

# PROGNOSE UND BAUDURCHFÜHRUNG DES INNTALTUNNELS AUS GEOLOGISCHER SICHT

Dr. M. Köhler & Dr. W. Leimser

## 1. ÜBERSICHT

Der 13 km lange Inntaltunnel verläuft in der Inntalterrasse südlich von Innsbruck, und verbindet das Inntal bei Baumkirchen mit dem Wipptal bei Gärberbach. Er ist Teil einer neuen leistungsfähigen Eisenbahnlinie zwischen München und Verona.

Der Inntaltunnel durchörtert den sogenannten Innsbrucker Quarzphyllit, der vor allem im östlichen Tunnelbereich von mächtigem, quartärem Lockermaterial überlagert wird.

## 2. PROGNOSE UND AUFSCHLUSSARBEITEN

Die Prognose der Gebirgsverhältnisse wurde durch die mächtige Lockermaterialbedeckung erschwert. Im Ostabschnitt des Tunnels war eine geologische und baugelogeische Geländekartierung daher allein nicht ausreichend, den Gebirgsbau auf Tunnelniveau zu klären.

Zur Trassenfestlegung wurden 14 Kernbohrungen mit Tiefen bis 220 m abgeteuft. Dabei traten im Lockermaterial erhebliche bohrtechnische Schwierigkeiten auf, die vor allem durch grundwasserführende Schichten und Konglomeratlagen bedingt waren. Dazu kamen noch witterungsbedingte Erschwernisse hinzu, da die Bohrarbeiten in den Wintermonaten durchgeführt werden mußten.

Hauptziel dieser Aufschlußarbeiten war das Erkennen des Felsreliefs unterhalb des Lockermaterials. Um eine wirtschaftliche Durchführung des Bohrprogrammes zu gewährleisten, wurden von Beginn an die Bohrarbeiten durch geoseismische Untersuchungen ergänzt.

Als erste Aufschließungsmaßnahme wurden zunächst Nord Süd verlaufende seismische Profile durch die Fa. Geosalzburg (Interfels) aufgenommen. An vermuteten Schlüsselstellen wurden dann die ersten Tiefbohrungen abgeteuft, mit deren Hilfe die seismischen Profile geeicht werden konnten. Damit wurde es möglich, relativ rasch den großräumigen Felsverlauf erkennen zu können.

Nach Abschluß dieser ersten Erkundungsphase wurde der generelle Trassenverlauf des Tunnels festgelegt. Die weit in die Bergflanke zurückspringende Felslinie erforderte ein starkes Abrücken des Tunnels von der Talflanke gegen Süden. Der Tunnel verläuft somit rund zwei Kilometer weiter südlich als die ersten Planungen vorsahen. Damit wurde auch das ursprüngliche Konzept eines Zwischenangriffspunktes über einen Zugangsstollen, der im Betrieb als Sicherheitsstollen Verwendung gefunden hätte, fallen gelassen.

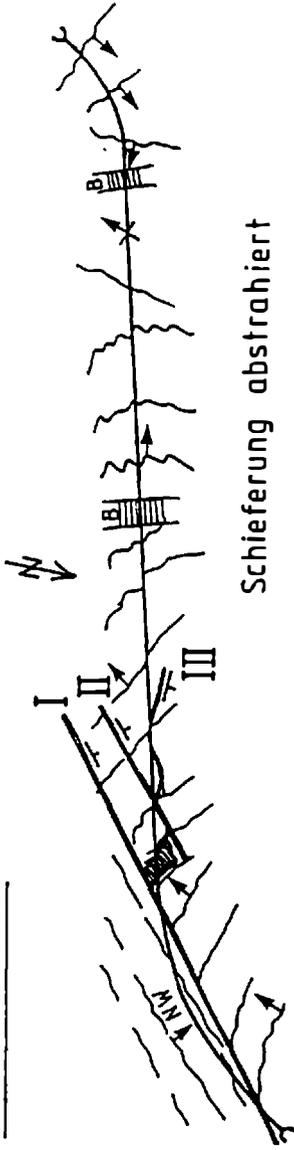
In der zweiten Erkundungsphase wurden die Bohrarbeiten und die seismischen Untersuchungen in der festgelegten Trasse verdichtet.

