

Konfliktfeld Untertagebau und alpine Wasserressourcen

Konsequenzen für Planung und Bauausführung

Von Gerhard Poscher, Hansruedi Fisch, Rebekka Mammel und Christoph Sedlacek

Beiträge und Diskussionen zum Themenkomplex Felshohlraumbau und Wasserwirtschaft wurden vorwiegend in den 90er Jahren – von bauvertraglichen und bautechnischen Aspekten ausgehend (1) – um hydrogeologische Schwerpunkte (2, 3, 4, 5), die sich zunehmend in Richtung Parameterstudien und Modellierung entwickelten, sowie um Umweltthemen (6, 7, 8, 9, 10) ergänzt. Dazu haben die Umweltgesetzgebung, wasserwirtschaftliche Anliegen und in zunehmendem Maß auch divergierende Nutzungsinteressen beigetragen, die durch den scheinbaren Marktwert alpiner Wasserressourcen noch verschärft wurden.

Interessenskonflikte liegen in der Natur der Sache. Projektphasenabhängig sind erfahrungsgemäß Fragen der Erkundungsstrategie, des Umfangs und der Dauer der Vorlaufphase in der wasserwirtschaftlichen Beweissicherung, die Festlegung der Drainage- und Abdichtungskonzepte für die Bau- und Betriebsphase sowie Fragen der Emissionsbelastungen während des Baus Gegenstand von Diskussionen.

Themenbezogen werden unterschiedliche Konfliktebenen zwischen Bauherr, Projektanten, Sachverständigen und Parteien wirksam. Bei Infrastrukturprojekten in Österreich finden die Konflikte aufgrund unterschiedlicher Verfah-

Potential Conflicts between Underground Construction and Alpine Water Resource

The alignment of the Brenner railway axis – Northern feeder line in the Lower Inn Valley – is the result of intense design analyses involving both the natural resources to be protected which are of relevance to the environmental impact assessment and the techno-economic requirements of a high-speed railway line. With more than 80 % of the approximately 40-km-long railway line running underground, water was, from the very beginning of the design phase, recognized to be a sensitive good of strategic importance for the project.

Conflicts between the constructional and geotechnical needs and requirements of underground construction on the one hand and of alpine water resource management on the other hand lie in the nature of such projects. The predominant issues may, however, change depending on the individual project phases:

- ◊ *Exploration strategy as well as extent and methodology of the hydrological status-quo documentation performed in the course of the hydrogeological (pre-)investigation,*
- ◊ *Accuracy achieved in assessing the impact of the construction measures on the water resources, depending on the exploration level in the respective project phase,*
- ◊ *Construction concepts, especially drainage and waterproofing concepts for the construction and operating phase, depending on the type of aquifer and the groundwater pressure level,*
- ◊ *Emission loads resulting from the discharge of tunnel drainage water and wastewater as well as waste management considerations during construction.*

Conflict prevention and pro-active conflict resolution permitted the environmental impact assessment to be completed in 1999 as scheduled. The permit application procedure in line with railway law was successfully fin-

ished in autumn 2001 and the main construction works are planned to commence by the end of 2002.

Der Trassenverlauf der Eisenbahnachse Brenner-Zulaufstrecke Nord im Unterinntal ist das Ergebnis einer intensiven planerischen Auseinandersetzung mit den UVP-relevanten Schutzgütern und den technisch-wirtschaftlichen Erfordernissen einer Hochleistungsstrecke. Über 80 % der rund 40 km langen Trasse verlaufen unter Tage, wobei dem Schutzgut Wasser ab Planungsbeginn projektstrategische Bedeutung beigemessen wurde.

Konflikte zwischen den geotechnisch-bautechnischen Anliegen und Erfordernissen des Untertagebaus einerseits und der Wasserwirtschaft andererseits liegen in der Natur der Sache, wobei projektphasenabhängig unterschiedliche Themen dominieren können:

- ◊ Erkundungsstrategie sowie Umfang und methodischer Tiefgang der wasserwirtschaftlichen Beweissicherung im Rahmen der hydrogeologischen (Vor-)Untersuchungen,
- ◊ Prognosesicherheit in der Beurteilung der Auswirkungen der Baumaßnahme auf den Wasserhaushalt in Abhängigkeit vom Erkundungstiefgang in den unterschiedlichen Projektphasen,
- ◊ Baukonzepte, insbesondere Drainage- und Abdichtungskonzepte für die Bau- und Betriebsphase in Abhängigkeit vom Aquifertyp und dem Druckniveau des Grundwassers,
- ◊ Emissionsbelastungen im Rahmen der Ausleitung von Tunnel(ab)wässern sowie abfallwirtschaftliche Aspekte in der Bauphase.

Konfliktvermeidung und offensive Konfliktbewältigung ermöglichten den Abschluß der UVP mit dem Umweltverträglichkeitsgutachten plangemäß im Jahr 1999. Die eisenbahnrechtliche Baugenehmigungsverhandlung wurde im Herbst 2001 positiv abgewickelt, und für Ende 2002 ist der Beginn der Hauptbauarbeiten geplant.



Bild 1 Übersicht des Planungsraums mit Blick auf das westliche Unterinntal (im Bildvordergrund Verknüpfungsbereich mit der Bestandsstrecke bei Baumkirchen, östlich davon verläuft die Trasse in Unterflur- und Tunnelführung am Hangfuß der Mittelgebirgsterrasse).

Fig. 1 Overview of design area overlooking the Western Lower Inn Valley in the Tyrol (in the foreground junction area with existing railway line near Baumkirchen; the railway alignment is scheduled to run east of this area at the base of a low mountain range terrace either below ground or in tunnels).

rensabläufe bei Autobahn- und Schnellstraßenprojekten, Hochleistungs-Eisenbahnstrecken und sonstigen Eisenbahnprojekten auf unterschiedlichen Verfahrensstufen statt.

Ein Teil des Konfliktpotentials zum Thema Wasser ist in Österreich durch die Gesetzeslage „hausgemacht“ (11, 12). Dazu kommen noch überholte bis fehlende Richtlinien im hydrogeologisch-wasserwirtschaftlichen Bereich (13, 14, 15, 23). Als Besonderheit des österreichischen Wasserrechts ist anzuführen, daß Grundwasser (auch Quellen) grundeigen ist und somit im Besitz des Grundeigentümers steht.

Konfliktmanagement für das Projekt Eisenbahnachse Brenner/Zulaufstrecke Nord

Obwohl selbst im Entwurf zum „Österreichischen Raumentwicklungskonzept 2001“ vom September 2001 (16) die erschwerte Umsetzung von Verkehrsinfrastrukturprojekten thematisiert wird, darf das Projekt „Eisenbahnachse Brenner/ Teilprojekt Zulaufstrecke Nord (Unterinntal)“ mit einer Länge von über 40 km und einem Anteil von Tunnel- und Unterflurbauwerken von über 80 % an der Gesamtstrecke, beginnend ab der Machbarkeitsstudie 1993 und der Gründung der Brenner Eisenbahn GmbH im Jahr 1996, auf eine vergleichsweise kurze und effiziente Projektierungsphase zurückblicken (17, 18) (Bild 1).

Der heutige Trassenverlauf der Zulaufstrecke Nord im Unterinntal ist das Ergebnis einer intensiven planerischen Auseinandersetzung mit den UVP-relevanten Schutzgütern und den technisch-wirtschaftlichen Erfordernissen einer Hochleistungsstrecke, wobei dem Schutzgut Wasser ab Planungsbeginn projektstrategische Bedeutung beigemessen wurde. Nicht zuletzt aufgrund dieser Strategie konnte der Abschluß der UVP mit dem Umweltverträglichkeitsgutachten plangemäß im Jahr 1999 erzielt werden. Die eisenbahnrechtliche Baugenehmigungsverhandlung wurde

im Herbst 2001 abgewickelt, und für Ende 2002 ist der Beginn der Haupthauarbeiten geplant.

Aus hydrogeologisch-wasserwirtschaftlicher Sicht sind in diesem Zusammenhang folgende Meilensteine erwähnenswert:

- ⇒ 1995: Beginn der hydrogeologischen Voruntersuchungen (Quellaufnahme) und der wasserwirtschaftlichen Beweissicherung unmittelbar im Anschluß an die Phase der wissenschaftlichen Grundlagenbearbeitung zur Geologie des Planungsraums,
- ⇒ 1996: Hydrogeologische Erkundung des gesamten Trassenbereichs unter Einschluß von Variantenuntersuchungen (Erkundungsphase 1),
- ⇒ 1997: Entscheidung zum Bau von Erkundungsstollen zur Detailerkundung der geotechnisch und hydrogeologisch sensiblen Bereiche,
- ⇒ 1998: Verdichtung des Meßstellennetzes (im Rahmen der Erkundungsphase 2) und Intensivierung des wasserwirtschaftlichen Beweissicherungsprogramms (Isotopenhydrologie, Teilautomatisierung) sowie Aufbau eines Systems zur teilautomatisierten Überwachung der Stollen(ab)wässer,
- ⇒ 2000/2001: Sonderversuche in den Erkundungsstollen, beispielsweise Druckentlastungsversuch im Erkundungsstollen Brixlegg Ost.

