodiorites und des Medelser-Granites an. Der Körper bildet die abgetauchte, westliche Fortsetzung des entsprechenden Aufschlusses im Gebiet der Selva Secca (unmittelbar westlich der Lukmanier-Passstrasse).

2.4 Trennflächenverhältnisse und Störzonen

Die Oberflächeninformationen der Trennflächenverhältnisse über dem Stollentrasse sind nur bedingt in die Tiefe extrapolierbar, da der weitaus grösste Teil des Geländes versackt, hakengeworfen oder mit Lockergestein überdeckt ist. Die folgenden Daten stammen deshalb aus einem gegenüber der Beilage 1 in W-E Richtung ausgedehnterem Gebiet, welches von Westrand der Alpe di Chièra im W bis zum Passo di Predèlp im E reicht. Als wichtige Hilfe für die Extrapolation dieser Daten auf das Projektniveau dienen die Trennflächendaten aus den orientierten Kernen der Sondierbohrung Gana Bubaira (vgl. Fussnote 2, S.2).

Schieferungsflächen

In den *Leventina-Gneisen* können zwei Schieferungen unterschieden werden: Zum einen die Foliation S1 die durch die Einregelung der Glimmerminerale gebildet wird, zum andern die zu S1 diskordante Schieferung S2, welche durch eine Krenulation (Kleinfältelung) von S1 entstanden ist. Während die Schieferung S2 relativ konstant bei mittlerer Neigung gegen Süden einfällt, kann die Foliation S1 von sehr steil bis flach gegen S bis SW einfallen (Figur 1a, Seite 7).



Figur 1: Stereographische Projektion der Schieferungsflächenpole. a) Foliation S1 (Kreuze) und (Krenulations-) Schieferung S2 (Quadrate). Es bilden sich zwei Schwerpunkte für S1 und S2 bei 197/36 (Fallazimut/Fallwinkel) sowie nur für S1 bei 229/25 (143 Daten). b) Hauptschieferung S2 in den Lucomagnogneisen mit einem Schwerpunkt bei 10/40 (hangender, nördlich einfallender Schenkel). Die 218 Daten liegen auf einem Grosskreis, der eine E-W streichend Faltenachse (Kreis) anzeigt. Schmidt'sches Netz, obere Halbkugel.

In den *Lucomagno-Gneisen* ist die Hauptschieferung S2 durch eine spätalpine Deformationsphase (D3) verfaltet worden. Die als Chièra-Synform bezeichnete Struktur besitzt einen liegenden Schenkel mit flachliegender Schieferung S2 im Süden sowie einem hangenden Schenkel mit mittel bis steil gegen N einfallendem S2 (Figur 1b; vgl. Längsprofil, Beilage 2). Durch die Deformationsphase D3 wurde die Hauptschieferung gelegentlich krenuliert und eine flachliegende Schieferung S3 gebildet.

Wie die orientierten Kerne der Tiefbohrung Gana Bubaira zeigen, fällt die Hauptschieferung S2 des nördlichen Teiles der Lucomagno-Gneise bis auf das Projektniveau hinunter konstant mit mittlerem bis steilem Einfallswinkel gegen Norden ein. Andererseits weisen die an der Oberfläche eingemessenen Faltenachsebenen der Chièra-Synform - die zugehörigen Faltenachsen streichen ziemlich konstant E-W - ein mäsiges Einfallen gegen N auf (Schwerpunkt der Fallazimute aus 57 Messungen: 10/25). Die Extrapolation dieser Lage führt zu einem Widerspruch mit den Resultaten aus der Sondierbohrung, da unterhalb dieser Achsenebene die Schieferung flach gegen S einfallen sollte. Dies führt zur Folgerung, dass die Faltenachsebene der Chièra-Synform gegen N sehr bald in die Tiefe abfällt, wie dies in der Beilage 2 dargestellt ist, und somit der liegende Schenkel mit dem flach einfallenden S2 nur auf einer kurzen Strecke,

unmittelbar an die Leventina-Gneise anschliessend, durchquert werden muss.

