

# Koralmtunnel: Methodische Erkenntnisse aus der Projektvorbereitung

Gerhard HARER  
Richard OTTO

## 1 Einleitung

Die Eisenbahn-Hochleistungsstrecken AG (HL-AG) hat nach der Übertragungsverordnung im August 1995 mit den Planungsarbeiten für den etwa 130 km langen Abschnitt Graz - Klagenfurt im Süden Österreichs begonnen. Wie bei allen Projekten der HL-AG werden dabei alle relevanten Aspekte der Bereiche Verkehr / Technik, Raum / Umwelt und Wirtschaftlichkeit berücksichtigt.

Das Kernstück innerhalb des Planungsabschnittes stellt der etwa 30 km lange Koralmtunnel dar. Die Erfassung der Untergrund- und Grundwasserverhältnisse stellt dabei auf Grund der aussergewöhnlichen Projektlänge sowie der komplexen und unterschiedlichen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse an die für die Projektabwicklung verantwortliche Gesellschaft und deren Fachbearbeiter hohe Anforderungen. Grundsätzliche Überlegungen zur Vorgehensweise bei der Erkundung für den Koralmtunnel wurden von HARER & VAVROVSKY (1998) sowie HARER & RIEDMÜLLER (1999) erläutert und werden deshalb hier nicht weiter ausgeführt.



Abb. 1: Übersichtslageplan der Koralmbahn

## 2 Geologischer Überblick

Die Tunnelquerung des Nord-Süd verlaufenden Gebirgszuges der Koralpe fällt in den Abschnitt zwischen Deutschlandsberg und St. Andrä im Lavanttal. Der nach derzeitigem Kenntnisstand zweiröhriige Tunnel wird eine Länge von etwa 30 km haben. Die maximalen Überlagerungshöhen werden bis zu 1.700 m betragen. Der geologisch-geotechnische Bearbeitungsraum hat eine Ausdehnung von rund 10 km x 30 km.

Den überwiegenden Bereich des Trassenraumes bauen polymetamorphe Gesteine des Koralmkristallins auf. Hochanisotrope Gesteine wie Plattengneis, Augengneis und Gneis / Glimmerschiefer dominieren. Im zentralen Abschnitt überwiegt quarzreicher Gneis. Untergeordnet treten Amphibolite, Eklogitamphibolite, Eklogite, Metagabbros, Pegmatite sowie verschiedene verkarstungsfähige Marmore auf. Intensive Störungsbeeinflussung, heterogene Bergwasserverhältnisse und die hohen Überlagerungen bilden hier die maßgeblichen Einflußfaktoren (OBERHAUSER, 1980; BECK-MANNAGETTA, 1991; HOINKES, 1992).

Nur in den östlichsten und westlichsten Bereichen werden jungtertiäre und quartäre Lockersedimente angetroffen. Am Ostrand sind dies Grobklastika sowie fluviatile und marine Feinklastika des Weststeirischen Tertiärbeckens. Am Westrand werden Fein- und Grobklastika sowie Kohleflöze des Lavantaler Beckens gequert.

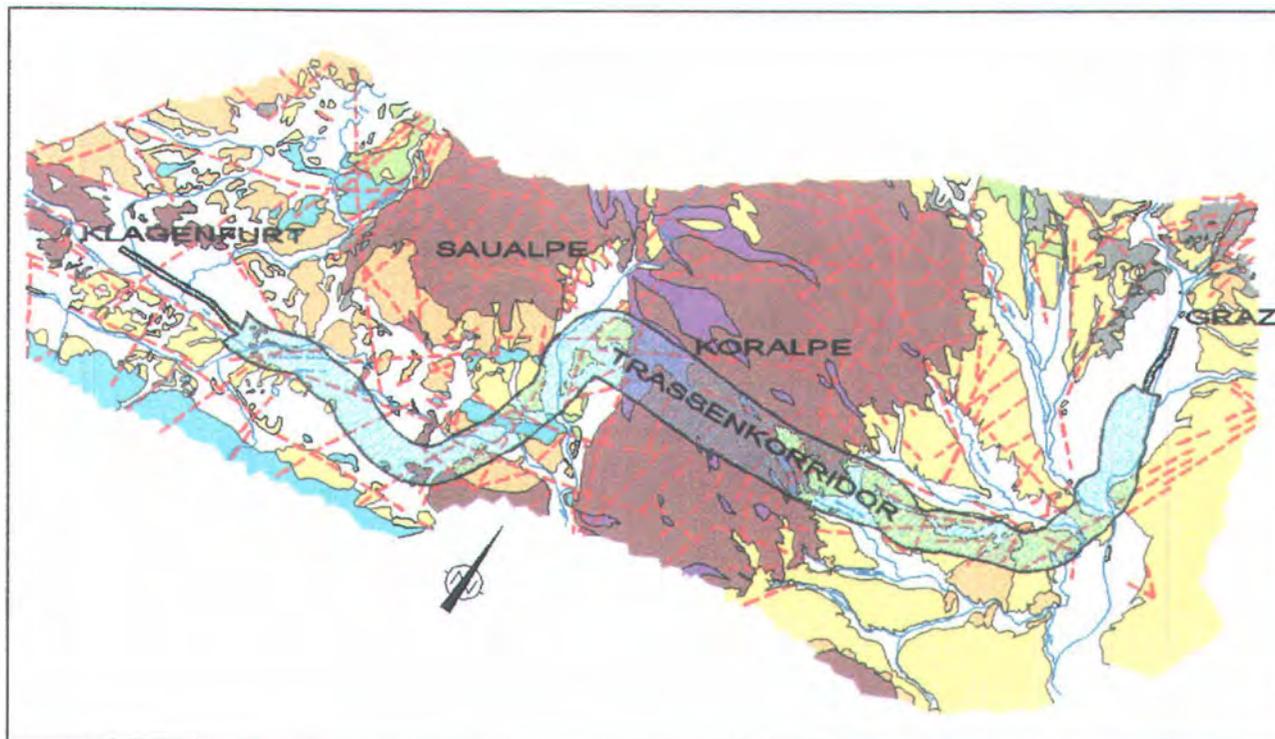


Abb. 2: Trassenkorridor und geologische Übersicht

### 3 Stand der Bearbeitungen

Für die baugeologischen, hydrogeologischen und geomechanischen Bearbeiter galt es, in einer ersten Stufe alle relevanten Aspekte so aufzubereiten, dass eine für die Trassenvorauswahl ausreichende, vereinheitlichte flächige Grundlage vorliegt.

