

# Naturgefahren- und geotechnisches Planungsmanagement am Beispiel der Flexenpaßroute

Von Gerhard Poscher, Ulrich Burger, Josef Kaiser und Gerhard Tauber

Die Flexenpaßroute beziehungsweise das Projekt Erzbergtunnel beleuchten das Generalthema „Beitrag der Geotechnik zum Schutz vor Naturgefahren“ in vielfältiger Weise.

- ▷ Die Baugeschichte der seit über 100 Jahren bestehenden Straßenverbindung schlägt im Sinn von (3) sowohl die Brücke von der Baukunst zur Geotechnik als auch von der pionierhaften Auseinandersetzung mit den Naturgefahren zu den heutigen Verfügbarkeits-, Mobilitäts- und Sicherheitsansprüchen im Alpenraum (4, 20).
- ▷ Geotechnische Lösungen zum Schutz vor Naturgefahren erfordern mehr denn je die Berücksichtigung der wirtschaftlichen Komponente. Im gegenständlichen Fall erfordert dies sowohl die Berücksichtigung des Erhaltungsaufwands im Sinn von (5) als auch die volkswirtschaftlichen Konsequenzen einer eingeschränkten Verfügbarkeit von Verkehrswegen sowie die Risikoakzeptanz der Benutzer (6),

was im allgemeinen Tunnellösungen begünstigt.

- ▷ Die „Variante Erzbergtunnel“ stellt eine Lösung mit weitestgehender Eliminierung der gravitativen Naturgefahren dar und verknüpft relative bau- und hydrogeologische Vorteile (im Vergleich mit anderen Varianten) mit verkehrstechnischen Vorzügen.
- ▷ Die Trassenerkundung stellt bemerkenswerte Anforderungen an die geologische Geländekartierung, insbesondere an die strukturgeologische Erkundung. Die „Variante Erzbergtunnel“ ist das am weitesten gediehene Projekt eines die Kalkalpen querenden Tunnels im Westen Österreichs bei mittlerer bis hoher Überlagerung.
- ▷ Diese geologischen Randbedingungen ziehen damit besondere Anforderungen sowohl an die Bodenerkundung als auch an die hydro-(geo)logisch-wasserwirtschaftlichen Untersuchungen nach sich.

## Natural Hazard Management and Geotechnical Design Management

*The Arlbergstrasse and the Lechtalstrasse in the province of Vorarlberg / Austria belong to those sections in the main road network which are particularly endangered by natural hazards. The protection of the road between Langen am Arlberg (branch-off from the S16 Arlberg main road and Lech is of special interest since – due to repeated closures of the road between Lech and Warth in winter – this section presents the only connection for about 15,000 people to the localities of Stuben, Zürs and Lech (inhabitants, seasonal workers and guests).*

*Several alternatives have been explored for the Langen am Arlberg, Stuben and Lech route section which should not only contain protection in winter against snow avalanches but also additional protection against landslide and rockslide hazards existing year round.*

*Within the framework of a cost-benefit-analysis, a study of alternatives produced several design options. A tunnel link between Stuben and the Zürs-Lech area, west of the Flexen pass, namely the Erzberg tunnel emerged as the optimum solution. It combines engineering geology and hydrogeology advantages with traffic engineering benefits. The geological-geotechnical exploration for this project, with the aim of optimizing this alternative route, has been conducted in the last two years at an "outline design package" level and will be completed in 2002.*

Die Arlbergstraße und die Lechtalstraße gehören innerhalb des Bundeslands Vorarlberg zu den durch Naturgefahren besonders gefährdeten Abschnitten im höherrangigen Straßennetz. Auf diesen beiden Straßen ist die Sicherung der Strecke zwischen Langen am Arlberg (Abzweigung von der S16 Arlbergschnellstraße) bis nach Lech von besonderem Interesse, da dieser Straßenabschnitt wegen der Wintersperre der Alternativroute, die über Warth nach Lech führt, die einzige Verbindung für rund 15 000 Personen zu den Orten Stuben, Zürs und Lech (Bewohner, Saisonarbeitskräfte und Gäste) darstellt.

Für den Streckenabschnitt Langen am Arlberg, Stuben und Lech wurden Varianten untersucht, die nicht nur eine Wintersicherung gegen Schneelawinen, sondern zusätzlich auch eine Sicherung gegen die ganzjährig vorhandene Gefährdung durch Felsstürze und Steinlawinen beinhalten sollen.

Im Rahmen einer Nutzen-Kosten-Untersuchung gingen aus einer Variantenstudie Planfälle westlich des Flexenpasses mit einer direkten Tunnelführung von Stuben in den Raum Zürs-Lech als Bestlösung hervor, die zusammengefaßt als sogenannte „Variante Erzbergtunnel“ bezeichnet werden. Diese Variante verknüpft baueologisch-hydrogeologische Vorteile mit verkehrstechnischen Vorzügen. Die geologisch-geotechnischen Untersuchungen zu diesem Projekt im Sinn einer „Trassenoptimierung“ dieser Variante werden mit dem Planungstiefgang „Generelles Projekt“ seit 2000 durchgeführt und 2002 abgeschlossen.

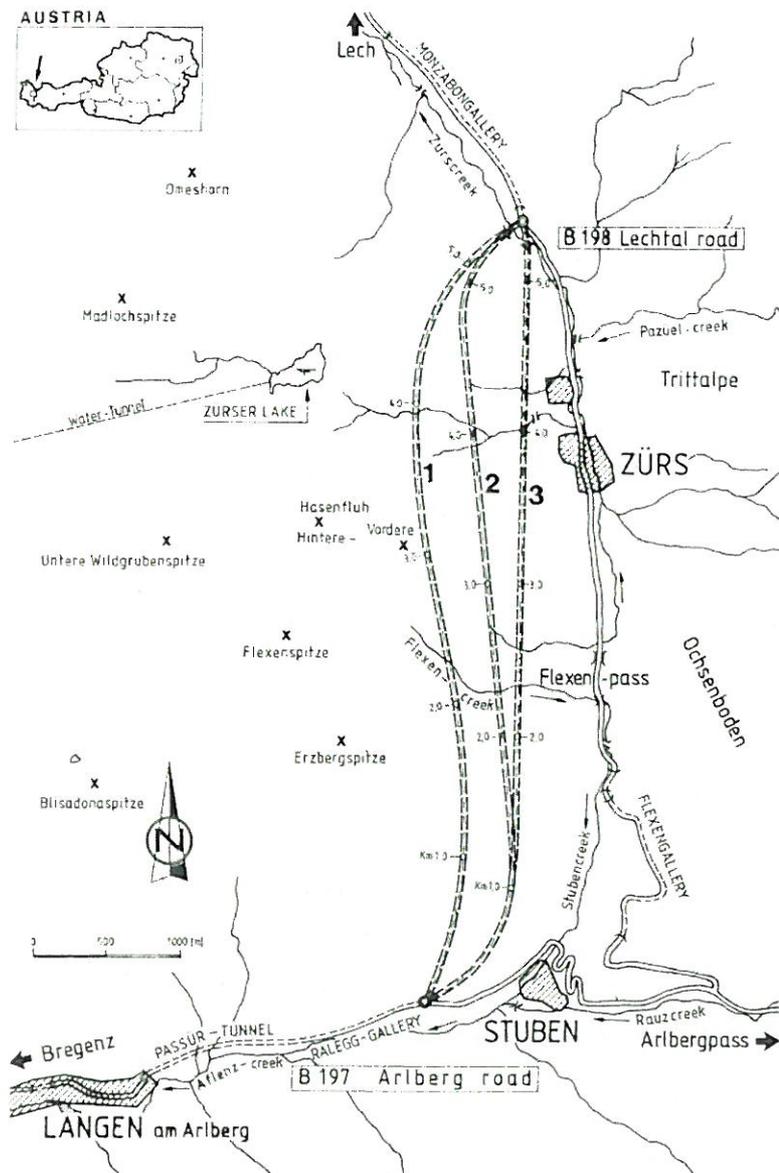
### Geschichtliche Entwicklung des Flexenübergangs