Der Schwerpunkt der seismischen Erkundung lag dabei im Ostabschnitt des Tunnels. Neben der reflexions- und refraktionsseismischen Methode wurden auch Bohrlochmessungen durchgeführt. Neben dem Untergrundaufbau, insbesondere der Lage der Felsoberfläche, wurden auch die seismischen Wellengeschwindigkeiten im Fels analysiert, um ein gewisses qualitatives Maß für die Beurteilung der Felsqualität zu gewinnen.

Die Ergebnisse der seismischen Erkundungen haben mit den Bohraufschlüssen sehr gut übereingestimmt. Schwierigkeiten gab es anfänglich nur bei der Interpretation von Laufzeiten im Nahbereich von steil abfallenden Felsflanken, wobei dieser Umstand in den geometrischen Schnitteffekten begründet ist.

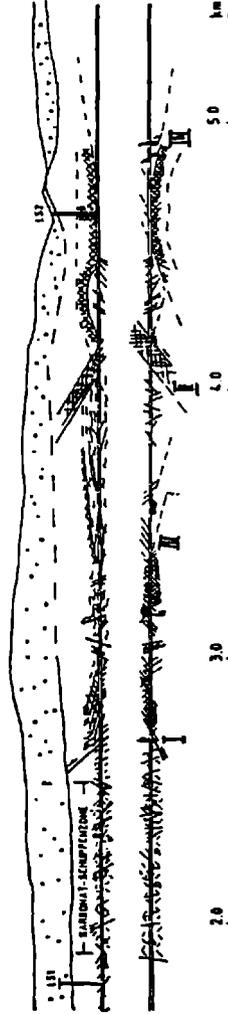
Trotz aller Erkundungsmaßnahmen war die Prognostizierbarkeit der geotechnischen Verhältnisse für den Ost- und Westabschnitt des Tunnels verschieden. Im Ostabschnitt war auf fünf Kilometer Länge die Prognose nur mittels indirekter Beobachtungsmethoden möglich. Auf diesen Umstand wurde in der geologischen Prognose mehrfach hingewiesen.