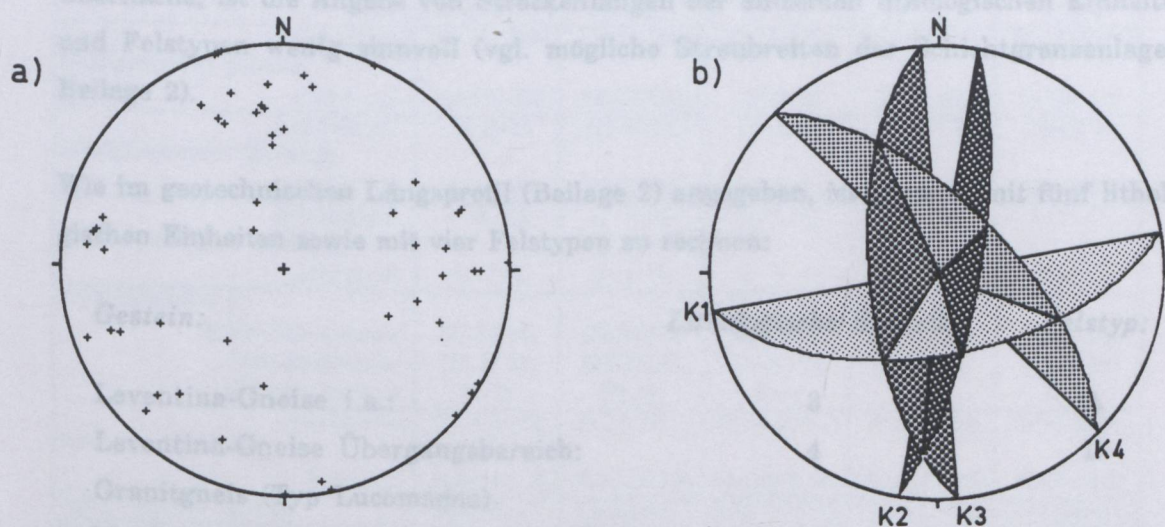
In dem *nördlich* an die Lucomagno-Gneise *angrenzenden Bereich* der Piora-Mulde oder deren tektonisierte Fortsetzung sowie in den tektonisierten Randpartien der Cristallina-/Medelser-Intrusiva ist mit einer steil gegen N einfallenden Schieferung (ca 360/70) zu rechnen.

Kluftflächen

Die Kluftflächen fallen generell mässig bis steil ein und können in vier Hauptssysteme unterteilt werden (Figur 2a, Seite 9): K1 (Schwerpunkt bei: 350/60) fällt steil gegen N ein; K2 (280/75) ist steil gegen W orientiert und ist besonders im Grenzbereich zwischen Lucomagno-Gneise und Piora-Mulde ausgebildet; K3 steil gegen E einfallend; K4 steil gegen SW einfallend. Im allgemeinen ist beim Stollenausbruch jedoch mit Kluftflächen in allen möglichen Orientierungen zu rechnen.

Störzonen

Die Oberfläche des vom Sondierstollen unterfahrenen Gebietes ist, wie bereits im Kapitel 2.1 diskutiert wurde, zu einem grossen Teil durch Rutschungs-, Sackungs- und Hakenwurferscheinungen geprägt. Eine grosse Zahl an hangparallelen Nackentäler, von kleinen, kaum wahrnehmbaren Eindolungen bis zu mehreren Metern tiefen Einkerbungen reichend, bilden diesbezüglich die eindrucklichsten Merkmale. Die zum Teil schlechten Aufschlussverhältnisse, verursacht durch Lockergesteinsbedeckungen, verunmöglichen oft die exakte Ursachen-Bestimmung dieser Lineamente. Dementsprechend wurde in der Beilage 4d des Berichtes Nr. 425m im Bereich des zur Diskussion stehenden Projektabschnittes zwei Störungen eingezeichnet, die, aufgrund ihrer zu den Erscheinungen am Aar-Massiv-Südrand äusserst ähnlichen Morphologie, als jungquartäre, kakiritische Verwerfungen vermutet wurden. Die detaillierten Feldarbeiten in der Penninischen Gneiszone (vgl. Bericht Nr. 425aa) zeigen nun, dass ein Grossteil dieser Nackentäler durch die Sackungsbewegungen von Osco, durch selektives Herauswittern von Sekundärfaltenkernen der Chièra-Synform sowie durch leichter erodierbare Gesteinszüge (Amphibolitlagen im Nordhang des Pso. di Predèlp) bedingt sind. Insbesondere bei den ganz grossen, lateral weit verfolgbar und einige Meter tief eingekerbten Strukturen konnte die Bildungsursache jedoch nicht bestimmt werden.



Figur 2: a) Stereographische Projektion der Kluftflächenpole aus den Leventina- und Lucomagno-Gneisen. Vier Hauptsysteme, die steil gegen: K1: Norden (350/60), K2: Westen (280/75), K3 Osten und K4: gegen Südwesten einfallen. Schmidt'sches Netz, obere Halbkugel, 54 Daten. b) Schnitzdiagramm der vier Hauptkluftsysteme aus a), obere Halbkugel

Im Sinne eines "worst case-Szenario" wird an der den Bereich des Sondierstollens möglicherweise erfassenden, spröddefor mierten Störzone festgehalten, da deren Existenz - aufgrund der morphologischen Vergleiche mit nachgewiesenen Störzonen dieser Art - nicht ausgeschlossen werden kann (Längsprofil, Beilage 2). Im Falle eines Auftretens würden diese, vermutlich auch wasserführenden Zonen, querschlägig durchfahren.

