

## Hydrogeologische Modellentwicklungen im Brenner-Gebiet

U. BURGER, B. MILLEN & H. KIRSCHNER

### 1. Einleitung

Ein angewandtes Großprojekt und ein strukturgeologisch ausgerichtetes Forschungsprojekt ermöglichen es, sich hydrogeologisch mit den geologisch sehr unterschiedlichen Gebieten östlich und westlich der Brennerfurche auseinanderzusetzen. Für die Entwicklung „Hydrogeologischer Modelle“ wurden die neuen, geologischen und strukturgeologischen Erkenntnisse hydrogeologisch interpretiert. Die für die hydrogeologischen Modelle notwendigen hydraulischen und hydrochemischen Daten wurden über einen mittlerweile 2 Jahre langen Zeitraum gemessen, für einzelne Messorte wie z.B. Pegel des hydrographischen Dienstes werden die Messreihen des letzten Jahrzehntes ausgewertet. Sowohl hydrochemische als auch isotopechemische Daten, Ergebnisse von Aufschlussbohrungen und Bohrlochversuchen sowie erste Ergebnisse einer numerischen Modellierung werden in den Prüfverfahren der „Hydrogeologischen Modelle“ verwendet.

Im Folgenden werden nach einer näheren Betrachtung des Begriffes „Hydrogeologisches Modell“ für die westlich und östlich der Brennerfurche gelegenen Untersuchungsgebiete hydrogeologische Modellentwicklungen (konzeptuelle Modelle) vorgestellt, die teilweise, aufgrund erfolgter Prüfung, den Status eines hydrogeologischen Modells haben.

### 2. „Hydrogeologisches Modell“ versus „Hydrogeological Model / Modeling“

Der Begriff „Hydrogeologisches Modell“ ist in den letzten Jahren im deutschsprachigen Raum durch die Bemühungen der Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft (FH DGG) neu definiert worden, um sowohl für die Ersteller als auch die „Besteller“ hydrogeologischer Modelle Richtlinien über deren Aufbau, Inhalt und einzuhaltende Mindestanforderungen zu schaffen (Deutsche Geologische Gesellschaft, 2002).

Das „Hydrogeologische Modell“ ist dementsprechend *„die Abstrahierung bzw. Schematisierung der Einflußgrößen und ihrer Zusammenhänge. Es beinhaltet damit die Darstellung der wesentlichen Systemeigenschaften im Untersuchungsraum für die Beschreibung und Prognose hydrogeologischer Vorgänge (Strömungs- bzw. Transportvorgänge im Grundwasser) im Sinne der Aufgabenstellung“*.

Grundsätzlich sind für den Aufbau eines „Hydrogeologischen Modells“ nach der Deutschen Geologischen Gesellschaft (2002) die in Abb. 1 angeführten Arbeitsschritte notwendig.

Im englischsprachigen Raum bezieht sich der Begriff „hydrogeological model“ vorwiegend auf die Entwicklung von analogen und numerischen hydrogeologischen Modellen (TODD, 1980). Generell wird im englischsprachigen Raum das „modeling“ in 2 Schritten vollzogen. Zunächst werden in einem ersten Schritt alle zur Verfügung stehenden und gesammelten, hydrogeologisch relevanten Daten ausgewertet und in ein „conceptual model“ verpackt. Dabei ist dieses „conceptual model“ schon sehr von der anschließend erfolgenden numerischen Modellierung geprägt. Im Unterschied zum „Hydrogeologischen Modell“ werden Prüfungen in verschiedensten Formen (z.B. durch Prüfungen im Feld oder einfache analytische Prüfungen) nicht zwingend vorgeschrieben, dies erfolgt durch die anschließende numerische Modellierung.

Während also im englischsprachigen Raum das „modeling“ auf die numerische Modellierung ausgerichtet ist und Ziel aller diesbezüglichen Untersuchungen die numerische Modellierung ist, ist die numerische Modellierung im deutschen Sprachraum bei der Erstellung eines „Hydrogeologischen Modells“ als Prüfverfahren möglich, aber nicht zwingend. Für die Prüfung des „Hydrogeologischen Modells“ können auch einfachere analytische Lösungen verwendet werden, die die Hydrogeologischen Modellvorstellungen auf Plausibilität prüfen. Die Erstellung eines „Hydrogeologischen Modells“ ist dabei die konzeptuale Voraussetzung für die Entwicklung eines „Numerischen Modells“, wengleich das „Hydrogeologische Modell“ nicht notwendigerweise in ein „Numerisches Modell“ umgesetzt werden muss (JUNGBAUER & HARLACHER 2000).