Übersichtsskizze

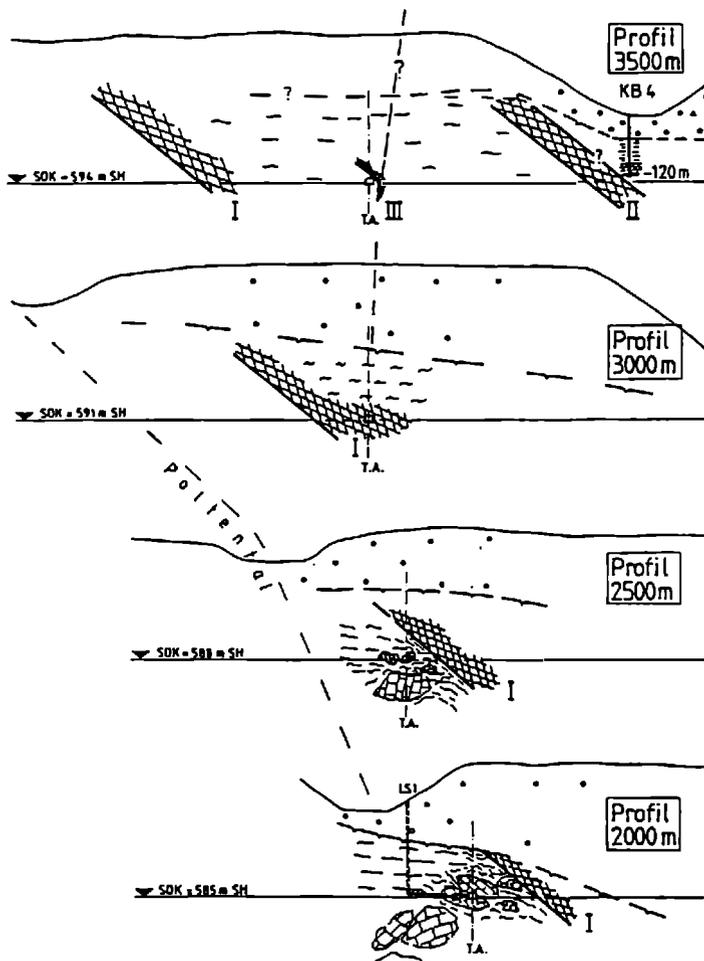


Schieferung abstrahiert

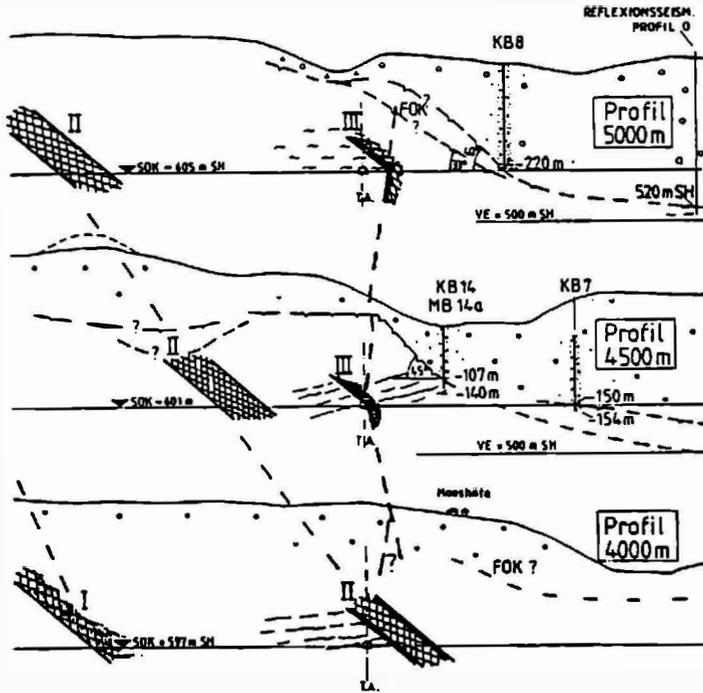
STÖRUNGSBEREICH NORD  
SCHNITT UND PLAN



# QUERPROFILE / INNTALTUNNEL - BAULOS NORD



# QUERPROFILE / INNTALTUNNEL - BAULOS NORD



### **3. BAUDURCHFÜHRUNG**

#### **3.1. Lockermaterial:**

Der Portalbereich Nord liegt in einem sackungsempfindlichen, ziemlich durchfeuchteten Lockergesteinbereich (Moräne).

Während des Vortriebes zeigte sich, daß ein rascher Sohlschluß erforderlich ist. Demnach wurde die Strosse in kurzem Abstand zur Kalotte und weiterhin in sehr kurzem Abstand das Sohlgewölbe eingebaut. Besonders im Sohlbereich traten stärker wasserführende Sand/Kieslagen (ausgeschwemmte Moränen) auf. Hier gab es Wasserzutritte bis zu 2 l/sec.