3. GEOTECHNIK

3.1 Felsmechanische Eigenschaften der Gesteinstypen

Aufgrund der sehr heterogenen Zusammensetzung der Lucomagno-Gneise sind detaillierte Angaben über deren felsmechanischen Eigenschaften kaum möglich. Die folgenden Angaben basieren auf der "Ausscheidung der lithologischen Einheiten und Felstypen" (Beilage 425z/2.1a im Bericht über die Tunnelkonzepte der IG-GBT) sowie auf der "Zusammenstellung der felsmechanischen Kennwerte" (Beilage 425z/1b in demselben). Da die Verteilung der unterschiedlichen Lithologien auf dem Niveau des Sondierstollens mit Sicherheit anders sein wird als in den Aufschlüssen an der

Oberfläche, ist die Angabe von Streckenlängen der einzelnen lithologischen Einheiten und Felstypen wenig sinnvoll (vgl. mögliche Streubreiten der Schichtgrenzenlagen, Beilage 2).

Wie im geotechnischen Längsprofil (Beilage 2) angegeben, ist generell mit fünf lithologischen Einheiten sowie mit vier Felstypen zu rechnen:

Gestein:	Lithologische Einheit:	Felstyp:
Leventina-Gneise i.a.:	3	A
Leventina-Gneise Übergangsbereich:	4	D
Granitgneis (Typ Lucomagno) bis Schiefergneis:	8	E
(Hornblendeführende) Glimmerschiefer:	7	F
Amphibolite:	11	A

In der Tabelle 1 (Seite 11) sind die beim heutigen Stand der Untersuchungen bekannten felsmechanischen Eigenschaften dieser Felstypen zusammengefasst.

Die Versuchsergebnisse basieren auf einer relativ kleinen Zahl von Untersuchungen und die Proben stammen z.T. von einer einzigen Stelle. Diese wurden durchwegs an der Oberfläche entnommen, wodurch auf Projektniveau eine leichte Abweichung der Werte aufgrund von nicht vorhandenen Verwitterungsphänomenen möglich ist. Die direkten Scherversuche wurden an künstlichen Bruchflächen \pm parallel zu einer erkennbaren Schieferung in einer einzigen Richtung durchgeführt. Die Angaben entsprechen den bei einmaligen Versuchen erfassten Minimal- und Maximalwerten.

In der Tabelle 2 (Seite 11) sind die Laborwerte und Gebirgseigenschaften der auftretenden Gebirgsfelstypen zusammengefasst.

Bei der Unterquerung der Bassa di Söu wird beim Hauptstollen die maximale Überlagerung von rund 1700m erreicht. Muss ab dem Schachtfuss ein weiterer Stollen Richtung Norden vorgetrieben werden, so steigt diese auf einen Maximalwert von rund 1800m.

Tabelle 2 Zusammenfassung der felsmechanischen Parameter der Gebirgsfelstypen gemäß Tabelle 1/2/3/4/5/6/7/8/9/10, Lombardi AG, Locarno (Auszug aus der Beilage 4/5/6/7/8/9/10 des Berichtes zu den Tunnelkonzepten der LG-GBT)

Felsmechanische Kennwerte:	Lithologische Einheiten (Felstypen)				
	3 (A)	4 (D)	7 (F)	8 (E)	11 (A)
Druckfestigkeit (N/mm ²)					
<i>senkrecht z.S.</i>	70-130-160	(50-80-150)	(15-20-25)	(40-70-95)	100-130-210
<i>parallel z.S.</i>	140-170-200	(30-70-120)	(8-10-15)	(25-50-90)	75-120-170
Elastizitätsmodul (kN/mm ²)					
<i>senkrecht z.S.</i>	25-40-45	(15-30-35)	(7-10-15)	(15-20-30)	25-50-70
<i>parallel z.S.</i>	40-45-50	(30-35-40)	(5-6-8)	(20-30-45)	25-40-55
Spaltzugfestigkeit (N/mm ²)					
<i>senkrecht z.S.</i>	4-6-12	(3-6-9)	(4-5-7)	(5-10-15)	5-9-15
<i>parallel z.S.</i>	5-7-9	(3-5-6)	(2-3-4)	(3-6-8)	3-6-9
Reibungswinkel (°)					
<i>Spitzenreibungswinkel</i>	(27-34-40)	(26-30-35)	(25-28-30)	(26-30-35)	(27-34-40)
<i>Restreibungswinkel</i>	(25-31-38)	(23-28-33)	(22-25-28)	(23-28-33)	(25-31-38)
<i>Direktscherversuch</i>	28-73	(32-46)	20-44	14-40	34-60
Kohäsion (N/mm ²)*					
<i>Spitzenwerte</i>	(1.0-1.8-2.5)	(0.7-1.2-2.2)	(0.1-0.25-0.3)	(0.7-1.2-2.2)	(1.0-1.8-2.5)
<i>Restwerte</i>	(0.4-0.8-1.2)	(0.1-0.35-1.2)	(0-0.04-0.06)	(0.1-0.35-0.8)	(0.4-0.8-1.2)
Spez. Gewicht (g/cm ³)	2.6-2.65-2.7	2.6-2.65-2.7	2.65-2.7-2.75	(2.6-2.65-2.7)	(2.9-3.05-3.2)
Cerchar-Abrasivität (1/10mm)	2-4-5	2-4-5	(2-3-7)	(1.5-2.5-3.5)	2-2.5-3
Punktlastfestigkeit (N/mm ²)					
<i>senkrecht z.S.</i>	7-8-9	(5-6-7)	(1-3-5)	(6-7-9.5)	5-8-11
<i>parallel z.S.</i>	7-8-9	(4-5-6)	(1-2-4)	(1-4-8.5)	5-5-7
Bemerkungen:					
z.S.= zur Schieferung					
*) Kohäsion in Bruchflächen					
Mittlere Zahlwerte der Dreiergruppen entsprechen den massgebenden Mittelwerten					
Alle Werte in Klammern () sind Schätzungen; z.T. durch Versuche bestätigt					

