

Geotechnische Probleme beim Bau des Erkundungsstollen Kaponig

A. KNITTEL

Inhaltsverzeichnis

1. GESCHICHTE DER TAUERNBAHN
2. DAS PROJEKT: "MALLNITZ-LINDISCH"
 - 2.1. DAS URSPRÜNGLICHE PROJEKT
 - 2.2. DERZEIT IST EISENBAHNRECHTLICH ZUR ÄNDERUNG EINGEREICHT
 - 2.3. DEPONIE DES TUNNELAUSBRUCHMATERIALS
3. KENNTNISSTAND ÜBER DIE GEBIRGSVERHÄLTNISSE AUS DER GEOLOGISCHEN PROGNOSE ZUM BAUBEGINN
 - 3.1. GEOLOGISCHER ÜBERBLICK ÜBER DEN PROJEKTSBEREICH
 - 3.2. GEOLOGIE UND TUNNELBAUTECHNISCH RELEVANTES GEBIRGSVERHALTEN ENTLANG DER STOLLENACHSE - PROGNOSE
4. ERSTE REALISIERUNGSPHASE: FENSTER- UND ERKUNDUNGSSTOLLEN
 - 4.1. DER FENSTERSTOLLEN KAPONIG
 - 4.2. DER VERSUCHSSTOLLEN ZUM KAPONIGGRABEN
 - 4.3. DER ERKUNDUNGSSTOLLEN KAPONIG - STEIGENDER VORTRIEB
 - 4.3.1. BAUVERFAHREN, GERÄTEEINSATZ
 - 4.3.2. DIE ERSTEN 1000 M
 - 4.3.3. PROBLEME BEI STATION 1160-1170
 - 4.3.3.1. DER ERSTE GROßE WASSEREINBRUCH ⇒ MAßNAHMEN
 - 4.3.3.2. DER ZWEITE WASSEREINBRUCH MIT VERBRUCH DES STOLLENS
 - 4.3.3.3. DISKUTIERTERTE MÖGLICHKEITEN ZUR AUFARBEITUNG UND DURCHÖRTERUNG
 - 4.3.3.4. DAS AUSGEWÄHLTE MODELL
 - 4.3.3.4.1 HERSTELLEN DER AUFWEITUNG
 - 4.3.3.4.2 ÄUßERE FOLGEN DES WASSEREINBRUCHS
 - 4.3.3.4.3 ROHRSCHEIM - INJEKTIONSSCHIRM
 - 4.3.3.4.4 DURCHÖRTERN DES STÖRBEREICHES
 - 4.3.3.5. MÖGLICHE URSACHEN UND GEWONNENE ERKENNTNISSE
 - 4.3.3.6. DARAUß RESULTIEREND: ZUSÄTZLICHE MAßNAHMEN FÜR DEN WEITEREN VORTRIEB
5. ZUSAMMENFASSUNG

1. GESCHICHTE DER TAUERNBAHN

Die Tauernbahn ist die Eisenbahnlinie von Schwarzach-St.Veit im Salzburger Pongau durch das Gasteiner Tal, dem Tauerntunnel nach Mallnitz und an der sonenseitigen "Mölltal-Leit'n" wieder hinunter nach Spittal/Drau in Kärnten - oder wie der Bahnhof heißt: "Spittal-Millstättersee".

1857 erfolgte die Eröffnung der Bahnverbindung Wien - Triest. Zu dieser Zeit war Österreich noch eine Monarchie unter Kaiser Franz Joseph. Österreich erstreckte sich damals noch bis ans Mittelmeer.

Die westlichen Kronländer Österreichs und das Königreich Bayern waren unzufrieden, daß sie keine Verkehrsverbindung in den Süden ans Meer hatten. Auch militärisch war eine zweite Eisenbahnlinie zur österreichischen Kriegsmarine in Triest erforderlich.

Es dauerte zwar bis zum Juni 1901 bis im Reichsrat Einigung darüber gefunden werden konnte, jedoch nützten die Ingenieure die Zwischenzeit um detaillierte, umfangreiche und sorgfältige Planungen durchzuführen. Für diese Verbindung wurden nicht weniger als 22 Linien untersucht. Für die Tauernbahn lagen 6 Linien vor:

- Radstädter Linie
- Zederhaus-Linie
- Großarl-Linie
- Gasteiner-Linie V1: Möllbrücke
- Gasteiner-Linie V2: Spittal/Drau
- Flattacher-Linie
- Fragner-Linie
- Rauriser-Linie
- Fuscher-Linie
- Felbertauern-Linie

Jede Linie wies mindestens einen langen Tunnel (7-13 km) und mehrere kleinere Tunnel und Brücken auf.

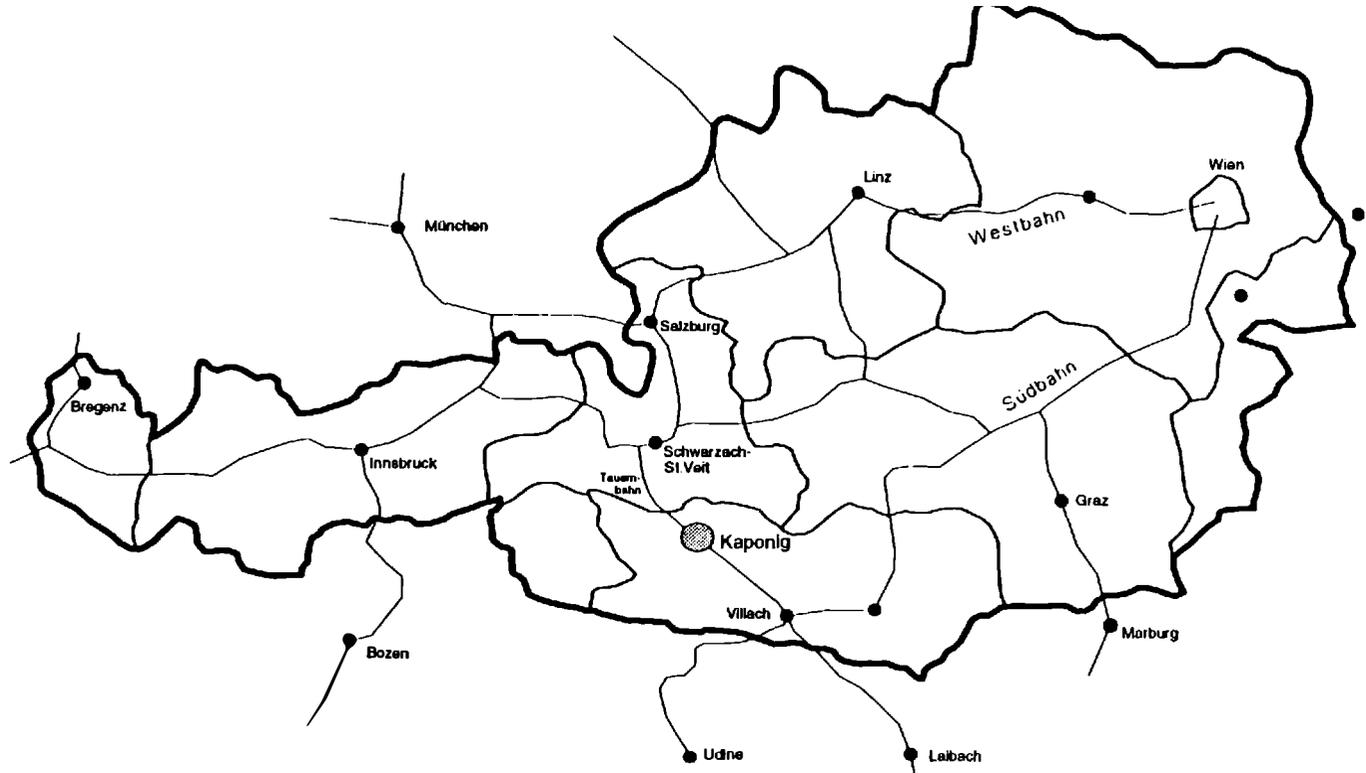


Abb. 1: Lage des Projektes im Streckennetz der Österreichischen Bundesbahnen

Im Reichsgesetzblatt vom 6.6.1901 wurden dann die Linien

- Tauernbahn, als Verbindung Salzachtal und Drautal
- Pyhrnbahn,
- Karawankenbahn,
- Wocheinerbahn und die
- Linie Görz-Triest

festgelegt. Die Tauernbahn soll von Spittal/Drau nach Schwarzach/St.Veit über Gastein führen. Dabei wurde die Variante 2, mit hohem Bahnhof in Obervellach, jedoch ohne künstlicher Linienführung an der Südrampe bestimmt. Die Bahn war als "Hauptbahn ersten Ranges" zu errichten und zu betreiben.

Zu dieser Zeit herrschte seitens der Bevölkerung ein besonderes Interesse, eine Eisenbahnlinie im eigenen Tal und durch den eigenen Ort zu haben. Heute sind diese Interessen etwas anders gelagert.

Diesem Gesetz ging also ein über "30jähriger Krieg" um Trassen voraus, mit umgekehrten Vorzeichen zu heute und meist auch mit starken militärischen Argumenten.

In diesem vorzitiertem Gesetz wurden auch Fertigstellungstermine festgelegt. So sollte der Betrieb Ende 1908 zwischen Schwarzach und Spittal aufgenommen werden. Für ein 80 km langes Projekt dieser Schwierigkeitsklasse eine mutige Vorgabe. (insgesamt 14.7 km Tunnel)

Die Baulose der Strecke Schwarzach - Badgastein wurden im Dezember 1902 nach öffentlicher Ausschreibung vergeben, Baulose von Badgastein bis Kaponig erst im Dezember 1905 und bis Spittal im Juni 1906. Das lag an der Finanzierung: Der Reichsrat konnte die erforderlichen Geldmittel nur in 2 Raten bewilligen.

Trotzdem begannen die Aufschließungen für den Tauerntunnel bereits im Juli 1901 in Eigenregie. 1906 wurde mit dem eigentlichen Tunnelbau durch eine Baufirma begonnen; erst ab diesem Zeitpunkt wurden maschinell Bohrungen angewandt. Der Tunnel wurde nach der "Österreichischen Bauweise", also mit First- und Sohlstollen und Ausmauerung aufgeföhren. (Bauzeit etwa 4 Jahre!)

Die Eröffnung erfolgte am 5.7.1909, also rund ein halbes Jahr nach dem ursprünglich geplanten Termin. Zur Erinnerung, der 10,25 km lange Arlbergtunnel wurde 25 Jahre vorher 1880/84 gebaut.

1933 erfolgte die Elektrifizierung. Die Tauernbahn war damit die erste elektrische Alpenbahn. Dazu wurde zuvor in Obervellach ein bahneigenes Wasserkraftwerk errichtet, das das Wasser des Dösenbachs und des Mallnitzbachs abarbeitet. Ein ca. 2,5 km langer Freispiegelstollen mußte dazu errichtet werden.