Der Flexenpaß (1 773 m ü.M.) verbindet am Arlberg das Oberste Klostertal bei Stuben/Alpe Rauz (1 407 m ü.M.) über Zürs und Lech mit Warth (1 494 m ü.M.) beziehungsweise weiter mit dem Lechtal und mit dem hinteren Bregenzerwald (Bild 1). Wenngleich der Flexenpaß seit alters her als Übergang genutzt wurde, war der Paß bis in das 18. Jahrhundert als kurze Nord-Süd-Verbindung aufgrund der geringen Entwicklung der erreichbaren Gebiete unbedeutend, da der hintere Bregenzerwald, der Tannberg und das Obere Lechtal abge-schiedene, sehr schwach besiedelte und auf Weidewirtschaft ausgerichtete Gebiete dar-stellten.

Bis zum Jahr 1897 bestand als Verbindung zwischen Stuben im Klostertal und den Gemein-den Lech, Warth und Schröcken der sogenannte Flexenweg, bei dem es sich um einen ausgesetz-ten Saumweg handelte, der am Gegenhang der derzeitigen Flexenstraße vom Klostertal Rich-tung Flexenpaß führte. Dieser einfache, ohne jegliche Kunstbauten versehene Verbindungs-weg war einer ständigen Bedrohung durch Steinschlag, Felssturz und Lawinen ausgesetzt. Die Frequenz der Unfälle nahm mit steigender Nutzung des Wegs zu, wobei als frequenzstei-gernde Faktoren neben der durchgehenden Be-fahrbarkeit der Arlbergstraße ab 1825 auch die Eröffnung der Arlbergbahn im Jahr 1884 zu nennen sind.

Bedingt durch die Zunahme an Unfällen und Schadensereignissen wurde 1885 mit dem Bau der „Flexenstraße“ auf der noch heute genutz-ten Trasse begonnen, die Verkehrsöffnung erfolgte 1897. Als Meisterleistung alpiner Stra-ßenbaukunst (Bilder 2 und 3) wurde unter To-leranz eines hohen Baugrund- und Ausführ-ungsrisikos und der Bereitschaft, hohe In-standhaltungs- und Sanierungsaufgaben in Kauf zu nehmen, eine heute unverzichtbare Straßenverbindung zwischen den Wirtschafts-räumen Bludenz-Arlberg sowie Zürs-Lech errichtet.

Seit etwa 1909 gibt es auf dieser Straße einen regelmäßigen Personenverkehr zwischen Lan-gen am Arlberg und Lech, ab 1925 wurde eine regelmäßige Autobusverbindung geschaffen. Heute hat die „Flexenstraße“ (L 198 Lechtal-straße, früher auch als B 198 bezeichnet) inter-nationale Bedeutung. Ohne diesen Verbind-ungsweg ist der Tourismus in Lech und Zürs mit über 1 Mill. Übernachtungen pro Jahr nicht vorstellbar. Die bei der Errichtung in den Jah-ren 1885 und die während des weiteren Aus-baus zwischen 1938 und 1942 zugrunde geleg-ten Schutzmaßnahmen sind im Licht der wirt-schaftlichen und verkehrstechnischen Randbe-dingungen den aktuellen Sicherheitserfordern-issen anzupassen (7).



**Bild 1** Übersicht des Untersuchungsgebiets mit ausgewählten Trassen der Varianten-studie.

**Fig. 1** Overview of investigation area with routes selected from the study of alternatives.



**Bild 2** Blick auf die Flexengalerie als Teilabschnitt der Flexenstraße südlich des Flexen-passes; erkennbar sind die steilen, Richtung Norden einfallenden Arlberg-Schichten als Teil des Klostertal-Sattels.

**Fig. 2** View of "Flexengalerie" as part of the Flexenstrasse, south of the Flexen pass, with steep north-dipping beds of the Arlberg formation as part of the Klostertal anticline.

## Naturgefahrenmanagement und Variantenentscheidung

### Lawinenzüge und Felssturzereignisse

Auf dem Streckenabschnitt zwischen Langen am Arlberg und Lech treten derzeit noch drei nennenswerte Gefährdungsabschnitte auf:

- ◊ Die beiden gegen Schneelawinen noch nicht verbauten Abschnitte „Stuben“ und „Flexenpaß-Zürs“ sowie
- ◊ Die Gefährdung der bestehenden Steinschlag- und Lawinenschutzbauten an der L 198, Lechtalstraße, bekannt unter dem Namen „Flexengalerien“ beziehungsweise „Flexenstraße“.

Die Serie der durch Naturgefahren bedingten Schadensereignisse an der „Flexenstraße“ setzte bereits mit einem Felssturz am 5. Oktober 1897, sechs Tage vor der feierlichen Eröffnung der Straße ein, als ein an den Steinbruchtunnel angebautes Lawinendach auf 7 m Länge zertrümmert wurde. Mit zunehmender Bedeutung der Tourismuszentren und damit verbunden dem zunehmenden Verkehr nahmen auch die erforderlichen Instandhaltungs- und Verbesserungsarbeiten zu. Zwischen 1938 und 1942 wurden wesentliche Verbesserungen an der Trasse und den Schutzbauwerken durchgeführt, die wintersichere Befahrbarkeit wurde erhöht. Das Risiko der Verkehrsteilnehmer, durch Felssturz und Steinschlag zu Schaden zu kommen, wurde durch Betonbauten und Überbauarbeiten verringert, jedoch nicht eliminiert (8). Beispiele für jüngere Schadensfälle stellen die Felsstürze im Hölltobel-tunnel am 22. November 1997 mit etwa 800 m<sup>3</sup> Kubatur (7, 9) und jener am Steinbruchtunnel vom 2. Juli 1999 mit rund 120 m<sup>3</sup> Abbruchvolumen (7) dar.

Nicht zuletzt aufgrund dieser jüngsten Felssturzereignisse im Abschnitt der Flexengalerien und am Posteck-Rauz zu Ostern 1995 (9) wurden die bereits genehmigten Lawinerverbauungsprojekte in Stuben neu überdacht und Planfälle entwickelt, die nicht nur eine Wintersicherung gegen Schneelawinen, sondern eine umfassende Sicherung gegen andere gravitative Naturgefahren beinhalten (Bilder 4 und 5).

### Variantenentscheidung

Im Rahmen der Nutzen-Kosten-Untersuchung 1999 gingen Planfälle (vgl. Bild 1) mit einer direkten Tunnelführung von Stuben in den Raum Zürs-Lech als Bestlösung hervor (1, 2). Diese Planfälle, zusammengefaßt als „Variante Erzbergtunnel“ bezeichnet, umfaßten mit Planungsstand 1999 einen Trassenkorridor westlich des Flexenpasses, aus dem zwischenzeitlich unter Einbeziehung detaillierterer geologischer und hydrogeologischer Erkundungsergebnisse eine optimierte Trasse herausgearbeitet wurde.

Die wesentlichen Vorteile der „Variante Erzbergtunnel“ liegen in einer direkten Tunnelführung vom Raum westlich von Stuben bis Zürs-Monzabon. Diese Variante zielt einerseits auf



**Bild 3** Detail der Flexengalerie in steil stehenden, hellen Arlberg-Schichten (links) und dunklen Partnach-Schichten (rechts).