Neben anfänglichen Interessenskonflikten bezüglich der Trassenführung im Bereich der Porengrundwasserleiter der Talflur war der Projektstart 1996 durch zahlreiche Konfliktfelder mit den kalkalpinen Wasserressourcen der Talflanken gekennzeichnet, da großräumige Schongebiete in den Nördlichen Kalkalpen und den vorgelagerten Mittelgebirgsterrassen erst nach Abschluß der Machbarkeitsstudie, großteils im Jahr 1994, verordnet wurden.

Die Lösung von Konflikten erfolgte in der Projektierungsphase Umweltverträglichkeitserklärung nach den Grundsätzen:

- ⇒ Konfliktvermeidung durch Trassenkorrekturen im Bereich der großen Wasserschon- und Schutzgebiete (Bild 2),
- ⇒ Konfliktbewältigung durch umfangreiche Erkundungsmaßnahmen mit Vorabklärung der hydrogeologischen Zusammenhänge, zum Beispiel im Großraum Brixlegg,
- ⇒ Einsatz objektiv nachvollziehbarer Planungsansätze, beispielsweise durch Grundwassermodellrechnungen über die Auswirkungen der geplanten Baumaßnahmen mit Trassenoptimierungen im Bereich von Trinkwassernutzungen,
- ⇒ Installation eines umfassenden Beweissicherungsprogramms mit Einbindung der allfällig betroffenen Nutzer und Wasserberechtigten auf Grundlage örtlich bestehender Kontakte, privatrechtlicher Regelungen und dem Aufbau einer Vertrauensbasis zwischen den Projektbeteiligten (Bild 3).

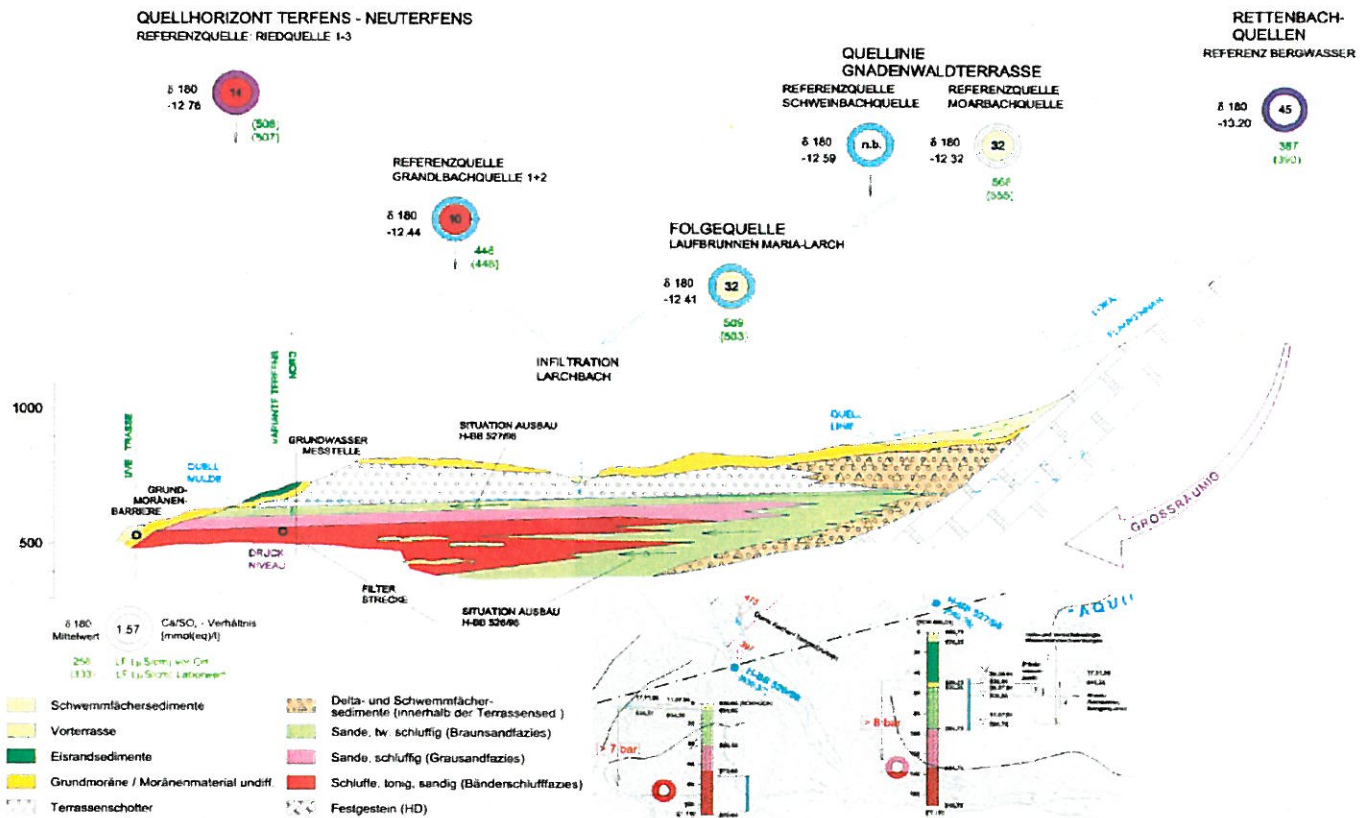


Bild 2 Hydrogeologisches Modell: Untersuchung von Trassenvarianten im Gebiet der Gnadenwaldterrasse im Rahmen einer Szenarienanalyse „Tunnelbautechnik-Bauzeit-Kosten“ und zu möglichen wasserwirtschaftlich relevanten Auswirkungen (Projektierungsphase für die Umweltverträglichkeitserklärung – UVE).

Fig. 2 Hydrogeological model: review of alignment alternatives in the area of the Gnadenwald terrace performed in the course of a scenario analysis to evaluate the economic feasibility of the project and to assess possible effects on water resources (design phase in preparation of environmental impact statement – EIS).

Die Konfliktbewältigung in der Genehmigungs- und Bauphase der Erkundungsstollen gestaltete sich aufgrund von Sonderbaumaßnahmen und Großversuchen anspruchsvoll und erfolgte nach den Grundsätzen:

- ⇒ Konsequente Erkundung und Abklärung der Problembereiche im Sinn der Ausschreibungssicherheit des Gesamtprojekts als auch des Ressourcenschutzes,

- ⇒ In Abstimmung mit den Betroffenen, Berechtigten sowie der Behörde und
- ⇒ Offensive Information der Behörde und der Sachverständigen in wasserwirtschaftlichen Angelegenheiten im Rahmen vierteljährlich einberufener Wasserwirtschaftstage,
- ⇒ Konflikte mit Sachverständigen im naturwissenschaftlichen Bereich wurden durchweg im Rahmen von wissenschaftlichen Fachdiskus-

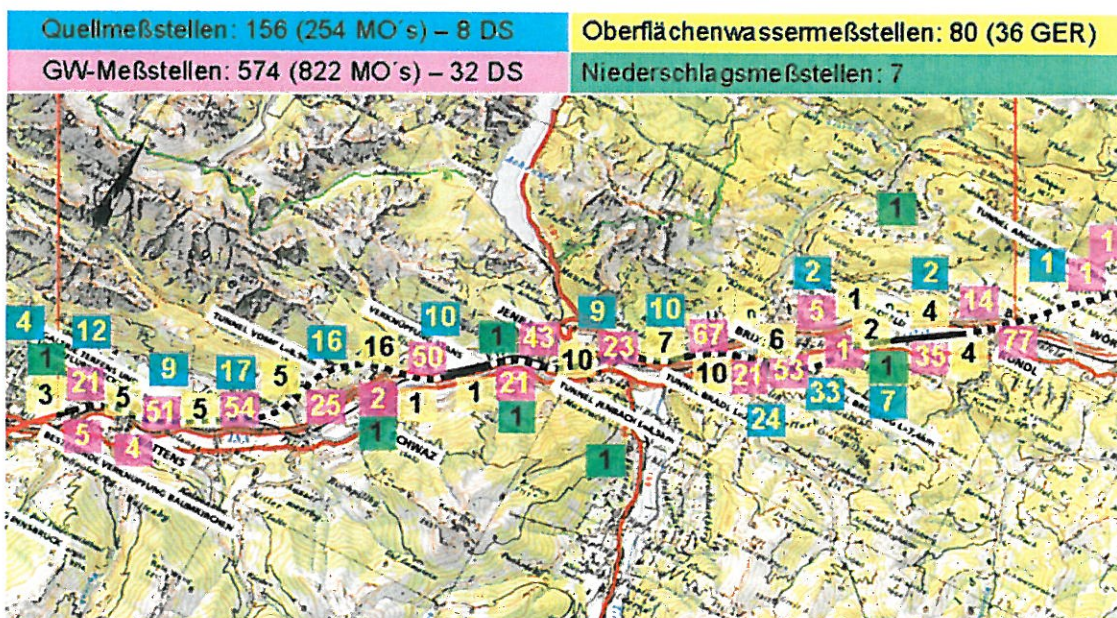
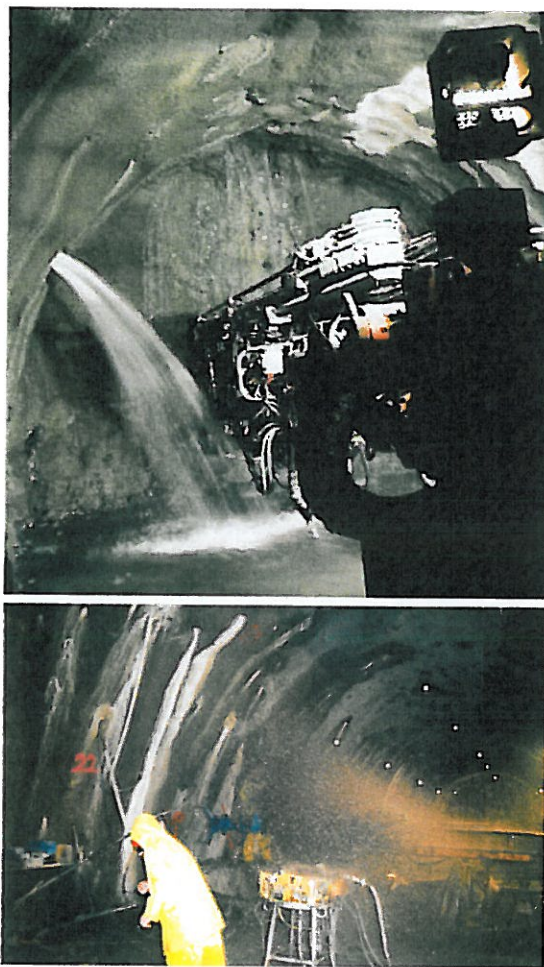