Im Juni 1940 begann der Ausbau der Bahnhöfe mit der Verlängerung der Gleise zum Überholen und Kreuzen langer Güterzüge. Dies geschah bereits aus strategischen Überlegungen in Vorbereitung für den Balkaneinsatz der Deutschen Wehrmacht 1941.

Seit 1969 wird die Südrampe der Tauernbahn zweigleisig ausgebaut. Im Dezember 1971 wird die 200m lange Pfaffenberg-Zwenberg-Brücke eröffnet. Im Juli 1974 folgt die Doppelbogenbrücke Falkenstein mit Längen von 120 und 150m; 1978 wird die 154m lange Lindischgrabenbrücke eröffnet.

Seit 1980 sind nur mehr kleinere Vorhaben im Süden ausgeführt worden. Das lag nicht an den Plänen, sondern eher am Geld.

Seit 1990 läuft jedoch der Ausbau im Norden und Süden wieder auf vollen Touren: zahlreiche Wand- und Futtermauern, Hangsicherungen und kleinere Brücken wurden errichtet, um Streckenabschnitte zweigleisig auszubauen.

Derzeit ist der etwa 2 km lange Abschnitt Angertal-Krallbach (vor Badgastein) mit 2 Bogenbrücken und zahlreichen Mauern in Bau und im Süden das wohl größte Projekt: der Abschnitt "Mallnitz-Lindisch".

Der Ausbau ist erforderlich, da derzeit schon durchschnittlich 115 Züge pro Tag auf dieser Strecke verkehren. Wenn in unseren südlichen Nachbarländern endlich wieder Ruhe einkehren kann, wird sich auf der Tauernachse der Verkehr noch erhöhen. Die Tauernbahn verfügt zwar seit langem über moderne Sicherungs-, Zugfunk und leiteinrichtungen, doch diese ersetzen keine Zweigleisigkeit: ein Fahrleitungsriß nach starken Schneefällen, ein Schienenbruch oder eine Zugentgleisung legen den gesamten Verkehr lahm. Nicht zu vergessen sind auch die Waldbrände, die durch den Bahnbetrieb auch heute noch ausgelöst werden können.

Im Jahr 1981 vernichtete ein Brand 7 ha Wald oberhalb der Haltestelle Kaponig. Ausgelöst wurde er durch einen glühenden Bremsklotzteil, den ein Güterzug verlor.

2. Das Projekt: "Mallnitz-Lindisch"

Anfang der 80er Jahre war die logische Fortsetzung des 2gl. Ausbaues die Errichtung der vierten und größten Bogenbrücke zur Überbrückung des Kaponiggrabens.

Mit der Erhebung der Tauernbahn zur Hochleistungsstrecke im Jahre 1988 gelten jedoch für diesen Abschnitt die Trassierungsparameter für Neubaumaßnahmen, die bei der Brückenlösung nur mehr schwer eingehalten werden konnten. Ein bereits seit einigen Jahren in den Köpfen einiger Eisenbahningenieure gereiftes Tunnelprojekt erhielt somit plötzlich hohe Aktualität.

2.1. Das ursprüngliche Projekt....

Wir begannen 1992 zu bauen, mit dem Ziel, einen 3,8 km langen Tunnel vom Kaponiggraben bis zum Waldmanngraben zu errichten. Zur Überbrückung des tief eingeschnittenen Kaponigbaches ist eine 100 m lange Bogenbrücke vorgesehen. Nach Süden anschließend folgt sofort der 700 m lange Ochenigtunnel.

Der gesamte Streckenabschnitt ist erst benützbar, wenn alle Bauwerke fertig sind.

Die Linienführung resultiert daraus, daß bereits die bestehende Trasse fast durchwegs mit maximaler Längsneigung fährt und auch die neue Strecke nicht steiler werden kann. Lediglich die Steigungsermäßigung im derzeitigen Bf Kaponig kann zu einer Streckenlängenreduktion führen.

2.2. Derzeit ist eisenbahnrechtlich zur Änderung eingereicht....

Die Idee, den Kaponigtunnel gleich bis nach Mallnitz zu führen, gibt es schon seit der Planungsphase der eben vorher beschriebenen Lösung. Jedoch durch- oder unterquert eine neue Strecke bis Mallnitz jedenfalls den Dösengraben und hier waren die Untersuchungen nicht so weit fortgeschritten und auch die Gesamtbaukosten für dieses Projekt sprengten den Rahmen der Vorstellungskraft.

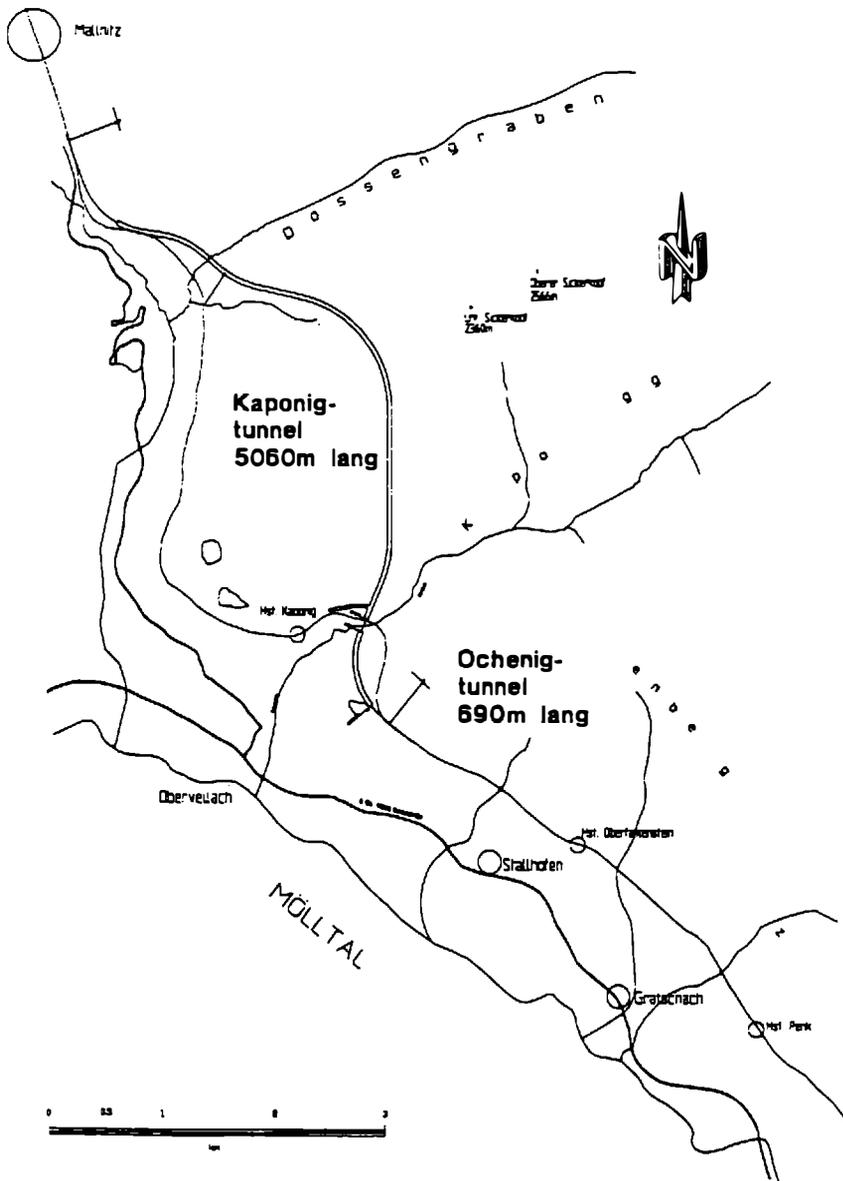


Abb. 2: Lageplan mit Bestand und neuer Linienführung

Bei der ursprünglichen Lösung verblieb unmittelbar nach dem Wiedererreichen der alten Trasse nach Mallnitz der etwa 800 m lange, eingleisige Dösentunnel. Bei einem späteren Ausbau müßte in unmittelbarer Nachbarschaft des alten, mit Werksteinen ausgemauerten Tunnels ein neuer vorgetrieben werden. Die Sprengerschütterungen hätten sicher Auswirkungen. Zudem bleibt ein eingleisiger Tunnel immer ein Erhaltungsproblem.

Darum entschied man sich, während wir in Kaponig am Erkundungsstollen vortrieben, den Bereich Dösentalunter- oder -überquerung genauer zu untersuchen.

Herr Prof. Riedmüller mit seinem Mitarbeiter Herrn Mag. Arnold Steidl und Mitarbeiter des Instituts für Hydrogeologie und Geothermie von JoanneumResearch in Graz kamen bis zum Spätsommer 1993 zum Schluß, daß eine Linienführung mit Unterquerung des Dösenbaches möglich ist. Von dieser neuen Lösung ist auch die Bahnhofsausfahrt in Mallnitz betroffen. Für einen weiteren Zwischenangriff ist ein 300 m langer Fensterstollen vom Waldmanngraben aus geplant.

Anfang November wurde ein Änderungsprojekt zur eisenbahnrechtlichen Genehmigung beim Verkehrsministerium eingereicht.

2.3. Deponie des Tunnelausbruchmaterials

Das gesamte Tunnelausbruchmaterial von dem nunmehr hoffentlich 5 km langen Loch wird voraussichtlich an drei verschiedenen Orten abgelagert. Ausbruch, der vom Süden also Kaponig kommt, wird oberhalb der Baustelle an 2 Anschüttungsflächen eingebaut. Hier ist für mehr als 400.000 m³ Raum vorhanden. Diese Lösung hat den Vorteil, daß das Ausbruchmaterial nicht über öffentliche Straßen und Wege weit ins Tal befördert werden muß. Die beiden Deponieräume sind natürliche Verflachungs- bzw. Verebnungsflächen, auf denen der Deponiekörper eingebaut, verdichtet und aufgeforstet wird.

Für die Massen aus dem weiteren geplanten Zwischenangriff im Waldmanngraben plant man eine Deponie in der großen Bundesstraßenkehre.

3. Kenntnisstand über die Gebirgsverhältnisse aus der geologischen Prognose zum Baubeginn

3.1. Geologischer Überblick über den Projektbereich

Dieser Bauabschnitt liegt im Bereich der oberen Schieferhülle, die hier in einem "zwiebelschalenförmigen" (geschichteten) Bau über dem kristallinen Sonnblickern liegt.

Die Schieferhülle setzt sich hier aus Karbonatgesteinen, Glimmerschiefern, Quarziten und Grüngesteinen zusammen. Das generelle Einfallen zeigt nach SW und ist im äußeren Bereich der "Zwiebelschale" steil, innen mittelsteil. Das gesamte Gebiet zeichnet sich durch z.Teil intensive Verfaltung aus.