Im Kalottenvortrieb waren die Moränen bereichsweise sehr hart und mußten entlang des Kranzes und in den Kalottenfüßen mittels einigen Sprengladungen aufgelockert werden. Von 108 bis 178 m ist ein Teil der Moränen in der Kalotte durch eine Sandlage, die vermutlich eine Rinnenfüllung darstellt, ersetzt. Diese bis 3,0 m mächtige Sandlage erwies sich als ein schwierig zu durchörternder Bereich. Es handelte sich um einen fast einkörnigen Fein/Mittelsand, der wassergesättigt war. Hier mußte die Kalotte weiter unterteilt werden in eine obere und untere Kalotte. Der Vortrieb der oberen Kalotte erfolgte mit sogenannten "Eseln" ca. 3 Ringe vor der Gesamtkalotte. Zur Druckentlastung im Sand wurden in zwei Abschnitten bis 30 m lange Entwässerungsbohrungen mittels eines Schraubenbohrers und eingehämmerten Entwässerungsrohren durchgeführt. Bei Erfordernis wurde zuletzt auch ein Vakuumsystem angewendet. Mit Annäherung an die Felsoberfläche war die Grundmoräne wieder sehr hart, etwas verwittert und teils auch geklüftet.

Von 792 m bis 947 m ebenfalls im First wurde eine mit Moränen gefüllte Senke angetroffen. Die Füllung bestand aus stark gepreßter und harter Grundmoräne, die bereichsweise gesprengt werden mußte und daher zum Teil in einer Felsklasse (V) aufgefahren wurde. Ab 870 m traten darin schluffige und kiesige Lagen auf, die wasserführend waren. Dort mußte voraussichernd mit Dielen gearbeitet werden. Die Klassifizierung erfolgte deshalb in L II. Das Lockermaterial reichte bis etwa 1 m unter die Nivellette. Dieser Lockergesteinsbereich hatte sich durch die seismischen Erkundungen angekündigt.

### 3.2. Karbonate:

Ab Station 1100 traten erstmals Karbonatlagen schieferungsparallel in den Phylliten auf, ab 1700 m dann die ersten größeren Karbonatkörper in massigerer Ausbildung. Zwischen 1800 und 1900 m nimmt die Zerlegung des Gebirges zu, bis bei 1890 m im Sohlbereich ein großer Dolomitkörper aufsteigt und nach 1900 m das gesamte Profil ausfüllt. Von 1900 bis 2530 m erstreckt sich eine Karbonatschuppenzone. Bautechnisch erwiesen sich die ungestörten Karbonate als die günstigste Gesteinsart. Hier wurden die größten Abschlagslängen mit 4 m Abschlagstiefe und nur geringen Ausbaumaßnahmen erzielt (Gebirgsgüteklasse II).

### 3.3. Großstörung:

Ab 2680 m verschlechterte sich das Gebirge rasch. Es traten zahlreiche mylonitische Bewegungsbahnen mit größeren Mächtigkeiten auf. Die dominierende Richtung ist eine schleifend zum Tunnel verlaufende mit rd.  $45^\circ$  nach NW fallende Abschiebungsbahn, die den Tunnel bei 2720 m von rechts betritt und bei 2775 m nach links verläßt. An sie angelehnt traten bis 3 m mächtige Scher- und Kataklasithorizonte mit sehr geringem Einfallen auf. Diese flach liegenden Störungen, die ebenfalls als Abschiebungen nach NW bis NNW ausgebildet sind, erstrecken sich bis etwa 2900 m. Danach ist das Gebirge zwar in seiner Verbandsfestigkeit etwas konsolidiert, jedoch durch zahlreiche stets zersetzte Bewegungsbahnen hoch durchtrennt. Vor einer 3 m mächtigen, E-fallenden Störung (3060 m) nimmt die Zerlegung des gesamten Gebirges erneut zu. Bei 3165 m geht dieses bereits stark zerlegte Phyllitgebirge in eine völlig zertrümmerte und stark durchbewegte schwarzgraue Masse mit deutlicher Kohäsion über. Diese Zone hält bis 3280 m an. Sie ist gekennzeichnet durch das Fehlen von deutlichen und geregelten Bewegungsbahnen. Das Material ist stark durchbewegt und kleinräumig bis im m-Bereich verfaultet. Beobachtungen im Strossenausbruch ergaben keine scharfe Abgrenzung gegen das weniger gestörte Gesteins- und Gebirgsgefüge, sondern einen stufenlosen, wenn auch recht raschen Übergang in diesen Totalmylonit. Eine weitere Zone mit ersten erkennbaren Bewegungsbahnen, jedoch noch völliger Gesteinszertrümmerung reicht bis 3350 m am rechten Ulm. Danach ist das Gebirge durch zahlreiche, auch mehrere m-mächtige, verbreitet jedoch bis 20 cm starke mylonitische Bewegungsbahnen zertrennt. Das Restgefüge ist häufig verfaultet und allgemein sehr stark deformiert. Die Kernzone mit plastischer Verformung reicht somit von 3165 - 3350 m (geologische Abgrenzung).