Tabelle 1: Zusammenstellung der felsmechanischen Kennwerte. Erklärungen im Text (Auszug aus der Beilage 425z/1b des Berichtes zu den Tunnelkonzepten der IG-GBT).

Fels-typen	Litholog. Einheit	Laborwerte			Gebirgseigenschaften									
		E	φ	C	γ	E	v	DIL	VISK	Kurzzeit-Verhalten		Langzeit-Verhalten		
		(GN/m ²)	(°)	(kN/m ²)	(kN/m ³)	(GN/m ²)		(o/oo)		φ (°)	C (kN/m ²)	φ (°)	C (kN/m ²)	
A	3, 11	30-40	32-34	1500-1900	26	40	0.2	1.5	-	36°/38°	5000/1000	36°/38°	5000/1000	
D	4	20-30	29-31	1200-1800	26	25	0.2	0.5	-	34°/36°	2000/500	34°/36°	2000/500	
E	8	20-30	28-30	1500	26	20	0.2	0.5	1	34°	1200/400	32°	250	
F	7	5. Jul	26-28	200-300	26	10	0.2	0.5	2	32°	400/200	30°	100	
Bemerkungen:														
E: Elastizitätsmodul					φ: Reibungswinkel									
C: Kohäsion auf Schub (Spitzen- /Restfestigk.)					γ: Raumgewicht									
DIL: Dilatanz im Bruchbereich					v: Querdehnungszahl									
VISK: 1= viskoses Verhalten ; 2= ausgesprochen viskoses Verhalten														

Tabelle 2: Zusammenstellung der felsmechanischen Parameter der Gebirgsfelstypen gemäss Tabelle 1/937.6-R-2, Lombardi AG, Locarno (Auszug aus der Beilage 425z/1b des Berichtes zu den Tunnelkonzepten der IG-GBT).

3.2 Allgemeine geotechnische Eigenschaften der Gesteinstypen

Quarzgehalt

Der Quarzgehalt der Gesteine dürfte über weite Strecken zwischen 30-40% variieren. Während er in glimmer- und hornblendereichen Gesteinen bis auf 10% oder weniger absinken wird, kann der Wert in den Graniten und Granodioriten des Gotthard-Massivs auch bis auf 60% ansteigen.

Bergwasseranfall

Beim Bergwasser ist zwischen einem initialen, beim Ausbruch auftretenden, und einem dauernden Erguss zu unterscheiden. Da die Abschätzung der Werte sehr schwierig ist, wird der dauernde Bergwasseranfall sowohl für einen optimistischen als auch einen pessimistischen Fall angegeben (Beilage 2; vgl. Bericht Nr 425s).

Bei den initialen Ergüssen wird das Anfahren von wassergefüllten Klüften und Kluftsystemen berücksichtigt, die dem Stollen kurzfristig grosse Wassermengen zuführen können. Gemäss den vorhandenen Abschätzungen ist mit Mengen von rund 30 l/s in den gotthardmassivischen Graniten und bis über 1500 l/s im Bereich der Piora-Mulde zu rechnen. Der dauernde Bergwasseranfall dürfte im optimistischen Fall zwischen 10 l/s in den Graniten und rund 30 l/s in der Piora-Mulde, bzw. der möglichen Störzone sowie in den Leventina-Gneisen erreichen. Für die pessimistischen Annahmen dürften die Werte zwischen 20 l/s wiederum in den Graniten und rund 120 l/s in den Lucomagno-Gneisen liegen. Der gesamte, dauernde Bergwasseranfall wird demnach beim Portalbereich zwischen rund 125 und 390 l/s ausmachen.