3.2. Geologie und tunnelbautechnisch relevantes Gebirgsverhalten entlang der Stollenachse - Prognose

Die geologische Erkundung wurde von einem Zivilingenieurbüro aus Paternion durchgeführt. In einem ausführlichen Bohrprogramm wurden 8 Rotationskernbohrungen mit insgesamt 1375 lfm allein für den Kaponigtunnel niedergebracht. Seismische Untersuchungen sollten Aufschlüsse in den Portalbereichen liefern.

In dieser Phase erkannte man, daß nicht zuletzt durch die große Überlagerungshöhe (bis 900 m) die geologischen und hydrogeologischen Prognose-Unsicherheiten groß bleiben werden; nur ein Aufschluß in einem Erkundungsstollen kann diese für den Vollausbruch verringern.

Das baugologisch-geotechnische Gutachten beschreibt den gesamten Abschnitt in mehreren Homogenbereichen. Es behandelt das zu erwartende Gebirgsverhalten, die erwartete Petrographie und die Wasserverhältnisse. Es führt auch zu jedem Abschnitt eine Prognose mit einer prozentuellen Gebirgsklassenverteilung in Anlehnung an die Kriterien der "alten" ÖNORM B2203, an. Der Tunnelbauingenieur kann beim Lesen dieses ausführlichen Abschnittes und des dazugehörigen Prognose-Längenschnittes leicht den Eindruck gewinnen: "dem Geologen ist schon ziemlich klar, was mich hier erwarten wird"

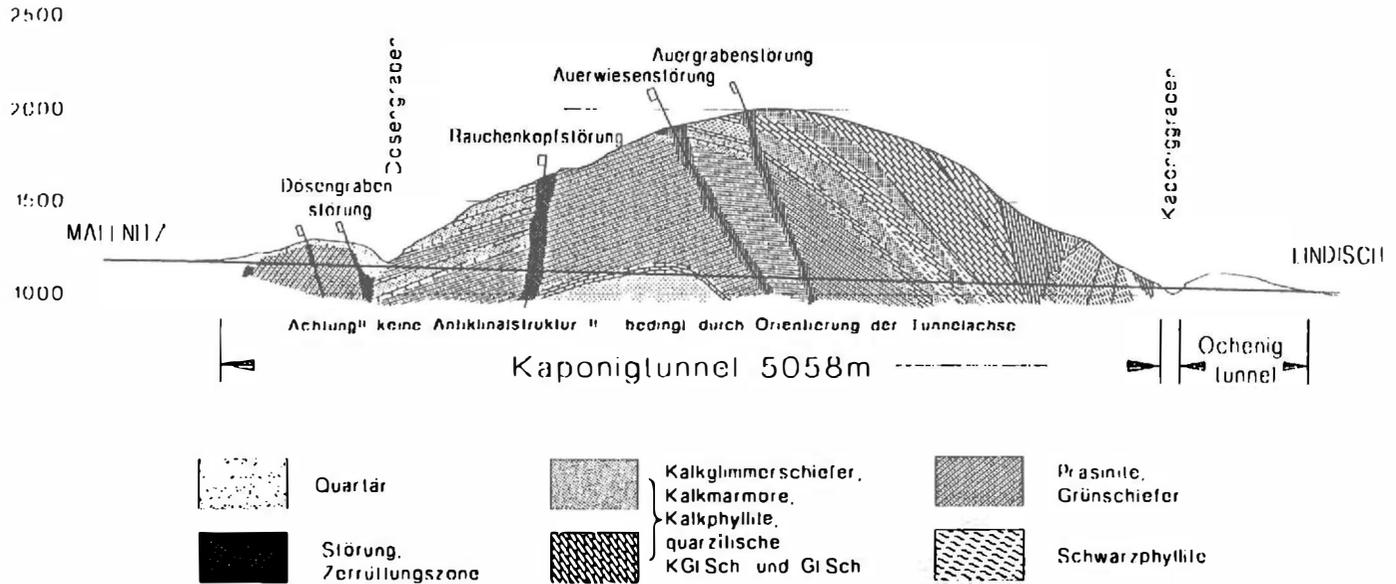


Abb. 4: Geologischer Prognoselängenschnitt - vereinfacht (nach MÜLLER 1990 und RIEDMÜLLER 1993)

Für den ersten Bereich des Erkundungsstollens soll die Abfolge der "Zwiebelschale" zuerst fast rechtwinkelig durchörtert werden; später, bedingt durch den Bogen, werden die Schieferungspakete immer schiefender angefahren.

Für den ersten, etwa 600 m langen Abschnitt mit quarzitischen Kalkglimmerschiefern und Glimmerschiefern wurden überwiegend Vortriebsverhältnisse in den GKL 4 und 5 erwartet.

Auf den folgenden 300 m sollten Kalkglimmerschiefer und Kalkphyllite überwiegen und das Gebirgsverhalten für den Vortrieb günstiger sein. Etwa je ein Drittel des Abschnittes wird auf GKL 3,4 und 5 eingeschätzt.

Der nächste Abschnitt aus Phyllit und Kalkphyllit von etwa 900-1200 m, den wir eben erst verlassen haben, sollte überwiegend in GKL 5 und zum geringeren Teil in Klasse 4 aufzufahren sein.

Die anschließend prognostizierten tunnelbautechnisch "angenehmeren" Grünschiefer und Prasinite haben wir auch tatsächlich wenige Tagen vor Weihnachten erreicht. Diese Grüngesteine stellen hier trockenes, sehr zähes Gebirge dar.

Für den weiteren Abschnitt verliert diese "alte Prognose" zunehmend ihre Gültigkeit, weil die Trasse einer geänderten Linie folgt. Über die dort erwarteten Verhältnisse wird etwas später berichtet.

4. Erste Realisierungsphase: Fenster- und Erkundungsstollen

Ein Salzburger Ingenieurbüro wurde beauftragt, Tunnelprojekte für die Strecke Lindisch - Dössen auszuarbeiten.

Im Frühjahr 1990 wurden die Arbeiten für den Fenster- und Erkundungsstollen öffentlich ausgeschrieben. Nach langen Vertragsverhandlungen konnte im Mai 1992 mit den Arbeiten begonnen werden.

Die bauausführende ARbeitsGEmeinschaft setzt sich aus folgenden 7 Firmen zusammen: Porr Technobau und Mayreder, Ilbau und die Firmen Ast, Kallinger, Neue Reformbau und Stettin.

Die Österreichischen Bundesbahnen sind der Bauherr. Auf der Baustelle sind sie vertreten durch die örtliche Bauaufsicht, die Losbauführung und in diesem Fall noch durch die Bauleitung Süd. Die Eisenbahn hat zur Unterstützung ihrer Arbeit an der Baustelle einen Geologen und einen Tunnelbauingenieur vom Zivilingenieurbüro Geoconsult beschäftigt. Prof. Riedmüller arbeitet als Berater mit. Sein Assistent, Mag. Steidl ist der zweite Geologe auf der Baustelle. Die geologische Dokumentation hat gerade bei einem Erkundungsstollen einen hohen Stellenwert.

4.1. Der Fensterstollen Kaponig

Der Fensterstollen bringt uns erst einmal auf die Achse des eigentlichen Tunnels. Das Endportal im Kaponiggraben ist für Baumaschinen unerreichbar, zudem fährt knapp 8 m davor die bestehende Tauernbahn vorbei.

Der Fensterstollen beginnt unmittelbar neben dem Anfangsportal des bestehenden "Oberen Kaponigtunnels" und erreicht nach 380 m den Kreuzungspunkt mit der neuen Streckenachse.

Die Profilform - ich bezeichne sie mit "etwas eigenwillig" wurde vom Planer so gewählt, daß sich beim späteren Schutterverkehr für den Vollausbuch zwei LKWs begegnen können und daß eventuell Tunnel- oder Brückenschalungselemente durchtransportiert werden können.

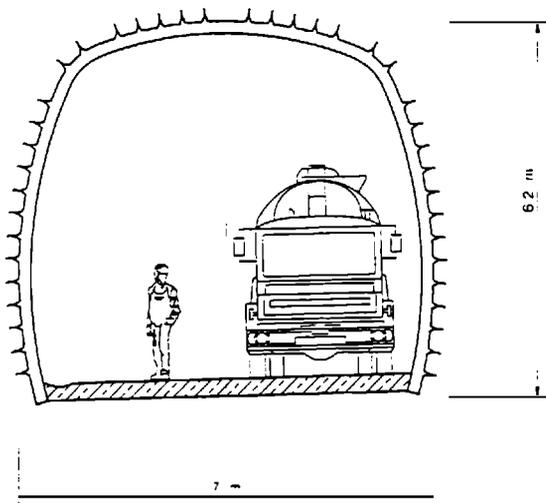


Abb. 5: Regelquerschnitt Fensterstollen

Tatsache ist, daß das linke obere Eck, bedingt durch das Gefüge, zu größeren Nachbrüchen neigte. Das Streichen der Schieferungsflächen verläuft spitzwinkelig zum Vortrieb, später ganz in der Stollenachsrichtung. Das Einfallen der Schieferungsflächen war zuerst mittelsteil in die Ortsbrust hinein, später steil bis senkrecht genau entgegengesetzt der Prognose. Die sf-Flächen sind im Fensterstollen die mechanisch dominanten Elemente. Der völlig verwitterte, größtenteils im sf limonitisierte Glimmerschiefer hatte dazu noch geringe bis gar keine Biegezugfestigkeit bei Beanspruchung quer zur Schieferung. So kam es, daß diese Schieferungspakete die Spannungskonzentration im "Eck" nicht aufnehmen konnten. Unmittelbar nach einem Abschlag konnte man mehrere Minuten lang zuschauen, wie die Pakete langsam regelrecht durchbrachen; vergleichbar mit einem überbeanspruchten Bretterstapel.

Über die ersten 200 m mußte daher stets im Schutze von vorauseilenden Stahlspießern vorgetrieben werden. Ein 150 m langer Abschnitt von Station 200 bis zum Beginn des Übergangsbauwerks zum Kreuzungspunkt erlaubte einen Vortrieb ohne Spieße und ohne Stahlbögen. Das Gebirge war hier geringer verwittert und der Quarzanteil höher. Die Stützung erfolgte mit bewehrtem Spritzbeton und einer Systemankerung aus 4 m langen, vermörtelten SN-Ankern.

Das auftretende Bergwasser steht in engem Zusammenhang mit den Niederschlägen. Im Vortriebsbereich waren es immer weniger als 5 l/s. Aus heutiger Sicht "vernachlässigbar".

Das Hauptproblem, das die Vortriebsleistung beschränkte, war die geringe Standzeit der Bohrlöcher. Beinahe kein Sprengloch und kein Ankerloch fiel nicht zu. So war es oft erforderlich, teilweise geladene Brustbohrlöcher, die zugewallen waren, vorsichtig auszukratzen. Ebenso war das Versetzen der Anker oft mühsame und zeitraubende Arbeit.