Von 3350 3680 m ist das Gebirge gekennzeichnet durch Scharen von mylonitischen Störungen, die von 3350 - 3500 schleifend von rechts nach links und bis 3680 m von links nach rechts den Tunnel queren. Das Gebirge ist hier durchgehend stark zerlegt. Die Ursache für die hohe tektonische Beanspruchung liegt vermutlich in der geringen Entfernung der Hauptstörung vom Tunnel.

Nach 3680 bis etwa 3900 m konsolidierte sich das Gebirge zwar etwas, es ist aber nach wie vor stark zerlegt, alle Trennflächen sind schmierig, tonig-graphitisch belegt, die Phyllite sind dünnblättrig/dünnschiefrig. Die Beanspruchung hat etwas nachgelassen und die völlige Mylonitisierung oder Kataklyse sind hier ausgeblieben. Nach 3900 m nimmt die Zerlegung wieder zu und bei Station 4050 m bilden sich wieder größere Kataklysezonen aus dem Zusammenwachsen von dünneren und durch das Eindringen von rechts bis zu 2 m mächtigen Myloniten. Diese Zone, die rund 150 m dauert, zeigt in ihrem Zentrum eine echte tektonische Melange aus Quarzphyllit, Chloritphyllit und gneisigen Gesteinen mit allen Übergängen von Fels bis Feinbreccie. Das Ende dieser Zone ist ein bis 3 m mächtiger mylonitischer Kataklysit. Das Gebirge nach dieser Störung entspricht dem vor der Störung, es kommt wieder zur Durchtrennung durch Einzel- und Scharen von Scherflächen und geringmächtigen Störungen. Das Gebirge ist zumindest ein Sprengfels. Diese Zone zieht sich bis 4450 m, von wo die Zerlegung wieder zunimmt, bis bei 4500 m ein bis 5 m mächtiger Mylonit den Tunnel erreicht. Diese Störung entspricht in der Ausbildung der zuletzt genannten bei 4150 m. Sie zieht zuerst schräg über den Tunnel und erreicht bei 4560 m den linken Ulm und dreht ab dort in die Achsrichtung ein und verläßt den Tunnel bei 4700 m auf der rechten Seite wieder, tritt bei 4730 m in den Tunnel wieder ein und verläßt diesen wieder nach rechts bei 4800 m endgültig.

Die besonderen Probleme, die hier auf dieser über 2 km langen, besonders schlechten Gebirgsstrecke auftraten, sind folgende:

1. eine unregelmäßige Beanspruchung des Ausbauwiderstandes
2. verbreitet auftretende Druckerscheinungen in der Ortsbrust und im Profil
3. nachträgliche Zerstörungen des Ausbauwiderstandes
4. überbeanspruchte Anker
5. Die Erfordernis von örtlichen Lockerungspregungen trotz eines mechanisch stark zerstörten Gebirges, sehr wechselhafte Bedingungen im Ortsbrustbereich (hart/weich)

6. aus geologischer Sicht die häufige massive Brustversiegelung und -ankerung, die gleichzeitigen Arbeiten wie mechanischer Ausbruch und Brustversiegelung, sodaß häufig nur m2-weise das Gebirge zu sehen war.