**Fig. 3** Detail of the "Flexengalerie" in steep-dipping bright beds of the Arlberg formation (left) and dark beds of the Partnach formation (right).

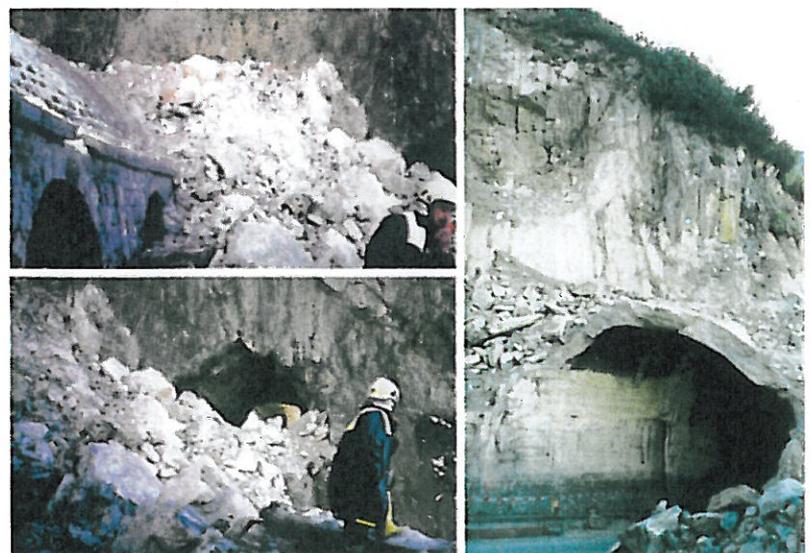
eine möglichst flache Steigung im Tunnel und andererseits auf eine Einbeziehung der vorhandenen Lawinenschutzbauten „Monzabongalerie“ und „Schafalptobeltunnel“. Mit einer direkten Tunnelführung kann für die Hauptverkehrsrelation Langen a.A. (Klostertal) nach Lech „verlorene Höhe“ durch eine tiefliegende Unterfahrung des Flexenpasses eingespart werden. Der Planfall beinhaltet auch lawinensichere Zufahrten zu den Ortsräumen Stuben und Zürs. Die Länge des Erzbergtunnels gemäß derzeitigem Planungsstand beträgt rund 5 750 m, die Steigung 4,5 %.

### Akzeptanzanalyse

Die Variantenentscheidung zugunsten einer durchgehenden Tunneltrasse mit einem höchst-

**Bild 4** Felssturzereignisse an der Flexengalerie.

**Fig. 4** Rockfall events on the "Flexengalerie".



möglichen Sicherheits- und Nutzungsgrad wird neben den grundsätzlichen verkehrstechnischen, naturräumlichen und geologisch-geotechnischen Argumenten auch durch eine Analyse des Managementzentrums St. Gallen gestützt, in der die volkswirtschaftlichen Auswirkungen von Straßensperrungen auf das betroffene Tourismusgebiet am Beispiel Stuben-Zürs-Lech untersucht wurden (6).

Gemäß (6) sind dabei folgende Eckdaten von grundlegender Bedeutung, die wesentlichen Ergebnisse der Studie werden nachstehend dargelegt.

- ◇ Das Gebiet Stuben-Zürs-Lech lebt praktisch zu 100 % vom Tourismus, wobei 90 % der volkswirtschaftlichen Leistung in der Wintersaison erbracht werden.
- ◇ Mit einem Gesamt-Umsatz von jährlich 340 Mill. EUR (inklusive der indirekten Umsätze) und einer Bruttowertschöpfung von 190 Mill. EUR trägt das Gebiet mit 2,5 % zum Brutto-Inlandsprodukt des Landes Vorarlberg bei (Durchschnittswert 1990 bis 2000).
- ◇ Die Beschäftigungswirkung liegt während der Wintersaison bei 6 600 Personen, in der Sommersaison bei 1 450 Personen.

Eine Befragung der Gäste von Stuben, Zürs und Lech hat bestätigt, daß die sichere Erreichbarkeit des Tourismusgebiets bereits das dritt-wichtigste Entscheidungskriterium für die Wahl des Urlaubsorts darstellt, wobei 50 % der befragten Gäste aufgrund des Risikos von Straßensperrungen bereits alternative Urlaubsziele in Erwägung gezogen haben („Nicht-mehr-Gäste“ sowie potentielle Gäste wurden nicht befragt).

**Bild 5** Ablöseflächen eines Felssturzes bergseitig der Flexengalerie.

**Fig. 5** Detachment areas of a rockfall event above the "Flexengalerie".



Der Nächtigungsausfall aufgrund von Straßensperrungen wird für die letzten zehn Jahre mit 5 bis 10 % beziffert. Bei Aufrechterhaltung des „Status quo“ muß mit einer schleichenden Erosion der Wettbewerbsstellung der Region gerechnet werden, weil konkurrierende Destinationen vor allem bezüglich skifahrerischen Angebots und Hotellerie aufholen. Nach Erfahrungen aus anderen Wirtschaftsbranchen droht im Zeithorizont von zehn Jahren ein Marktanteilsverlust von zwei bis drei Prozentpunkten.

Zusätzlich sind jene Konsequenzen zu beachten, die im Fall der Realisierung des Naturgefahrenrisikos eintreten können. Allein im Zeitraum zwischen Herbst 1990 und Frühjahr 2000 wurden 24 Lawinenabgänge auf die einzige Verbindungsstraße in das Tourismusgebiet Zürs-Lech verzeichnet, die Hälfte (zwölf Ereignisse) davon auf die nicht gesperrte Straße. Das Ausmaß des volkswirtschaftlichen Schadens im Katastrophenfall zeigt sich am Beispiel einer im Lawinenwinter 1999 heimgesuchten Tourismusdestination sehr deutlich, wo im Folgejahr ein Nächtigungsrückgang um 40 % verzeichnet wurde.

Die Investitionsentscheidung für eine naturgefahrensichere Verkehrserschließung hat somit Weichenstellungscharakter für die volkswirtschaftliche Entwicklung der Tourismusregion: Entweder eine Stärkung der Wettbewerbsstellung durch eine lawinensichere Zufahrt oder Inkaufnahme einer allmählichen Gästeabwanderung. Durch die aus Umsatzsteigerung beziehungsweise Umsatzrückgang resultierende Differenz an Bundessteuern amortisiert sich nach (6) eine Investition in Höhe von 90 Mill. EUR, wie sie nach derzeitigem Kostenschätzungsstand für die „Variante Erzbergtunnel“ angesetzt wird, in einem Zeitraum von 16 bis 38 Jahren.

## Geotechnisches Planungsmanagement

### Grundlagenerhebung – Geologische Geländekartierung

#### Trassenoptimierung

Den Grundsätzen des Risikomanagements in der Geotechnik (10) wird im Verkehrswegebau im allgemeinen durch einen mehrphasigen Planungs- und Erkundungsablauf im Sinn einer schrittweisen Abschätzung des Baugrundrisikos entsprochen. In übersichtlicher Weise ist dieser „projektphasenabhängige Erkundungstiefgang“ unter anderem in (11, 12) dargelegt. Die ersten Abschätzungen des Baugrundrisikos erfolgten demgemäß im Rahmen der Variantenstudie 1999 (1) beziehungsweise im Rahmen der weiteren Einengung eines Trassenkorridors.

In der Variantenstudie 1999 erfolgte die Bewertung von sechs Planfällen für die wintersiche-

re Zufahrt von Stuben nach Zürs-Lech, wobei die wesentlichen Gefährdungsbilder einzelner Trassen aus bau- und hydrogeologischer Sicht aufgezeigt wurden. Die Variantenstudie führte zu dem schon erwähnten Ergebnis, daß einer getunnelten Trassenführung westlich des Flexenpasses bau- und hydrogeologische Vorzüge zukommen, wobei eine Vorauswahl von drei Trassen (vgl. Bild 1) im Sinn eines Planungskorridors vorgenommen wurde.