Bild 3 Trassen- und Meßstellenübersicht des Planungsraums (Kartengrundlage ÖK 50); DS – Datensammler, GER – Gerinne, GW – Grundwasser, MO – Meßort.

Fig. 3 Overview indicating railway line alignment and hydrological measuring points in the design area (base map ÖK 50); DS – automatic data sampler, GER – watercourse, GW – groundwater, MO – measuring position.

Bild 4 Wasserzutritte im Bereich einer Störungszone im Erkundungsstollen Brixlegg Ost: Initiale Zutritte an einer Ankerbohrung und Ausbläser während des Abteufens einer horizontalen Erkundungsbohrung.

Fig. 4 Water ingress in a fault zone area in the Brixlegg East exploratory tunnel: initial ingress at anchor drillhole and jet of water and debris during horizontal exploratory drilling.



sionen geklärt, im geotechnischen und wasserwirtschaftlichen Bereich wurden zumeist anwendungsorientierte Lösungen gefunden,

- ◇ Grenzwertüberschreitungen von Tunnel(ab-)wässern konnten durch ein System von Fremdüberwachung und Eigenüberwachung konfliktarm beherrscht werden.

Detailerkundung eines Heilwasseraquifers

Erkundungsstollen Brixlegg Ost

Im Bereich des etwa 11,3 km langen Tunnels Radfeld-Wiesing treten im Großraum Brixlegg mehrere Sulfatwasserprovinzen auf, die teilweise als Heil- und Mineralwässer genutzt werden. In der Planungsphase Umweltverträglichkeitserklärung (UVE) erfolgte eine Abklärung der maßgeblichen hydrogeologischen Zusammenhänge sowie möglicher Szenarien über potentielle wasserwirtschaftliche Auswirkungen der Tunnelbaumaßnahmen. Zur Detailklärung von Bauablauf, Vortriebskonzept und Maßnahmenplanung wurden Erkundungsstollen geplant, da wesentliche geologische und hydrogeologische Fragen aufgrund der teilweise hohen Überlagerung, der mächtigen Quartärbedeckung und der erkannten anspruchsvollen struktur-geologischen Situation mit den Mitteln der direkten und indirekten Bodenerkundung nur einer ungenügenden Klärung zugeführt werden konnten.

Wesentliche Erkundungsziele des Erkundungsstollens Brixlegg Ost waren durch eine trasenquerende kalkalpine Deckengrenze, die vorab als Schuppenzone erkannt wurde, sowie durch die als komplex eingestuften lithostrukturellen Verhältnisse östlich von Brixlegg gegeben. Der Erkundungsstollen Brixlegg Ost wurde östlich von Rattenberg Anfang 1999 angeschlagen und parallel zum geplanten Hauptbauwerk (Tunnel Radfeld-Wiesing) mit einem Ausbruchquerschnitt von etwa 30 m² konventionell nach den Grundsätzen der NÖT in Richtung Brixlegg aufgeföhren. Zusätzlich wurde im Bereich der Schuppenzone eine Probestrecke in der Achse Hauptbauwerk im Anhydrit-föhrenden Gebirge mit 60 m Länge errichtet. Der Vortrieb des Erkundungsstollens wurde im Mai 2000 bei Station 2 277 nach Antreffen einer wasserföhrenden Störungszone mit Lockergesteinscharakter zwecks Durchföhhrung untertägiger Erkundungsmaßnahmen und Großversuche östlich von Brixlegg stehend beendet (19) (Bild 4).

Geologisch-hydrogeologischer Rahmen

Im Bereich der Raibler-Schichten wurde eine bis zu 30 m mächtige Störungszone mit einem Bergwasserdruck von bis zu 6 bar angetroffen. Im wesentlichen werden innerhalb des Störungsbereichs Mergelkakirite und Karbonatkakirite differenziert, die sich in ihren geotechnischen und hydrogeologischen Eigenschaften nennenswert unterscheiden (Tabelle).

Die Wässer, die im Bereich der Störungszone angetroffen wurden, waren überwiegend hoch-mineralisiert, wiesen jedoch auch starke Schwankungsbreiten auf (Elektrische Leitfähigkeiten von 900 bis 1 500 µS/cm). Aufgrund der Vor-Ort-Parameter, der hydrochemischen und der isotonenchemischen Zusammensetzung konnte eine Einteilung der Störungszone in hydrogeologische Provinzen erfolgen. Im Bild 5 sind die Erkundungsergebnisse der Bohrungen sowie die Ergebnisse der qualitativen Untersuchungen planlich dargestellt.

Druckentlastungsversuch

Versuchsprogramm und Versuchsablauf

Nach der Durchföhhrung von Injektionsversuchen (19) und einer kurzen Druckentlastung zur Vorbereitung des weiteren Vortriebs Ende 2000, wurde im Jahr 2001 ein umfangreicher – wasserrechtlich bewilligter – Druckentlastungsversuch zur Entspannung des Bergwasserdrucks gekoppelt mit einem umfangreichen hydrogeologischen und geotechnischen Monitoringprogramm über und unter Tage geplant und durchgeföhrt (20).

Ziel des Druckentlastungsversuchs war es, die Ausdehnung des angetroffenen Aquifers der Störungszone, die Größenordnung der Auswirkungen und vor allem auch die Reversibilität der Auswirkungen in quantitativer sowie in qualitativer Hinsicht zu erkunden, wobei letzteres vor allem für

Charakterisierung der Störungszone Brixlegg Ost nach (19).

Characterization of the fault zone Brixlegg East, after (19)

Störungs- zonentyp	Geomechanik			Hydro(geo)logie	Durchlässigkeit Lugeon
	Zerlegungsgrad	Verbands- festigkeit	Porosität %	Wasserdruck 4,5 bar	l/min*lfm bei 10 bar
Karbonatkakirit TYP 1	Vollkommen zerlegte, zerriebene Gesteinszone: Fein- bis Mittelkies, sandig	Kohäsions- los	50 bis 60*)	Stark wasserführende Gebirgszone	> 50
Karbonatkakirit TYP 2	Stark zerlegte Gesteins- zone: Grobkies und Steine	Schwach kohäsiv	25 bis 30*)	Stark wasserführende Gebirgszone	> 50
Zerlegungszone	Zerlegte Gesteinszonen	Kohäsiv	10 bis 30	Stark wasserführende Gebirgszone	> 50
Mergelkakirit	Stark zerscherzte Ge- steinszone	Schwach kohäsiv	< 0,5	Wenig durchlässig bis relativ undurch- lässige Gebirgszone	< 1

Die mit *) gekennzeichneten Porositäten wurden im Labor bestimmt.

hochwertige Wassernutzungen im Bereich Brixlegg von Bedeutung war. Dazu wurden die übertägigen Meßstellen (Grundwasserbeobachtungsmeßstellen und Quellen) im Bereich Brixlegg sowie die unter Tage vorhandenen Bergwasser-Meßstellen intensiv hinsichtlich ihrer Vor-Ort-Parameter (Schüttung, Grundwasserstand, Wasserdruck, elektrische Leitfähigkeit, Wassertemperatur und pH-Wert) sowie ihrer hydrochemischen und isotochemischen Zusammensetzung überwacht. Das begleitende Versuchs- und Meßprogramm umfaßte unter anderem:

- Durchgängige automatisierte Aufzeichnungen der im Stollen anfallenden Daten wie Ausflußraten, Bohrlochwasserdrücke, Druckhöhen, Öffnungsgrade der Schieber, Meßwerte der Extensometer sowie Wasserqualitätsdaten,

- Druckprofilings mit tiefenorientierter Probenahme in den horizontalen und geneigten Bohrungen im Stollen,
- Tracertest in den Bohrungen im Stollen und bohrlochgeophysikalische Messungen in ausgewählten Bohrungen der Umgebung (hauptsächlich Flowmetermessungen sowie Temperatur- und Leitfähigkeitslogs),
- Hydrochemische Untersuchungsreihen und Isotopenuntersuchungen (^{18}O , ^3H , ^{34}S) über und unter Tage,
- Quell- und Pegelmessungen über Tage, in den Kernbereichen des Versuchs überwiegend automatisiert,
- Thermographische Messungen zur Verifizierung wasserführender Zonen hinter der Stollenleibung nach Wiederaufspiegelung,

Bild 5 Subhorizontal-schnitt auf Gradientenniveau des Erkundungsstollens Brixlegg Ost mit Darstellung der an die Störung gebundenen hydrogeologischen Provinzen.

