

magazin

Unabhängiges Fachmagazin für das Bauen in Fels und Boden

Erkundungsprogramm Brenner-Basistunnel

Trassenstudien im östlichen Inntalabschnitt

Von Gerhard Poscher, Stefan Eder, Robert Marschallinger und Christoph Sedlacek

Den trilateralen Vereinbarungen der Verkehrsministerkonferenz von Montreux und Brüssel (1994) sowie der Entscheidung Nr. 884/2004 des Europäischen Parlaments und des Rats vom 29. April 2004 über gemeinschaftliche Leitlinien für den Ausbau eines transeuropäischen Verkehrsnetzes als TEN-Achse Nummer 1 Berlin – Palermo folgend, ist die Leistungsfähigkeit der Eisenbahnachse Brenner auszubauen. Während der 1. Abschnitt im Tiroler Inntal von Kundl/Radfeld bis zur Abzweigstelle Baumkirchen, wo die Umfahrung Innsbruck zur Brennerstrecke beginnt, bereits in Bau ist, steht der 2. Abschnitt östlich von Kundl noch in Planung. Die Notwendigkeit des zeitgerechten Ausbaus der Zulaufstrecken wurde im Memorandum von Wien (10. Juli 2007) bestätigt.

Aufbauend auf der Machbarkeitsstudie der Jahre 1991 bis 1993 (*Bild 1*) war nicht zuletzt aufgrund von Erkenntnissen aus Kernbohrungen, die im Zuge der Planung des 1. Abschnitts zur Absicherung der geplanten Innquerung bei Kundl durchgeführt wurden, eine „Überarbeitung der Machbarkeitsstudie“ geboten.

Zu berücksichtigen ist auch, dass aufgrund der topographischen Randbedingungen auf österreichischem Staatsgebiet der Ausbau östlich von Kundl großteils nur durch Tunnellösungen, Unterflurtrassen und Einhausungen machbar scheint und daher längere Vorlaufzeiten der Planung gegeben sind. Um im Grenzgebiet zu Deutschland Lösungen anzubieten, die eine Fortsetzung der Trassenführung auf deutschem Gebiet ermöglichen, ist der Bereich von der Staatsgrenze bis zur geplanten Verknüpfungsstelle Brannenburg in die Planungen mit entsprechendem Tiefgang einzu beziehen. Zu beachten ist, dass aufgrund der grenznahen Trassenführung auf deutschem Staatsgebiet auch eine Berücksichtigung der Umweltauswirkungen auf österreichischem Gebiet erfolgen muss.

Die Abwicklung des Auftrags zur „Überarbeitung der Machbarkeits-

Erkundungsprogramm Brenner-Basistunnel

Trassenstudien im östlichen Inntalabschnitt

Der 2. Abschnitt des Eisenbahnausbaus Brenner-Basistunnel östlich von Kundl befindet sich noch in der Planung. Es wurde ein Erkundungsprogramm konzipiert, das neben klassischen feldgeologischen Kartierungen einen mehrstufigen Einsatz bodengeophysikalischer Verfahren und Erkundungsbohrungen vorsah. Auch mussten Erkenntnisse des potenziellen Gasvorkommens erarbeitet werden. Als Ergebnis können aufgrund der Verbreitung der Bergsturzablagerungen, des Felsreliefs und der Lage übertiefer Lockermaterialrinnen Vorteile für Inntal-nahe Tunnellösungen festgestellt werden.

studie“ wurde seitens der Brenner Eisenbahn GmbH im Herbst 2005 der Arbeitsgemeinschaft ILF Beratende Ingenieure – ZT-Büro Dr. Poscher übertragen und ist in mehrere Leistungsphasen gegliedert. Ziel ist die Auswahl jener Trasse oder Trassen, die den nachfolgenden Planungsphasen (UVE-Planung in Österreich) zugrunde gelegt werden sollen (*Bild 2*). Der Planungsraum in Österreich umfasst die Talflur und die Mittelgebirgs- und Gebirgsbereiche des Inntales beider Talflanken, mit Erkundungsschwerpunkten an Schlüsselstellen wie im Bereich Unterangerberg, im Abschnitt Thiersee-Kufstein sowie im Raum Kirchbichl-Bad Häring bezüglich südlicher Trassenalternativen.

Den Ergebnissen der Machbarkeitsstudie 1993 in den Planfällen 1 und 2 folgend wurde ein Projekt- raum definiert, der eine innere Grenze und eine äußere Grenze aufweist (*Bild 1*).

Der äußere Projektraum ist jener, in dem vor allem Auswirkungen auf die Umwelt zu betrachten sind. Der innere Projektraum umschreibt jenen Bereich, in dem mit einer möglichen Trasse zu rechnen sein wird. Der Projektraum mit seiner inneren und äußeren Abgrenzung umfasst den Bereich von Brannenburg bis Radfeld.

Die Kartierungs- und Bodenerkundungsarbeiten wurden aufbauend auf einer umfassenden Grundlagenstudie, beginnend mit Detailkartierungen und bodengeophysikalischen Untersuchungen im April 2006 gestartet, Feldarbeiten, Kernbohrungen und die 2. Phase Bodengeophysik wurden 2007



Dr.-Ing. *Gerhard Poscher*,
Mag. *Stefan Eder*,
Univ.-Doz. Dr. *Robert Marschallinger* und
Mag. *Christoph Sedlacek*.