Oft wurden wir mit der Frage konfrontiert, ob diese Erschwernisse vorauszusehen waren: Die geologische Prognose versprach zwar eine 30 m mächtige Augengneislamelle, die uns jedoch nie erblickte, wies aber sonst auf die "stark beanspruchten, stark zerklüfteten und tiefreichend verwitterten Kalkglimmerschiefer und Schwarzphyllite" hin.

Durch die Nähe zum alten Kaponigtunnel und dem Laskitzer Viadukt, der Brücke vor dem Tunnel, mußten die Sprengerschütterungen gemessen werden und ggf. das Sprengschema angepaßt werden. Durch die Sprengungen erreichten wir meist nur die Hälfte bis knapp zwei Drittel der zugelassenen Schwinggeschwindigkeiten. Bemerkenswert war, daß die Erschütterungen durch einen Güterzug am Widerlager der Brücke die angegebenen Grenzwerte häufig erreichten, gelegentlich auch überschritten.

Um ein paar Worte zur Bauvertragssituation zu verlieren, kurz folgende Erklärung: Ausgeschrieben war der Fenster-, Versuchs- und Erkundungsstollen, klassifiziert nach "alter" ÖNORM B2203 in m³-Ausbruch und eingebauten Stützmittel, zusätzlich Wassererschwernisse in Stufen von 5 - 150 l/s im Vortriebsbereich. Die Abgeltung der zeitgebundenen Baustellenkosten ist an die Vortriebsleistung gebunden. Dazu mußte der Bieter im Angebot für jede Klasse bestimmte Leistungen garantieren.

Im Zuge der Auftragsverhandlungen entstanden für den Fenster- und Erkundungsstollen "lfm-Preise für Ausbruch und Stützung"; die Wassererschwernisse wurde pauschal für das gesamte Bauwerk bis 150 l/s für einen verhandelten Betrag in der Bauregie von der Arbeitsgemeinschaft übernommen. Diese Lösung erleichtert den täglichen Betrieb auf der Baustelle und bei der Abrechnung.

4.2. Der Versuchsstollen zum Kaponiggraben

Geometrisch ist das Kreuzungsbauwerk die Verschneidung zweier liegender Halbzylinder mit einem Durchmesser von 12 m. Die Achsen der Zylinder schneiden sich stumpf unter etwa 70°.

In der Praxis hatten wir das Glück, daß sich das Gebirge genau vor Beginn des Kreuzungsbauwerkes etwas "gutmütiger" zeigte - der anstehende Glimmerquarzit war weniger verwittert. Bis dorthin trieben wir im Schutze von vorauseilenden Spießsen und mit einem Ausbau aus Stahlbögen und 25 cm zweilagig bewehrtem Spritzbeton vor. Mit viel Mut - auf beiden Seiten: Polier und Aufsicht - versuchten wir, die aufwendige Arbeit von Stahlbogenab- und anschweißerei zu vermeiden und ohne deren Stützwirkung und Sicherheit auszukommen.

Zuvor gab es in der Bauhütte ausführliche "Wenn-und-Aber"-Spiele anhand eines Pappendeckelmodells, bei denen möglichst alle vielleicht auftretenden Erscheinungen besprochen und für alle Fälle Maßnahmen ausgedacht wurden.

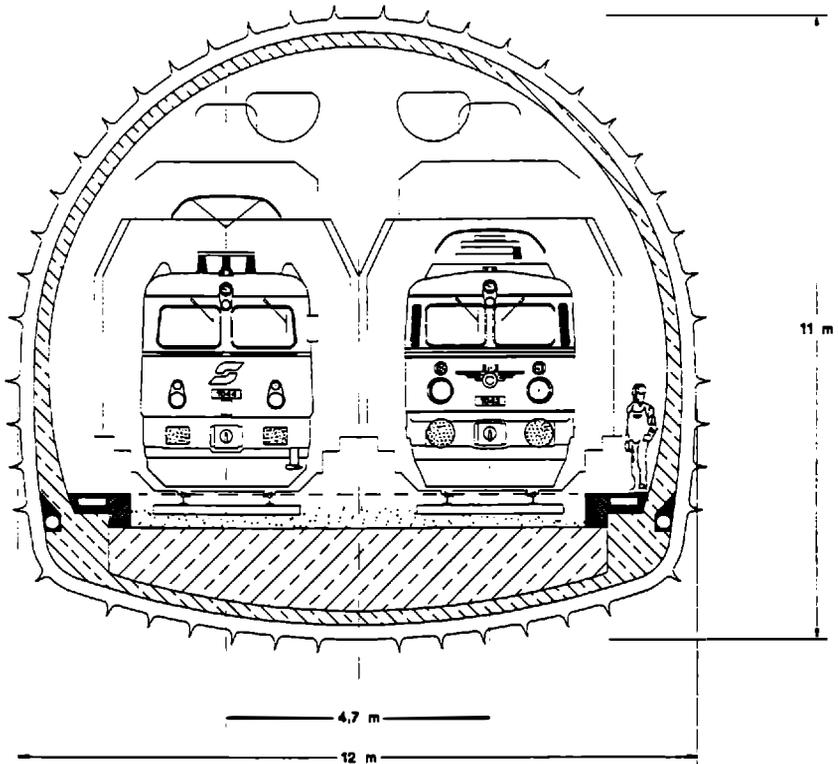


Abb. 6: Regelquerschnitt des Eisenbahntunnels. Im Versuchsstollen wurde nur die Kalotte davon ausgebrochen; im Portalbereich bereits der Vollquerschnitt

Innerhalb von 2 Tagen konnte ohne "Wenn-und-Aber" die eine Hälfte aufgefahren und gesichert werden. Die zweite Hälfte war nur mehr "Formsache".

Der Vortrieb Richtung Endportal erfolgte in der Kalottenform des zukünftigen Eisenbahntunnels. Der verwitterte Glimmerschiefer konnte über weite Strecken mit dem Tunnelbagger gelöst werden. 30 m vor dem Durchschlag fand sich ein abrupter Übergang zu Feinsanden und Kieslagen. Die ersten Meter waren stellenweise zu Konglomerat verkittet. In den weiter äußeren Bereichen dieser Eisrandterrasse fanden sich m³-große, gerundete Findlinge. Der Vortrieb konnte nur im Schutze von vor-gepfändeten Stahlblechen erfolgen. Mit den 6 m langen Injektionsbohrankern wurde der umgebende Sandhaufen beinahe zu Magerbeton verbessert. Die durchgeführten Konvergenzmessungen und Nivellements lassen dies zumindest vermuten.

Der Durchschlag erfolgte am 23. November 1992 völlig von innen heraus. Zum Schutz der bestehenden Bahntrasse wurde lediglich eine 5 m hohe Holzschutzwand vorher aufgestellt. Diese Arbeiten waren mühsam und gefährlich.

Durch das Verlängern der Spritzbetonröhre mit "Luftbögen" konnte die Hangsicherung sehr gering gehalten werden.

Die letzten 30 m wurden anschließend noch zum Vollquerschnitt mit Sohlgewölbe aufgeweitet. Dabei wurde der Spritzbetonschale kurzzeitig das Bogenauflager weggenommen. Die Strossenabschlagslänge im Feinsand wurde daher auf 1-2 m begrenzt. Ein sofortiger Sohlschluß war gefordert.

4.3. Der Erkundungsstollen Kaponig - steigender Vortrieb

4.3.1. Bauverfahren, Geräteinsatz

Das Bauverfahren für die Herstellung des Erkundungsstollens war in der Ausschreibung vorgegeben. Angebote mit maschinellem Vortrieb wurden nicht berücksichtigt. Aufgrund der abwechslungsreichen, überwiegend schlechten und zu unsicher vorhersagbaren geologischen Verhältnisse mußte ein konventioneller Vortrieb in einem ca. 12m²-Profil angeboten werden.

Die bauausführende ARGE legte ihren Kalkulationen einen Gleisbetrieb zugrunde. Dabei wird zum Bohren der Spreng- und Ankerlöcher ein kleiner, gummiradverfahrbarer Bohrjumbo mit zwei Hydrauliklafetten eingesetzt.

Zum Laden des Ausbruchmaterials ist eine elektrisch betriebene Beladebandkombination (Typ Schaeff Bagger ITC 112) im Einsatz. Das Material wird mit Zügen aus Einzelkippern abtransportiert. Die Züge werden von dieselbetriebenen Loks bewegt.

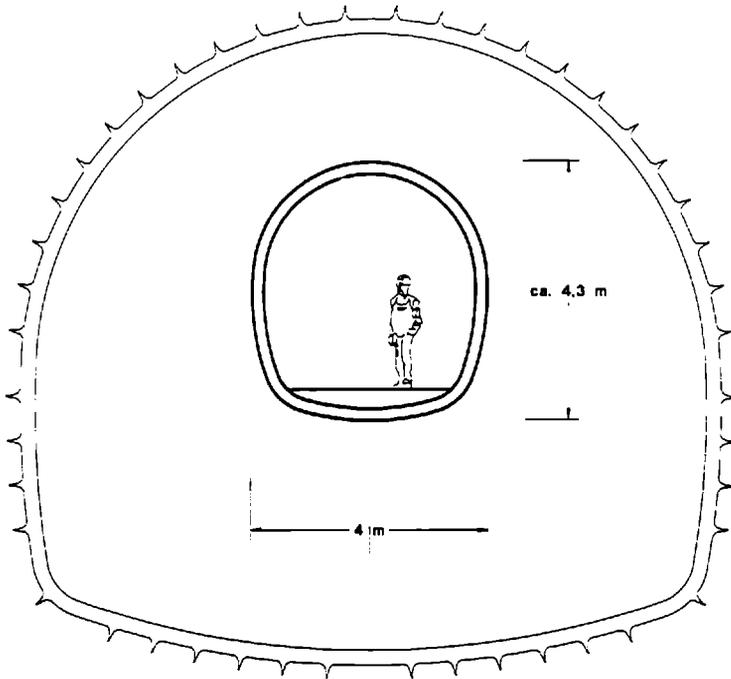


Abb. 7: Regelquerschnitt des Erkundungsstollen: ca. 12m² Ausbruchfläche

4.3.2. Die ersten 1000 m

Auf den ersten 1000 m Vortrieb stellte sich das Gebirge wesentlich besser dar als es prognostiziert war. Über weite Strecken steht es heute noch ungesichert an. Die vorhin beschriebene günstige Gefügestellung beinahe rechtwinkeliges Durchörteren der Schieferungsflächen ließ so manche wenige Dezimeter breite Störung und Mylonitzone, die hier noch ausschließlich im sf lagen, fast unbemerkt vorübergehen. Mit zunehmender Länge nahm auch der Wasserandrang zu.