Fig. 5 Sub-horizontal cross-section at gradient level of Brixlegg East exploratory tunnel incl. depiction of fault-related hydrogeological provinces (legend see Figure 6).

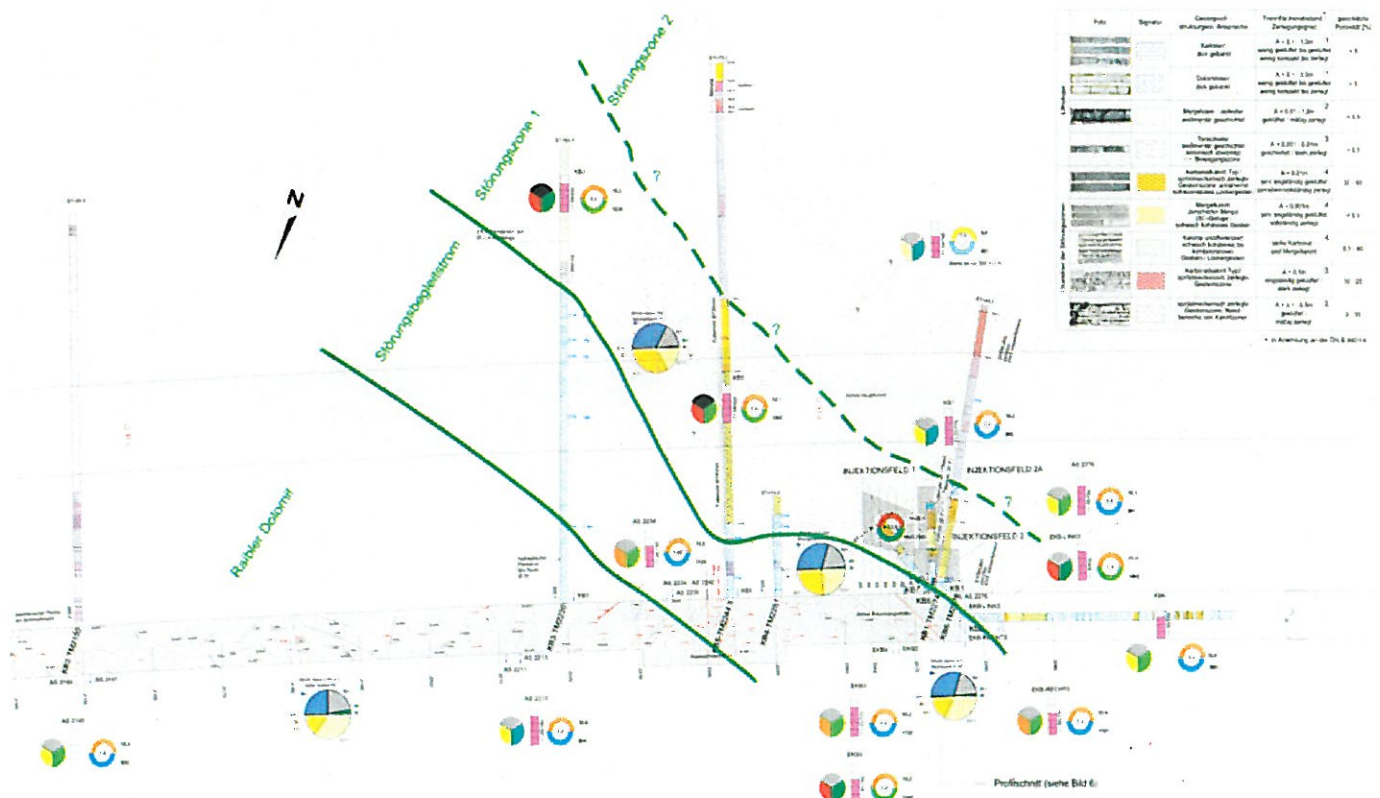


Bild 6 Zur Aussagekraft von Bohrungen in komplexen, polyphas deformierten alpinen Gebirgen: Vertikal-schnitt orthogonal zur Tunnelachse auf Höhe des Vortriebsendes des Erkundungsstollens zur knapp südlich situieren Vertikalbohrung.

Fig. 6 Informative value of drillings in complex, polyphase deformed alpine rock sequences: vertical cross-section orthogonal to tunnel axis in face area of exploratory tunnel.

⇒ Hohlraumverformungsmessungen und geodätische Kontrollmessungen über Tage einschließlich Inklinometermessungen.

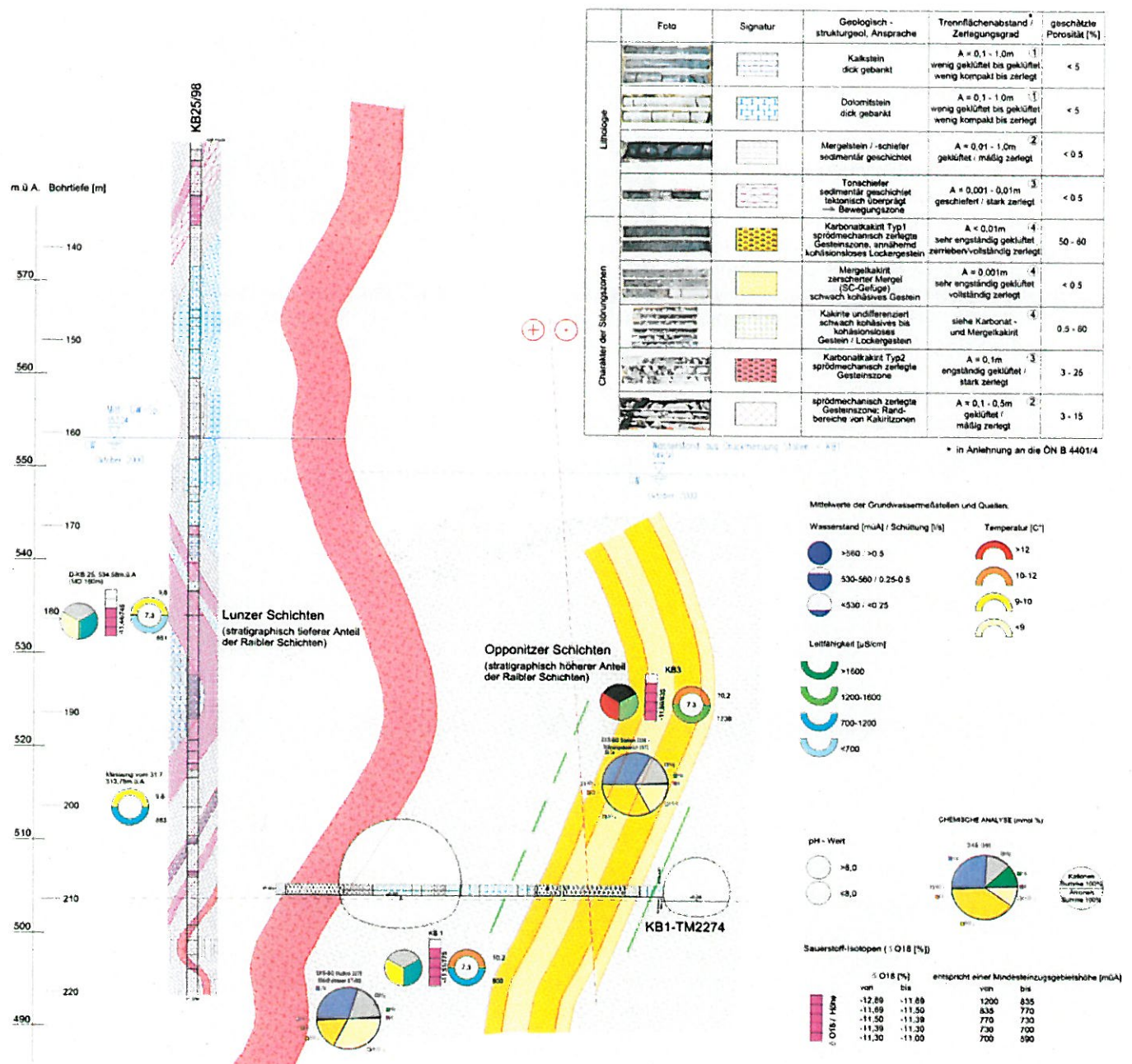
Ziel des Druckprofilings war die abschnittsweise Ermittlung der Wasserdrücke in vier Kernbohrungen des Stollens und tiefenorientierte forationsspezifische Probennahmen mittels Doppelpackerstrang. Die Versuche wurden mit Blick auf die Situation in Achse Hauptbauwerk (Bild 6) während der Beharrungsphase des Versuchs im abgesenkten Zustand gefahren. Das Druckprofil liefert eine Aufnahme des Druckprofils quer zur Achse des Erkundungsstollens und ermöglicht indirekt – unter Beachtung der hydrochemischen Daten, der Isotopendaten und der Bohrlochgeophysik – den Schluß, ob unterschiedliche hydraulische Regime vorliegen. Die während der Probennahmen aufgezeichneten Fluß- und Druckdaten wurden mittels einer „Steady-state-Approximation“ für die Abschätzung der Transmissivität verwendet.