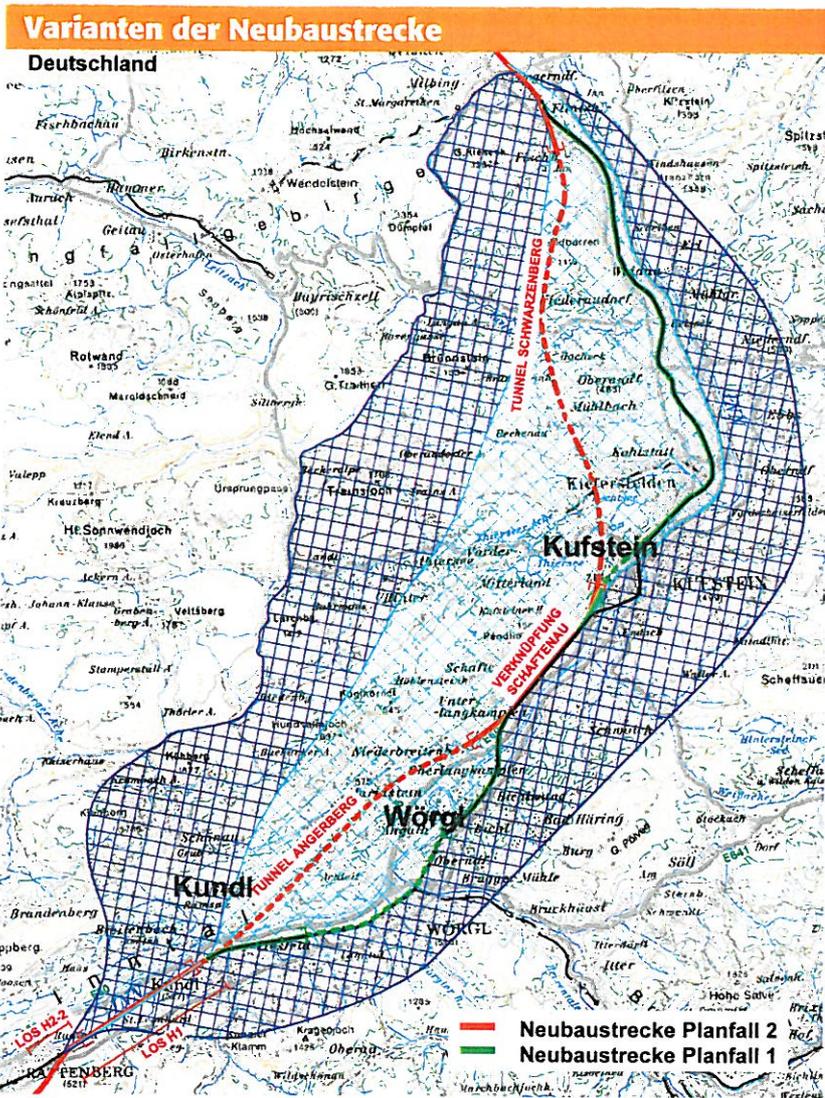


Bild 1. Lösungsansätze im Korridor Ost (Inntal) aus der Machbarkeitsstudie 1993.

Bearbeitungskonzept



Bild 2. Bearbeitungskonzept für die Trassenvarianten.

abgeschlossen. Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse erfolgt eine Aktualisierung und Eingrenzung der Trassenvarianten.

Geologischer Rahmen und Erkundungskonzept

Der Projektraum ist durch vier geologische Baueinheiten charakterisiert:

- Kalkalpen der Talflanken, denen abschnittsweise
- tertiäre inneralpine Molassesedimente vorgelagert sind, deren Erosionsrelief
- von teilweise mächtigen quartären Lockersedimenten und Bergsturzablagerungen verfüllt ist.
- Nachglaziale Sedimente des Innals prägen die Talflur des Innals.

Eine erste Erkundungsphase mit direkten Aufschlussmethoden (Kernbohrungen) und bodengeophysikalischen Messungen wurde im Zeitraum Januar bis Dezember 1996 zur Erkundung der Untergrundverhältnisse im Bereich der 1995 geplanten Innquerung abgeteufelt.

Die zur Absicherung der Lage der Innquerung in der Phase der Baueinreichplanung des ersten Abschnitts 1998/1999 ausgeführten Bohrungen lieferten im Bereich des Unterangerbergs erste Hinweise auf mächtige quartäre Lockersedimente statt der erwarteten Tertiärgesteine und auf Erdgasführung des Gebirges in relevanter Größenordnung. Diesen Erkenntnissen zufolge wurden Planung und Bauausführung der Innquerung Kundl in den 2. Abschnitt verschoben.

Im Rahmen der gegenständlichen Überarbeitung der Machbarkeitsstudie wurde daher ein Erkundungsprogramm konzipiert, welches neben klassischen feldgeologischen Kartierungen einen mehrstufigen Einsatz bodengeophysikalischer Verfahren und Erkundungsbohrungen mit Versuchsprogrammen vorsah. Das Erkundungsprogramm (Bild 3) umfasste jeweils aufbauend auf Kartierungsergebnissen in mehreren Phasen rund 54 km hochauflösende Hybridseismik und rund

3500 Laufmeter Kernbohrungen mit einem umfassenden Bohrlochversuchsprogramm und konzentrierte sich auf drei Bereiche:

- Östlicher Oberangerberg und Unterangerberg mit den Erkundungsschwerpunkten tertiäre Felsreliefs, Internbau der Lockersedimente sowie Erdgas- und Grundwassersituation.

- Bereich Thierberg – Hechtsee nordwestlich Kufsteins mit den Schwerpunkten der Klärung des kalkalpinen Gebirgsbaus, der Klärung der hydrogeologischen Verhältnisse unter Berücksichtigung möglicher Zusammenhänge mit den Kufsteiner Seen und Fragen der Verkarstung.

- Bereich Kirchbichl – Bad Häring mit Schwerpunkten der Klärung des Felsreliefs des tertiären Mittelgebirgssockels mit Bezug zu den nach wie vor im Schmelbrand stehenden Kohlenbergbauen und der Erdgasvorkommen sowie hinsichtlich grundsätzlicher hydrogeologischer Fragestellungen.

Eine Anzahl von Bohrungen wurde zu Grundwassermessstellen und Gasmessstellen ausgebaut. Für die Charakterisierung der Sedimente des Inn­tals wurde mit Rücksicht auf die gegenständliche Planungsphase mit dokumentierten Bestandsaufschlüssen das Auslangen gefunden beziehungsweise auf das Bestandsnetz an Grundwassermessstellen zurückgegriffen.

Geologische Verhältnisse und Konfliktzonen

Kalkalpine Sedimentgesteine

Die nördlich des Inn­tals talparallel verlaufende Antiklinalstruktur des Guffert-Pendling Gewölbes besitzt einen Kern aus Kalken und Dolomiten der Wetterstein-Formation, weitestgehend deformierte und stark reduzierte Vorkommen der Raibl-Gruppe und einen Mantel aus Hauptdolomit mit tektonisch eingesenkten Schollen von Dachsteinkalk (Thierbergkalk). Westlich von Kufstein wird der Faltenkern durch die Inn­talstörung abgeschnitten [1, 2, 3].