Es gab Stellen, wo ca. 50 l/s aus der Ortsbrust schossen. Dies behinderte besonders das Laden und machte die Arbeitsbedingungen für die Arbeiter auch nicht gerade angenehm.

Im ersten Abschnitt konnten wir einen Quarzgehalt in den Quarziten bis zu 80% feststellen. Dieser Wert spiegelt sich auch im Bohrkronenverbrauch wider. Von Station etwa 600 bis 800 nahm der Quarzgehalt merklich ab und der Kalkanteil zu.

4.3.3. Probleme bei Station 1160-1170

Seit mehreren hundert Stollenmetern tropfte und spritzte Wasser aus jeder Kluft und jedem Ankerloch. Nun kamen zu den flächigen Zutritten zunehmend große Einzelaustritte nach dünnen Mylonitzonen, die jedoch relativ rasch - das sind 1 bis 2 Tage sehr stark nachließen. Wenn eine Spritzbetonsicherung erforderlich war, konnte sie erst nach dem Aufbringen von Flächendrainagen oder dem Anbringen von Abschlachungen erfolgreich wirken.

Das Auftreten von Harnischflächen und Störungen, in denen der Fels oft bis wenige Meter breit zu Mylonit zerrieben war, häufte sich. Die Gebirgsüberlagerung war inzwischen auf mehr als 600 m angewachsen. Die Druckerscheinungen in diesen Zonen erforderten mitunter einen Ausbau mit Sohlschluß, um die Kräfte abzuleiten. Auch diese Arbeit wurde durch den Wasserandrang erschwert. Das Wasser mußte für den Sohleinbau überpumpt werden.

Bei Stollenstation 1164, bis zu der wir die letzten 5 m ohne Erfolg versuchten ein Sohlgewölbe einzubauen, ereignete sich innerhalb von etwa einer halben Stunde eine mit freiem Auge leicht erkennbare Sohlhebung, bei der auch die Spritzbetonsicherung an den Ulmen stark deformiert und zerbrochen wurde. Unmittelbar vor der Ortsbrust entstand eine sprudelnde Sohlquelle, die in der Größenordnung von 30 l/s schüttete. Zur Entspannung der Situation wurden Vorausbohrungen mit dem Bohrwagen seitlich in die Ulmen gesetzt. An den rechtsseitigen Bohrungen, die etwa 10 m voraus reichten, trafen wir Wasser an, das unter hohem Druck stand. Der Absolutwert konnte nicht bestimmt werden, jedoch spritzte der volle Strahl aus einer 85 mm Bohrung immerhin 2 m weit. Nach wenigen Stunden nahm Menge und Spritzweite ab. Der Grund dafür konnte in der Abnahme des Drucks, also in der entspannenden Wirkung der Bohrungen oder im Verklausen der Löcher liegen.

Der Versuch, einige Löcher wieder aufzubohren, brachte nicht wieder so weit spritzendes Wasser, wodurch die Theorie der Druckabnahme heute gesehen: fälschlicherweise - unterstützt wurde.

In mühsamer Arbeit wurde dieser Abschnitt neuerlich aufgefahren und neue Bögen und Sohlriegel eingebaut. Die begleitenden Verformungsmessungen zeigten eine stabilisierte Situation. Beim Räumen der Sohle erkannte man einen Hebungsweg von 30 - 50 cm. Der Fels war fast gänzlich im Gefügeverband einfach um einige Dezimeter hereingedrückt worden. Erst später erhärtete sich die Theorie, daß diese Erscheinung durch den hohen Wasserdruck ausgelöst worden sein könnte.

Intensive Vorausbohrungen nach allen Richtungen brachten viel Wasser, teils milchig weiß gefärbt, teils unter mäßigem Druck stehend. Die Gesamtwassermenge am Tunnelportal gemessen stieg mittlerweile auf über 200 l/s an. Die "Spritzweiten" des Wassers aus den Bohrlöchern nahmen jedoch nach wenigen Stunden deutlich ab und obige Theorie beruhigte unsere Gemüter.

4.3.3.1. Der erste große Wassereinbruch ⇒ Maßnahmen

Nach weiteren 5 m Vortrieb wußten wir genauer, woher die "Milch" kam. Im rechten unteren Eck der Ortsbrust also an der Sohle wurde eine etwa 1 m mächtige Mylonitschicht angeschnitten. Wie wir später bestimmen konnten, wies der Mineralbestand in der Schluff-Ton-Fraktion der Probe mehr als 90% Talk auf. Diese Schicht dichtete eine Zerrüttungszone ab, die mit Wasser gefüllt war. Der Bergwasserspiegel muß hoch über unserem Vortrieb gelegen haben, da der Druck sehr hoch war. "Gefüllt war", muß man heute sagen, da wir wahrscheinlich einen beträchtlichen Anteil bis heute drainagiert haben.

In kurzer Zeit verbrach der rechte Teil der Ortsbrust und immer mehr Wasser stürzte und schoß in den Stollen, begleitet von Felsbrocken bis zu Reisekoffergröße. Am nächsten Tag wurde die Wassermenge mit einem Meßflügel in einem behelfsmäßigen Meßgerinne nahe der Ortsbrust noch mit 237 l/s bestimmt. Die Gesamtwassermenge am Tunnelportal überstieg zu Beginn des Einbruchs 350 - 400 l/s.

Diese Situation war im Bauvertrag nicht vorgesehen. Übereilte Aktionen sind in solchen Fällen meist nicht angebracht: Mit einigen Holzbalken wurde die Spritzbetonschale horizontal ausgesteift. Diese Balken dienten gleichzeitig als "Geschiebesperre". Über die ersten drei Tage wuchs der Berg bis zur Firste.

Da das Pfingstwochenende bevorstand, beschlossen wir einvernehmlich, die Physik alleine walten zu lassen.

Inzwischen werteten wir gemeinsam mit dem Geologen die geologischen Aufzeichnungen und die Beobachtungen der Bauaufsicht aus. Daraus ergab sich das erste Modell, was sich rund um das Ereignis verbergen könnte:

Aus dieser Vorstellung heraus entwickelte sich der Vorschlag, dem Wasser seitlich auf kürzestem Weg entgegenzugehen und es über einen kleinen, kurzen Seitenstollen anzuzapfen.

Nach Pfingsten wurde in viertägiger Arbeit ein etwa 15 m langes "Mannloch" nach rechts, 15 m von der Ortsbrust entfernt, die Richtung etwa 45° zur Stollenachse, leicht steigend vorgetrieben. Die Gesamtwasserschüttmenge im vordersten Bereich wurde täglich gemessen und die Hydrogeologen begannen eine "Auslaufkurve" zu konstruieren.

Der Seitenstollen wurde mangels Erfolg abgebrochen. In der Zwischenzeit konnte auch ein geeignetes Kernbohrgerät mobilisiert werden. 4 Kernbohrungen bis zu 20 m lang wurden nach vorn, rechts seitlich und unten niedergebracht. Einige brachten wieder sehr viel Wasser und mußten aus technischen oder Sicherheitsgründen abgebrochen werden. Ein kläglicher Versuch, den Druck zu messen, zeigte kurze Zeit gut 10 bar, bevor der Packer aus dem Rohr flog.

Diese Bohrungen ließen die Gesamtwassermenge wieder deutlich ansteigen und auch die chemischen Wasseruntersuchungen bestätigten, daß mit den Bohrungen teilweise zusätzliches, "neues" Wasser erbohrt wurde, das bisher noch keine Entlastung durch den Verbrauch erfuhr.

Vor uns lag eine komplexe Situation aus wasserstauenden und höchst wasserdurchlässigen Schichten.

Während die Kernbohrungen ausgewertet wurden und unser Modell dadurch und durch die Ergebnisse der Wasseruntersuchungen neue "Mosaiksteinchen" erhielt, wurden laufend verrohrte Hammerbohrungen in allen Richtungen in die Ortsbrust gesetzt. Wenn möglich erhielten die Löcher einen Filterrohrausbau, um die Drainagewirkung möglichst lange aufrecht zu erhalten.

Unmittelbar vor der Ortsbrust lag eine etwa 1 m dicke, stauende Schicht aus dichten Talk-Myloniten, die mittelsteil aus der Brust einfallend, etwa unter 45° zur Vortriebsrichtung streicht. Sie liegt damit in der Schieferungsebene. Die Vorstellung von einer ebenen Schicht sollte man jedoch sehr relativ sehen!

Dahinter liegt eine mehrere Meter mächtige Zerrüttungszone, die aus stark geklüftetem, jedoch im Verband stehendem Kalkglimmerschiefer besteht. Durchtrennt wird dieser durch millimeter- bis zentimeterdicke, talkige Chloritschieferlagen in den sf-Flächen. Damals unterschätzten wir vielleicht die enorm hohe Teilbeweglichkeit dieses "Bauklötzchenhaufens" mit "Schmierseiflagen" unter Wasserzutritt.

Den hinteren Abschluß bildete wiederum eine Mylonitzone, deren Mächtigkeit in den Kernbohrungen bis zu einem Meter betrug. Der darauffolgende Kalkglimmerschiefer oder stellenweise besser Glimmermarmor stellte sich in den Kernkisten äußerst kompakt dar, jedoch drängte dort Wasser aus geringmächtigen Störungen und Klüften unter sehr hohem Druck an.

Angesichts dieser Modellvorstellung, den vielen Drainagebohrungen und der nach unten zeigenden "Auslaufkurve", konnten wir ein Monat nach dem Ereignis wieder an den Tunnelbau denken. Zuerst mußte das gesamte hereingeschwemmte Material schrittweise ausgeräumt werden, der gesamte Ausbau erneuert und verstärkt werden und ein massives Sohlgewölbe eingebaut werden. All das unter ständiger Beobachtung der Bruststabilität.

Die vordersten Bögen boten uns eine Vorstellung über die waltenden Kräfte: wie dünner Draht waren die Stahlbögen in Tunnellängsrichtung um 1,5 m verbogen.

Bald standen wir "glücklich" vor einer senkrechten, im Augenblick noch stabilen Ortsbrust auf Station 1169 aus der aus ca. 30 Löchern, Filterrohren und Schläuchen noch immer über 100 l Wasser je Sekunde hereinströmten.