Alle verfügbaren Unterlagen wurden erhoben, gesichtet, auf deren Vergleichbarkeit, Plausibilität und Interpretierbarkeit hin überprüft und verarbeitet.

Im Gelände erfolgten geologische Vergleichsbegehungen sowie hydrogeologische Vorerhebungen. Der Kenntnisstand der Tektonik wurde in dieser Phase unter Zuhilfenahme von Auswertungen aus Satelliten- und Luftbildern und des digitalen Höhenmodells sowie durch Geländestudien neu überarbeitet und interpretiert (DECKER, 1998). Aus dieser, über den gesamten Trassierungsraum von ca. 300 km<sup>2</sup> vereinheitlichten Information wurde ein räumliches Modell erarbeitet. Daraus hergeleitet konnte eine flächige, vorerst auf Einheitsquadrate von 1 km<sup>2</sup> bezogene, generelle geotechnische Bewertung auf Tunnelniveau vorgenommen werden.

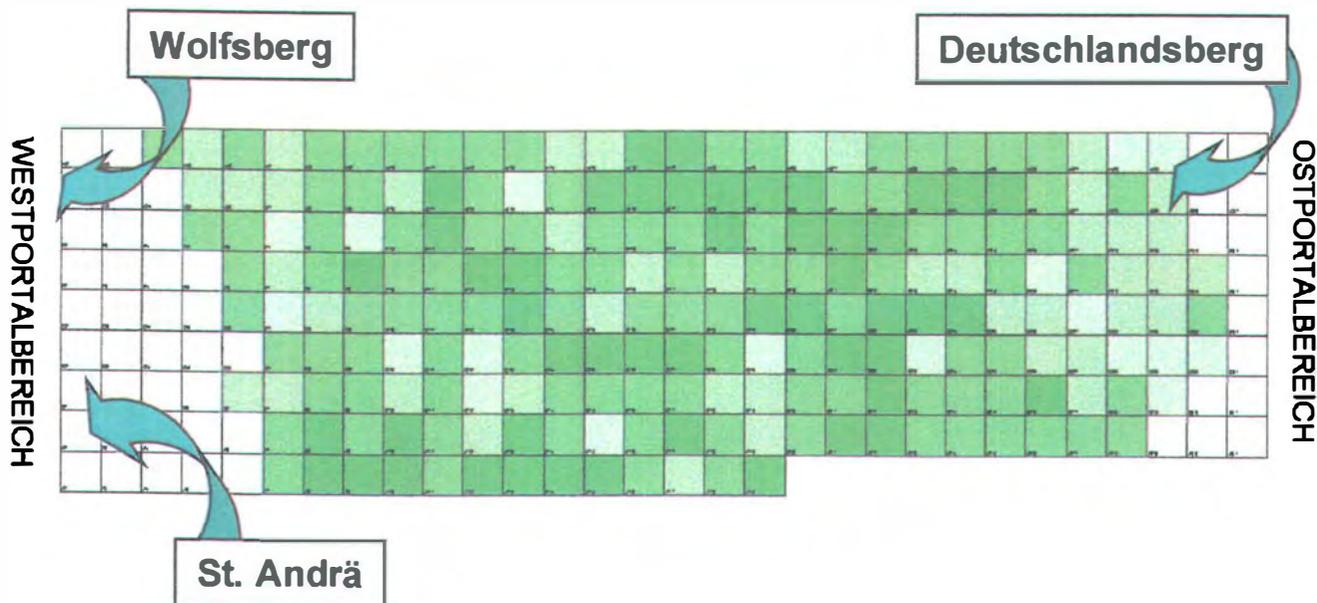


Abb. 3: Flächige Darstellung der geotechnischen Bewertung des Trassenraumes  
(Risikoabschätzung des Kristallins für einen TBM-Vortrieb: dunkelgrün: problematisch, hellgrün: unproblematisch, weiss: keine Bewertung (Tertiär); [RIEDMÜLLER et al., 1998])

Die Einflussfaktoren für die Bewertung sind dabei:

- Trennflächengefüge
- Überlagerung
- Lithologie
- Störungen (mit deren Orientierung, Ausbildung, Dichte und Einfluß auf die Wasserführung)

Mit diesem Zugang konnte den Planern zeitgerecht eine einheitlich aufbereitete, zweidimensionale Grundlage auf Tunnelniveau für die Trassenvorauswahl aus der Sicht Ingenieurgeologie, Hydrogeologie und Geomechanik zur Hand gegeben werden.

Durch die Datenerfassung und automatisierte Ermittlung der Faktoren im GIS (Geographic Information System) ist von Beginn an sichergestellt, dass dieses System ständig durch neue Daten aktualisiert wird und Neubewertungen ohne großen Aufwand durchgeführt werden können. Somit ist es in weiterer Folge auch möglich, verschiedene Trassenvarianten auf einfache Weise zu vergleichen.

Auf ein Erkundungsprogramm wurde in dieser ersten Phase der Trassenvorauswahl bewusst verzichtet.

Eine erste Erkundungskampagne bestehend aus vertiefender Kartierung, Erkundungsbohrungen und In situ-Versuchen sowie geophysikalischen Messungen wurde für 1999 konzipiert und zwischenzeitlich durchgeführt. Die Untergrunderkundung soll in der Folge mit dem Fortschreiten einer räumlichen Eingrenzung von Trassenbereichen zunehmend auf ein Trassenband fokussiert werden und in weiterer Folge zu einer Vertiefung des Kenntnisstandes in trassennahen Bereichen führen.