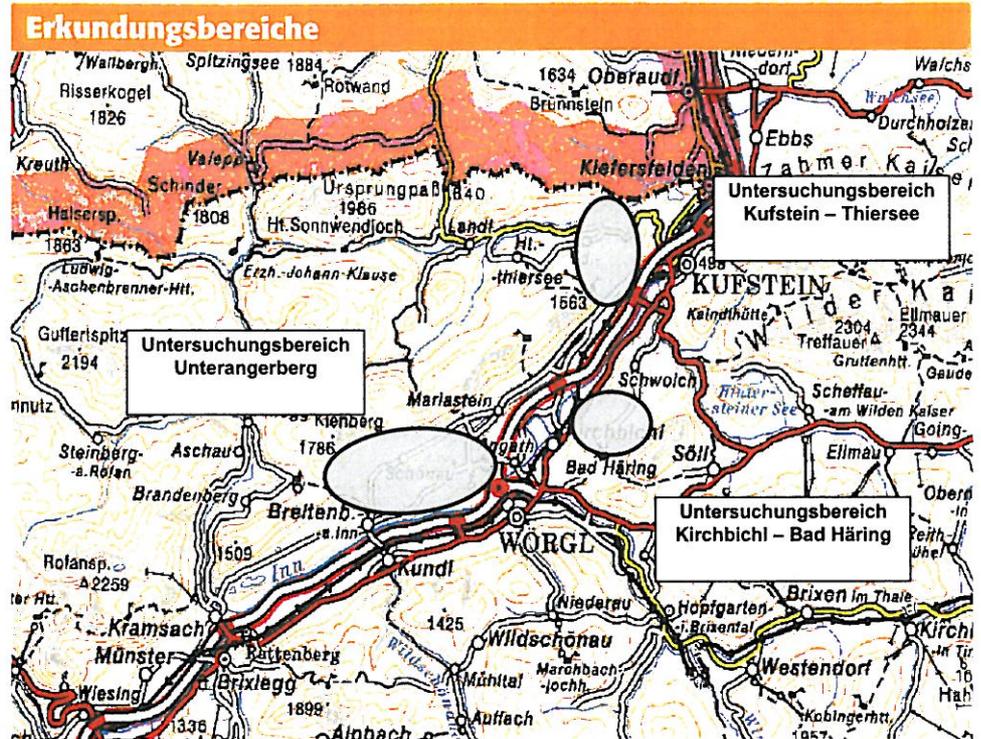


Bild 3. Übersicht Erkundungsbereiche.

Nördlich von Kufstein ist die äußerst komplex gebaute Marbling-Thierberg-Scholle entwickelt, die aus zum Teil kataklastischem Hauptdolomit, Dachsteinkalk und Gosaubreccien besteht. Nach Norden folgen stratigraphisch über dem Hauptdolomit jurassische Gesteinsformationen. Die gesamte Scholle ist im Norden (Bereich Kieferbach) auf Konglomerate und Sandsteine der Gosau aufgeschoben.

Für das Kalkalpin sind folgende bautechnisch-geotechnischen Konfliktpotenziale maßgeblich:

- Kluftgrundwasserführung mit hohen Wasserdrücken – im Bereich der Kufsteiner Seen teilweise mit hydraulischen Druckniveaus, die auf einen möglichen Konnex zu Oberflächengewässern hinweisen.
- Verkarstung mit geotechnisch relevanter Hohlrumbaue und Wasserführung, hauptsächlich im Wettersteinkalk.
- Störungszonen und Vorkommen von Evaporiten.
- Methangasführung, die auch im Hauptdolomit auftreten kann.

Tertiäre Sedimente

Im Projektgebiet gilt ein Auftreten von Tertiär (Eozän bis Oligozän) am Oberangerberg, Unterangerberg, im Raum Kufstein und im Bereich Mühlbach als gesichert [4, 5, 6]. Rechts des Inns sind die Tertiärvorkommen von Bad Häring, welche die aufgelassenen Kohlenbergbaue umfassen, zu nennen [7].

Durch Transgression im Unteroligozän über schon verfaltete und erosiv bis zum Hauptdolomit angeschnittene Einheiten der Nördlichen Kalkalpen kam es zu einem fjordähnlichen Eindringen des Meeres in den Unterinntaler Raum. Die Faziesverteilung des Unterinntaler Tertiärs wurde durch die starke Differenzierung des Ablagerungsraums in Horst- und Grabenstrukturen bestimmt [8, 9, 10]. An den Beckenrändern wurden grobklastische Breccien und Konglomerate aus lokalem Anstehendem geschüttet, während die Sedimente im Bereich Bad Häring bereits limnofluviatiler Natur und im Bereich Kössen schon marinen Ursprungs sind. Basiskonglomerate verzahnen gegen die Beckenmitte hin mit laminierten, bituminösen

Mergeln und Karbonatsandsteinen, die an der Basis jenes Kohlenflözes führen, das in Bad Häring bis zum Jahr 1954 abgebaut worden ist.

Nach oben hin dominiert siliziklastischer Eintrag, der schließlich in eine Wechsellagerung feinklastischer, sandig-siltig-mergeliger turbiditischer Sedimente übergeht (Unterangerberg-Formation).

Im Trassenverlauf dominieren im Bereich der Angerbergterrasse Schichten der Unterangerberg-Formation, welche nach Norden von Karbonateinheiten des kalkalpinen Grundgebirges begrenzt werden. Oberangerberger Schichten treten im Projektgebiet nur unmittelbar östlich des Oberangerbergs auf.

Für die tertiären Mittelgebirgsterrassen sind folgende bautechnisch-geotechnischen Konfliktpotenziale maßgeblich:

- Geotechnische Eigenschaften der tertiären Sedimente (veränderlich – feste Gesteine) mit erheblichem Quellpotenzial zufolge Montmorillonitführung.
- Erosionsrelief der Tertiäroberfläche mit Lockermaterialgefüllten Rinnen, die unter Talsohlniveau des Innals reichen.
- Erdgasführung.
- Bergbauanlagen zufolge Kohlenbergbau (Schwelbrände) im Bereich Kirchbichl-Bad Häring.

Quartäre Sedimente im Bereich des Unterangerbergs beziehungsweise der Mittelgebirgsterrassen

Der zentrale Bereich des Unterangerbergs wird aus bis zu mehreren 100 Metern mächtigen quartären Kies-Sand-Schluff-Wechsellagerungen aufgebaut, welche dem Grundgebirge in Rinnen auflagern und sowohl grobkörnige (Typus Terrassenschotter) als auch feinkörnige Ablagerungen (Schluffe mit Sandlagen) sowie Grundmoränen umfassen.

Als Besonderheit im Bereich des Angerbergs sind großflächige und 10er-Meter mächtige Bergsturzablagerungsbereiche zu nennen. Es handelt sich dabei um den Bergsturz von Maria Stein im Nord-Osten und um den sogenannten Butterbichl im Südwesten des Angerbergs, die bislang als anstehende Katakasite angesprochen wurden. Im Zuge der Kernbohrungen wurden im Liegenden der Karbonatmassen Lockerseimente aufgeschlossen.

Für die quartären Sedimente im Bereich der Mittelgebirgsterrassen sind neben bautechnisch-geotechnischen Konfliktpotenzialen auch wasserwirtschaftliche Konfliktpotenziale wie folgt gegeben:

- Bergsturzablagerungen innerhalb des Angerbergs mit rolligen Lockergesteinseigenschaften und hohen Durchlässigkeiten.
- Sedimentologischer Internbau des Lockermaterials auf der Tertiäroberfläche mit feinklastischen wassergesättigten schluffig-sandigen Horizonten.
- Während die Angerbergterrasse wasserwirtschaftlich geringe Bedeutung aufweist, stellt das Gebiet um die Heilquelle von Bad Häring einen sensiblen Bereich dar.