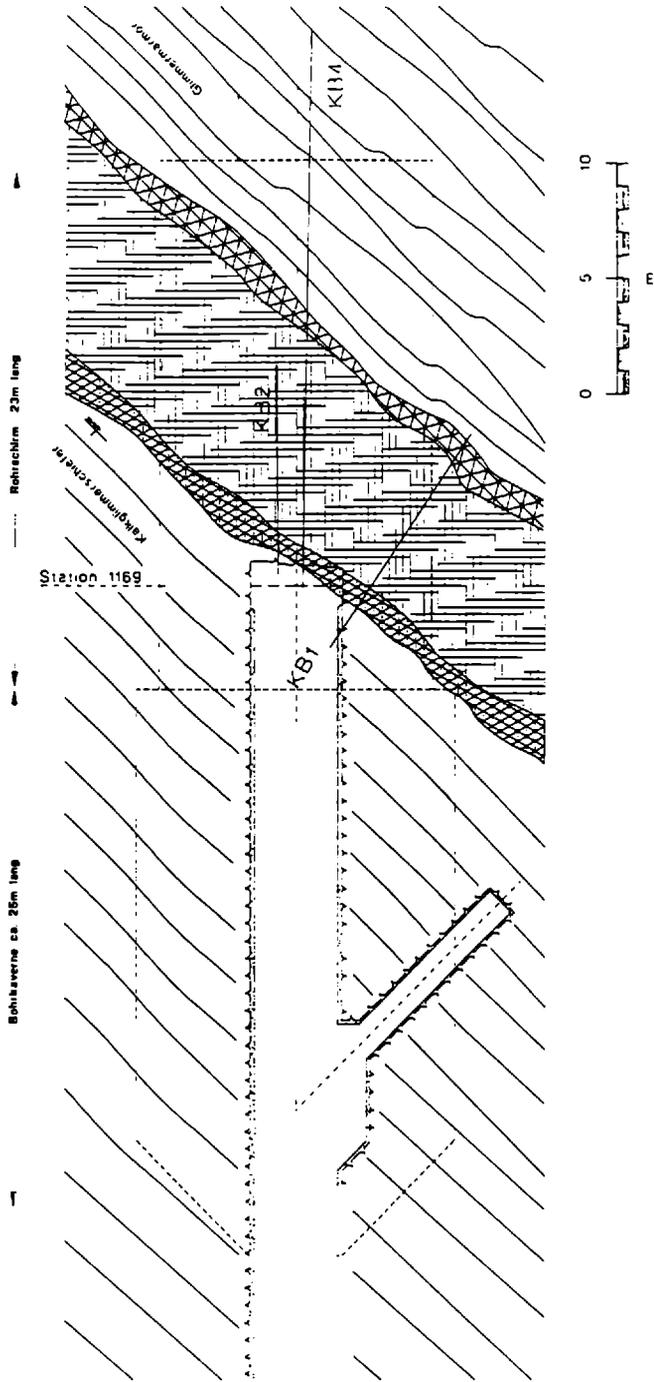


Abb. 8: Geologische Situation; Aufweitungs- und Rohrschirmbereich - Grundrissdarstellung

4.3.3.2. Der zweite Wassereinbruch mit Verbruch des Stollens

Wir mußten weitermachen: Das Konzept sah vor, die Brust mit Ankern voraus zu sichern und Stahlspieße in engem Abstand als vorausseilende Firstsicherung zu versetzen. Beide Maßnahmen hören sich einfach an, jedoch unter diesen Bedingungen war es Schwerarbeit. Im Schutze dieser Einbauten sollte mit möglichst schonenden Mitteln der weitere Vortrieb vorsichtig gewagt werden.

In der Nacht von 24. auf 25. Juni, fast genau ein Monat nach dem ersten Ereignis, wurde wieder vorgetrieben.

Auszug aus dem Bautagebuch:

Seit Wiederaufnahme der Aufräumungs- und Vortriebsarbeiten am Dienstag, 22.6., wurden bis Donnerstag nachmittags geschlossene Stahlbögen mit Spritzbetonsicherung der Ausbruchslaibung und Sohle bis Station 1170 hergestellt. Für den weiteren Vortrieb wurden 18 Stahlspieße Ø26mm, 3 m lang vom letzten Ring aus in das Gebirge vorgetrieben. Im Schutze dieser Spieße konnte bis 21⁴⁵ ein weiterer "Abschlag" mit 1 m "Angriffstiefe" geöffnet werden. Dazu war eine Sprengung der im linken Ulmen- und Firstbereich anstehenden, kompakten Kalkglimmerschiefer erforderlich (1kg Sprengstoff, 7 Zünder). Die völlig lose, auf den mit verwittertem/umgewandelten Biotit (wie Schmierseife) belegten Schieferungsflächen ausgleitenden Körper im rechten Brust- und Ulmenbereich konnten leicht mit dem Bagger "gelöst" werden.

Um 23⁰⁰, nach dem erfolgreichen Ausschüttern, verbrach die rechte Brust und Firste noch bevor der Bogen vor Ort gebracht werden konnte. Einige Spieße wurden "wie Zahnstocher" spitzwinkelig umgebogen. Das Verbruchhaufwerk bildete in Kürze einen Kegel (1:1 geneigt), der bis zur Firste reichte. Das Wasser, das zuvor aus den Vollbohrungen in der Brust eintrat, kam ab nun als Bach über das Haufwerk. Druckwasser konnte nicht festgestellt werden. Die Wassermenge blieb augenscheinlich unverändert. Die Gesamtwassermengenmessung am Portal bestätigte dies, ebenso eine Messung im Vortriebsbereich (16⁰⁰: 120 l/s) Bis 6⁰⁰ wurden Sicherungsarbeiten (Ankerungen an den Bögen und in der linken Brust) durchgeführt.

Von 6⁰⁰ bis 8⁰⁰ wurde in Anwesenheit der Bauaufsicht und Bauleitung der Versuch unternommen, das Verbruchhaufwerk auszuschüttern. Insgesamt wurden etwa 25m³ abtransportiert, der Kegel baute sich durch schubweise von oben nachfallende Gesteinsmassen (plattige Klufkörper mit Kantenlängen bis zu 1 m, Klufflächen mit Harnischströmungen, Schieferungsflächen mit seifigem Belag) unmittelbar wieder auf.

Diese Übung wurde mangels Erfolg abgebrochen. Bei ca. Station 1168 wurden auf 1,5 m Höhe Halbschnitthölzer als Geschiebesperre eingebaut und gesichert. Mittlerweile ist der verbleibende Raum dahinter selbständig voll aufgefüllt. Das Haufwerk ist stabilisiert.

Soweit der "Originalton" aus dem Bautagebuch. Dieses Naturschauspiel war wohl beeindruckend, doch das Donnern des nachstürzenden Materials aus uneinsehbaren Bereichen vorn und oberhalb wurde immer bedrohlicher, und es gab keine Anzeichen, daß es bald aufhören würde. Im Gegenteil: nach einer besonders großen Ladung, die auch das Schuttergerät halb begrub, entschieden wir für einen Abbruch.

Noch in der Früh wurde der Krisenstab von Firma und Bauherr einberufen. Am selben Tag fand eine Besprechung an der Baustelle statt.

4.3.3.3. Diskutierte Möglichkeiten zur Aufarbeitung und Durchörterung

In diesem Meeting wurden alle möglichen Maßnahmen für die Durchörterung der inzwischen durch Bohrungen abgetasteten und durch den Vortrieb bereits angefahrenen Zerrüttungszone mit großer Wasserführung "auf den Tisch geworfen" und diskutiert. Zusammengefaßt standen folgende 8 Varianten zur Diskussion:

- 1) **zubetonieren ⇨ ausinjizieren, Wasser verdrängen ⇨ im Schutze des verfestigten und abgedichteten Gebirges Erkundungsstollen weiter vortreiben.**

Gegen diese Lösung sprach vorerst die Tatsache, daß damit der Wasserdruck wieder aufgebaut würde, statt ihn zu entspannen. Dieser Gedanke flößte niemandem Vertrauen ein.

- 2) **Rohrschirm vom derzeitigen Erkundungsstollen aus; Schirm unter $10\text{-}30^\circ$ von der Achsrichtung abweichend.**

Gegen diese Idee sprachen die beengten Platzverhältnisse, die auch nur den Einsatz kleiner Geräte zuließen.

- 3) **Rohrschirm von einem ausgeweiteten Profil aus; Schirm achsparallel**

- 4) **Rohrschirm vom erweiterten Kalottenprofil aus; Schirm achsparallel**

- 5) **Vereisen um den Erkundungsstollen**

Auch hier würde der Wasserdruck wieder aufgebaut und nicht vermindert; weiters waren zu dem Zeitpunkt die Kosten überhaupt nicht abschätzbar und die Zeitspanne bis eine Vereisungsanlage in Betrieb gehen könnte, war zu groß.

- 6) **Profilverkleinerung in Achse des Erkundungsstollens**

Dafür fehlte eigentlich das "stabile Ufer", von dem aus man beginnen könnte, praktisch "händisch" ein Mannloch durch die Störungszone vorzutreiben und dann aufzuweiten. Auch blieben zu viele Unsicherheiten offen.

- 7) **Umgehungsstollen außerhalb des Profils**

Ist eigentlich nur bei Fräsvortrieben notwendig, wenn man einen Fräskopf umgehen muß. Das war ja hier nicht der Fall und wir wußten bereits, daß die Störung nicht nur lokal begrenzt war, sodaß man ihr ausweichen konnte.

- 8) **IBO-Schirm vom derzeitigen Erkundungsstollen aus; Schirm unter $\leq 10^\circ$ von der Achsrichtung abweichend.**

Versuche mit auf der Baustelle befindlichen IBO-Spießen scheiterten bisher an der hohen Gesteinsfestigkeit. Auch vorgebohrte IBO-Spieße konnten nicht mit Erfolg versetzt werden. Mit dem Bohrgerät, das in den kleinen Stollen paßt, ist ebenfalls rasch die Einsatzgrenze erreicht.

4.3.3.4. Das ausgewählte Modell

Es gab gegen jeden Vorschlag Einwände, "Wenn und Aber" und Unabwägbares. Ebenso fanden sich Argumente für Lösungen.

Leztlich wurde noch am Tag der Besprechung die Präferenz für die "Große Rohrschirmlösung" ausgesprochen, d.h. aufweiten bis über das endgültige Kalottenprofil und herstellen eines achsparallelen Rohrschirms durch die gesamte Störzonen bis ans "andere Ufer".

Daraufhin wurde auf Basis der vorhandenen Leistungspositionen und anhand von geschätzten Einheitskosten und Leistungsansätzen ein grober Kostenüberblick samt Zeitplan erstellt. Am nächsten Tag konnte auf Basis dieser ausgearbeiteten Unterlagen die Entscheidung dafür getroffen werden.

Die Gründe können aus damaligem Kenntnisstand folgend beschrieben werden:

- ⇒ Mit dem großen Rohrschirm kann in einem Arbeitsgang die gesamte Zerrüttungszone überbrückt werden.
- ⇒ Diese Methode stellt keinen Zwischenbauzustand dar. Der Störungsbereich muß beim Vollausbuch nicht nochmals geöffnet werden. Der Kalottenausbruch ist damit fertiggestellt.
- ⇒ Nur die "große Variante" erlaubt den Einsatz von großem Gerät - andererseits: sie erfordert ihn auch.
- ⇒ Die verbleibenden unbekannteten Faktoren bedingen bei dieser Arbeitsweise das minimalste Restrisiko.
- ⇒ Zusätzliche Maßnahmen sind noch denkbar: Injektion, Brustankerung, - um es vorwegzunehmen: von beiden ist Gebrauch gemacht worden.