Erdgasvorkommen

Der gesamte Projektbereich des Sondierstollens liegt im Gebiet der alpinen Amphibolit-Fazies. Dies bedeutet, dass sämtliche Gesteine, inklusive triasische Sedimente, während der Alpenbildung eine Aufheizung auf mindestens 500 - 550°C erfahren haben. Bei diesen Bedingungen werden alle Kohlewasserstoffe ausgetrieben. Es ist demnach nicht mit dem Auftreten von Erdgas zu rechnen.

3.3 Geotechnische Verhältnisse in den einzelnen Bauwerkteilen

Portalbereich

Im Portalbereich sind, bevor der Stollenausbruch im anstehenden Leventina-Gneis angesetzt werden kann, einige 100 Kubikmeter Lockergestein (z.T. Deponie) zu entfernen.

Der Felskopf, in den das Portal zu liegen kommt, ist gut gebankt und geklüftet. Während die unregelmässig ausgebildete Schieferung flach liegt (ca 20° gegen S bis SW), fallen die Kluftflächen mittel bis steil ein und weisen gegenseitige Abstände im cm- bis dm-Bereich auf. Da der Fels im Portalbereich eine gute Durchtrennung aufweist und der bestehende SBB-Tunnel mit relativ knappem Abstand unterquert wird, ist während dem Ausbruch in diesem Bereich besondere Vorsicht und, je nach Befund, eventuell eine spezielle Sicherung des Stollens angebracht.

Sondierstollen im Bereich der Leventina-Gneise

Das leichte Einfallen der Schieferung in den Leventina-Gneisen gegen S bis SW wird in nördlicher Richtung bis in eine annähernd horizontale Lage abnehmen. Gleichzeitig wird die Schieferung im Übergangsbereich zu den Lucomagno-Gneisen zunehmend intensiver ausgebildet sein. Ab Km 2.0 übersteigt die Überlagerung 1000m. Damit wird in stärker schieferigen Felsbereichen das Verformungsproblem des Ausbruchsquerschnittes einsetzen.

Die Lage der Amphibolitbänder in den Beilagen 2 und 3 ist willkürlich und soll die *Möglichkeit* deren Auftretens anzeigen. Ebenso ist die Störzone mit spröder Deformation *nicht nachgewiesen*. Sie ist jedoch eingetragen, da ihr Vorhandensein aufgrund der Feldbeobachtungen nicht a priori ausgeschlossen werden kann. Die Zone würde ziemlich rechtwinklig durchfahren und vermutlich nur wenige Meter mächtig sein. Es wäre jedoch mit einem stark entfestigten Gestein zu rechnen.

Sondierstollen im Bereich der Lucomagno-Gneise

Bis zum Erreichen der Faltenachsebene der Chièra-Synform wird die Schieferung eine flache Lagerung aufweisen, was in den glimmerreicheren Bereichen mit Überlagerungen von bis zu 1700m zu Abplatzungen im Gewölbe des Ausbruchprofiles führen könnte. Nördlich der Faltenachsebene werden die steil einfallenden Schieferungsflächen querschlägig durchfahren. Stark verschieferte, hornblendereiche Gesteine dürften insbesondere aufgrund der grossen Überlagerungen von durchwegs über 1500m beim Ausbruch die geotechnisch wesentlichsten Probleme aufwerfen. Ihr Auftreten ist jedoch nicht prognostizierbar.

Mögliche Verlängerung des Sondierstollens

Der Ausbruch des Sondierstollens wird rund 50m vor dem seismisch vom Stollen aus ermittelten Erreichen der Piora-Mulde oder deren tektonisierten Fortsetzung unterbrochen; dies dürfte etwa bei der Stollenkilometrierung Km 5.5 der Fall sein. Werden in den von diesem Punkt aus abgeteufte Sondierbohrungen (siehe unten) keine wesentli-

che Mengen an geotechnisch problematischen Metasedimenten angebohrt, so sollte, zur weiteren Absicherung der Informationen, der Sondierstollen bis in die Intrusivgesteine des Gotthard-Massivs weitergeführt werden. Dabei ist mit einer Mehrlänge von rund 200m konventionellem Vortrieb zu rechnen. Die dabei auftretenden geotechnischen Verhältnisse können aus den Bohrungen in Erfahrung gebracht werden.

Schräge Sondierbohrungen

Etwa bei Km 5.5 sind von einer Bohrkammer aus in verschiedene Richtungen und Neigungen Sondierbohrungen zur Erkundung der geologischen Verhältnisse im Übergangsbereich zwischen Lucomagno-Gneise und Gotthard-Massiv vorgesehen. Zeigen deren Resultate, dass auf dem Tunnelniveau mit grösseren geotechnischen Schwierigkeiten zu rechnen ist, so kommt der rund 300m tiefe Vertikalschacht zur Ausführung (siehe unten).