Ergebnisse

Die Ergebnisse des Druckentlastungsversuchs bestätigen das hydrogeologische Modell der mehrere Meter bis Zehnermeter breiten Störungszone, die durch laterale Verschiebungen versetzt sind und gegenüber dem tektonisch weniger beanspruchten Gebirge transmissive Reservoir darstellen („Kammernsystem“). Die im Bereich des Erkundungsstollens untersuchten Bereiche des „Kammernsystems“ sind stark gegliedert und weisen zumindest drei unterschiedliche Druckpotentiale mit unterschiedlichen Wasserchemismen auf.

Die einzelnen „Kammern“ stellen jedoch keine hydraulisch isolierte Kompartimente dar, sondern sind Reservoir, die in unterschiedlichem Ausmaß miteinander verbunden sind:

⇒ Wasserwegigkeiten beschränken sich nicht nur auf stark zerlegte Bereiche (Kakirite); die Druckreaktionen setzen sich auch entlang von Querstörungen (Störungsversatzflächen)



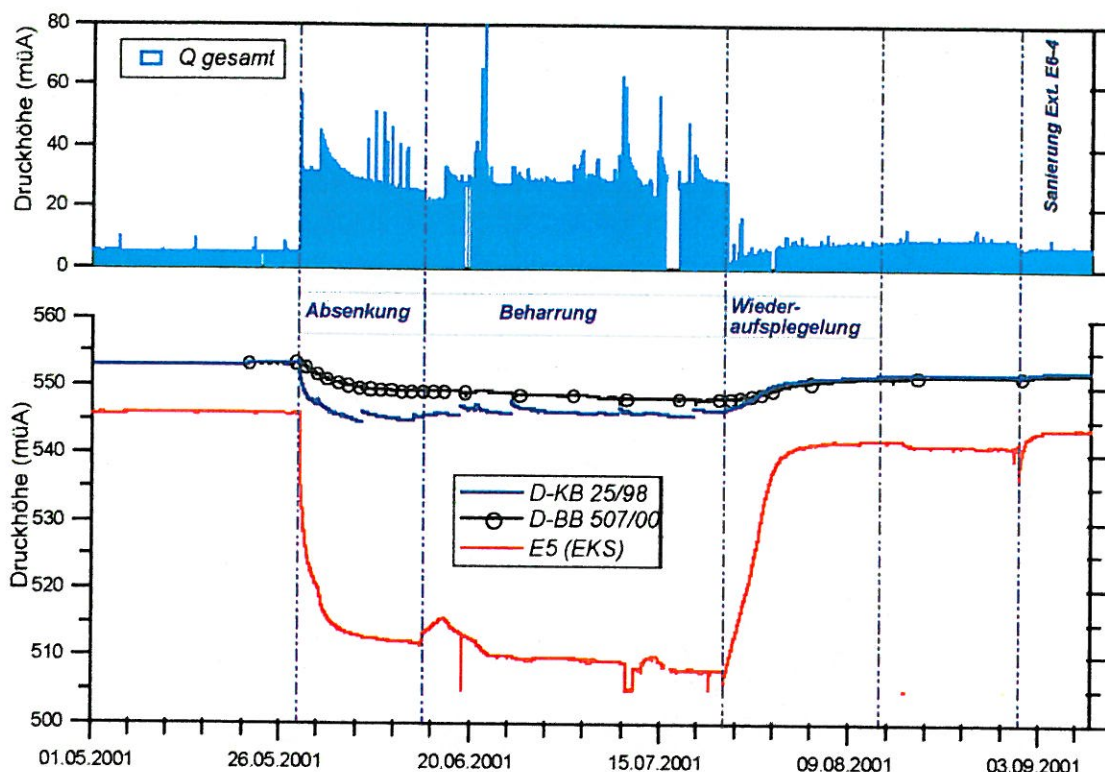


Bild 7 Übersicht zu quantitativen Parametern des Druckentlastungsversuchs (Absenkung siehe rote Kurve) und Referenzmeßstellen im Bereich des Heilquellen-aquifers.

Fig. 7 Overview indicating quantitative parameters of drainage tests (groundwater drawdown see red curve) and reference measuring points in spa water aquifer area.

fort. Die gute hydraulische Vernetzung wurde indirekt durch die mittels Druckprofiling ermittelten ähnlichen Druckpotentiale bestätigt.

- Andererseits stellt die in der Horizontalbohrung KB1 im Endteufenbereich angetroffene Störungszone (vgl. Bild 5) ein Beispiel für eine „Kammer“ dar, die mit den in den anderen Kernbohrungen erschlossenen Störungszonen nur schwach kommuniziert und ein wesentlich differentes Potential aufweist. Vergleichbare Ergebnisse über eingeschränkte hydraulische Verbindungen liegen auch für die Vertikalbohrung D-KB25/98 vor, die sich am südlichen Rand des erkundeten Bereichs befindet (vgl. Bild 6).

Eine Entspannung des Bergwasserdrucks bis auf Niveau der Bohrungen im Stollen wurde mit einer mittleren Fließrate von 29 l/s ohne Materialaustrag in rund 16 Tagen erreicht. Bei druckentpanntem Bergwasserspiegel ist eine für den Vortrieb ausreichende Injektionswirkung in der Störungszone gegeben (19, 20).

Die hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Auswirkungen der Absenkung des Bergwasserspiegels blieben hinter den prognostizierten Werten zurück, so daß beispielsweise die Absenkung in der wasserwirtschaftlich bedeutsamsten Wasserversorgungsanlage des Heilwasserbezirks lediglich 1,8 m betrug. Es wurden jedoch temporäre, hydrochemische aber reversible Auswirkungen durch Änderungen der Zuflußbedingungen festgestellt. Insgesamt haben sich nach Wiederaufspiegelung die ursprünglichen hydraulischen und hydrochemischen Verhältnisse wieder weitestgehend eingestellt (Bild 7).

Fremd- und Eigenüberwachung von Tunnel(ab)wässern

Qualitative Beeinflussungen von Tunnel(ab)wässern

Wasserrechtsbescheid

In der wasserrechtlichen Bewilligung zu den Erkundungsstollen wurde eine Fremd- und Eigenüberwachung der Tunnel(ab)wässer verankert. Die Überwachung wurde nach folgenden Grundsätzen abgewickelt:

- Fremdüberwachung auf Basis von Mischproben mittels automatischer Probennehmer an der Ausleitung zum Vorfluter,
- Eigenüberwachung mit einer wöchentlich mehrfach durchzuführenden händischen Beprobung am Einlauf und am Auslauf der Gewässerschutzanlage sowie einer permanenten Registrierung des pH-Werts, der elektrischen Leitfähigkeit und der Trübung.

Die Aufgaben der Fremd- und Eigenüberwachung bestehen darin, die Zusammensetzung der Abwässer zu kontrollieren, um gegebenenfalls entsprechende Maßnahmen im Vortrieb ergreifen zu können. Bei der Eigenüberwachung erfolgte die Probennahme bewußt händisch und vortriebsphasenbezogen (keine Mischproben), um eine Ursachen-Auswirkungs-Korrelation durchführen zu können.