Die einzelnen Projektphasen sind beim gegenständlichen Projekt mit dem in der Tabelle 1 genannten Tiefgang der Prognose verknüpft (13). Ziel der Untersuchungen der Projektphase Trassenoptimierung war es, die projektstrategisch wichtigen Fragen (siehe unten) für die Trassenauswahl abzuklären. Dazu war ein abgestuftes Vorgehen erforderlich. In der Phase Grundlagen-erhebung und Geländekartierung umfaßte dies folgende Schritte:

- ◊ Klärung der komplexen geologischen Zusammenhänge in einer polyphas deformierten „basin and range“-Zone auf Grundlage einer über den Korridor hinausreichenden struktur-geologischen Kartierung,
- ◊ Bewertung der grundsätzlichen Problembe- reiche aus baueologisch-geotechnischer Sicht,
- ◊ Bewertung der sensiblen hydrogeologisch-was- serwirtschaftlichen Zonen hinsichtlich des Kon- fliktpotentials Tunnelbau-Wasserwirtschaft,
- ◊ Erstellung eines strukturgeologischen Modells und eines ersten hydrogeologischen konzept- ualen Modells,
- ◊ Gliederung des Untersuchungsraums in struk- turgeologische und hydrogeologische Provin- zen,
- ◊ Erstellung eines Gesamtkonzepts zur Erkun- dungsplanung für die erste Erkundungsphase (Bohrungen und bodengeophysikalische Mes- sungen) mit klarer Definition der Erkundungs- ziele.

In weiterer Folge wurden die Ergebnisse der ersten Erkundungsphase in folgenden Schritten umgesetzt:

- ◊ Verifizierung/Falsifizierung bisheriger Mo- dellvorstellungen (Strukturgeologie, Hydro- geologie),
- ◊ Charakterisierung des Gebirges unter Berück- sichtigung der relativ „frühen“ Planungsphase und
- ◊ Begründete Trassenvorauswahl unter Ber- ücksichtigung der wasserwirtschaftlichen Aspekte.

*Geländekartierung – Strukturgeologisches und hydrogeologisches Modell*

Als Teil des westlichen Abschnitts der Nördlichen Kalkalpen umfaßt das Untersuchungsgebiet die charakteristische geologische Schichtenfolge Permoskyth bis Kreide-Mergel (14). Die Verteilung der geologischen Formationen und das strukturgeologische Muster des Gebiets ist auf

**Tabelle 1** Zur Zuordnung von Erkundungszielen und Projektphasen.

*Table 1* Allocation of exploration objectives and design levels.

Projektphase	Prognosetiefe	Projektziele
Variantenstudie 1999 (Vorstudie)	Gefährdungsbilder	Planungskorridor(e) Machbarkeit
Trassenoptimierung 2000/2001	Detailkartierung Erkundungsphase 1	(Hydro-)Geologisches Modell Sensitivitätsbetrachtungen Gebirgscharakterisierung Trassenvorauswahl
Generelles Projekt	Nachkartierung Erkundungsphase 2	Geotechnisches Modell Geomechanische Planung 1 Trassenfestlegung
Ausführungsprojekt (Detailprojekt)	Prognose mit Angabe der Bandbreite relevanter geologisch-geotech- nischer Faktoren	Geomechanische Planung 2 Ausschreibungsplanung

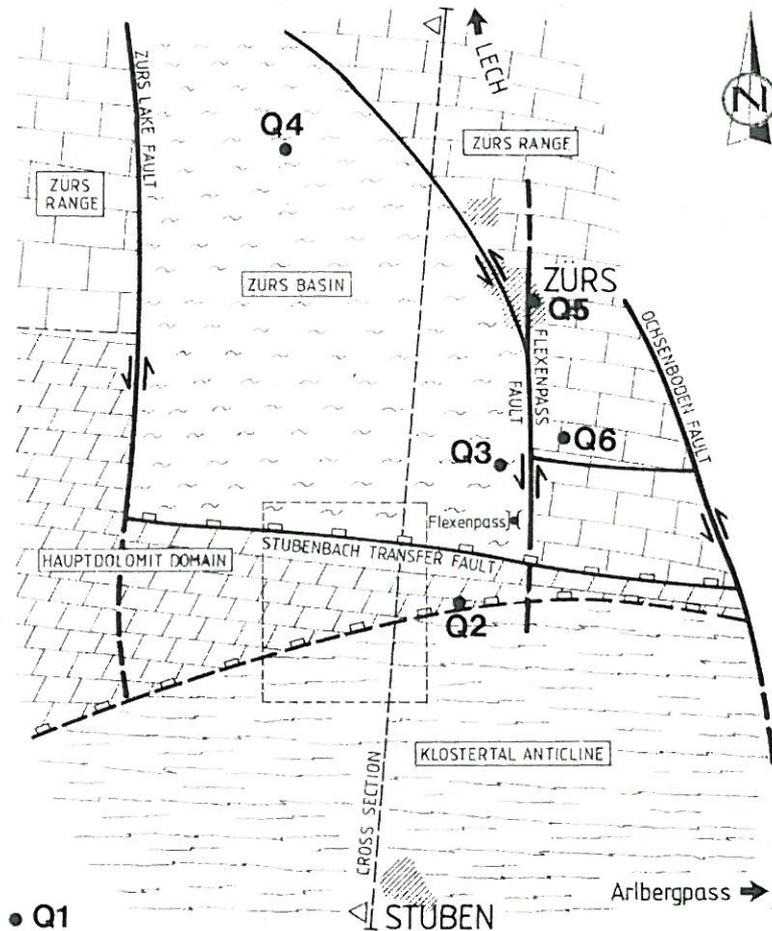
eine komplexe Deformationsgeschichte zurück- zuführen.

Jurassische bis kretazische Extensionstektonik führten zur Entwicklung von Hochzonen (Zürser Schwelle, Hauptdolomit Liegendscholle) und abgesunkenen Schollen, die von steilstehen- den Störungen begrenzt sind. Die Zürser-See- Mulde liegt im distensiven Bereich des sinistralen Übersprungs von zwei NW-SE bis N-S streichen- den sinistralen Blattverschiebungen, die im Be- reich des Zürser Sees und der Flexenfurche ver- laufen. Gegen Süden wird die Mulde von einer steilstehenden E-W streichenden Transferstö- rung begrenzt. Die Entwicklung der Zürser-See- Mulde als komplexes Extensionsbecken während der aktiven Einengung kann damit als Beispiel der von May & Eisbacher in (15) postulierten Entwicklung der synorogenen Kreideschiefer- Becken der westlichen Nördlichen Kalkalpen angeführt werden.

Im Rahmen jüngerer kompressiver Phasen wurden die alt angelegten Strukturen reaktiviert beziehungsweise zerschert. Zeuge der alpinen Einengung ist der steilstehende, Richtung Nor- den einfallende Nordschenkel des Klostersattel- Sattels, bestehend großteils aus gut gebankten Arl- berg-Schichten. Dieser Sattel dominiert den Süd- abschnitt des Trassenkorridors.

Der Stellenwert von geologischen Geländekar- tierungen wird mitunter unterschätzt, worauf beispielhaft auch in (17) hingewiesen wird. Das gegenständliche Projekt ist ein gutes Fallbeispiel, um die Bedeutung der Geländearbeit für die Erarbeitung des Erkundungsprogramms sowie die Konzipierung des Untersuchungsumfangs und des wasserwirtschaftlichen Beweissiche- rungsprogramms zu würdigen.