Folgende Punkte waren Inhalt dieser ersten Erkundungskampagne:

- Überprüfung und Verfeinerung der Modellvorstellungen aus der Phase der Trassenvorauswahl
- frühzeitiges Installieren von Messeinrichtungen (z.B. Pegel)
- Ermittlung von ersten Kennwerten für Gestein, Gebirge und Wasser

Mit dem seinerzeitigen Kenntnisstand über die geologischen Verhältnisse wurde mit folgenden Fragestellungen an die Konzeption dieser ersten, an die Verhältnisse der Koralpe möglichst optimal anzupassenden Erkundungskampagne gegangen:

- Sind die gängigen Leistungsverzeichnisse für Bohrarbeiten und für die begleitenden Messungen auf die Verhältnisse der Koralpe optimal anzuwenden?
- Welche begleitenden Untersuchungsverfahren (z.B. Oberflächengeophysik, Bohrlochmessungen) bringen eine optimale Ergänzung zum Bohrprogramm?
- Wie können Parameter ökonomisch und mit ausreichender Genauigkeit (z.B. mittels indirekter Verfahren) ermittelt werden?

Um maßgebliche Fragestellungen nicht nur theoretisch zu beleuchten, wurden 1998 begleitende Projekts- und Forschungsarbeiten initiiert. In diesem Zusammenhang wurde auch ein „Testfeld“ definiert, in dem die gestellten Fragen unter „Vor-Ort-Bedingungen“ untersucht wurden.

#### 4 Testfeld Stullneggbachgraben

Das Ziel bei der Bearbeitung des Testfeldes war, eine geologisch-geotechnische Charakterisierung des Gebirges in einem kleinen, ausgewählten Bereich des Trassenkorridors unter Anwendung moderner Methoden der Baugrunduntersuchung zu erhalten. Weiters sollten die Methoden an die spezifischen Untergrundverhältnisse der Koralpe angepasst, weiterentwickelt und deren Einsatzmöglichkeiten optimiert werden.

Auswahlkriterien für die Festlegung des Testfeldes waren

- die Lage im Trassenkorridor
- Untergrundverhältnisse, die für einen großen Bereich des Koralmtrassenkorridors repräsentativ sein sollten
- einfache, ganzjährige Erreichbarkeit, um jederzeit Untersuchungen bzw. Messungen durchführen zu können

Grundlage der Auswahl waren die Auswertung vorhandener publizierter und unveröffentlichter Unterlagen sowie eine in den Jahren 1996 bis 1998 im Auftrag der HL-AG durchgeführte ingenieurgeologische Übersichtskartierung im Maßstab 1:10.000 (RIEDMÜLLER et al., 1998).

Das auf dieser Grundlage ausgewählte, knapp 1 km<sup>2</sup> große Testfeld liegt im Stullneggbachgraben, ca. 5 km südwestlich von Deutschlandsberg. An Vorarbeiten wurde aus Luftbildern eine topographische Kartengrundlage im Maßstab 1:2.000 erstellt. Diese Karte bildete die Basis für die ingenieurgeologische Detailkartierung und für die strukturelle geologische und tektonische Analyse ausgewählter Aufschlüsse.

Im Testfeld finden sich zwei für den geologischen Aufbau der Koralpe bedeutende lithologische Einheiten (siehe Abb. 4).

Darin überwiegen flach nach Osten einfallende blastomylonitische Plattengneise ("Stainzer Plattengneis") mit darin konkordant eingeschalteten geringmächtigen groben Augengneisen ("pegmatoide Lagen"). Die Plattengneise bauen den Nordwestteil des Testfeldes auf. Diese werden von einer Gneis/Glimmerschieferfolge überlagert, in der dünne Lagen von Amphiboliten, Eklogitamphiboliten, feinkörnigen Augengneisen und Marmoren eingelagert sind. Das Testfeld wird von mehreren subvertikalen, sowie schieferungsparallelen, flach nach Osten einfallenden Störungen durchzogen (Abschiebungshorizonte).

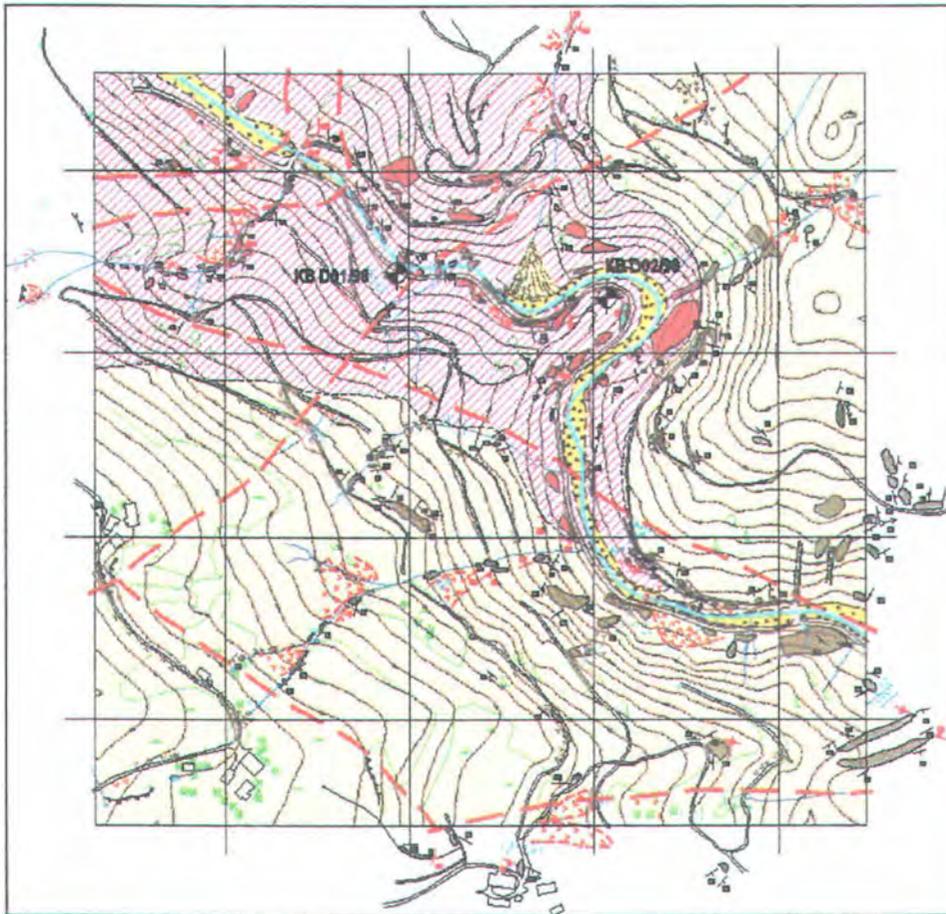


Abb. 4: Geologische Karte des Testfeldes Stullneggbachgraben  
(Seitenlänge eines Quadrates = 200 m)