Quartäre Sedimente der Talflur

Die Sedimente der Talfüllung des Innals wurden nacheiszeitlich sedimentiert und sind durch eine Fülle von Erosions- und Akkumulationsphasen charakterisiert, was sich in einer hohen Variabilität der Ablagerungen äußert. In Phasen des Staus durch laterale Schwemmfächer haben sich temporär auch la-

kustrine Sedimente gebildet. In den quartären Sedimenten des Innals sind mehrere Grundwasserhorizonte ausgebildet. Die Sohle des obersten Grundwasserstockwerks wird von lakustrinen Sedimenten und Prodeltasedimenten (Braunsande) gebildet.

Das maßgebliche Konfliktpotenzial ist wasserwirtschaftlicher Natur, denn das Innal stellt den am intensivsten genutzten Grundwasserkörper Tirols dar [11].

Gasführung in den tertiären Sedimentgesteinen des Unterangerbergs

Gasführendes Gebirge stellt im Berg- und Tunnelbau einen grundsätzlichen Risikofaktor dar. In Österreich wurden bislang verhältnismäßig wenige Gasvorkommen in Vortrieben im Detail untersucht. Schlagwetterexplosionen sind unter anderem vom Karawanken-Eisenbahntunnel (1904), dem Bosruck-Eisenbahntunnel (1905) und dem Schneealpenstollen (1968) bekannt geworden.

Bei keinem der jüngeren Bauvorhaben innerhalb der Molassezone – Siebertunnel, Lambacher Tunnel und Römerbergtunnel – entlang der Westbahn wurden Gasvorkommen als vortriebskritisch erkannt. In der Planung der ebenfalls in der Molassezone befindlichen Tunnelkette Perschlingtal wurde die Gasgefährdung sogar weitestgehend ausgeschlossen. Lediglich vom Vortrieb des Pfändertunnels (1. Röhre) sind Gasvorkommen dokumentiert.

Derzeit laufende beziehungsweise kürzlich abgeschlossene Vortriebe im Flysch – Umfahrung Grünburg, Umfahrung Henndorf als auch der Wienerwaldtunnel der Neubaustrecke Wien/St. Pölten – zeigen keine relevanten Gaszutritte, weder aus der Erkundung noch aus dem Vortrieb.

Eine gänzlich andere Situation liegt in der Schweiz vor. Hier existieren mannigfaltige Erfahrungen, und die Position eines Gasexperten ist in der Planung und Ausführung

Gasbohrung



Bild 4. Bohranlage einer Gasbohrung mit Spülbecken und Messcontainer.

von Felshohlräumbauten Standard. Ein Grund liegt darin, dass die geologischen Einheiten – Molasse, Helvetikum und Flyschzone – mit den häufigsten Gasvorkommen in der Schweiz vielfach Gegenstand von Tunnelbauprojekten waren, in Österreich hingegen bislang nur in geringerem Umfang. Somit wurden für das vorliegende Projekt wesentliche Erfahrungen zum Umgang mit gasführendem Gebirge aus Bauvorhaben in der Schweiz herangezogen.

Die bis zum Beginn der Erkundungskampagne 2006 am Angerberg vorliegenden Unterlagen waren bezüglich der Herkunft der bei der BEG-Bohrkampagne im Jahr 1999 erstmals angetroffenen Methangasvorkommen widersprüchlich, da anfänglich auch kalkalpine und quartäre Potenziale in Erwägung gezogen wurden.

Für die Festlegung der Maßnahmen eines Tunnelvortriebs waren weitere Erkenntnisse des potenziellen Gasvorkommens zu erarbeiten, die eine Einstufung der Gasgefahr ermöglichen. Hinsichtlich der Gasführung des Gebirges wurden folgende Erkundungsziele im Zuge der Planung der Bohrkampagne definiert:

- Prognose der Verbreitung der Erdgasvorkommen.
- Abklärung der maßgeblichen Mutter- und Reservoirgesteine, der Migrationswege.
- Klärung, inwieweit Grundwasserführung und aufliegende Quartärsedimente den Entgasungsprozess beeinflussen.

Für den Arbeitsablauf bei den Bohrungen im Bereich Unterangerberg wurden unter Einbindung eines Schweizer Gasexperten aufgrund der zu erwartenden Gasgemische unter anderem folgende Sicherheitsvorkehrungen und messtechnischen Vorgaben getroffen (Bild 4):

- Die Bohrungen wurden als Spülbohrungen mit kontinuierlicher Gasmessung in den Spülbecken durchgeführt. Neben Polymeraspülungen war der Einsatz von Schwerspülung (Bentonit) oder Antisolspülungen vorzusehen.

- Zusätzlich wurden kontinuierliche Messungen am Bohrlochmund und Einzelmessungen im Bohrloch mittels Messsonde vorgesehen; das vor Ort eingesetzte Personal war mit Gasdetektoren auszustatten.
- Im Fall von Erdgaszutritten, die mittels Spülsaflast nicht beherrscht werden konnten, war die Umstellung auf Preventer-gesichertes Bohren sicherzustellen.
- Bei Feststellung von 1 Vol-% Methan bestand Meldepflicht, bei 2 Vol-% Methan wurde der Alarmpunkt erreicht und die Arbeiten mussten eingestellt und die „Gaskommission“ informiert werden.
- Für eine Verdünnung des Gasgemischs am Bohrlochmund war ein Zwangsbelüfter mit Lutte, für plötzlich auftretende Spülverluste war

ein entsprechender Reservetank vorzuhalten.

- Sicherheitsbesprechungen der „Gaskommission“ wurden nach Erfordernis abgehalten und dienten dazu, unter Anwendung des SiGe-Plans vorausschauend die möglichen Gefahren zu erkennen und vorbeugend entgegenzuwirken.