Die geologische Aufnahme war vollständig von den bautechnischen Maßnahmen abhängig. Dies bedeutete die völlige Angleichung der Aufnahmetätigkeit an die Vortriebsbedingungen im Tunnel. Die Anzahl der Abschlüge pro Tag im Durchlaufbetrieb variierte von zwei bis vier. Der Zeitraum, in dem sich der Vortrieb in diesen äußerst schwierigen Verhältnissen bewegte, betrug 1 1/2 Jahre.

Obwohl sich zwischen den besonders schlechten Zonen etwas bessere Gesteinsbereiche befanden, war auch in diesen Bereichen eine systematische Brustankerung erforderlich, um dem Ausgleiten von größeren Felskeilen, die aufgrund der zahlreichen großen Trennflächen möglich waren, vorzubeugen. Ebenso mußte der Sohlschluß in möglichst kurzem Abstand hinter der Strosse erreicht werden., um die Deformationen hintanzuhalten.

#### 3.4. Aufweitung:

Im Südbaulos wurde eine Abzweigung für den späteren Brenner-Basistunnel errichtet. Die letzten 100 m vor der Aufweitung wurden in GGKL V aufgefahren, da sich ein nur wenige mdicker Felspeiler zwischen dem Haupttunnel und dem sogenannten Stichtunnel befindet. Während des Ausbruches des Stichtunnels zeigte sich im hinteren Teil ein Grünschieferkomplex, der im Haupttunnel eine starke Verfaltung bewirkte.

Der Aufweitungs- oder Abzweigungsbereich erstreckt sich von Station Süd 4566 bis 5112 m. Hier trennt sich der Tunnel in 2 Tunnelröhren, von denen die südliche das Anschlußstück an den geplanten Brennerbasistunnel und die nördliche den Anschluß an die bestehende Brennerstrecke darstellt. Dabei verändert sich der Hohlraumquerschnitt von einem Maximalquerschnitt von 325 m<sup>2</sup> bei Station 4566 m stufenweise in 5 Abschnitten bis zum Normalprofil bei 5112 m. Der Südulm geht dabei geradlinig durch, während der Nordulm stufenweise in Vortriebsrichtung in den Hohlraum hereinspringt.

Der größte Abschnitt wird mit E, der kleinste mit A bezeichnet. Der Abschnitt E ist 66 m lang, alle nachfolgenden Abschnitte D, C, B, A jeweils 120 m lang.

Wegen der großen horizontalen und vertikalen Dimensionen des Hohlraumes wurden die Vortriebsarbeiten auf mehrere, parallel verlaufende Vortriebsbereiche unterteilt. So kamen in E und D 3 Kalottenvortriebe und eine zweifach unterteilte Strosse zur Anwendung. Der Kalottenvortrieb 1A verlief entlang dem Nordulm, 1B nahm den Mittelteil um die Achse des Hohlraumes heraus, 1C lief dem Südulm entlang.

Um möglichen oder zu erwartenden größeren Deformationen entgegenwirken oder vorbeugen zu können, mußten die größeren und vor allem ungünstig gelagerten Trennflächen im Gebirge (Störungen, Scherflächen, Großklüfte) rechtzeitig erkannt und in ihrer Lage zum Hohlraum sehr genau bestimmt werden. Um dies zu ermöglichen, mußten die geologischen Aufnahmen völlig auf das bautechnische Programm mit den 3 Kalottenvortrieben abgestimmt werden. Es erfolgte mit der örtlichen Bauüberwachung eine enge Kooperation, um sofort auf auftretende Problembereiche hinweisen zu können. Die örtliche Bauüberwachung stimmte ihre Maßnahmen, im besonderen die Systemankerung und die Zusatzankerungen, gezielt auf die geologischen Daten ab.

Im Bereich 4566 bis 4770 m querten den großen Hohlraum diagonal bis schweifend 5 große Trennflächensysteme. Sie wurden fortlaufend mit 1 bis 5 nummeriert. Die ersten 3 stellen weit durchreichende Scherflächen in mäßig mylonitischer bis maximal 1,5 m mächtiger kataklastischer Ausbildung dar. Sie sind hauptsächlich glatt und etwas gebogen. Die Trennfläche 1 ist innerhalb des Quarzphyllites gelegen, die Trennflächensysteme 2 und 3 sind vorwiegend als Begrenzungen eines Grünschieferkomplexes zu Quarzphyllit ausgebildet. An ihnen haben vor allem Abschiebungen nach Süden stattgefunden.