4.3.3.4.1. Herstellen der Aufweitung

Der erste Schritt zur Lösung der nun vereinbarten Aufgabe war die Aufweitung des bestehenden Stollens zu einer etwa 20 m langen "Bohrkaverne". Der Querschnitt sollte größer als das Kalottenprofil sein, sodaß der Rohrschirm etwa einen halben Meter außerhalb des späteren Querschnittes gesetzt werden kann. So entstand etwa ein Halbkreisprofil mit fast 15 m Durchmesser. Zum Vergleich: der Ausbruchsdurchmesser für das Regelprofil liegt um 12,5 m.

Der Beginn dieser Aufweitung liegt bei Station 1140, dreißig Meter vor der Zerrüttungszone.

Während dem Auffahren konnten die geologischen Kenntnisse über den Bereich vor der Störung weiter vertieft werden. Die Aufschlüsse führten jedoch zu keinen neuen Erkenntnissen.

Der Ausbruch des großen Querschnittes wurde anfangs mit den selben Geräten, wie sie beim Erkundungstollenvortrieb im Einsatz waren, bewerkstelligt. Es mußte deshalb in eine "Kalotten-Kalotte" und in eine "Kalotten-Strosse" unterteilt werden.

Der gesamte Bereich erhielt einen starken Ausbau mit Stahl-Gitterbögen, zweilagig bewehrtem Spritzbeton und 6 - 8 m langen Ankern. Es dauerte 3 Wochen, um die gesamte Kaverne auszubrechen und zu sichern. Im Zuge des Vortriebs mußten natürlich auch der Ausbau und die Stützmittel des Erkundungstollens in diesem Bereich abgebrochen werden.

Aus allen Löchern und Öffnungen kam reichlich Wasser aus dem Berg.

Das Ende der Bohrkaverne blieb in sicherem Respektsabstand vor der ersten Mylonitzone zurück. Der verbleibende Erkundungstollen von etwa 4 m Länge, der teilweise mit Verbruchmaterial gefüllt war, wurde mit Beton ausgefüllt.

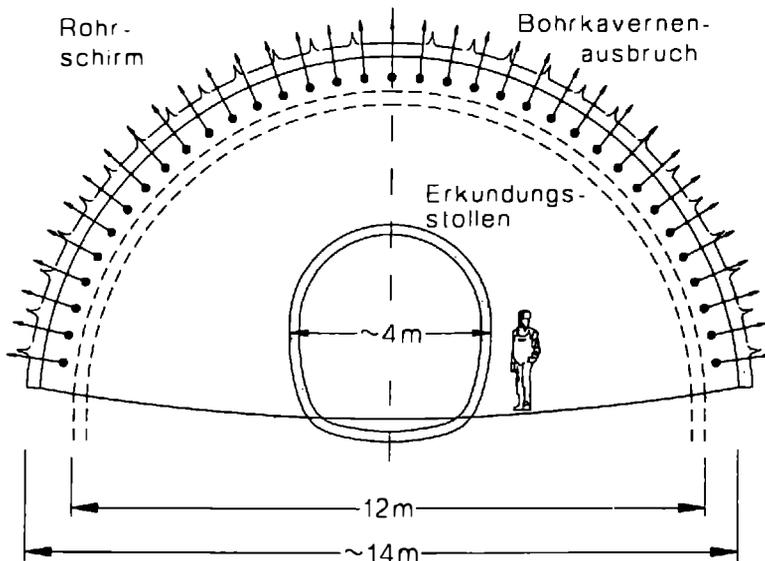


Abb. 9: Querschnitte: Erkundungstollen, Bohrkaverne, Kalotte des Eisenbahntunnels

Inzwischen wurden weitere Baubesprechungen abgehalten, in denen Details über den Rohrschirm - und inzwischen sogar Rohrinjektionsschirm - festgelegt wurden.

4.3.3.4.2. Äußere Folgen des Wassereintruchs

Aus den laufend durchgeführten Beweissicherungen aller Quellaustritte im erweiterten Projektgebiet mußten wir leider feststellen, daß das im Stollen austretende Wasser möglicherweise an zwei Quellen, die zur Trinkwasserversorgung von mehreren Bauernhöfen dienen, abgeht. Die Schüttungen ließen deutlich nach und nach 6 Wochen fielen beide trocken. Die Entwässerungsmaßnahmen im Stollen hatten somit weitreichenden (über 2 km), jedoch ungewollten Erfolg. Was uns blieb, war die Klarheit, daß die geringmächtige Zerrüttungszone offensichtlich eine äußerst hohe Durchlässigkeit aufweist und eine sehr große seitliche Ausdehnung hat. Die Lage der Quellen läßt sich mit der aktuellen Vortriebsstation exakt in der generellen Streichrichtung der Schieferung verbinden.

Die betroffenen Landwirte mußten einige Wochen mit Tankwägen versorgt werden. Inzwischen konnte eine provisorische Ersatzwasserversorgung in Betrieb genommen werden. Es ist so gut wie sicher, daß diese beiden Quellen nie mehr ausreichend schütten werden; deshalb wird die endgültige Ersatzversorgung auf andere Ressourcen zurückgreifen müssen.

4.3.3.4.3. Rohrschirm - Injektionsschirm

Um den bereits verbrochenen und damit aufgelockerten Schuttkörper im Vortrieb sicher zu beherrschen, bestand nunmehr der Plan, 36 Manschettenrohre, im Abstand von 50 cm um den Umfang angeordnet, 23 m voraus einzubohren. In einem weiteren Arbeitsgang sollte das Gebirge über die Manschetten mit Zement oder Mörtel injiziert werden. Das Ziel war, einen verkitteten Zerrüttungsbereich zu erhalten, damit die Ortsbrust beim späteren Vortrieb stabiler ist, und das "Dach" weniger durchlässig zu machen, um die Erosion zu verringern. Gleichzeitig sollten die Rohre natürlich auch hohe statische Aufgaben beim nachfolgenden Ausbruch erfüllen.

Um den Rohr-Injektionsschirm wurde dann noch ein Drainagefächer zur äußeren Entspannung des Bergwassers gefordert.

Die ausführende ARGE hat sich für diese Arbeiten Spezialisten als Subunternehmer geholt. Die Detailplanung der Gesamtlösung erforderte insbesondere in dieser Phase die intensive Zusammenarbeit. Hier mußten Gerätedispositionen getroffen werden, die eine spätere Anpassung oder Modifikation des Konzepts mehr oder weniger gut zulassen. Erschwerend ist noch zu nennen, daß die "Bohrkaverne" über den etwa 1 km langen Erkundungsstollen mit knapp 12 m² Querschnitt zu erreichen ist.

In der ersten Etappe wurde an der Baustelle eine Injektionsanlage aufgebaut, ein großes Bohrgerät herangeschafft, zerlegt, in den Stollen transportiert und betriebsbereit gemacht und die erforderlichen Injektionscontainer vor Ort gebracht. Das Bohrgerät war so groß, daß alle Bohrpunkte mit zwei Geräteaufstellungen erreicht werden konnten. Die 12 m lange Lafette garantierte eine genaue Ausrichtung jeder einzelnen Bohrung. Eine möglichst geringe Abweichung ist für die Funktion des Rohrschirms erforderlich.

Zuerst wurde jedes 2. Loch mit verrohrter Hammerbohrung abgeteufelt. Die ursprünglichen Vorbehalte und Zweifel an der Durchführbarkeit dieser Horizontalbohrungen im Zerrüttungsbereich zeigten sich zum Glück bald als unbegründet. Jede Bohrung konnte bis zu ihrer Endteufe hergestellt werden. Die Manschettenrohre, mit Außendurchmesser 76 mm und einer Wandstärke von 14 mm (!) wurden im Schutze der Verrohrung in 2 m-Schüssen eingebaut und vor Ort an den Muffen verschweißt.

Die Bedenken, gegen das stark strömende Wasser zu injizieren, waren hingegen berechtigt. Die Umläufigkeiten zu benachbarten Öffnungen, Ankerlöchern, Entlastungsbohrungen, alten Drainagelöchern, usw. waren sehr groß. Das Verfahren, wiederholt über Manschettenrohre zu injizieren, wie es in Sedimenten üblich ist, stellte sich hier als nicht möglich dar. So blieb uns ein unbekannter Injektionserfolg mit Zement und Mörtel.

Natürlich wurden auch Versuche mit PU-Schäumen und anderen Kunstharz-Injektionsmaterialien unternommen. Alle Anstrengungen, gegen das so stark fließende Wasser zu verfüllen, scheiterten.

Die immer wieder erwähnte, bei ähnlichen Ereignissen im Bergbau erfolgreich ausgeführte Möglichkeit, einen mächtigen Betonstoppel zu errichten, das Wasser wieder aufzustauen und das Gebirge "tot zu injizieren", war hier keine annehmbare Lösung.

Nach diesem ersten Durchgang, bei dem die Rohre nun im 1 m-Abstand versetzt wurden, beschlossen wir, eine Kernbohrung in die Brust abzuteufen, um erstens den Injektionserfolg zu kontrollieren und zweitens die Entspannung des hinter der zweiten Mylonitschicht anstehenden Wassers zu prüfen. Diese Bohrung zeigte kein Injektionsgut in den Bohrkernen, fand aber bald hinter dem Ende des Rohrschirmes äußerst viel Wasser unter sehr hohem Druck. An einem mit großer Mühe in die Verrohrung eingebauten Packer mit einem Manometer konnten Werte über 10 bar abgelesen werden. Die Schüttmenge aus dem Bohrrohr betrug weit über 60 l/s.

Mit diesen Erkenntnissen setzten sich Bauherr und Firmengruppe wieder zusammen: Von weiteren Verfestigungs-Injektionen wurde abgesehen. Lediglich der Ringraum aller Manschettenrohre sollte möglichst satt verfüllt werden. Dafür wurde den Drainagebohrungen verstärkte Bedeutung zugemessen. 20 Bohrungen sollten das Wasser um den Rohrschirm weiter entspannen. Nur wenige Bohrungen seitlich unten sollten den hinteren Horizont anzapfen. Für die verbleibenden 18 Schirm-Rohre blieb nur mehr die Forderung nach möglichst hohem Widerstandsmoment, also statischer Wirksamkeit, übrig.

An der Baustelle entwickelten wir gemeinsam mit dem erfahrenen Bohrmeister ein Verfahren, um Stahlrohre mit fast 15 cm Durchmesser und 10 mm Wandstärke als "verlorene Verrohrung" in den Fels und durch das Zerrüttungsmaterial zu versetzen. Damit gelang es, in weniger als 2 Wochen den Rohrschirm mit den fehlenden 18 Großrohren fertigzustellen.