Es wurden Gaspacker-tests durchgeführt und Gasproben gezogen. Die Analysen zeigen, dass fast ausschließlich Methangas mit geringen Anteilen an Ethan und Kohlendioxid vorliegt (Bild 5). Aufgrund des Verhaltens der Gasdrücke, das durch Gaspacker-Tests ermittelt wurde, wird einerseits ein langsam fortschreitendes Entgasungspotenzial erwartet, andererseits wurden auch Hinweise für ein relativ

Gaskonzentration

Projekt		Angerberg - Kufstein	
Bohrung		P-KB 05/06	
Datum		09.10.06	
Durchmesser	2r	[m]	0.146
Intervall	von	[m]	58.00
Intervall	bis	[m]	110.00

Setzen Packer	09.10.06	15:10
Beginn Wasserabsenkung durch Pumpe	09.10.06	15:15
Feststellung Methangasaustritt	09.10.06	15:29
Gasprobe 1	09.10.06	15:41
Gasprobe 2	09.10.06	15:49
Gasprobe 3	09.10.06	16:20
Ende Wasserabsenkung durch Pumpe	09.10.06	16:22
Lösen Packer	09.10.06	16:39

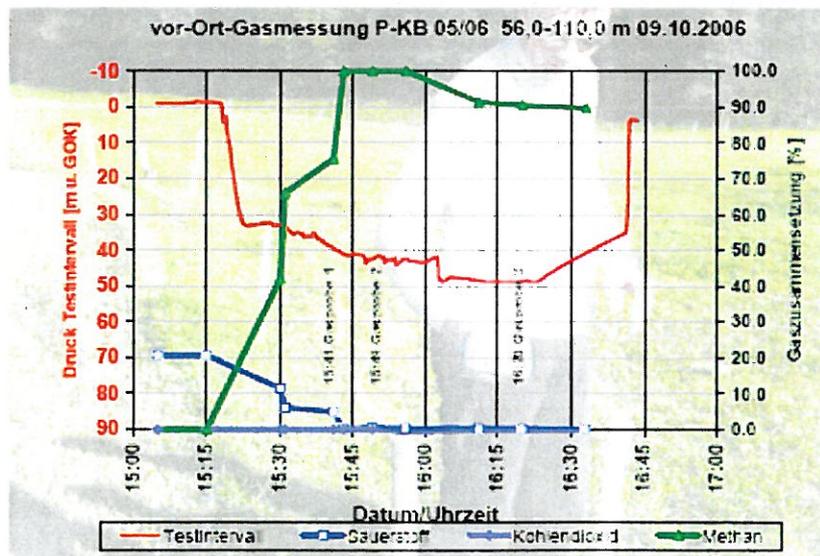


Bild 5. Packertest mit Gasprobennahme – Gaskonzentration im Testintervall.

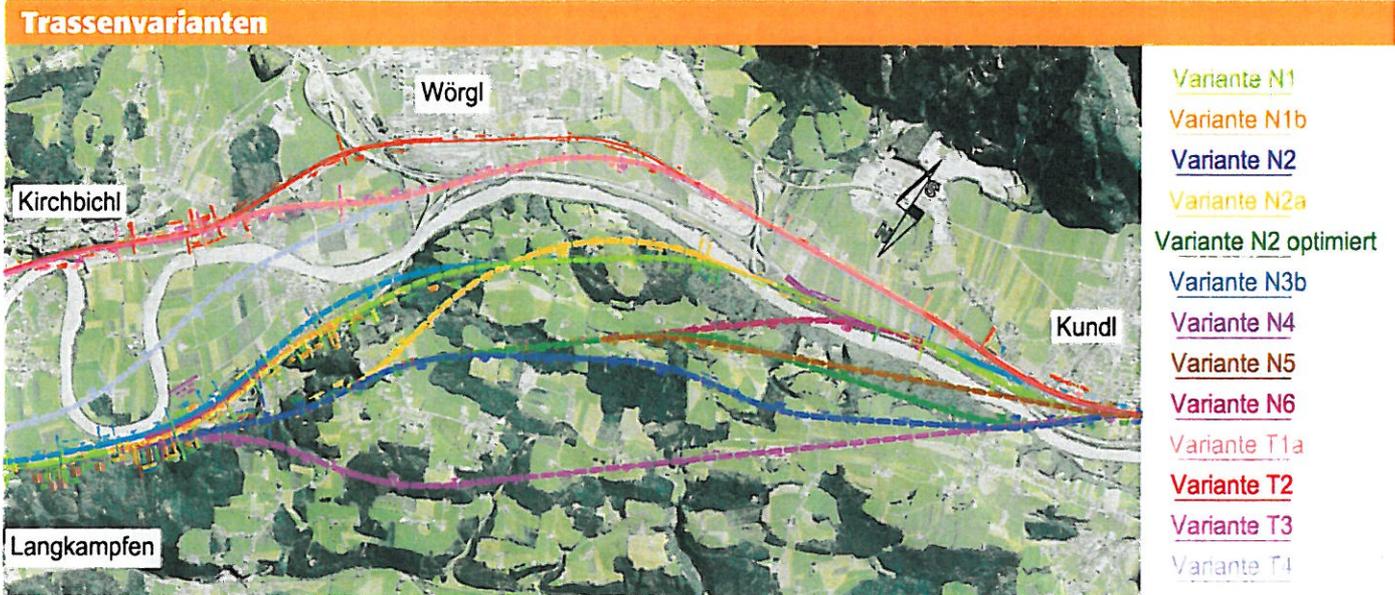


Bild 6. Trassenvarianten im Bereich des Unterangerbergs.

schnelles, druckloses Entgasen vorgefunden. Gasführung wurde hauptsächlich in den Unterangerberger-Schichten angetroffen, untergeordnet auch in aufliegenden quartären Ablagerungen.

Eine wesentliche Erkenntnis ist, dass im Unterangerberg großräumig mit Gas zu rechnen ist und da-

her hinsichtlich der Variantenentscheidung die Trassen im zentralen Angerberg und im Nahbereich zum Inntal in dieser Hinsicht gleich zu bewerten sind, da das Gas nicht an die Quartärrinnen gebunden ist und sowohl in Inntal-nahen als auch Inntal-fernen Teilen des Angerbergs angetroffen wurde.

Der Bau eines Eisenbahntunnels ist angesichts der Erfahrungen aus der Schweiz bei vergleichbaren Gasvorkommen und entsprechend den Beispielen aus dem Bergbau unter Berücksichtigung eines entsprechenden Belüftungskonzepts machbar. Unter Berücksichtigung von Sicherheitssystemen (Schächte) ist im Vergleich mit Referenzprojekten der Betrieb eines Eisenbahntunnels möglich.