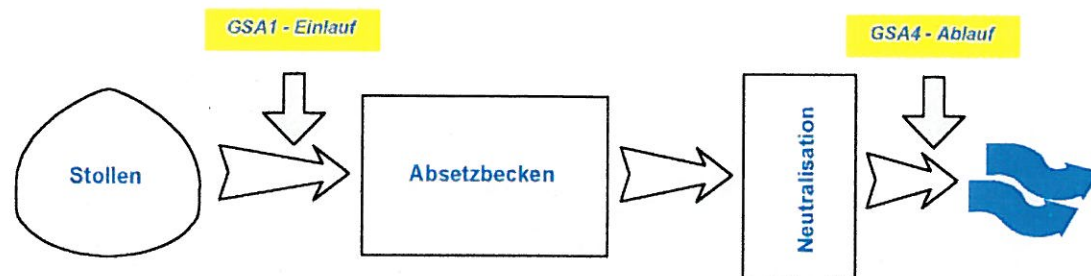
Ableitung der Tunnel(ab)wässer

Die beim Tunnelvortrieb anfallenden Wässer setzen sich aus zwei Hauptkomponenten zusammen:

- Betriebswasser, das im Vortriebsbereich in relativ geringen Mengen anfällt und sich hauptsächlich aus dem Bohrwasser und dem

Bild 8 Schematischer Aufbau der Gewässer-schutzanlage mit Einlauf- und Auslauf-überwachung.

Fig. 8 Schematic arrangement of water treatment system incl. influent and effluent control.



Zugabewasser für den Spritzbeton zusammensetzt,

- Bergwasser in Abhängigkeit der jeweiligen geologischen und hydrogeologischen Situation, wobei diese Zutritte in drei Kategorien erfaßt werden:
- ◇ Wasserzutritte im direkten Vortriebsbereich, beim Auffahren von wasserführendem Gebirge,
- ◇ Wasserzutritte auf der gesamten Tunnelstrecke (zum Beispiel Abschlachungen, Entlastungsbohrlöcher),
- ◇ Direkte Fassung und Ableitung von Bergwässern mittels Dränagen in einem geschlossenen Rohrleitungssystem.

Bei den ersten beiden Punkten handelt es sich jeweils um offene Wasserzutritte, die durch die stattfindenden Arbeitsvorgänge oder durch Ereignisse im Tunnel kontaminiert werden können. Die qualitative Beeinflussung der abgeführten Tunnelwässer findet in erster Linie durch die Arbeitsvorgänge im Vortriebsbereich statt. Beim konventionellen Tunnelvortrieb handelt es sich dabei vor allem um den Sprengvorgang und den Spritzvorgang. In weiterer Folge kann die Qualität der Wässer auch durch die Abgase des Dieselmotors und durch unvorhergesehene Ereignisse, zum Beispiel Ölnfälle, beeinträchtigt werden (6, 8, 10).

Nach dem Transport (Wassergraben, Rohrleitungen) der anfallenden Tunnelwässer in Richtung Stollenportal werden diese in die Gewässer-schutzanlage (GSA) eingeleitet, in der eine Reduzierung der problematischen Parameter angestrebt wird. Für die Überwachung der Wasserqualität der abgeführten Tunnel(ab)wässer stehen der Einlauf und der Ablauf der Gewässer-schutzanlage als Probennahmestellen zur Verfügung (Bild 8).

- ◇ GSA1 – Einlauf in die GSA von unbehandelten Tunnel(ab)wässern,
- ◇ GSA4 – Ablauf aus der GSA nach Durchschreiten sämtlicher Reinigungsprozesse.

Nachstehend werden die Auswirkungen einzelner Arbeitsvorgänge im Stollen auf die Zusammensetzung der abgeführten Tunnelwässer exemplarisch am Beispiel des Erkundungsstollens Brixlegg Ost erläutert.

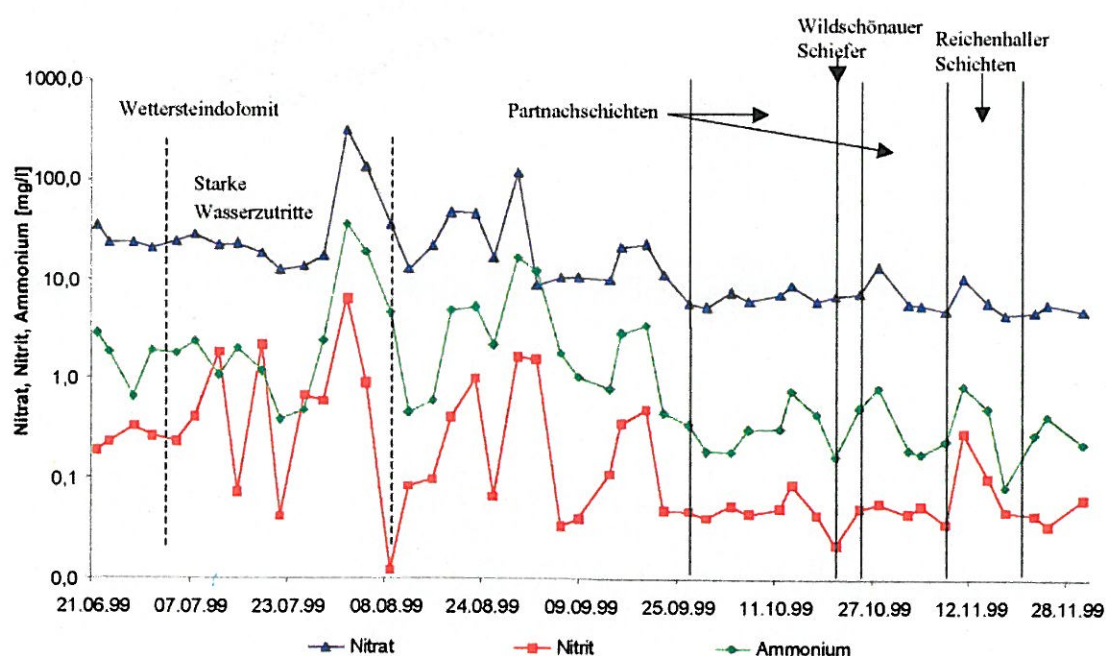
Ergebnisse der Eigenüberwachung

Kurzfristige Auswirkungen – Sprengstoffparameter

Erhöhte Konzentrationen der Parameter Nitrat, Nitrit und Ammonium werden vor allem durch den Sprengvorgang verursacht (8). Im Bild 9 sind die Sprengstoff-Parameter Nitrat, Nitrit und Ammonium über den Zeitraum Juni 1999 bis Dezember 1999 aufgetragen.

Bild 9 Kurzfristige Auswirkungen auf die Wasserqualität durch den Sprengvorgang – Gehalte an Nitrat, Nitrit und Ammonium an der Einlaufmeßstelle GSA1.

Fig. 9 Short-term impact of blastings on water quality – nitrate, nitrite and ammonium content at influent measuring point GSA1.



Die geogene Hintergrundkonzentration der Bergwässer liegt für Nitrat im Untersuchungsgebiet bei etwa 5 bis 10 mg/l. Nitrit und Ammonium sind, wenn überhaupt, nur in geringsten Konzentrationen vorhanden.

Im Bild 9 ist ersichtlich, daß sich die Grundlast der Parameter im unbehandelten Stollen(ab) wasser bereits weit über den geogenen Hintergrundkonzentrationen befindet. Diese latent erhöhten Konzentrationen können auf die Auswirkungen der Sprengschwaden sowie auf den im Stollen stattfindenden Dieselbetrieb zurückgeführt werden.

Die abnehmende Tendenz der Konzentrationen von Nitrat, Nitrit und Ammonium über den Beobachtungszeitraum läßt sich durch die zunehmende Gesamtwassermenge erklären. Durch den Sprengvorgang wird allein das Betriebswasser im direkten Vortriebsbereich beeinflusst, also zum Beispiel das Bohrwasser, das Wasser zum Abspritzen des Haufwerks oder eindringende Wässer an der Ortsbrust. Mit fortschreitendem Vortrieb vergrößert sich die Bergwassermenge solange, wie sich der Vortrieb in wasserführendem Gebirge befindet. Da im Erkundungsstollen Brixlegg Ost die Bergwässer und das Betriebswasser zusammen in die Gewässerschutzanlage (GSA) eingeleitet werden, steigt mit zunehmender Bergwassermenge der Verdünnungseffekt.

Die auftretenden Peaks (Konzentrationspitzen) können direkt den Sprengvorgängen zugeordnet werden. Auffällig sind die extremen Peaks im Zeitraum Juli/August 1999. In diesen Fällen war ursächlich nachvollziehbar, daß beim Sprengen die Verdämmung nicht ordnungsgemäß ausgeführt wurde und mengenmäßig wesentlich mehr Nitrat und Ammonium durch den unzersetzten Sprengstoff ins Wasser gelangen konnte.

Kurzfristige Auswirkungen – Parameter des Spritzvorgangs

Die Beeinflussung der abgeführten Wässer durch den Spritzvorgang wird beispielhaft an den Parametern Aluminium gesamt, abfiltrierbare Stoffe und absetzbare Stoffe dargestellt. Hier besteht eine direkte Korrelation, da bei der Bestimmung des Parameters Aluminium gesamt die Probe unfiltriert analysiert wird.

Die graphische Darstellung der Parameter im Bild 10 zeigt wiederum Spitzenereignisse (Peaks) sowie die Grundlast (latente Erhöhung) der Parameter an.

Als Ursache für die Grundlast der Schwebstoffe können unter anderem folgende Einflußparameter angeführt werden:

- Qualität der Wasserhaltung.
- Staubanfall und Materialverlust beim Schüttern,
- Fahrbanerosion (vor allem in den Bereichen mit Gefälle),
- Geogener Hintergrund.