Vertikalschacht

Falls die an der Oberfläche ausgebildete Paragneiszone mit hornblendeführenden Glimmerschiefern ihre Mächtigkeit in der Tiefe nicht wesentlich verringert oder ganz abgelöst wird, kommt der Schacht in diesen Felstyp (7/F, vgl. Tabelle 1, Seite 10) zu liegen. Die steil einfallende Schieferung wird mit der Schachtachse einen Winkel von rund 20° einschliessen. Das heisst, dass bei ungünstigen Verschneidungen von Schieferungs- und Kluftflächen häufig mit herunterbrechenden Kluftkörpern gerechnet werden muss. Während demnach gewisse Standsicherheitsprobleme auftreten werden, die ein rasches Nachziehen der Felssicherung bzw. Auskleidung bedingen, dürfte die relativ niedrige Gesteinsfestigkeit von rund 20N/mm² der Abtiefleistung generell zuträglich sein. Ferner dürften in diesen, weicheren, weniger durchlässigen Gesteinen die Wasserzutritte eher gering sein. Schwach geschieferte, reine Amphibolite (11/A, vgl. Tabelle 1, Seite 10), wie sie zum Teil auf der Nordseite des Passo di Predèlp aufgeschlossen sind, können als Härtlinge in den Paragneisen nicht ausgeschlossen werden. Aufgrund der stärkeren Zerbrechung ist bei ihrem Auffahren kurzfristig ein erhöhter Wasserzutritt zu erwarten.

Fortsetzung des Sondierstollens auf Tunnelniveau

Vom Schachtfuss, auf Tunnelniveau gelegen, wird der Sondierstollen wiederum bis auf rund 50m an den Übergangsbereich herangeführt. Da dieser Teil konventionell, mit Sprengen und Bohren sowie mit hufeisenförmigem Querschnitt (event. mit Sohlgewölbe) aufgefahren wird, ist in den schieferigen Paragneisen mit einer Überlagerung von bis zu 1800m der Ausbruchssicherung spezielle Aufmerksamkeit zu schenken, da druck-

hafte Abschnitte nicht umgangen werden können. Günstigerweise wird die steil einfallende Schieferung querschlägig durchfahren, sodass Abplatzungen von Gesteinsplatten im First- und Paramentbereich kaum auftreten werden; dagegen dürfte die Stabilität der Ortsbrust eher problematischer sein.

Querstellen

Etwa 50m vor dem zu untersuchenden Übergangsbereich wird beidseits des Sondierstollens je ein rund 300m langer Querstollen parallel zur Piora-Mulde oder deren tektonisierten Fortsetzung ausgebrochen. Als geotechnische Erschwernis gegenüber dem Sondierstollen ist der nun parallel zum Streichen der Schieferung verlaufende Ausbruch zu erwähnen, bei dem Stauchungen und Aufblätterungen insbesondere im Bereich der beiden Paramente zu erwarten sind. Deshalb sind für die beiden Querstellen in anbetracht der rund 1800m erreichenden Überlagerung kurze Abschlüge sowie unmittelbar nachfolgende, relativ kräftige Sicherungsmassnahmen vorzusehen.

Horizontale Sondierbohrungen

Die Querstellen ermöglichen in einem nächsten Sondierschritt rund alle 100m die Ausführung von Sondierbohrungen in Richtung Norden, um die geotechnisch günstigste Querungsstelle für die Tunnelröhren zu bestimmen.

Massnahmen zur Gebirgsverbesserung im Projektbereich

Die Resultate der horizontalen Sondierbohrungen auf dem Tunnelniveau, jedoch auch die Erkenntnisse aus den auf höherem Niveau ausgeführten Schrägbohrungen, werden die benötigten Informationen über die Art und die genaue Lage der notwendigen gebirgsverbessernden Massnahmen liefern. Das diesbezügliche Konzept enthält der Machbarkeitsbericht der IG-GBT, Mai 1991.

4. ZUVERLÄSSIGKEIT DER PROGNOSE

Die Zuverlässigkeit der geologisch-geotechnischen Prognose für einen Sondierstollen wird durch diesen selbst relativiert. Der Grund, dass ein Sondierstollen gebaut werden muss, liegt darin, dass, aufgrund der mangelhaften Oberflächeninformationen, die Kenntnisse zu ungenügend sind, um für das eigentlich zu erstellende Bauwerk (Gotthard-Basistunnel) eine zuverlässige Prognose erstellen zu können.

bestehend aus Granitgneisen und Hornblende-führenden Glimmergneisen und -schiefern.