Geostatistische Schätzung

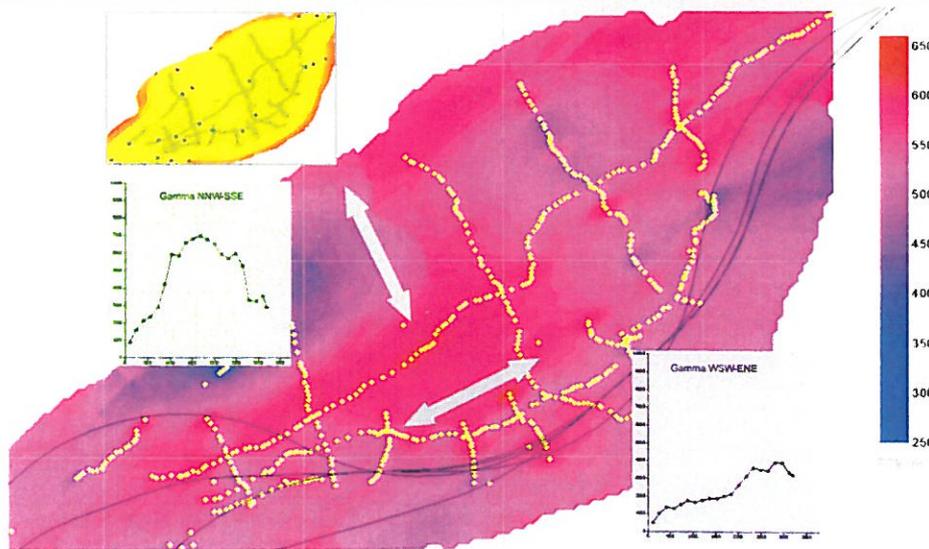


Bild 7. Geostatistische Schätzung (Kriging) der wahrscheinlichsten Höhenlage der Festgestein-Oberkante im Bereich Unterangerberg (Hauptgrafik farbhöhenzonierte von Blau bis Rot).

Felsrelief im Bereich des Unterangerbergs – 3-D-Modellierung

Wesentliche Erkenntnisse aus der Bodenerkundung betreffen die Verbreitung von Bergsturzablagerungen innerhalb des Angerbergs, die bislang als anstehende Kataklastite interpretiert wurden und die mittels 3-D-Modellierung generierte Morphologie des Felsreliefs mit überfluteten glazialmorphologisch überprägten Tiefenrinnen. Aufgrund der Verbreitung der Bergsturzablagerungen, dem Felsrelief und der Lage überfluteter Lockermaterialrinnen ergeben sich Vorteile für Inntal-nahe Tunnellösungen gegenüber tiefliegenden Tunneltrassen (Bild 6).

Um ein quantitatives Hilfsmittel für die Trassenplanung zur

Verfügung zu stellen, wurde die Festgesteins-Oberkante im Bereich Angerberg als CAD-basiertes Volumenmodell abgebildet. Es standen folgende Gruppen von Eingangsdaten zur Verfügung: Bohrungen, hybridseismische Profile und geologische Oberflächenkartierung (Verlauf der Festgestein-Oberkante im Gelände). Diese Gruppen weisen deutlich unterschiedliche geometrische und klassifikatorische Präzision auf (allgemein: Bohrung > Kartierung >> Seismik). Um aus diesen heterogenen Eingangsdaten auf nachvollziehbarer Basis ein homogenes 3-D-Modell der Festgesteins-Oberkante zu erstellen, wurden geostatistische Verfahren (Kriging, External Drift Kriging) herangezogen [12]. Im Gegensatz zu anderen Interpolationsverfahren (zum Beispiel: Inverse Distanzen, Minimalkrümmungsalgorithmen, Triangulation) liefert Kriging nicht

nur Schätzwerte – hier in Form eines Rastermodells mit Höhen der Festgestein-Oberkante – sondern auch die mit den Schätzwerten verbundene Aussagesicherheit in Form von Kriging-Standardabweichungen.

Dazu wird dem Kriging – Schätzverfahren eine räumliche Analyse, die Variographie vorgeschaltet, welche die räumliche Charakteristik der Eingangsdaten quantitativ beschreibt. Im Bereich Angerberg weist die Variographie auf starke Anisotropien des Verlaufs der Festgesteinsoberkante hin. Während sich im WSW-ENE Richtungsvariogramm ein eher kontinuierlicher Verlauf andeutet, zeigt sich im NNW-SSE Richtungsvariogramm eine deutliche Abfolge von Rücken und Tälern (Bild 7). Diese, lediglich aus der geostatistischen Datenanalyse abgeleitete Aussage, deckt sich mit der geologisch-

geophysikalischen Prognose einer morphologischen Gliederung der Festgestein-Oberkante durch WSW-ENE streichende Rücken. Unter Berücksichtigung der besprochenen Anisotropie ergeben sich für die Kriging-Schätzungen lokale Standardabweichungen im Bereich von 5 bis 40 m, abhängig von der Lage der Schätzwerte relativ zur Lage der Eingangsdaten (Bild 7).

Die Kriging-Standardabweichung kann an jedem Schätzwert als lokales Vertrauensintervall um die wahrscheinliche Höhe interpretiert werden. Wird dieses Vertrauensintervall vom einzelnen Rasterpunkt auf das gesamte Untersuchungsgebiet verallgemeinert, ergibt sich ein Vertrauensvolumen, das zwischen den Flächen wahrscheinliche Lage der Festgesteins-Oberkante \pm Kriging-Standardabweichung liegt (Bild 8). Dieses Vertrauensvo-