### 5 Tiefenerkundung im Testfeld

Das Untersuchungsprogramm umfaßte

- Kernbohrungen mit einer ingenieur- und strukturgeologischen Auswertung der Bohrkerne und dem Vergleich dieser Daten mit den Erkenntnissen aus der Geländebearbeitung
- In-situ Versuche im Bohrloch und Bohrlochmessungen
- Laborversuche an Bohrkernen zur Ermittlung von Gesteinsparametern
- geophysikalische Geländeuntersuchungen (seismische und geoelektrische Verfahren)

Tab.1: An der Durchführung der Tests bisher beteiligte Firmen und Institutionen

- **AGS (Graz, A):** Geoelektrik (3-D-Multielektroden, Eigenpotentialmessungen)
- **BLM (Gotha / München, D):** Bohrlochmessungen
- **DMT (Essen, D):** Bohrlochmessungen, geophysikalische Laborversuche
- **Etschel & Meyer / Insond (Schladming / Neumarkt, A):** Ausführung der Bohrarbeiten, Bohrlochausbau
- **GECO Umwelttechnik (Kapfenberg, A):** Bohrlochmessungen
- **GGD (Leipzig, D):** Geoelektrik, Geophysik im Zwischenfeld, Bohrlochmessungen
- **IMES (Wangen, D):** Geophysik im Zwischenfeld (Seismische Tomographie)
- **Joanneum Research (Leoben, A):** Reflexionsseismik, Geoelektrik, Bohrlochmessungen
- **Tauernplan (Salzburg, A):** Dilatometermessungen, Wasserabpressversuche
- **TU Graz, Institut für Felsmechanik und Tunnelbau (Graz, A):** Felsmechanische Laborversuche
- **TU Graz, Institut für Technische Geologie & Angewandte Mineralogie (Graz, A):** Bohrkerndokumentation, Tonmineralanalysen, Dünnschliffuntersuchungen
- **ZAMG (Wien, A):** Refraktionsseismik

## 5.1 Bohrungen

Es wurden zwei Kernbohrungen fixiert. Das Ziel war, mit einer Bohrung einen möglichst ungestörten Bereich und mit der anderen, einen möglichst gestörten Bereich im Plattengneis zu erfassen. Die beiden kontinuierlich gekernteten Vertikalbohrungen wurden vollständig mit PVC-Vollrohr, zementiertem Ringraum bzw. bei Bedarf mit Filterstrecken ausgebaut, um auch nachfolgende Bohrlochmessungen sicher zu gewährleisten.

Die Bohrung KB D-01 erreichte eine Teufe von rd. 100 m und befindet sich z.T. in stark gestörtem Plattengneis mit tonigem Kataklasit. Die im wenig bis ungestörten Plattengneis abgeteufte Bohrung KB D-02 besitzt eine Endteufe von 210 m.

### 5.1.1 Anforderungen an die Erkundungsbohrungen und den Bohrlochausbau

#### 5.1.1.1 Bohrkernqualität

Wesentlich für eine hohe Aussagekraft der baugeologischen Bohrkernaufnahme und Interpretation sowie der Bohrkernuntersuchungen ist neben einer sorgfältigen Bohrausführung die Gewinnung eines ausreichend groß dimensionierten Bohrkernes (i.a. mindestens 100 mm Durchmesser). Ein vorsichtiger, möglichst erschütterungsarmer Transport der Kerne und deren sorgfältige, vor Austrocknung, Feuchtigkeit und Frost geschützte Lagerung hat erheblichen Einfluß auf die Aussagekraft der Bohrkernauswertung und auf die Ergebnisse von Labortests.

#### 5.1.1.2 Bohrlochausbau

Ein Bohrlochausbau erscheint für nachfolgende Bohrlochmessungen, vor allem, wenn über längere Zeiträume hindurch Messreihen erforderlich sind, unbedingt notwendig. Negative Erfahrungen aus anderen Projekten (z.B. Mont Cenis - Tunnelprojekt) verdeutlichen dies eindrucksvoll. (mündl. Mitteilung FABRE, 1998).

## 5.1.2 Ergebnisse

### 5.1.2.1 Bohrkernqualität

Grundsätzlich ist zu betonen, dass durchwegs eine sehr gute Kernqualität erzielt wurde. Die Bohrkerndurchmesser liegen bei beiden Bohrungen zwischen 206 mm in der Lockergesteinsbedeckung und zumindest 101 mm in der Endteufe im Festgesteinsbereich. Die jeweils kurzen Vorbohrstrecken für die Dilatometer- und Wasserabpressversuche lieferten Kerndurchmesser von 83 mm.

Die Seilkernrohrbohrungen lieferten auch in gestörten Gebirgsbereichen ausreichend gute Bohrkerne, da erforderlichenfalls die gewonnenen Kerne sofort aus dem Kernrohr in ein entsprechend dimensioniertes, geschlitztes PVC-Rohr eingeführt wurden und somit ein weiteres Zerfallen der Kerne verhindert wurde. Dennoch ist die Verwendung eines Dreifachkernrohres (Coreliner) bei entfestigten bzw. stark zerklüfteten Gesteinen eher zu empfehlen, da hier der Kern unmittelbar nach der Bohrkronen in eine Schutzhülle eingeschoben wird somit ein noch besserer Schutz vor einem Zerfallen sichergestellt ist. Es zeigte sich ferner, dass das Seilkernverfahren neben anderen Vorzügen auch den Vorteil der Minimierung von Stillstandszeiten bei der Durchführung von In-situ Versuchen bietet, da nahezu alle Mess-Sonden durch das Aussenrohr und die Bohrkronen hindurch geführt werden konnten.