Als Ersatz für die möglicherweise zu wenig wirksamen Injektionen im Zerrüttungsbereich wurden noch 9 Stück 23 m lange Brustanker versetzt.

Die gesamten Bohr- und Injektionsarbeiten für den Rohrschirm benötigten 10 Wochen im Durchlaufbetrieb.

4.3.3.4.4. Durchhörtern des Störbereiches

Die Hauptsorge beim Wiederbeginn der Vortriebsarbeiten galt der Stabilität der Ortsbrust. Deshalb wurde mit einem kleinen Querschnitt in der Firste begonnen. Je nach den tatsächlich angetroffenen Verhältnissen sollte der verbleibende Bereich in geringem Abstand nachgezogen werden, um einen raschen Ringschluß zu ermöglichen - oder der Firststollen wird bis ans Ende des Rohrschirmes geführt und nachher erfolgt der Restausbruch.

Bei einem Versagen der großen Ortsbrust wäre möglicherweise die Gesamtstabilität des Rohrschirmes gefährdet. Die unbekannte Größe des Auflockerungsbereichs und die Unkenntnis über den noch vorhandenen Wasserdruck erlaubten uns keine verlässlichen "Berechnungen". Überschlägige Schätzungen ergaben eine mögliche freie Stützweite des Rohrschirms über 3-5m. Dies könnte jedoch beim Versagen der hohen Kalotte leicht erreicht werden.

Der Ausbruch im Firststollen erfolgte anfangs nur mit einem kleinen Hydraulikbagger, der wechselweise mit einem Hydro-Meisel und einer Tieflöffelschaufel ausgerüstet war. Die Ortsbrust konnte oft nur in Teilabschnitten geöffnet werden. Dabei konnten Brustriegel sofort an den vorausgesetzten 9 Brustankern befestigt werden und die Ortsbrust mit bewehrtem Spritzbeton gesichert werden.

Die Zerrüttungszone stellte sich als kohäsionsloser Verband völlig durchtrennter Kluftkörper dar. Der Auflockerungsbereich, der durch den Verbruch im Erkundungsstollen erzeugt worden war, konnte deutlich an der limonitischen Verfärbung erkannt werden. Er reichte über den Rohrschirm hinaus.

Die Wasserzutritte waren vergleichsweise gering - bis etwa 20 l/s im Vortriebsbereich - jedoch der Druck war völlig entspannt. Ein Ausschwemmen trat nicht auf.

Die noch während der Rohrschirmherstellung niedergebrachte Kernbohrung KB5, die große Mengen unter hohem Druck stehendes Wasser aus dem Bereich hinter dem Rohrschirm brachte, hatte sich längst verlegt.

Nun beim Vortrieb stießen wir das Loch wieder auf und hatten eine große Quelle im linken Sohlbereich, die weiterhin 40-50 l/s schüttete. Das Wasser konnte jedoch konzentriert gefaßt werden.

4.3.3.5. Mögliche Ursachen und gewonnene Erkenntnisse

Der Zeitraum der Bohr- und Injektionsarbeiten bot den Geologen die Möglichkeit, obertage intensiv nach Hinweisen auf Ursachen zu suchen.

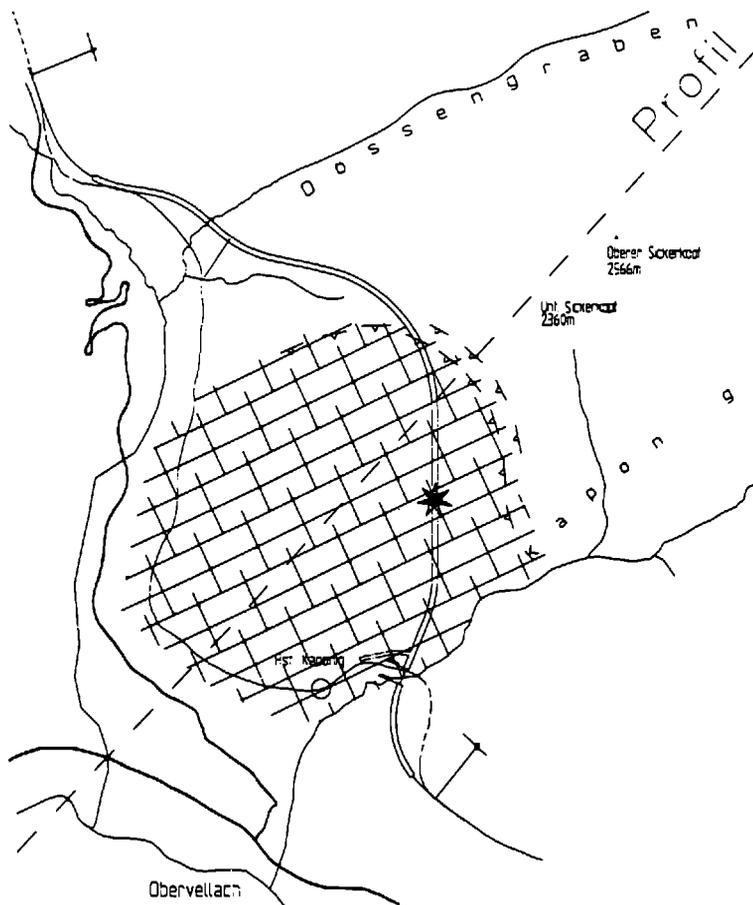


Abb. 10: möglicher Talzuschubkörper - Prinzipskizze G. RIEDMÜLLER und A. STEIDL (1993)

Dabei entdeckte das Team von Prof. Riedmüller deutliche Anzeichen einer tiefreichenden, postglazialen Massenbewegung. Auf der Jössnigalm, etwa 800 m über dem Tunnelniveau, sind auffällige Verebnungsflächen, Nackentälchenbildungen und offene Klüftgassen. Es wurde auch eine etwa 10 m mächtige, über mehrere hundert Meter obertage ausbeißende Mylonitschicht gefunden. Dies sind lauter Merkmale, die im Prognosegutachten nicht beschrieben und interpretiert waren. Die Detailkartierung des gesamten Sackungsbereichs ist noch nicht abgeschlossen. Aus den bisherigen Untersuchungen und den Ergebnissen der Beobachtungen der Hydrogeologen läßt sich das dargestellte Modell konstruieren (siehe Abb. 11).

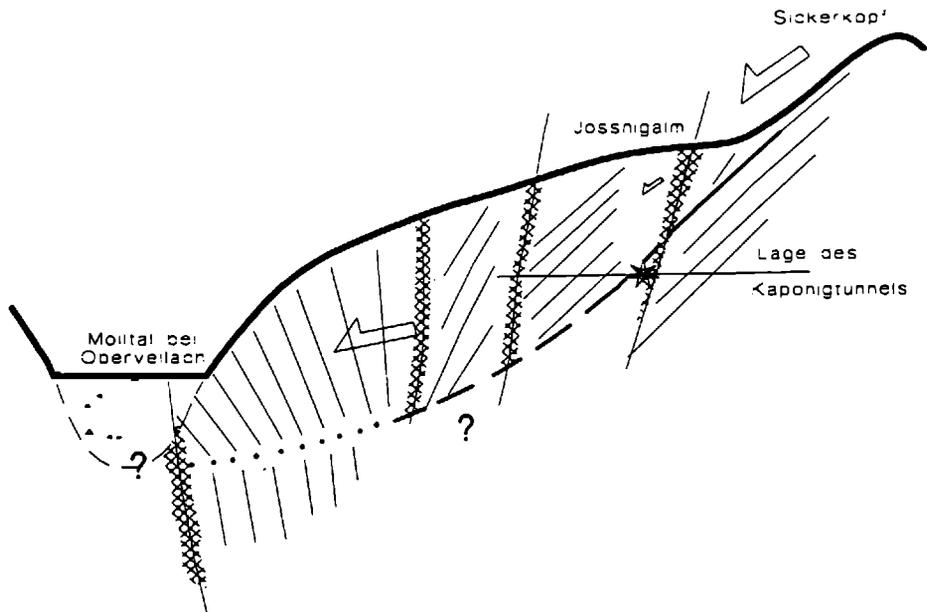


Abb. 11: Modellvorstellung der Bewegung

4.3.3.6. Daraus resultierend: zusätzliche Maßnahmen für den weiteren Vortrieb

Dieses Modell und die weiteren Detailkenntnisse von obertage ließen für den weiteren Vortrieb die Möglichkeit offen, daß noch weitere Zerrüttungszonen auftreten könnten. Insgesamt sprachen die Geologen von einem Abschnitt von etwa 200 m.

Die Wasserbilanzberechnungen der Hydrogeologen weisen aber auf eine geringere Wassermenge hin.

Um jedoch einer ähnlichen Situation rechtzeitig begegnen zu können, wurde auf den folgenden 200 m jeweils 30 - 40 m voraus mit einer Vollbohrung erkundet. Dabei wurde die Penetrationsgeschwindigkeit erfaßt und aufgetragen.

Es traten 2 weitere, in den Vorausbohrungen deutlich erkennbare, weichere Zonen auf, die jedoch von merklich weniger Wasserzutritt begleitet waren und auch nicht Zerrüttungszonen wie vorher waren. Es waren 1 bis 2 m mächtige Harnischfamilien, die besonders ungünstig, sehr schleifend zur Tunnelachse streichend, verliefen und damit über 10 m Probleme bereiteten.

Auf wenige Meter genau der Prognose von Prof. Riedmüller entsprechend erreichten wir einige Tage vor Weihnachten die Grüngesteine. Der Übergang war eine kurze Wechselfolge von Grünschiefern und Kalkglimmerschiefern, durchzogen von den genannten Harnischen. Der jetzt anstehende Prasinit ist äußerst kompakt, geklüftet bei geringem Durchtrennungsgrad und äußerst zäh. Für den Ausbruch eines 3 m-Abschlages im 12m²-Profil sind 200 kg Sprengstoff erforderlich.

5. Zusammenfassung

Die Entscheidung, für ein so großes Projekt die großen Prognoseunsicherheiten der Geologie und Hydrologie durch einen Erkundungsstollen zu verringern, erwies sich als richtig.

Ein Erkundungsstollen bis zum derzeit vertraglich vorgesehenen Ende oder weiter bis zum zweiten Fensterstollen bietet neben dem einmaligen geologischen Aufschluß auch die langwirksame Vorausdrainagierung des Gebirges und erlaubt später baubetrieblich andere Einsatzmöglichkeiten.

Ob der Erkundungsstollen besser oder wirtschaftlicher maschinell aufzufahren gewesen wäre, kann wohl niemand sagen. Doch das Risiko des Baugrundes würde auch in diesem Fall beim Bauherrn bleiben.

Autor: Zivilingenieur für Bauwesen
Andreas KNITTEL
Kuffergasse 9
A-5400 Hallein