Das strukturgeologische Modell als erstes Pro- dukt der geologischen Kartierung mit Erkennt- nissen über die strukturgeologische Entwicklung des Untersuchungsraums ist als Ausgangsbasis für die Wahl, Situierung und Bestimmung des Tiefgangs der weiteren Untersuchungsschritte sowie für die Ableitung der hydrogeologischen Provinzen unverzichtbar.



**Bild 6** Vereinfachte strukturgeologische Übersichtskarte des Projekttraums.  
**Fig. 6** Simplified structural-geological overview map of the project area.

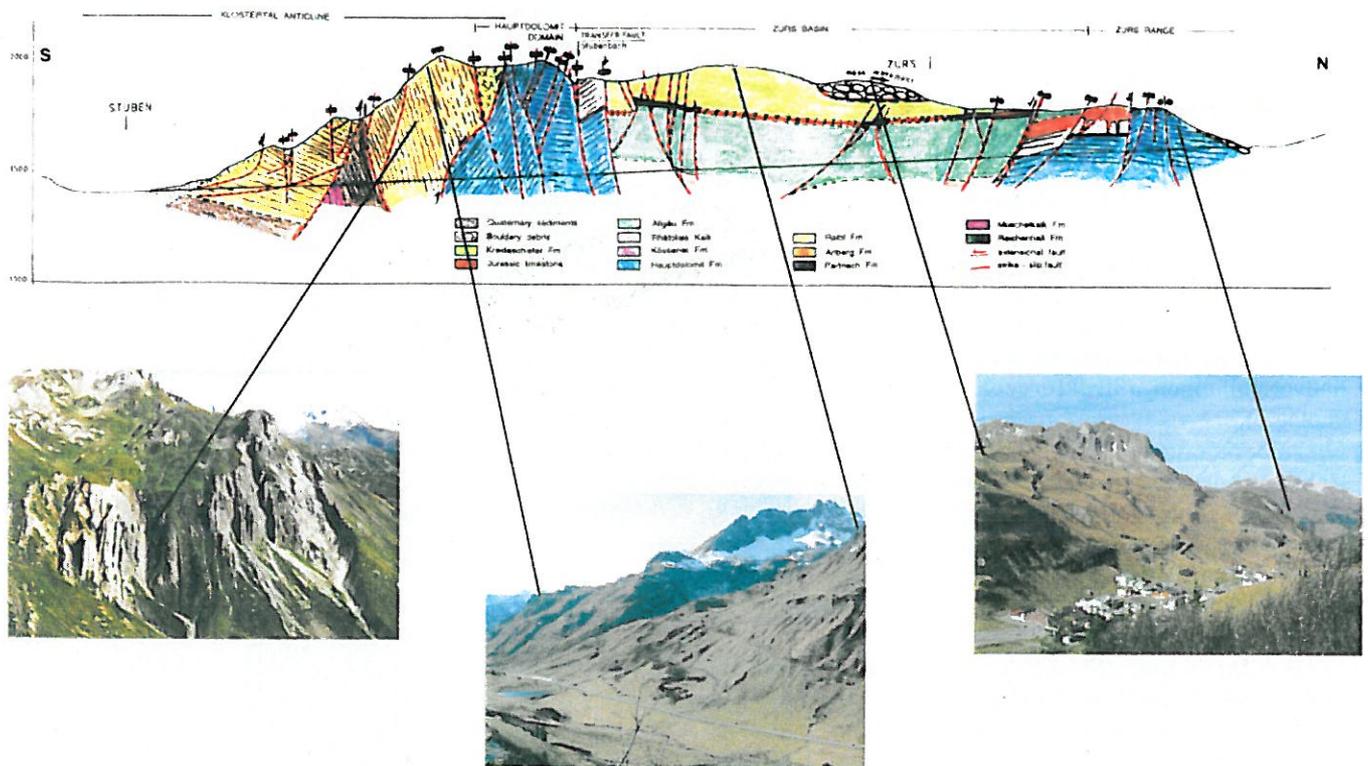
Aus strukturgeologischer Sicht lassen sich entlang dem Trassenkorridor folgende Einheiten abgrenzen (von Süden nach Norden angeordnet, Bilder 6 und 7):

- ◇ Kloistertal-Sattel,
- ◇ Hauptdolomit Liegendsscholle,
- ◇ Stubenbach-Valfagehr-Störungszone,
- ◇ Zürser Schwelle Süd,
- ◇ Zürser-See-Mulde,
- ◇ Zürser Schwelle Nord.

Sowohl baugelogeologische als auch hydrogeologische Faktoren hängen eng mit der strukturgeologischen Auflösung des Untersuchungsraums zusammen. Speziell während der jüngsten kompressiven Phase bildeten sich NW-SE streichende Störungen und im Bereich dextraler Übersprünge NE-SW streichende, lang anhaltende, tiefe und zum Teil weitständige Spalten und Klüfte, deren baubestimmende Eigenschaften als Wasserleiter während des Baus des Blisadonatunnels im Rahmen der Wassereintrüche dokumentiert werden konnten (16) (Bild 8).

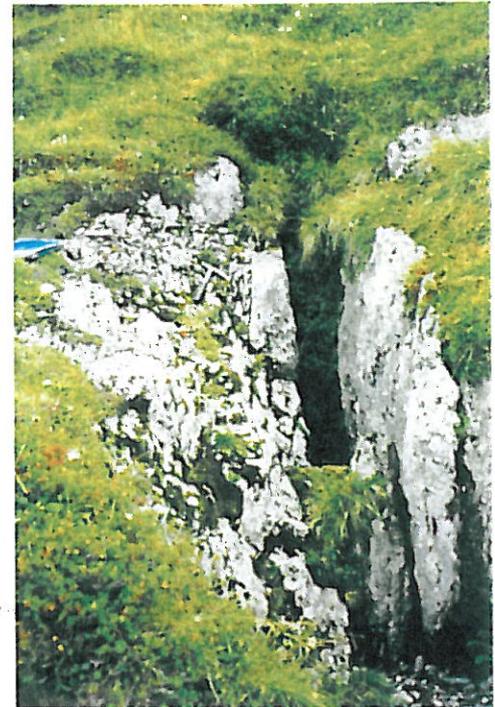
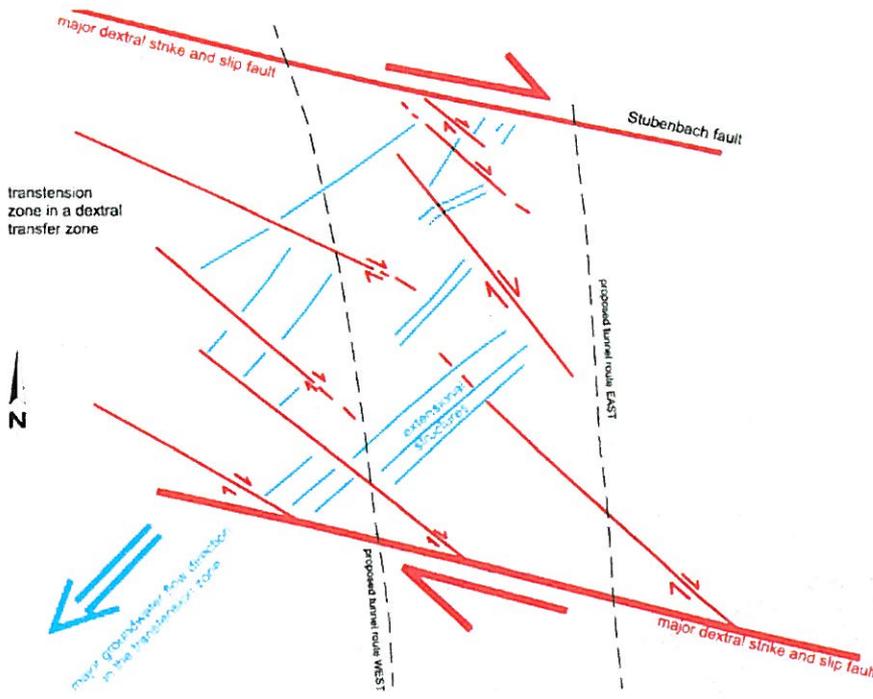
*Erkundungsplanung – Projektstrategische und projektrelevante Fragestellungen*

Hinsichtlich der Fragestellungen an die (hydro-)geologisch-geotechnische Erkundung zur Trassenvorauswahl ist zwischen projektstrategischen und relevanten geologisch-hydrogeologischen Faktoren zu differenzieren, was die Mehrphasigkeit des Erkundungsprogramms mit unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen impliziert.