### 5.1.2.2 Bohrdatenschreiber

Der Einsatz von Bohrdatenschreibern ist international bereits häufig Stand der Technik. Die Ergebnisse der Bohrdatenschreiber liegen im Testfeld als Papierausdrucke (Hardcopies) vor. Bohrfortschritt, Drehmoment, Anpressdruck und Spülwasserrate wurden ausschreibungsgemäß aufgezeichnet. Um eine vom Zeitaufwand her sinnvolle Analyse und Weiterverwendung der Daten durchführen zu können, ist eine digitale Datenausgabe, die mit einer gängigen Software weiterverarbeitet werden kann, unbedingt notwendig. Es bleibt auch zu hoffen, dass ein verstärkter Einsatz von Bohrdatenschreibern in unseren Breiten auch zu einer Verringerung der derzeit dafür in Rechnung gestellten Kosten führen wird.

### 5.1.2.3 Bohrlochausbau

Beide Bohrungen wurden mit einem zentrierten PVC-Vollrohr mit einem Innendurchmesser von 3" ausgebaut. Der Ringraum wurde auszementiert. Die Bohrung KB D-01 ist im Bereich einer Störung von 32 m – 62 m mit einem geschlitzten PVC-Filterrohr, das in diesem Bereich mit Filterkies - Körnung 1 – 2 mm - hinterfüllt wurde, ausgebaut.

Der geplante Bohrlochausbau war mit vertretbarem Aufwand herstellbar. Die Qualität der Zementierung des Ringraumes lieferte ein gutes Ergebnis. Diese lag kraftschlüssig sowohl an der Verrohrung als auch an der Bohrlochwandung an. Bei den akustischen Bohrlochmessungen wurden dort keine Reflexionen festgestellt. Weiters zeigten sie eine hohlraumfreie Injektion.

Die Zentrierung der Verrohrung konnte hingegen nicht immer in der erforderlichen Qualität hergestellt werden. Eine Zentrierung durch nur mit den an der Verrohrung fixierten Injektionsschläuchen, ohne Verwendung von Abstandhaltern, erwies sich als unzureichend. Die Ergebnisse der Messungen mit dem akustischem Bohrlochfernseher belegten dies eindeutig. Diese Erkenntnis ist insbesondere von Bedeutung, da vielfach nur ein definierter Bohrlochausbau, d.h. z.B. ein zentriert eingebautes Kunststoffvollrohr mit hohlraumfrei auszementiertem Ringraum, zufriedenstellende Ergebnisse darauffolgender Bohrlochmessungen (z.B. ABF) ermöglicht.

## 5.2 Bohrlochversuche und –messungen:

Bei den Bohrungen wurden bislang im offenen und / oder ausgebauten Bohrloch die im folgenden angeführten Verfahren eingesetzt und getestet:

Tab. 2: Messungen und Versuche im offenen (unverrohrten) Bohrloch:

- Dilatometerversuche
- Wasserabpressversuche
- Geophysikalische Bohrlochmessungen
  - Caliper-Log
  - Akustischer Bohrlochfernseher (ABF)
  - Akustik-Log
  - Gamma-Log
  - Dichte-Log (Gamma-Gamma)
  - Widerstands-Log

Tab.: 3: Messungen im ausgebauten (verrohrten) Bohrloch:

- Caliper-Log
- Bohrlochverlaufsmessung (Single Shot)
- Akustischer Bohrlochfernseher (ABF)
- Akustik-Log
- Bohrlochseismische Intervallmessung
- Gamma-Log
- Neutron-Log
- Dichte-Log (Gamma-Gamma)
- Temperatur-Log und Temperaturgradient
- Leitfähigkeits-Log
- Flowmeter
- Elektrisches Widerstands-Log

Im folgenden werden nur einige Verfahren erläutert und näher kommentiert.

### 5.2.1 Caliper-Log

Durch mechanisches Abtasten mittels federnd an der Bohrlochwandung anliegenden Armen werden Unregelmäßigkeiten des Bohrdurchmessers gemessen. Dieses Verfahren dient zur Identifizierung von Durchmesseränderungen. Es ist ein Korrekturlog für alle Messverfahren, die eine Korrektur über die Bohrlochgeometrie benötigen. Somit können auch Bohrlochausbrüche im unverrohrten Loch registriert werden. Die Verformung oder Ablösung des Gebirges an der Bohrlochwandung lässt eine qualitative Abschätzung der Ausbruchsneigung der Gesteinspakete zu.

Bei Verwendung eines orientiert geführten 4-Arm-Calipers kann u.U. das horizontale Spannungsfeld im Gebirge grob abgeschätzt werden. Die Richtung von  $\sigma_{\min}$  wird dabei durch vermehrtes Auftreten von Bohrlochwandausbrüchen charakterisiert. Trotzdem können Caliper-Messungen keinesfalls Gebirgsspannungsmessungen ersetzen. Im ausgebauten Bohrloch kann das Caliper-Log ferner für die Kontrolle des Ausbaus (Rohrstöße) bzw. der Einbauten hilfreich sein.

### 5.2.2 Bohrlochverlaufsmessung

Die Messung von Neigung und Richtung kann stationär oder kontinuierlich im offenen und im verrohrten Bohrloch durchgeführt werden. In den Bohrungen im Testfeld wurde eine Single-Shot-Messung in 5 m - Intervallen durchgeführt. Die Ergebnisse waren bei dieser kostengünstigen Methode ausreichend genau und zeigten Maximalabweichungen von der Lotrechten von ca. 4% der Bohrlochteufe.

### 5.2.3 Akustisches Bohrlochfernsehen (ABF)

Diese Methode, bei der Laufzeiten und Amplituden der an der Bohrlochwand reflektierten Ultraschallwellen gemessen werden, wurde sowohl im offenen als auch im ausgebauten Bohrloch angewandt. Der ABF ermöglicht eine Erfassung der Trennflächen mit deren Orientierung, Häufigkeit, Zustand etc. und unterstützt bzw. verbessert somit die geologische Bohrkernauswertung entscheidend. Durch die Reorientierbarkeit der Bohrkernkerne ergeben sich bedeutend größere – und abgesichertere – Aussagemöglichkeiten, vor allem zum Trennflächeninventar.