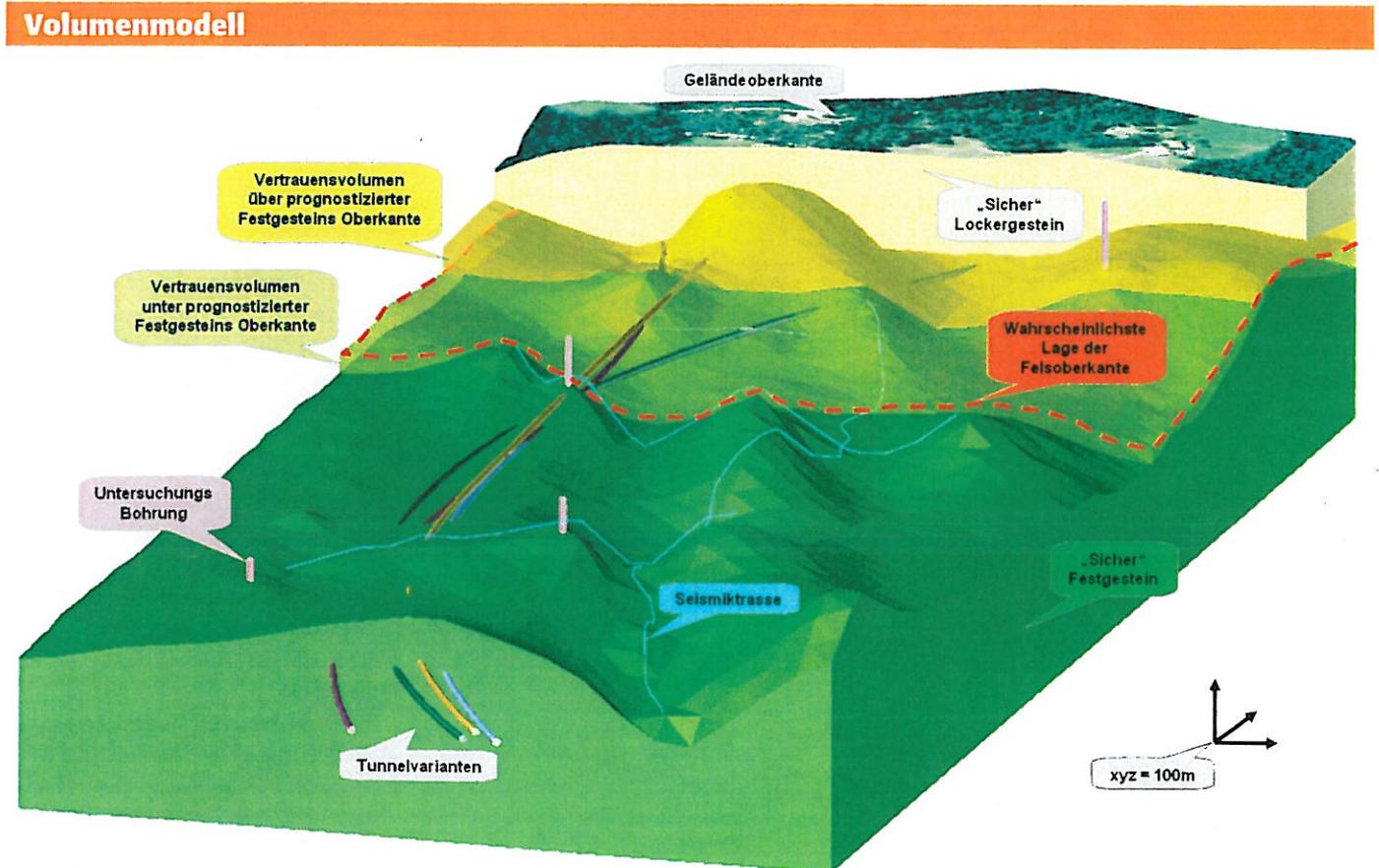


Bild 8. Volumenmodell – geostatistische Bearbeitung der Festgesteinsoberkante Unterangerberg.

Hauptziele

VERKEHR
+
TECHNIK

Suche nach einer technisch und betrieblich optimierten Hochleistungstrasse

RAUM
+
UMWELT

Suche nach einer Hochleistungstrasse mit möglichst geringen Beeinträchtigungen der Raum- und Nutzungsansprüche sowie der Umweltressourcen

KOSTEN
+
RISIKEN

Suche nach einer Hochleistungstrasse mit möglichst geringen Errichtungs- und Betriebskosten und Minimierung der Risiken

Bild 9. Hauptziele der zu beurteilenden Fachbereiche.

lumen – eigentlich ein Wahrscheinlichkeitsraum – konnte nun als AutoCAD Volumenmodell dargestellt, an die Tunnelplaner übermittelt und über boole'sche Operationen mit den geplanten Tunnelvarianten in räumliche Beziehung gesetzt werden. Ein derartiges 3-D-Modell der Festgesteins-Oberkante ist als quantitatives Hilfsmittel bei der Trassenfindung anzusehen.

Beurteilungsmethodik und Variantenauswahl

Ein verkehrspolitisches Ziel, wie die Festlegung einer Hochleistungseisenbahnstrecke, kann über mehrere Maßnahmen (Trassen) erreicht werden. Dadurch sind die Entscheidungsträger angehalten, unterschiedliche Auswirkungen der Trassen auf Betreiber, Verkehrsteilnehmer, Anrainer, die Umwelt und sonstige Betroffene zu erfassen, zu beurteilen sowie unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit den Kosten der Trassen gegenüberzustellen.

Die methodische Konzeption des Trassenauswahlverfahrens berücksichtigt folgende Punkte:

- Aufbau auf bewährten Methodik-elementen aus bereits durchgeführten Verkehrsinfrastrukturprojekten und Integration der dabei gewonnenen Erfahrungen.
- Abstimmung auf die spezifischen Rahmenbedingungen des Projekts „Brannenburger – Kundl / Radfeld“.

Ziel ist es, auf dieser Basis ein akzeptiertes Vorgehen zum Trassenauswahlverfahren als Grundlage für die weiteren Planungs- und Genehmigungsschritte mit den Entscheidungsträgern zu erreichen.

Für die im gegenständlichen Projekt enthaltenen drei Fachbereiche gelten die in *Bild 9* dargestellten Hauptziele.

Eine objektive Vorgehensweise erfordert bei der Normierung eine besondere Beachtung der Nachvollziehbarkeit, insbesondere bei der Normierung verbaler Beurteilungen. Aus diesem Grund ist für jedes Teilkriterium ein auf einem Beurteilungsraster aufbauendes

Beurteilungstabelle						
Beurteilungaspekt / Fachgebiet	Themenbereich / Hauptkriterium	FACHLICHE BEURTEILUNG			TRASSENVARIAN	
		NORD2	SÜD2	SÜD4.1	SÜD4.2 BEST4	
1 VERKEHR + TECHNIK	1.1 Eisenbahntechnik - Infrastruktur	4	4	3	2	3
	1.2 Eisenbahntechnik - Betriebsführung im Regelbetrieb	4	4	4	5	3
	1.3 Eisenbahntechnik - Betriebsführung bei außergewöhnlichen Betriebszuständen	5	4	3	3	2
	1.4 verkehrliche Erschließung - Personenschienenverkehr	4	3	3	3	4
	1.5 verkehrliche Erschließung - Anbindung	3	4	4	4	3
	1.6 verkehrliche Erschließung - Schienengüterverkehr	4	4	3	1	4
	1.7 Bauausführung	3	3	4	4	3
2 RAUM + UMWELT	2.1 Regionalentwicklung	3	4	4	3	4
	2.2 Siedlungsentwicklung	2	3	3	4	4
	2.3 Siedlungsraum und Immissionen	3	3	5	5	4
	2.4 Landschaft und Erholung	2	3	3	4	5
	2.5 Grundwasser	2	3	4	4	3
	2.6 Oberflächenwasser	2	4	3	3	4
	2.7 Boden (Land- und Forstwirtschaft)	2	3	3	3	5
	2.8 Naturraum und Ökologie	2	4	4	4	5
3 KOSTEN + RISIKEN		3	3	3	3	3

LEGENDE:	5 SEHR GUT entspricht vollständig den Projektzielen
4 GUT entspricht in hohem Maße den Projektzielen, kleinere Nachteile	
3 DURCHSCHNITT entspricht in wesentlichen Punkten den Projektzielen, in Teilbereichen aber auch relevante Nachteile	
2 MÄSSIG wesentliche Projektziele nur ungenügend erfüllt; relevante Nachteile	
1 SCHLECHT wesentliche Projektziele nicht erfüllt; schwerwiegende Nachteile, aber bei entsprechenden Vorteilen in anderen Themenbereichen akzeptierbar	

Bild 10. Beispiel für eine normierte Beurteilungstabelle.