**Bild 7** Strukturgeologisches Übersichtsprofil im Bereich Erzbergtunnel Trasse Ost.

**Fig. 7** Structural-geological longitudinal section along the Erzberg tunnel (east route) with main structural-geological units. Left: North limb of the Klosterl anticline; middle: Stubenbach fault (incision - middle of figure) separating the "Hauptdolomit" footwall domain (background) from the Zürs basin (foreground); right: northerly section of the Zürs basin with the Zürs range.



NATURGEFAHREN

- ◊ Die strategischen Fragen der Erkundung müssen frühzeitig erkannt werden, da sie die technische und politische Umsetzbarkeit des Projekts betreffen und damit auf ganz grundsätzlichen geologischen Fragestellungen aufsetzen.
- ◊ Projektrelevante geologische Faktoren nehmen Einfluß auf Bauzeit und Baukosten und werden mitunter erst nach Abklärung der strategischen Fragen im Detail offenkundig und erkannt.

Beim Projekt „Variante Erzbergtunnel“ wurde aufbauend auf die Variantenstudie (1) und als Ergebnis der Geländekartierung folgenden Fragen projektstrategische Bedeutung zugeordnet, deren Abklärung mit der ersten Erkundungskampagne 2001 angestrebt wurde:

- Baugeologisch-geotechnische Verhältnisse der Stubenbach-Valfagehr-Störungszone, wobei vordringlich:
  - ◊ Die Breitenentwicklung der Zone im Trassenkorridor im West-Ost-Verlauf und
  - ◊ Der Tiefgang distensiver Zonen sowie
  - ◊ Kenntnisse zur Lithologie im Gradientenbereich (Gipsführung) angesehen wurden.
- Tiefgang und Verlauf von trassenparallelen Blattverschiebungs- und Abschiebungsstrukturen sowie deren hydrogeologische Bedeutung.
- Geologischer Aufbau, Genese und Umrahmung der Zürser-See-Mulde und davon abhängig Tiefgang und Ausmaß der Grundwasserzirkulation und Verkarstung.
- Hydrologische Zusammenhänge zwischen Oberflächengewässern, insbesondere dem Zürser See und den Kluft-/Karstaquiferen.
- Abklärung der Einzugsgebiete und Austrittsmechanismen genutzter und nicht genutzter Quellen sowie Brunnen im Rahmen der hydrogeologischen Erkundung.

Als projektrelevante geologische Faktoren, die teilweise in der Erkundungsphase 1 mitberücksichtigt werden konnten, gelten mit derzeitigem Kenntnisstand:

- ◊ Quartärgeologisch-bodenmechanische Situation im Südportalbereich (Stuben) und
- ◊ Länge der anschließenden Lockermaterialstrecke im Südabschnitt mit grundbauorientierten Detailuntersuchungen sowie
- ◊ Hangtektonische Situation der Felsflanke im Süd- und Nordportalbereich.

Hinsichtlich der Realisierung von Baugrundrisiken ist bezüglich der Bauzeit- und Baukostenentwicklung festzustellen:

- ◊ Die Verschiebung bekannter Risikofaktoren nach Lage und Ausdehnung sowie im geotechnischen Detailanspruch ist allgemein von geringerer Relevanz, wobei aufgrund der Bauwerkslänge auf die Auswertungen nach (18) verwiesen wird.
- ◊ Große Relevanz hinsichtlich der Bauzeit- und Kostenentwicklung kann hingegen gegeben sein, wenn Phänomene auftreten, die dem Grund nach nicht erkannt wurden, die nicht erkennbar waren oder denen nicht ausgewichen werden kann (19).

### Planung und Ausschreibung des Erkundungsprogramms

Das Erkundungskonzept sah die Abwicklung der Bohrkampagne mit nachgestaffelten bodengeophysikalischen Messungen vor. Aufgrund der kurzen zur Verfügung stehenden Geländesaison waren die Bohr-, Meß- und Versuchsarbeiten der ersten Erkundungskampagne auf den Zeitraum Juni bis Oktober/November 2001 eingeschränkt.

Im Rahmen der Ausschreibung der Erkundungsleistungen wurden folgende Grundsätze umgesetzt:

**Bild 8** Bildung hydrogeologisch relevanter Zerrklüfte im Zusammenhang mit einem dextralen Blattverschiebungssystem.

**Fig. 8** Formation of hydrogeologically relevant fractures in connection with a dextral strike-and slip fault zone.



**Bild 9** Erkundung der Stubenbach-Störung mittels Schrägbohrung.

**Fig. 9** Exploration of the Stubenbach fault by inclined drilling.

- ◊ Die Ausschreibung der Bohrleistungen wurde im Sinn der Vertragsfairneß an die Praxis von Tunnelbauausschreibungen angelehnt, was vom Bieter anzugebende und zu garantierende vertragliche Leistungen je „Bohrklasse“ beinhaltet.
- ◊ Damit war eine nachvollziehbare Fortschreibung der Vertragsbauzeit unter Berücksichtigung der Adaption des Bohr- und Versuchsprogramms möglich.
- ◊ Aufgrund des Umfangs der Erkundungsmaßnahmen wurden demgemäß Positionen für die „zeitgebundenen Kosten“ eingeführt.
- ◊ Das Bohrlochversuchsprogramm sowie die Bohrlochgeophysik waren in den Leistungsvertrag des Bohrunternehmers integriert, so daß die gesamte Koordination der Versuchs- und Meßleistungen nach Abruf durch den Gutachter verantwortlich und „schnittstellenfrei“ von der Bauleitung des Bohrunternehmers wahrzunehmen war.
- ◊ Die bodengeophysikalischen Messungen stellen ein getrennt auszuschreibendes Leistungspaket dar, das entsprechend den methodisch differenten Fragestellungen an die Geophysik

in mehrere Planungs- und Ausführungslose gegliedert wurde.

- ◊ Den Bietern wurde ein meßtechnisch ausgearbeitetes Ausschreibungsprojekt Geophysik mit entsprechenden Leistungspositionen zur Verfügung gestellt.
- ◊ Andererseits waren die Fachunternehmen aufgefordert, im Rahmen ihrer Erfahrungen sowie ihrer meßtechnischen Leistungsfähigkeit zielorientiert alternative Lösungen anzubieten.
- ◊ Für die Bestbieterermittlung wurde ein Schlüssel von 65 % für die fachtechnische Qualifikation und 35 % für das preisliche Angebot festgelegt.

Einer strukturgeologisch begründeten Positionierung von Bohrstandpunkten zum Zweck der Verifizierung / Falsifizierung des Gebirgsmodells wurde in der ersten Erkundungsphase einer vordergründig trassenbezogenen Positionierung vorgezogen (Bild 9). Umfang und Methodik des Bohr- und Versuchsprogramms sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Diesem Grundsatz wurde auch bei der Planung des bodengeophysikalischen Meßprogramms entsprochen.