Die im offenen Bohrloch durchgeführten ABF-Messungen lieferten so klare Ergebnisse, dass die Bohrkernkerne problemlos reorientiert werden konnten. Die mit dem ABF ermittelten Trennflächen konnten in den Bohrkernen als Schieferungsflächen, Harnische oder Klüfte identifiziert und orientiert dargestellt werden. Dies ermöglichte eine strukturgeologische Analyse, bei der neben den reorientierten Trennflächen auch duktile Streckungs- und Crenulationslineare auf den Schieferungsflächen und Bewegungslineare der Harnischflächen einbezogen werden konnten.

Eine strukturgeologische Analyse und eine tektonische Interpretation der Bohrkernkerne, wie sie durch DECKER (1998) durchgeführt wurde, sowie der Vergleich mit den Ergebnissen von Geländeaufschlüssen war erst durch den Einsatz des ABF möglich.

In Weiterentwicklung der ABF-Messungen im offenen Bohrloch ist es gelungen, das ABF-Verfahren auch im ausgebauten Bohrloch mit Erfolg einzusetzen; gute Zentrierung der Verrohrung und gute Auszementierung des Ringraumes bilden, wie erwähnt, die Voraussetzung dafür.

Mit einem sorgfältigen Bohrlochausbau kann somit der ABF vor allem in nicht standfesten Bohrungen wichtige zusätzliche Gefügeinformationen erbringen.

#### 5.2.4 Sonic-Log (Akustik-Log) und Bohrlochseismische Intervallmessung

Mit einer Laufzeitmessung von Ultraschallwellen entlang der Bohrlochwand ist es möglich, mittels Refraktion Aussagen über die Gesteinsporosität (Lithologie) oder die Zerklüftung (Störungen) zu treffen. Dazu muss, wie bei allen akustischen Verfahren, das Bohrloch mit Wasser (Spülflüssigkeit) gefüllt sein. In Kombination mit Dichtemessungen können auch elastische Gesteins- / Gebirgsparameter ermittelt werden.

Ein Vergleich der im ausgebauten und im offenen Bohrloch ermittelten Poissonzahlen zeigt gute Übereinstimmungen, während die an Kernen im Labor mittels Durchschallung gewonnenen Werte mit den Bohrlochergebnissen nur zum Teil eine gute Übereinstimmung erbringen. Gut korrelieren hingegen die dynamischen E-Moduli aus den Bohrlochversuchen mit den Young-Moduli aus den Laborversuchen. Weiters ist eine gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der akustischen Messungen und der Gebirgsklassifizierung der ingenieurgeologischen Bohrkernaufnahme zu verzeichnen.

### **5.3 Laborversuche**

Die Bohrkernproben wurden systematisch für felsmechanische und mineralogische Untersuchungen beprobt und zwar vor allem in jenen Bereichen, in denen auch Bohrlochversuche und -messungen durchgeführt wurden, um die Meßergebnisse vergleichen zu können. Die Proben wurden im Zuge einer Projektarbeit durch SKALLA (1998) an der TU Graz bearbeitet. Die Durchschallung der Kernproben wurde von der Firma DMT in Essen durchgeführt.

Tab. 4: Felsmechanische Laborversuche

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Triax-Versuche</li><li>• Direktscherversuche</li><li>• Spaltzugversuche</li><li>• Direktzugversuche</li><li>• Durchschallung</li></ul> |
|--|

Dabei war auch von großer Bedeutung, für einen bedeutenden Gesteinstyp der Koralpe, den Plattengneis, bereits in einer Frühphase erste Gesteinskennwerte (einachsiale Druckfestigkeit, Kohäsion, Reibungswinkel und Zugfestigkeit) zu erhalten. Dieser heterogen ausgebildete Gesteinstyp zeichnet sich durch ein ausgeprägt anisotropes Verhalten aus (siehe auch BROSCH et al., 1999).

Tab.5: Laborkennwerte Plattengneis:

UCS $\approx$ 60 - 200 Mpa
c $\approx$ 30 MPa
$\varphi_{\text{start}} \approx 22 - 46^\circ \Rightarrow \varphi_{\text{rest}} \approx 10 - 16^\circ$
$\sigma_{\text{SPZ}} \approx 12 \text{ MPa}$
$\sigma_{\text{DZ}} \approx 0,1 - 1,1 \text{ MPa}$

Durch die große Anzahl an ermittelten Laborkennwerten konnten auch Versuche zur Korrelation zwischen diesen und den im Bohrloch gemessenen In-situ-Werten gemacht werden.

Einen Vergleich zwischen den Labor- und Bohrlochmessdaten zeigt die folgende Tabelle.

Tab. 6: Parametervergleich

	Verhältnisse der Mittelwerte		
	$\rho$	E-Modul	$\nu$
Labor / Sonic:	—	0,86	0,63
Labor / ABF:	0,96	—	—
Labor / Durchsch.:	0,97	1,02	0,70
Sonic / Durchsch.:	1,01	1,07	0,86

#### 5.4 Oberflächengeophysik

Das Gebiet der Koralpe zeichnet sich durch eine tiefreichende, tertiäre Verwitterung aus sowie durch eine über weite Bereiche mächtige Bedeckung mit periglazialen Schuttmassen. Dies führt bei der Geländearbeit insofern zu einer Erschwernis, als Störungszonen zumeist zwar über – vor allem morphologische - Indizien erkennbar sind, die Störungen aber auf Grund der Schuttbedeckung im allgemeinen nicht aufgeschlossen sind. Aussagen über die Art, Mächtigkeit, Charakteristik etc. sind daher i.a. im Gelände nur schwer erzielbar. Das Definieren von Bohransatzpunkten in Gebieten ohne natürliche Gesteinsaufschlüsse und ohne geophysikalische Erkundungen wird problematisch. In der Folge führt hier auch ein Extrapolieren von (zufälligen) Bohrergebnissen in ein geologisches Modell oft zu unrealistischen Ergebnissen.