Das vorliegende geologisch-geotechnische Gutachten bildet demnach eine erste Annäherung an das Verständnis der geologischen Verhältnisse im zur Diskussion stehenden Abschnitt des Basistunnel-Projektes. Erst die Erkenntnisse aus dem auszuführenden Sondierstollen ermöglichen eine zuverlässige geologisch-geotechnische Prognose für den Haupttunnel.

Die hier präsentierten Grundlagen sind demnach als eine generelle Möglichkeit der tatsächlichen Verhältnisse aufzufassen. Die gelieferten Daten über die auftretenden Gesteinstypen, deren felsmechanischen Eigenschaften sowie den allgemeinen Charakter der Strukturen (Trennflächenverhältnisse) können als recht zuverlässig taxiert werden. Dagegen sind die Informationen über deren *räumliche Verteilung im Gebirge* äussert gering und kommen z.T. nicht über den Stand von Spekulationen hinaus. Dies trifft insbesondere auf die Frage zu: "Welche der vorhandenen Lithologien werden wo im Stollen angefahren".

Daher wird eine ausführliche geologische Begleitung der Ausbruchsarbeiten nicht nur für die erfolgreiche, möglichst komplikationsfreie Erstellung des Sondierstollens wichtig, sondern auch für das geologische Verständnis des Bereiches der nördlichen Leventina- sowie der Lucomagno-Gneise und somit für die Arbeiten im entsprechenden Tunnelabschnitt südlich der Piora-Mulde unerlässlich sein.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Das vorliegende geologisch-geotechnische Gutachten umfasst die beim heutigen Stand der Untersuchungen vorhandenen Kenntnisse als Grundlagen für die Projektierung und Ausschreibung des "Sondierstollens Piora-Mulde". Dieser beginnt bei Polmengo, nördlich von Faido und führt mit einer Länge von rund 5.5km in nördlicher Richtung in den Bereich der Piora-Mulde um dort die geologisch-geotechnischen Verhältnisse auf dem Niveau des Gotthard-Basistunnels zu erkunden und eventuell vorbereitende Massnahmen zu ermöglichen.

Der Stollen wird dabei auf seiner südlichen Hälfte die granitoiden Leventina-Gneise und in der nördlichen Hälfte die heterogene Wechsellagerung der Lucomagno-Gneise,

bestehend aus Granitgneisen und hornblendeführenden Glimmergneisen und -schiefern, durchqueren. Als Grundlagen für die Konstruktion der Prognoseprofile (Längs- und Horizontalschnitt) dienten verschiedene Oberflächenkartierungen sowie die Resultate der Sondierbohrung Gana Bubaira aus den 1960er Jahren. Die mässigen Aufschlussverhältnisse, die durch ausgedehnte Sackungs/Rutschungsmassen sowie Hakenwurfgebiete geprägt sind, erlauben lediglich Extrapolationen der Oberflächeninformationen, die sich oft noch im Bereich von Spekulationen befinden.

Die Informationen aus den orientierten Kernen der Bohrung Gana Bubaira deuten darauf hin, dass die Faltenachsebene der auf der Alpe di Chièra aufgeschlossenen Synform im Gebirgsinnern gegen Norden steiler abtaucht, als dies in den Aufschlüssen der Fall ist. Somit dürfte etwa auf den beiden ersten Dritteln des Stollens die Schieferung flach (ca 20°) gegen SW einfallen bis annähernd horizontal liegen. Im restlichen Abschnitt werden die Schieferungsflächen steil (60-70°) gegen N abtauchen und können angenähert querschlägig durchfahren werden. Die heterogene petrographische Zusammensetzung der Lucomagno-Gneise erschwert oder verunmöglicht gar die genaue Vorhersage wo im Stollen welche Gesteine angefahren werden.

Die Werte für die Druckfestigkeiten der unterschiedlichen Gesteinstypen schwanken zwischen 10N/mm^2 (Glimmerschiefer der Lucomagno-Gneise) und 170N/mm^2 (Leventina-Gneise). Bei Überlagerungen von bis zu 1700m ist in den Gebieten mit flachliegender Schieferung mit Abplatzungen aus dem Gewölbebereich zu rechnen. Der nördlichste Teil des Sondierstollens sowie die beidseitigen Querstollen, nördlich des Vertikalschachtes und auf Tunnelniveau gelegen, werden konventionell aufgefahren und erreichen - in hornblendeführenden Glimmerschiefern - Überlagerungen um 1800m. Während bei diesen Verhältnissen im Sondierstollen vor allem an der Ortsbrust mit Stabilitätsproblemen zu rechnen ist, werden in den zur Schieferung parallel verlaufenden Querstollen diese vor allem in den beiden Parament auftreten. Informationen über die geotechnischen Verhältnisse für eine allfällige Durchquerung der Piora-Mulde oder deren tektonisierten Fortsetzung werden die vom Sondier- respektive von den Querstollen aus vorgetriebenen Sondierbohrungen liefern. Sie werden auch die Wahl der künftigen Querungsstelle erlauben.