Die Störung 4 ist eine Abschiebungszone zusätzlich mit einem dextralen Bewegungssinn. Sie grenzt den Grünschieferkörper im Süden ab von einer Zone von Quarzphyllit, Chlorit- und Biotitgneisen bis Schiefergneisen im Norden.

Sie ist maximal 6 m breit kataklastisch und innerhalb dieser Zone bis 2 m mächtig mylonitisch ausgebildet.

Die Störung 5 besitzt ebenfalls einen dextralen Bewegungssinn und fällt vermutlich nach Norden ein. Diese Zone ist maximal 10 m breit mit zahlreichen Parallelstörungen, die Kernzone ist ein 2 - 4 m mächtiger Kataklastit.

Nach der Durchörterung der Störung 5 im Grenzbereich D zu C ist das Gebirge ein normaler Quarzphyllit mit einer gleichbleibenderen Ausbildung. Es treten auch hier noch Scherzonen, teilweise mit graphitischer Gesteinsausbildung, auf. Es handelt sich

stets um Einzelbahnen oder kleinere Scharen von Scherflächen, die keine besonderen Probleme bereiteten.

Die Gebirgsgüteklasse im Aufweitungsbereich war vorwiegend die Klasse V mit Abschlaglänge 1,5 m. Sie entspricht mehr einer Ausbruchsklasse, die bei einem kleineren Querschnitt einer Klasse IV entsprochen hätte. Die Klasse V wurde bis zum Abschnitt C/B bei 4872 m durchgezogen und danach wurde auf die Klasse IV mit Abschlaglängen mit 2,20 m umgestellt. Die Sohle wurde im großen Querschnitt als eine verstärkte Sohlplatte ausgebildet.

Die Bergwasserführung war vom Beginn der Aufweitung bis zu Störung 5 gering, in der Regel mit leichtem bis mäßigem Tropfwasser. An und nach der Störung 5 traten verstärkt kleine Quellen und stärkeres Tropfwasser auf, mit Schüttmengen bis 0,1 l/sec. Die Wassertemperatur dieses Bereiches ist 12,9° C.

#### **4. AUSBLICK**

In unserem Vortrag haben wir die wichtigsten geologischen Erkenntnisse kurz beschrieben. Sie sind über den aktuellen Anlaß des Baus des Inntaltunnel hinaus auch für die Planung und den späteren Bau des Brenner-Basistunnel aufschlußreich:

- Großstörungen, wie im Inntaltunnel, werden bei einem alpenquerenden Basistunnel sicher kein Einzelfall sein.

Die neue österreichische Tunnelbauweise hat sich auch in den schwierigsten geotechnischen Gebirgsverhältnissen, wie sie im Inntaltunnel auftraten, wiederum bewährt.

Trotz Konvergenzen in der Größenordnung von 100 cm (I) wurde ein geregelter Vortriebsablauf erzielt, ohne daß es zu größeren Stillständen gekommen ist.

Bereits 1978 haben wir anläßlich der ersten Studien für den Brenner-Basistunnel darauf hingewiesen, daß bei Trassenvergleichen die Prognostizierbarkeit ein wichtiger Bewertungsfaktor ist. Der Ostabschnitt des Inntaltunnels wird auf 5 km Länge von Lockermaterial verdeckt. Er ist damit ein gutes Beispiel für einen Tunnelvortrieb "unter der Decke", wie er bei einem Basistunnel auf lange Strecken zu erwarten ist.

Autoren: Dr.M.Köhler &  
Dr.W.Leimser  
ILF  
Framsweg 16  
6020 Innsbruck