Klassifikationsschema zu erstellen. Das Ergebnis dieses Arbeitsschritts ist eine Reihung der Varianten entsprechend der Summe ihrer Nutzenpunkte sowie eine Darstellung der normierten Beurteilungstabelle (Bild 10).

Die Ergebnisse der geologisch-geotechnischen und hydrogeologisch-wasserwirtschaftlichen Untersuchungen fließen in die Themenbereiche „Bauausführung“ und „Grundwasser“ ein. Aufgrund der Verbreitung der Bergsturzablage-

rungen, dem Felsrelief und der Lage übertiefer Lockermaterialrinnen ergeben sich deutlich geringere Risikopotenziale für Inntal-nahe Tunnellösungen gegenüber tiefliegenden Tunneltrassen. Inntal-nahe Tunnellösungen bieten aus hydro-

geologisch-wasserwirtschaftlicher Sicht zudem Vorteile gegenüber Trassenführungen in den intensiv genutzten Porengrundwasserleitern des Innvals.

Zusammenfassung

Während der 1. Abschnitt des Eisenbahnausbaus im Tiroler Innal von Kundl/Radfeld bis zur Abzweigstelle Baumkirchen östlich von Innsbruck – Abzweig zur Brennerstrecke – bereits in Bau ist, steht der 2. Abschnitt östlich von Kundl in der Planung. Im Rahmen der seit dem Jahr 2005 laufenden Überarbeitung der Machbarkeitsstudie für den 2. Abschnitt wurde ein Erkundungsprogramm konzipiert, welches neben klassischen feldgeologischen Kartierungen einen mehrstufigen Einsatz bodengeophysikalischer Verfahren und Erkundungsbohrungen vorsah. Neben grundsätzlichen Fragen des Gebirgsbaus und der Hydrogeologie stellten die Erkundung der Erdgasführung und des Felsreliefs des Unterangerbergs mit lockermaterialgefüllten Rinnen maßgebliche Erkundungsziele von geologischen Schlüsselstellen zur Trassenfindung dar.

Eine wesentliche Erkenntnis ist, dass im Unterangerberg großräumig mit dem Auftreten von Erdgas zu rechnen ist und daher hinsichtlich der Variantenentscheidung die Trassen im zentralen Angerberg und im Nahbereich zum Innal in dieser Hinsicht gleich zu bewerten sind. Bauausführung und Betriebsführung stehen zufolge der Erdgasführung nicht in Frage. Weitere wesentliche Erkenntnisse betreffen die Verbreitung von Bergsturzablagerungen innerhalb des Angerbergs, die bislang als anstehende Kataklastite interpretiert wurden und die

mittels 3-D-Modellierung generierte Morphologie des Felsreliefs mit übertieften, glazialmorphologisch überprägten Tiefenrinnen. Aufgrund der Verbreitung der Bergsturzablagerungen, des Felsreliefs und der Lage übertiefter Lockermaterialrinnen ergeben sich Vorteile für Innal-nahe Tunnellösungen gegenüber tiefliegenden Tunneltrassen im zentralen Angerberg.

Quellennachweis

- [1] *Auer, M. ; Eisbacher, G. H. (2003):* Deep structure and kinematics of the Northern Calcareous Alps (TRANSALP Profile). Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.), 92, pp. 210-227.
- [2] *Eisbacher, G. H. ; Brandner, R. (1996):* Superposed Fold Thrust Structures and High Angle Faults, Northwestern Calcareous Alps, Austria. Eclogae Geol. Helv., 89/1, pp. 553-571.
- [3] *Ortner, H. ; Reiter, F. (1999):* Kinematic History of the Triassic South of the Inn Valley (Northern Calcareous Alps, Austria) – Evidence for Jurassic and Late Cretaceous Large Scale Normal Faulting. Mem. Sci. Geol., 51/1, pp. 129-140.
- [4] *Ampferer, O. (1922):* Zur Geologie des Unterinntaler Tertiärs. Jahrbuch der Geol. B.-A., 72, S. 105-150.
- [5] *Heissel, W. (1951):* Beiträge zur Tertiär-Stratigraphie und Quartärgeologie des Unterinntales.- Jahrbuch der Geol. B.-A., Bd. XCIV, S. 207-221.
- [6] *Heissel, W. (1955):* Zur Geologie des Unterinntaler Tertiärgbietes. Mitt. Geol. Ges. Wien, 48, S. 49-70.
- [7] *Schulz, O. ; Fuchs, H. (1991):* Kohle in Tirol: Eine histo-

rische, kohlenpetrologische und lagerstättenkundliche Betrachtung. Archiv f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 13, S. 123 - 213.

- [8] *Ortner, H. ; Stingl, V. (2001):* Facies and Basin development of the Oligocene in the Lower Inn Valley, Tyrol/Bavaria, in: Piller W., Rasser M.W., (Eds.): Paleogene of the Eastern Alps. Österr. Akad. d. Wissensch., Schriftenr. Erdwiss. Komm., 14, S. 153-196.
- [9] *Ortner, H. (2003):* Cementation and Tectonics in the Inneralpine Molasse of the Lower Inn Valley. Geol. Paläontol. Mitt. Innsbruck, 26, S. 71-89.
- [10] *Gruber, A. (1997):* Stratigraphische und strukturelle Analyse im Raum Eiberg (Nördliche Kalkalpen, Unterinntal, Tirol) unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung in der Oberkreide und im Tertiär. Geol. Paläontol. Mitt. Innsbruck, 22, S. 159-197.
- [11] *Schönlaub, H. ; Tentschert, E. (1996):* Erkundung und Modellierung im Grundwasserfeld Langkampfen (Tirol). Mitt. Österr. Geol. Ges., 87, S. 29-36.
- [12] *Deutsch, C. ; Journel, A. (1997):* Gslib: Geostatistical Software Library and User's Guide. Oxford Univ. Pr.

Autoren

Dr.-Ing Gerhard Poscher, p+w geozt gmbh, Hall in Tirol, Mag. Stefan Eder, ILF Beratende Ingenieure, Rum bei Innsbruck, Univ.-Doz. Dr. Robert Marschallinger, ÖAW GIScience, Salzburg und Mag. Christoph Sedlacek – ÖBB-Infrastruktur Bau AG für die Brenner-Eisenbahn GmbH, Innsbruck ■