Je nach Gesteinstyp schwankt der Quarzgehalt zwischen <10% in Amphiboliten und rund 60% in den Graniten des Gotthard-Massivs; generell wird der Wert bei 30-40% liegen. Beim initialen Bergwasseranfall ist mit bis zu 250 l/s, im Bereich der Piora-Mulde

jedoch mit mehr als 1500 l/s zu rechnen. Für den dauernden Wasseranfall sind gesamt-
haft (beim Portal) im optimistischen Fall etwa 125 l/s, im pessimistischen Fall rund 390
l/s anzunehmen. Aufgrund der alpinmetamorphen Überprägung des gesamten
Projektbereiches können Erdgasvorkommen ausgeschlossen werden.

Uerikon, 31.8.1991

T. H. Schmidt

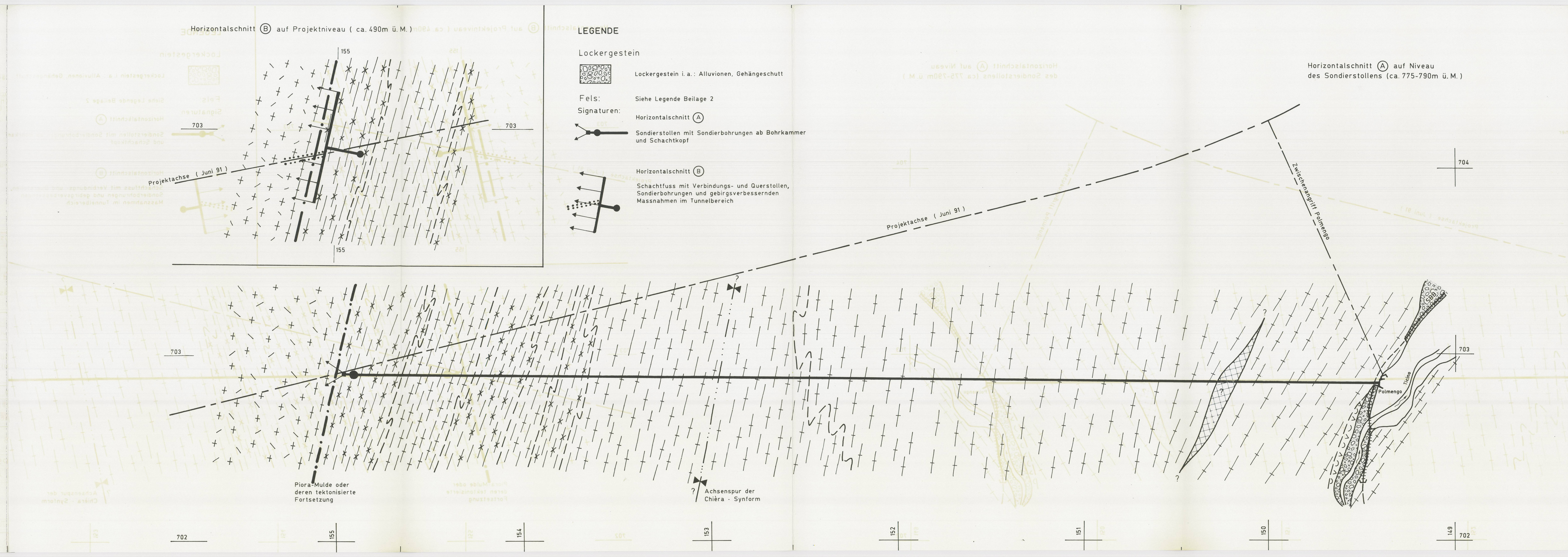
**SONDIERSTOLLEN
PIORA-MULDE**

Geologisch-geotechnische
Projektierungsgrundlagen

**GEOLOGISCHER
HORIZONTALSCHNITT**

Autor: DR. T.R. SCHNEIDER Beratender Geologe Rüthofstrasse 53 8713 Uerikon/ZH	AlpTransit Code		Herkunft	Abschnitt	Fachgebiete
	Plan Nr.	Gez.	Kontr.	Datum	Genehmigt
	425ac/3				
Änderungen	A				
	B				
	C				
	D				
	E				

Format: 30x105 Massstab: 1:10'000



LEGENDE

Lockergerstein

 Lockergerstein i. a.: Alluvionen, Gehängeschutt

Fels:
 Siehe Legende Beilage 2

Signaturen:

 Horizontalschnitt (A)

 Sondierstollen mit Sondierbohrungen ab Bohrkammer und Schachtkopf

Horizontalschnitt (B)

 Schachtfuss mit Verbindungs- und Querstollen, Sondierbohrungen und gebirgsverbessernden Massnahmen im Tunnelbereich