Es galt nun angepasste Methoden der Oberflächengeophysik zu testen, die solche vertiefende Aussagen zu Störungszonen in Verbindung mit Bohraufschlüssen und deren Extrapolation auf größere Bereiche erlauben. Im Testfeld wurde dabei das Augenmerk auf Refraktionsseismik und geoelektrische Methoden für die oberflächennahen Bereiche (bis max. 50 m bzw. ca. 150 m) und auf hochauflösende Reflexionsseismik für die tieferen Horizonte gelegt.

#### 5.4.1 Refraktionsseismik

Die Refraktionsseismik wurde zu Vergleichszwecken in einem Meßprofil durchgeführt und lieferte gute Resultate. Die Laufzeitgeschwindigkeiten im wenig gestörten Gebirge liegen zwischen 3400 und 4400 m/s (P-Wellen). Die ermittelten dynamischen Felsparameter ließen sich gut mit den Ergebnissen anderer Messungen korrelieren.

#### 5.4.2 Hochauflösende Reflexionsseismik

Abschließende Ergebnisse dieser Arbeiten liegen derzeit noch nicht vor. Zwischenergebnisse zeigen aber, daß die Komplexität der Verhältnisse im Kristallin, wie fließende lithologische Übergänge, dünne Scherbänder, aber auch mächtigere Störungen mit diffusen Begrenzungen und vieles mehr, hohe Ansprüche an die Messdurchführung und die Interpretation der Ergebnisse stellen.

#### 5.4.3 Geophysik im Zwischenfeld

Zwischen den beiden Bohrungen wurde der Versuch einer seismischen Tomographie unternommen. Dieser Methode war hier aber aufgrund der lokalen Gegebenheiten bislang kein Erfolg beschieden. Eine zu große Distanz zwischen den beiden Bohrungen in Verbindung mit einer zu starken Dämpfung durch die dazwischen liegenden Störungen verhinderte ein gutes Messergebnis. In Bereichen mit kompaktem, wenig geklüftetem Fels sollte jedoch diese Methode auch bei größeren Bohrlochabständen als im Testfeld (ca. 230 m) erfolgreich einsetzbar sein.

#### 5.4.4 2-D- und 3-D-Multielektrodengeoelektrik

Mit dieser modernen Methode der Sondierungskartierung, die sowohl die laterale als auch die vertikale Widerstandsverteilung entlang eines Messprofils erfasst, können die Nachteile einer konventionellen Widerstands Sondierung vermieden werden. Die Auswertung liefert i.a. eine 2-D-Modellierung entlang eines Messprofils.

Im Testfeld wurden zwei Profile gemessen. Das Ergebnis lässt sich gut mit den Ergebnissen der Bohrungen, den Resultaten der Refraktionsseismik und mit den Kartierungsergebnissen korrelieren.

In einer kartierten Störungszone wurde in einem ausgewählten Bereich eine 3-D-Messung durchgeführt. Eine Fläche von ca. 140 m x 60 m wurde mit einem Elektrodenabstand von 10 m x 10 m gemessen. Um die Internstruktur dieser Störung noch besser aufzulösen, wurde eine weitere 3-D-Messung in einem verkleinerten Feld mit einem Elektrodenabstand von 5 m x 5 m durchgeführt. Das Ergebnis war präzise und wurde auch durch eine diese Störung durchörternde Schrägbohrung zur Gänze bestätigt.

Der Nachweis, dass mit diesen modernen Methoden ein modernes, leistungsfähiges Handwerkzeug für die gewünschte, bessere Charakterisierung von Störungszonen, zumindest in oberflächennahen Bereichen vorhanden ist, ist hier erfolgreich gelungen.

#### 5.4.5 Eigenpotentialmethode (SP)

Mit dieser einfachen, schnellen und kostengünstigen Methode werden natürliche lokale Gleichstromfelder zur Kartierung von Störungszonen benutzt. Vor allem bei mineralisierten bzw. vererzten Störungen lassen sich sehr gute Erfolge erzielen. Um keine verfälschten Resultate zu erhalten, müssen allerdings Störpotentiale (z.B. Leitungen) bekannt sein. Im Testfeld ließen sich jedenfalls rasch zufriedenstellende Ergebnisse erzielen.

### **6. Schlussbemerkungen**

Durch die Vielzahl an Daten aus dem Bereich Testfeld Stullneggbachgraben war es möglich, das Ziel einer geologisch / geotechnischen Charakterisierung eines Bereiches hinreichend genau zu erfüllen. Durch das Verarbeiten der Daten in CAD- und GIS-Programmen ist die jederzeitige Verfügbarkeit der Daten sichergestellt. Man ist aber mit diesen Handwerkzeugen auch in der Lage, halbautomatisierte Modellgenerierungen und moderne Visualisierung zur Hand zu haben (siehe Abb. 5).