Bei der Auswertung der Untersuchungen hat sich bestätigt, daß Spitzenkonzentrationen an Aluminium gesamt, abfiltrierbaren Stoffen und absetzbaren Stoffen immer der Phase des Spritzbetonauftrags zugeordnet werden können. Beim Kurvenverlauf der Parameter gemäß Bild 10 ist zu beachten:

- Im Zeitraum Mitte Juli 1999 bis Mitte August 1999 wurden vortriebsklassenabhängig höhere Spritzbetonstärken aufgetragen (längere Spritzzeiten). Außerdem kam es in diesem Zeitraum verstärkt zu Nachspritzarbeiten. Dies zeichnet sich in stark erhöhten Werten der Schwebstoffe und somit des Parameters Aluminium gesamt ab.
- Mit Eintritt in geringer wasserführende Bereiche des Wettersteindolomits in Kombination mit einer Reduktion der Spritzbetonstärke

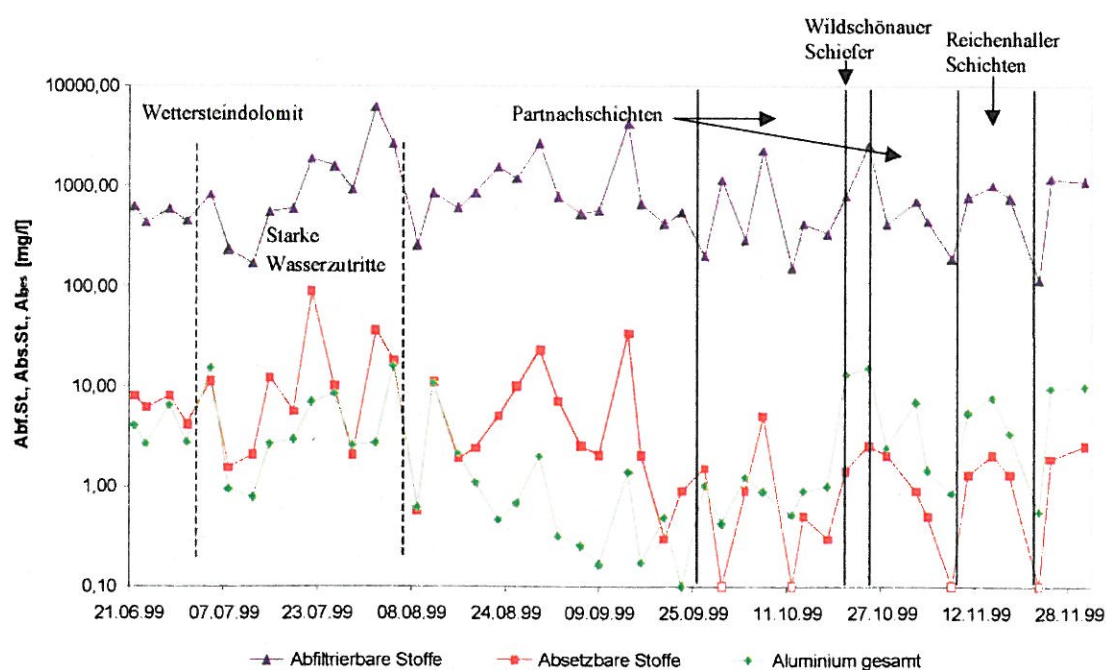


Bild 10 Kurzfristige Auswirkungen auf die Wasserqualität durch den Spritzvorgang – Gehalte an abfiltrierbaren und absetzbaren Stoffen sowie Gesamtaluminiumgehalt an der Einlaufmeßstelle GSA1.

Fig. 10 Short-term impact of shotcreting on water quality – content of filterable and settleable substances as well as total aluminium content at influent measuring point GSA1.

kam es zu einer Verringerung des Aluminiumgehalts. Dabei wurde auch der Bau eines zusätzlichen Absetzbeckens mit einer verbesserten Rückhaltung der absetzbaren Stoffe wirksam.

- ⇒ Mit dem Übergang des Vortriebs in die Wildschönauer Schiefer ist ein deutlicher Konzentrationsanstieg verbunden, der durch schlechtere Vortriebsklassen mit längeren Spritzzeiten verursacht wurde. Zusätzlich wirkt sich auch der geogene Hintergrund nachteilig aus, da die Wildschönauer Schiefer vor allem beim Sprengen und Schuttern eine hohe Feinteilkonzentration verursachen. Aus diesem Grund steigt auch der Gehalt an Aluminium gesamt an, denn die suspendierten Tonminerale bestehen aus aluminiumhaltigen Schichtsilikaten.

Ergebnisübersicht

Ammonium, Nitrit und Nitrat sind vor allem beim Sprengvortrieb relevant, bei Einsatz einer konsequenten Dämmung der Sprenglöcher konnten jedoch die vorgeschriebenen Grenzwerte gemäß AAEV (21) eingehalten werden.

Aufgrund der vorhandenen Neutralisationsanlagen und der Ölabscheider wurden bei konsequenter Wartung der Anlagen keine nennenswerten Probleme hinsichtlich des pH-Werts beziehungsweise der Menge der Kohlenwasserstoffe festgestellt.

Vor allem bei den Parametern abfiltrierbare Stoffe, absetzbare Stoffe sowie Aluminium gesamt ist es zu Grenzwertüberschreitungen gemäß AAEV (21) gekommen. Diese Parameter können vor allem auf den Spritzbetonauftrag sowie den Fahrbetrieb zurückgeführt werden.

Es hat sich bestätigt, daß einzelne Grenzwerte der allgemeinen Abwasseremissionsverordnung mit einem vertretbaren technischen und wirtschaftlichen Aufwand nicht eingehalten werden können und daher realistische Grenzwerte definiert werden müssen. Generell ist es im Sinn praxisnaher Lösungen erforderlich, eine Abwasseremissionsverordnung speziell für den Untertagebau zu entwerfen, wie sie es auch für andere Fachbereiche gibt.

Die Signifikanz einzelner Parameter und Summenparameter der Wasseranalytik wie beispielsweise Summe BTX (Hinweise zur Qualität der Verdämmung und Überwachung hinsichtlich nicht genehmigter TNT-haltiger Sprengstoffe) oder TOC (indikativ für organische Zusatzmittel im Spritzbeton) ist im Detail in (10) dargelegt.

Generelle Bemerkungen zu hydrogeologischen Untersuchungen

Richtlinien und Standards

Über das konkrete Projekt Unterinntalbahn hinausgehend legen es die Erfahrungen mit einer Reihe von Tunnelprojekten nahe, generelle

Schlußfolgerungen zum Thema Konfliktfeld Tunnelbau und alpine Wasserressourcen zu treffen.

Wenngleich für den alpinen Raum ausgezeichnete Publikationen vorliegen, die den Stand der Technik und des Wissens zu den eingangs angesprochenen Themenbereichen zusammenfassend darstellen (4, 22, 23), ist eine unübersichtliche bis weitestgehend fehlende Normierung und Standardisierung im Sachbereich der hydrogeologisch-wasserwirtschaftlichen Erkundung und Projektierung festzustellen, was in weiterer Folge bezogen auf die Situation in Österreich diskutiert wird. Durch diesen Umstand kann sich ein Planungsklima entwickeln, das regional und subjektiv geprägt ist. Für alle Projektbeteiligten (Bauherr, Projektanten und Sachverständige) ist es mitunter nachteilig, wenn keine offiziellen Leitfäden existieren und keine verbindlichen Mindeststandards definiert sind.

Leitfäden und Standards werden somit im hohem Maß durch das Projektumfeld definiert, das heißt sie hängen nicht nur von den Vorgaben des Bauherrn, den Empfehlungen und den Standards der Planungsbüros ab, sondern liegen teilweise in der Sphäre der Sachverständigen beziehungsweise werden von diesen anlaßbezogen festgesetzt. Dieses Problem kann beispielsweise in besonderer Weise beim UVP-Verfahren durch die relativ späte Einbindung der Gutachter gegeben sein (11).

Ein klassisches Konfliktfeld aus der Projektphase der hydrogeologischen Voruntersuchung – die Frage nach der Dauer der Vorlaufphase der wasserwirtschaftlichen Beweissicherung und Vorerkundung – wird nachfolgend ausgehend von der Frage „Wie und wo ist der Mindeststandard für die Vorlaufphase einer wasserwirtschaftlichen Beweissicherungsmaßnahme beziehungsweise für die Datenakquisition in der Phase der hydrogeologischen Voruntersuchungen definiert?“ kurz betrachtet:

- ⇒ Kann beispielsweise die Mindestbeobachtungsdauer von Quellen im Rahmen der Voruntersuchungen beziehungsweise für die Vorlaufphase der Beweissicherung aus den ÖWWV-Regelblättern für die Trinkwassernutzung (24, 25) abgeleitet werden, oder
- ⇒ Sind dazu die Projektierungsrichtlinien für Bundesstraßentunnel hilfreich (26), oder
- ⇒ Bietet die federführende Arbeit von Schneider, Zojer und Reichl (22), die eine der wenigen ist, welche die fachliche Notwendigkeit mehrjähriger Meßreihen als Grundlage für hydrogeologische Prognosen betont, eine einvernehmlich zu akzeptierende Basis, oder
- ⇒ Entspräche nicht viel mehr ein probabilistischer Ansatz dem Stand der Technik (27)?