Eine wirtschaftliche und fachliche Optimierung in der Versuchsanordnung und Auswertung wurde durch eine intensive Betreuung der Erkundungsmaßnahmen sichergestellt, wobei die personelle Kontinuität zwischen feldgeologischer Bearbeitung und Erkundungsbetreuung eine wesentliche Voraussetzung darstellte. Bild 10 zeigt auszugsweise Ergebnisse des Versuchsprogramms aus einer Vertikalbohrung im Bereich westlich des Flexenpasses, wo in Kombination mit den Wasserabpreßversuchen die Formationswasserdrücke aufgezeichnet wurden.

Eine wirtschaftliche Betrachtung der ersten Phase des Erkundungsprogramms bestätigt, daß die Kosten des Versuchsprogramms und der Bohrlochgeophysikalischen Untersuchungen bis zu 25 % der Gesamtkosten einer Bohrung betragen. Angesichts der hohen Kosten, die bei fehlenden Versuchsergebnissen für erforderliche zusätzliche Aufschlüsse in späteren Projektphasen anfallen können, ist es daher sinnvoll und not-

**Tabelle 2** Übersicht zum Bohr- und Versuchsprogramm (1. Erkundungskampagne 2001).

**Table 2** Overview drilling and borehole testing program (1st exploration program 2001).

Struktur-geologische Einheit	Bohrung	End-teufe m	SPT	Bohrlochversuche					Bohrlochgeophysik								
				Bohr-loch-auf-wei-tung	Was-ser-ab-preß-ver-such	DST	Auf-füll-ver-suche	Kurz-pump-ver-such	Pegel-pump-ver-such	LF/T log [m]	Y log [m]	Aku-stik log [m]	Tele-view [m]	Struk-tur log [m]	Flow log [m]	Tracer Fluid log Anzahl	
Klostertal-sattel	KL//01	76,1	1	1	1		2	1	1	11							
	KL//02	95,2	4	1	1		3	1	1	16							
Hauptdolomit Liegendsscholle	LE/0/3S (Schräg-bohrung)	250,3		4	5	1			1	137,6	250,3	137,6	50,0	137,6	275,2	1	
Zürser Mulde	LE//01	321,5		7	4	3				774	321,0	244,0	244,0	243,0			
	LE//02	210		4	2	4				157,4	210,0	157,4	157,4	157,4		1	

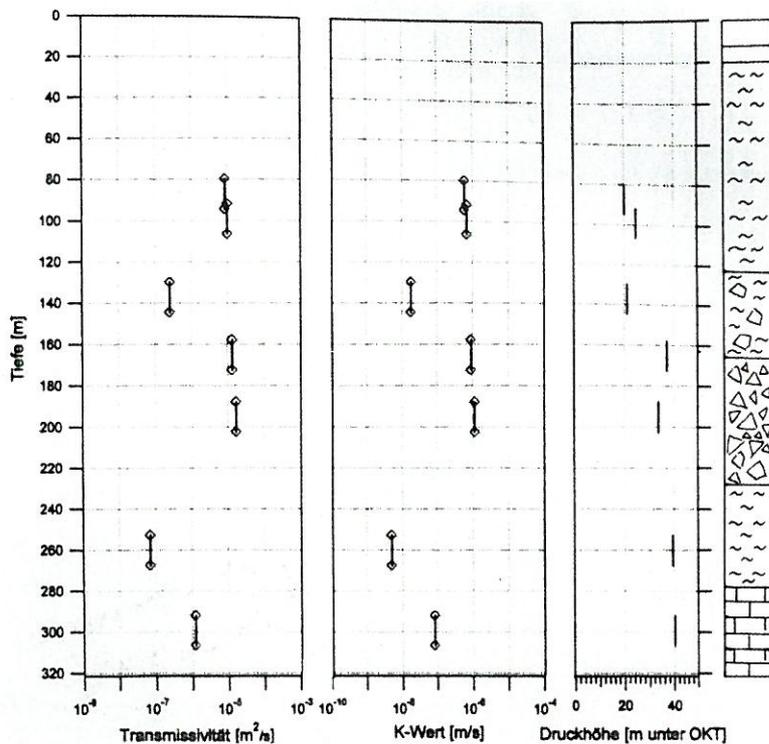
wendig, eine umfassende Versuchsplanung und Ausführung bereits in initialen Erkundungsphasen anzustreben.

Die Zielsetzungen des bodengeophysikalischen Meßprogramms lagen zum einen in einer vertiefenden Abklärung des geologischen Baus in den erkannten „Schlüsselstellen“, wie beispielsweise im Bereich der Hauptdolomit-Liegendscholle, im strukturellen Bau der Zürser-See-Mulde oder im Verlauf des Felsreliefs im Südbereich der Trasse, begründet. Andererseits ermöglichen die beiden orthogonal auf den Trassenkorridor ausgerichteten Hauptprofile im Bereich Flexenpaß und Zürser See eine nachvollziehbare und methodisch gleichwertig abgesicherte Aussage zu möglichen Trassenlagen innerhalb des gesamten Planungsraums. Als vorteilhaft für das Projekt erwies sich die Tatsache, daß seitens des Auftragnehmers Bodengeophysik in der Auswerte- und Interpretationsphase Experten mit umfangreichem Know-how aus vergleichbaren tektonischen Regimen in das Projekt eingebunden werden konnten. Umfang und Methodik des bodengeophysikalischen Meßprogramms sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

### Schlußfolgerungen

Die bisherigen Untersuchungen haben innerhalb des Korridors der „Variante Erzbergtunnel“ zu einem Trassenvorschlag geführt, der die Portal-situationen Süd (westlich Stuben) und Nord (nördlich Zürs) – anknüpfend an die Bestandsbauwerke – weitestgehend als Fixpunkte akzeptiert, während die Trassenführung durch eine Reihe von „Zwangspunkten“ strukturgeologisch-geotechnischer und hydrogeologisch-wasserwirtschaftlicher Natur bestimmt wird. Dazu zählen unter anderem:

- ◇ Der Bereich „Schwarzer Turm“, der im Rahmen der Querung des Klostertal-Sattels aufgrund tiefreichender Dehnungsstrukturen östlich umgangen werden soll. Mit Blick auf das Referenzbauwerk Blisadonatunnel ist die große hydrogeologische Bedeutung dieser Strukturen belegt. Breite und Auflockerungsgrad nehmen gemäß strukturgeologischer Aufnahme und den Ergebnissen der geophysikalischen Untersuchungen in Richtung Osten ab.
- ◇ Der Bereich der Zürser Schwelle, die aus verkarstungsfähigen Formationen besteht, die in Schwellenposition verkarstet sind, in Beckenposition gemäß Erkundungsergebnissen jedoch geringe Verkarstung aufweisen und demgemäß in der gewählten Trassenlage auf Gradientenniveau günstigere hydrogeologische Eigenschaften aufweisen werden.
- ◇ Wasserwirtschaftliche Randbedingungen im Raum Zürs, die durch Karstquellen mit hoher Schüttung und kleineren, aber wasserwirtschaftlich sehr bedeutsamen Quellen mit



**Bild 10** Ergebnisse der hydraulischen Bohrlochversuche in einer Vertikalbohrung.  
**Fig. 10** Results of hydraulic tests in a vertical borehole.

seichten Einzugsgebieten bestimmt sind, wodurch ein nach Westen abgerückter Trassenverlauf gewählt wurde.

Der bisherige Erkundungsablauf hat sich als günstig erwiesen, wobei der Umstand, daß zwei Geländesaisonen für die Feldarbeiten zur Verfügung standen, angesichts der großen Bedeutung der Geländekartierung bei diesem Projekt Beachtung verdient.