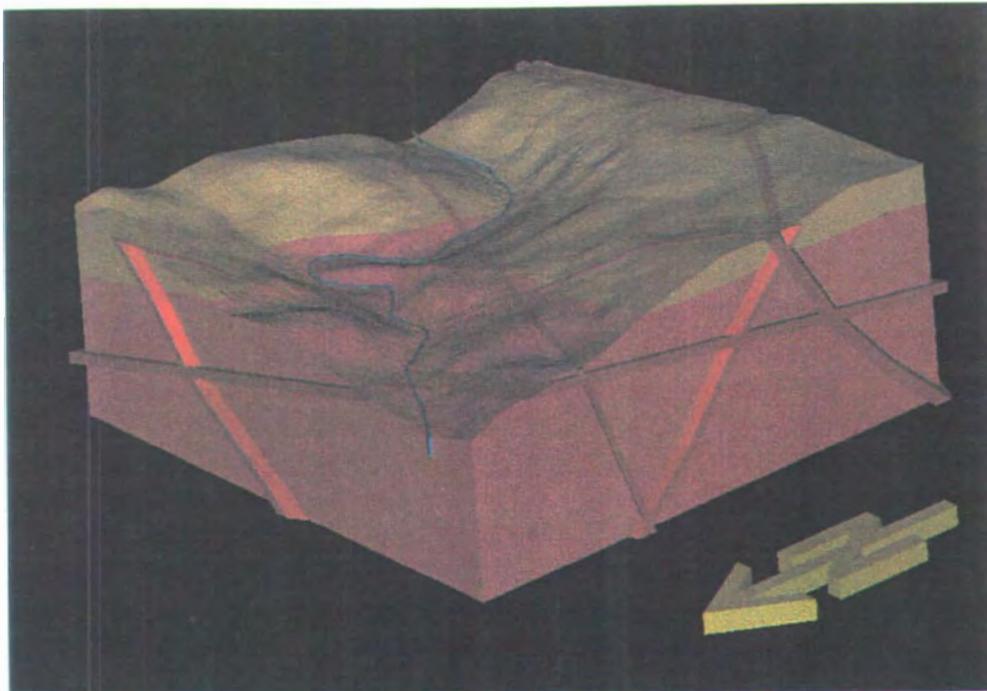


Abb. 5: Generalisiertes 3-D-Modell des Testfeldes  
(Blick von NW; hellbraun: Gneis-Glimmerschiefer, lila: Plattengneis,  
rot: Störungen, blau: Stullneggbach)

Außerdem ist es unter realen Einsatzbedingungen gelungen, verschiedene Methoden untereinander zu vergleichen und zu beurteilen.

Es war in der Folge die große Aufgabe und Herausforderung, aus den gewonnenen Erkenntnissen das Erkundungsprogramm Koralmtunnel 1999 optimal zu erstellen. Durch die Beschäftigung mit dem Testfeld waren die gestellten Fragen nach der Optimierung der

- Ausschreibungsgrundlagen
- Methodenauswahl und
- Kosten der Untergrunduntersuchungen

abgesicherter zu beantworten.

Die zwischenzeitlich abgeschlossene Erkundungskampagne 1999 war geprägt durch eine aufeinander abgestimmte, breite Kombination verschiedener Verfahren und Methoden. Ansatzweise wurde darüber in HARER & RIEDMÜLLER (1999) berichtet. Die Abwicklung und die Ergebnisse dieser Kampagne waren im überwiegenden Ausmaß als höchst zufriedenstellend zu bezeichnen.

Abschließend sei allen an der Durchführung der Arbeit Beteiligten auf das herzlichste gedankt.

## 7. Literatur und Unterlagen

- Beck-Mannagetta, P. et al. (1991): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50000, Blatt 189 (Deutschlandsberg).- Geologische Bundesanstalt, Wien.
- Blümel, M. et al. (1998): Felsmechanische Untersuchungen an orientiert gewonnenen Plattengneisproben.- unveröff. Laborbericht, Institut für Felsmechanik & Tunnelbau, TU Graz.
- Blumtritt, J. (1998): Bericht zu geophysikalischen Messungen an der Testbohrung KB-D02/98.- - unveröff. Bericht, BLM, Gotha-München.
- Brosch et al. (1999): Preliminary Investigation Results on Fabrics and Related Mechanical Properties of an Anisotropic Gneiss.- Göttinger Arb. Geol. Paläont., Sb4, Göttingen
- Brown, E.T. (1981): Rock Characterization, Testing and Monitoring – ISRM Suggested Methods.- ISRM, Pergamon Press, London.
- Decker, K. (1998): Strukturgeologische Interpretation von orientierten Trennflächen (Bohrung KB-D02/98, Testfeld Stullneggbachgraben), unveröff. Bericht, Wien.
- Fabre, D. (1998): Vortrag am Institut für Ingenieurgeologie, 3.9.1998, TU Wien.
- Fricke, S. & Schön, J. (1999): Praktische Bohrlochgeophysik.- Enke Verlag, Stuttgart.
- Fuchs, R. (1999): 3D-Modell des Testfeldes Stullneggbachgraben.- unveröff., TU Graz.
- Harer, G. & Vavrovsky, M. (1998): Hochleistungsstrecke Koralmbahn Graz – Klagenfurt, Strategien zur Erfassung der Untergrundverhältnisse.- Proceedings 13. Bodenseetagung, 1-7, Bregenz.
- Harer, G. & Riedmüller, G. (1999): Assessment of Ground Condition for the Koralm Tunnel during the Early Stages of Planning.- Felsbau, 17 (1999), Nr. 5, 374-380, Glückauf Verlag, Essen
- Hoinkes, G. (1992): Zur Petrologie des Koralm-Kristallins.- MinPet-Tagung, Stainz.

- Knödel, K. et al.: (1997): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Altlasten, Band 5 (Geophysik).- Springer Verlag, Berlin.
- Oberhauser, R. (1980): Der geologische Aufbau Österreichs.- Springer Verlag, Wien – New York.
- Riedmüller, G. et al. (1998): Baugeologische Bewertung des Trassenkorridors Koralmtunnel.- unveröff. Gutachten, Institut für Technische Geologie & Angewandte Mineralogie, TU Graz.
- Schön, J. (1996): Physical Properties of Rock.- Pergamon Press, London.
- Skalla, (1998): Auswertung der Kernbohrung KB-D0,2/98 Stullneggbachgraben, Koralm.- unveröff. Projektarbeit, Institut für Felsmechanik & Tunnelbau, TU Graz.

**Weitere unveröffentlichte Unterlagen von:**

AGS (Angewandte Geo-Systemtechnik GmbH, Graz), DMT (Deutsche Montan Technologie GmbH, Essen), GECO (Ingenieurbüro für Hydrogeologie, Bohrlochmessung und Geophysik, Kapfenberg), GGD (Ges. für Geowissenschaftliche Dienste mbH, Leipzig), Joanneum Research (Leoben), ZAMG (Abt. Geophysik, Wien).

**Autoren:**

Gerhard HARER, Mag.  
Eisenbahn-Hochleistungsstrecken AG,  
Projektleitung Koralmbahn  
A-8010 Graz, Belgiergasse 8

Richard OTTO  
Institut für Technische Geologie und  
Angewandte Mineralogie, TU Graz,  
A-8010 Graz, Rechbauerstraße 12  
[rio@egam.tu-graz.ac.at](mailto:rio@egam.tu-graz.ac.at)