Gibt es somit einen verbindlichen Mindeststandard, der Bauherrn, Projektanten und Gutachter verbindet und im Begutachtungsverfahren eine Absicherung der vorgelegten Projektunterlagen darstellt?

Schlußfolgerungen

Eine Reaktion auf diese unbefriedigende Situation, die über dieses vorstehende triviale Beispiel hinausgehend den meßtechnischen und analytischen Standard gleichermaßen umschließt wie ganz allgemein auch Grundsätze zur Planung, Durchführung, Auswertung und Umsetzung hydrogeologischer Untersuchungen, ist überfällig.

Diese Reaktion kann beispielsweise darin bestehen, daß mit Rücksicht auf die bestehende Gesetzes- und Normenlage und unter Beachtung publizierten Wissens sowie bestehender Regelwerke analog zur „Richtlinie für die Geomechanische Planung“ (28) die Ausarbeitung einer „Richtlinie für die hydrogeologisch-wasserwirtschaftliche Planung von Untertagebauwerken“ initiiert wird, die das Themenfeld umfassend abhandelt. Da die Beschreibung und Quantifizierung von Wassererschwerissen im Vortrieb auch in der Neufassung der österreichischen Werkvertragsnorm für Untertagebauarbeiten der ÖNORM B2203-1 (29) eine Präzisierung erfahren hat, scheint eine verbesserte Abstimmung der hydrogeologischen Projektierung auch aus diesem Blickwinkel sinnvoll.

Eine Richtlinie kann die projektbezogene Beurteilung im Einzelfall nicht ersetzen. Angesichts der bestehenden Defizite darf es aber nicht verwundern, wenn zu vergleichbaren Fragen der wasserwirtschaftlichen Beweissicherung und der hydrogeologischen Vorerkundung, zu Fragen der Ableitung von Tunnel(ab)wässern sowie zur inhaltlichen Aufbereitung von Projektunterlagen projektbezogen und regional differierend individuelle Antworten in den Genehmigungsverfahren gefunden werden müssen.

Ziel muß es sein, Genehmigungsverfahren und Sachverständige durch allgemein akzeptierte Planungsgrundsätze zu entlasten, um das Ausmaß projektindividuell festzulegender Auflagen beziehungsweise die Abstimmung derselben innerhalb der Verfahren zu minimieren, damit den Projektwerbern als auch ihren Projektanten ein hohes Maß an objektiver Planungs- und Projektsicherheit geboten werden kann.

Quellennachweis

1. Weiss, E.H.: Einführung in die Problematik der Bergwasserbeeinflussung durch den Vortrieb von Hohlraumbauten. In: *Felsbau* 12 (1994), S. 448-451.
2. Tentschert, E.: Hydrogeologische Prognose und tatsächlicher Bergwasserhaushalt für den Druckstollen Strassen-Am-lach, Tirol. In: *geotechnik* 14 (1991), S. 74-80.
3. Reichl, P.; Zojer, H.: Hydrogeologische Voruntersuchungen für den Semmering-Basistunnel. In: *Felsbau* 12 (1994), S. 458-465.
4. Zojer, H.: The Effects of Tunnelling on Natural Water Resources. In: *Felsbau* 15 (1997), S. 104-107.
5. Loew, S.: *Natural groundwater pathways and models for regional groundwater flow in crystalline rocks*. Seiler & Wohnlich (ed.): New approaches characterizing groundwater flow, Vol. 2, S. 1013-1018. Rotterdam: Balkema, 2001.
6. Distelmeier, H.: *Umweltprobleme bei der Fassung, Klärung und Ableitung des Bergwassers bei einem Felsvortrieb in Spritzbetonbauweise*. Forschung + Praxis: Unterirdisches

Bauen – Technik und Wirtschaftlichkeit, S. 130-136. Köln: STUVA, 1984.

7. Klaghofer, E.: Auswirkungen veränderter Bergwasserspiegellagen auf Bodenwasserhaushalt und Vegetation. In: *Felsbau* 12 (1994), S. 486-489.
8. Saxer, A.; Lukas, W.: Beurteilung des stofflichen Austrags aus deponiertem Tunnelausbruchmaterial. In: *Tunnel* 7 (1996), S. 48-54.
9. Poscher, G.: Zur Umweltverträglichkeit von Spritzbeton im Tunnelbau – Erfahrungen mit Maßnahmen zur Verminderung der Spritzbetoneluation. In: *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck* 19 (1993), S. 71-92.
10. Mammel, R.: *Auswirkungen konventioneller Tunnelvortriebe auf Wasserwirtschaft und Wasserqualität*. Diplomarbeit, TU Karlsruhe, 2000.
11. Stempkowski, R.: Beitrag zur Weiterentwicklung der UVP Probleme aus der Praxis – Lösungsansätze für die Praxis – Verfahrensverbesserungen. In: *ÖIAZ download*, 2002.
12. Oberleitner, F.: Das österreichische Wasserrecht im Überblick. In: *Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft* 46 (1994), S. 124-133.
13. BUWAL: *Grundwasserschutz bei Tunnelbaustellen – Grundlagenbericht*. Schriftenreihe Umwelt Nr. 231, 1994.
14. BUWAL: *Wegleitung zur Umsetzung des Grundwasserschutzes bei Untertagebauten*. 2001.
15. Hötzl, H.; Eiswirth, M.: *Grundwassergefährdung durch Baumaßnahmen – Materialien*. Bonn: DVWK, 1999.
16. Österreichisches Raumentwicklungskonzept 2001: *Entwurf für die Sitzung des ständigen Unterausschusses*. download, 2001.
17. Lindenberger, H.: Der Eisenbahnausbau im Unterinntal. In: *Felsbau* 17 (1999), S. 382-387.
18. Bartl, M.; Köhler, M.: Munich-Verona Rail Link. Investigations for the northern approach in Austria and for the Brenner Base Tunnel. In: *Felsbau* 18 (2000), S. 7-13.
19. Reichl, I. et al.: *Erkundungsstollen Brixlegg Ost, Beispiel für die Grenzen der Wirksamkeit von Felsinjektionen*. Beiträge zum 17. Christian Veder Kolloquium 2002, S. 177-192.
20. Solexperts-ILF: *Erkundungsstollen Brixlegg Ost – Druckentlastungsversuch 2001*. Projektbericht i.A. der BEG, 2002.
21. *Allgemeine Abwasseremissionsverordnung: 2. Fassung* 19. April 1996 (BGBl.Nr. 186/1996)
22. Schneider, J.-F.; Zojer, H.; Reichl, P.: Die hydrogeologische Vorerkundung im Hohlraumbau. In: *Felsbau* 16 (1998), S. 276-283.
23. Jungbauer, H. et al.: Hydrogeologische Modelle. In: *gwf Wasser – Abwasser* 140 (1999), S. 781-786.
24. ÖWWV-Regelblatt 201: *Leitlinie für die Nutzung und den Schutz von Karstwasservorkommen für Trinkwasserzwecke*. Regeln des österreichischen Wasserwirtschaftsverbandes. Wien, 1984.
25. ÖWWV-Regelblatt 205: *Nutzung und Schutz von Quellen in nicht verkarsteten Bereichen*. Regeln des österreichischen Wasserwirtschaftsverbandes. Wien, 1990.
26. RVS 9.242: *Tunnel: Projektierungsrichtlinien – Bautechnische und geotechnische Vorarbeiten Stadtbereich*. BMWA, 1992.
27. Kärcher, K.; Gottheil, K.-M.: Ermittlung des Bemessungsgrundwasserspiegels auf wahrscheinlichkeitstheoretischer Grundlage. In: *geotechnik* 20 (1997), S. 55-58.
28. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik: *Richtlinie für die Geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischem Vortrieb*. ÖGG, Salzburg, 2001.
29. ÖNORM B2203-1: *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm Teil 1: Zyklischer Vortrieb*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2001.

Autoren

Ing. Mag. Dr.-Ing. Gerhard Poscher, Dipl.-Geoökol. Rebekka Mammel, ILF Beratende Ingenieure ZT GmbH, Framsweg 16, A-6020 Innsbruck, Österreich, E-Mail gerhard.poscher@ibk.ilm.com, rebekka.mammel@ibk.ilm.com; Dipl.-Geol. Hansruedi Fisch, Solexperts AG, Schulstraße 5, CH-8603 Schwerzenbach, Schweiz, E-Mail contact@solexperts.com; Mag. Christoph Sedlacek, Brenner Eisenbahn GmbH, Projektleitung Unterinntalbahnhof, Industriestraße 1, A-6134 Vomp, Österreich, E-Mail beg@aon.at