Beachtung verdient auch der kombinierte Ansatz der Variantenstudie, bestehend aus einer geologisch-geotechnischen Studie und einer volkswirtschaftlichen Analyse hinsichtlich der Auswirkungen mobilitätshemmender Faktoren auf die Tourismusedwicklung, was einen nachvollziehbaren und wirtschaftlichen Umgang mit der Naturgefahrensituation erleichtert. Dieser Ansatz inkludiert auch, den gesellschaftlichen Anspruch „nachhaltige Lösungen“ anzustreben. „Nachhaltigkeit“ bedeutet, ökonomische, ökolo-

**Tabelle 3** Übersicht zum bodengeophysikalischen Meßprogramm 2001.  
**Table 3** Surface geophysical investigation program 2000.

Struktur-geologische Einheit	Refraktions-Reflexionsseismik			Geoelektrische Multielektrodenmessung		
	Profile	Gesamtlänge [m]	Geophonabstand [m]	Profile	Gesamtlänge [m]	Elektrodenabstand [m]
Klostertalsattel .....	2	1 656	8	1	512	2
Hauptdolomit Liegendscholle .....	2	788	8			
Zürser Mulde .....	3	3 964	8			

gische, gesellschaftliche, soziale und ethische Faktoren zu berücksichtigen, um aktuelle Bedürfnisse ohne Nachteile für künftige Generationen erfüllen zu können (4). Im umfassenden Sinn betrachtet inkludiert dies auch den Straßenausbau im Sinn einer „nachhaltigen Mobilität“ (20), die als ein wichtiger Standortfaktor den langfristigen Erhalt der Lebensgrundlagen der Region absichern hilft.

Die „Variante Erzbergtunnel“ verknüpft in dieser Weise relative baugelologisch-hydrogeologische Vorteile im Vergleich mit anderen Trassenführungen mit verkehrstechnischen Vorzügen, so daß sich auch kostenwirksame Faktoren wie Wartung und Erhaltung sowie indirekte, gesamtwirtschaftlich wirksame Faktoren wie die Verkehrssicherheit oder die Verkehrsbelastung der Umwelt tendenziell günstig auswirken werden.

#### Quellennachweis

1. Bertle, H.: B 198 – Lechtal Bundesstraße Stuben-Zürs; Lawinensicherung Variantenstudie – GU-9913, Nutzen-Kosten-Untersuchung (Generelle geologisch-baugelologische Vorbeurteilung). Unveröffentl. Bericht i.A. des Amtes der Vorarlberger Landesregierung, Abt. VIIb Straßenbau, 1999.
2. Amt der Vorarlberger Landesregierung: Lechtal Straße B 198, Baulos: Stuben-Zürs, Lawinensicherung. Studie, 1998.
3. Holländer, H.: Kunst als Technik – Kunst in der Technik: Die Geschichte einer Begriffsspaltung. In: *Kultur & Technik* 2 (2002), S. 10-15.
4. Broggi, M.F.: Nachhaltigkeit im Spannungsfeld von „Nutzen“ und „Schützen“. In: *Wildbach- und Lawinverbau* (Journal of Torrent, Avalanche, Landslide and Rock Fall Engineering) 143 (2000), S. 7-16.
5. Ayaydin, N. ; Vavrovsky, G.M.: Langzeitverhalten von Felsböschungen. In: *Felsbau* 3 (1985), S. 147-152.
6. Speckle, K. ; Gassner, Ch. ; Strolz, R.: Volkswirtschaftliche Auswirkungen von Straßensperrungen auf das betroffene Tourismusgebiet am Beispiel „Stuben-Zürs-Lech“. Unveröffentl. Bericht des MZSG Managementzentrums St. Gallen i.A. des Amtes der Vorarlberger Landesregierung, Abt. VIIb-Straßenbau, 2000.
7. Kaiser, J.: The Flexen Tunnel – an Alternative to the Intensive Maintenance of the Flexen Alpine Road. In: *Felsbau* 18 (2000), S. 12-16.
8. Tiefenthaler, H.: *Natur und Verkehr auf der Arlberg Westseite*. Innsbrucker Geographische Studien, Bd. 1, Selbstverlag

des Geographischen Instituts der Universität Innsbruck, 1973.

9. Bertle, H. ; Kaiser, J.: *Verkehrsschiene Klostertal: Bau und Erhaltung hochalpiner Verkehrswege als baugelologische Aufgabe*. XIII. Bodenseetagung „Geologie und Verkehrswegbau“ Bregenz (1998), S. 69-73.
10. Brandl, H.: *Risikomanagement und Beobachtungsmethode in der Geotechnik*. 12. Donau-Europäische Konferenz – Geotechnisches Ingenieurwesen, S. 3-16. Essen: Verlag Glückauf, 2002.
11. Waibel, P.: Ziel und Grenzen der Baugrunderkundung. In: *Felsbau* 16 (1998), S. 269-275.
12. Riedmüller, G. et al.: Investigation Strategies for the Design of the Semmering Base Tunnel. In: *Felsbau* 18 (2000), S. 28-36.
13. Matousek, F.: *Prognosesicherheit: die Bedeutung der geologischen Grundlagen*. In: Löw & Wyss (Hrsg.): *Vorerkundung und Prognose der Basistunnel am Gotthard und am Lötschberg*, 303-312. Rotterdam: Balkema, 1999.
14. Doert, U. ; Helmcke, D.: Geologie des Flexen-Passes (Vorarlberg/Österreich). Erläuterung zur geologischen Karte des Flexenpasses 1:25 000. In: *Geologica et Palaeontologica* 10 (1976), S. 181-200.
15. May, Th. ; Eisbacher, G.: Tectonics of the synorogenic "Kreideschiefer basin", northwestern Calcareous Alps, Austria. In: *Ecolgae geol. Helv.* 92 (1999), S. 307-320.
16. Steindorfer, A. ; Vanek, R. ; Pölsler, P.: *Support determination on the basis of rock mass characterisation*. Workshop Rock Mass characterisation for Tunnelling, TU Graz (2000), [www.cis.tugraz.at/geotechnical\\_group](http://www.cis.tugraz.at/geotechnical_group).
17. Riedmüller, G.: The Importance of Geological Field Investigation for the Design of Tunnels. In: *Felsbau* 16 (1998), S. 284-288.
18. John, M.: *Sharing of risks under changed ground conditions in design/build contracts*. World Tunnel Congress '97 Wien, Proceedings (1997), S. 763-768.
19. Zbinden, P. ; Kellenberger, J.: Die projektstrategische Bedeutung der Baugrunderkundung. In: *Felsbau* 16 (1998), S. 313-319.
20. Hechtl, A.: Straßenbau für eine nachhaltige Mobilität. In: *Bautechnik* 78 (2001), S. 579-585.

#### Autoren

Ing. Mag. Dr. Gerhard Poscher, Mag. Msc Ulrich Burger, ILF Beratende Ingenieure ZT GmbH, Framsweg 16, A-6020 Innsbruck, Österreich, E-Mail [gerhard.poscher@ibk.ilf.com](mailto:gerhard.poscher@ibk.ilf.com), [ulli.burger@ibk.ilf.com](mailto:ulli.burger@ibk.ilf.com); Dr. Josef Kaiser, Eisenbahn-Hochleistungsstrecken AG, Vivenotgasse 8-12, A-1120 Wien, Österreich; Hofrat Dipl.-Ing. Gerhard Tauber, Amt der Vorarlberger Landesregierung, Abteilung VIIb Straßenbau, Landhaus, A-6901 Bregenz, Österreich, E-Mail [Gerhard.Tauber@vlr.gv.at](mailto:Gerhard.Tauber@vlr.gv.at)