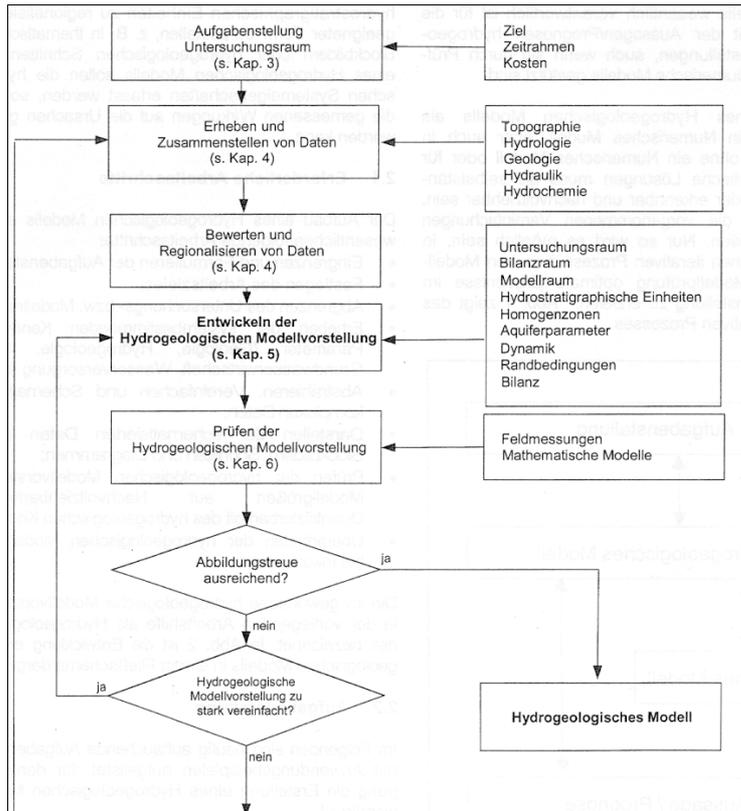


Abb. 1: Entwicklung des „Hydrogeologischen Modells“ (entnommen aus Deutsche Geologische Gesellschaft, 2002, Abb. 2, S. 10).

Wesentliche Faktoren bei der Erstellung hydrogeologischer Modelle sind bei Projektbeginn die genaue Definition der Ziele sowie die Festlegung des Zeitrahmens und des zur Verfügung stehenden Budgets. Diese Faktoren bestimmen im Wesentlichen den Arbeitsschritt „Erheben und Zusammenstellen von Daten“ (Abb. 1), so z.B. ob und in welchem Umfang eine hydrologische Beweissicherung durchgeführt wird, sowie den Umfang und die Methodik des Arbeitsschrittes „Prüfen der Hydrogeologischen Modellvorstellung“ (siehe Abb. 1).

Generell beschränkt sich bei den „Low-budget“-Projekten, wie jenem westlich der Brenner Furche, der Arbeitsschritt „Erheben und Zusammenstellung von Daten“ auf die Erhebung von Bestandsdaten sowie auf die örtliche und zeitliche punktuelle Überprüfung dieser Bestandsdaten. Bei der Prüfung der Hydrogeologischen Modellvorstellung muss bei diesen Projekten auf umfangreiche und aufwendige Feldmessungen verzichtet werden. Dafür sind numerische Grundwassermodelle - welche zwischenzeitlich effizient bei Fragestellungen betreffend die Hydrogeologie im Locker- und auch Festgestein einsetzbar sowie graphisch optimiert sind -, geeignet, aufgrund ihres vergleichsweise technischen und personellen geringeren Aufwandes „kostengünstigere“ Verifizierungen durchzuführen. Die numerische Modellierung hat zudem den Vorteil, die für das Untersuchungsgebiet sensiblen hydrogeologischen Parameter zu erkennen, deren Werte dann in situ gezielt ermittelt werden können.

### 3. Datengrundlagen für die hydrogeologische Modellierung

Generell sind für die hydrogeologische Modellierung Daten folgender Schwerpunkte notwendig: Topographie, Hydrologie, Geologie, Hydraulik und Hydrochemie. Je nach Fragestellung können auch weitere Fachgebiete von Interesse sein, so z.B. bautechnische Daten, Angaben über Bodennutzung oder historische Daten z.B. bei Modellierung von Ausbreitungen von Kontaminationen.

Die Daten lassen sich nach JUNGBAUER & HARLACHER (2000) in beschreibende Daten, also solche, die einer Interpretation bedürfen, wie z.B. geologische Karten und Profile, und quantitative Daten gliedern. Letztere lassen sich wiederum in statische Daten, also zeitlich konstante Daten (z.B. Aquifermächtigkeiten) und dynamische Daten, also zeitlich variierende Daten (z.B. Grundwasserspiegelstände) unterscheiden. Beispiele werden in den folgenden Kapiteln aufgezeigt.

#### 4. Ziele der hydrogeologischen Modelle östlich und westlich der Brenner Furche

Hauptziel des hydrogeologischen Modells östlich der Brennerfurche ist, Erkenntnisse über den Tiefgang von Grundwasserströmungen in alpinen Regionen zu gewinnen. Diese Erkenntnisse dienen u.a. dazu, eine hydrogeologische Risikoevaluierung für die Grundwasservorkommen durch den Bau und Betrieb eines tiefliegenden Tunnels sowie erste Aussagen über die Auswirkungen des hydrogeologischen Systems auf diesen tiefliegenden Tunnel zu machen.

Hauptziel der hydrogeologischen Modellierung westlich der Brennerfurche ist die Ausarbeitung der Bedeutung strukturgeologischer Elemente für das hydrogeologische System, im speziellen deren Auswirkungen auf die Grundwasserströmungen.

#### 5. Hydrogeologisches Modell östlich der Brenner Furche

##### 5.1. Hydrogeologischer Modellraum

Die schematische geologische Karte (Abb. 2), die auf den neu gewonnenen Erkenntnissen über den nördlichen Abschnitt des Projektgebietes BBT EWIV von BRANDNER et al. (2001) und ROCKENSCHAUB et al. (2000) basiert (vergleiche BBT EWIV 2002), gibt einen Überblick über den östlichen Modellraum.

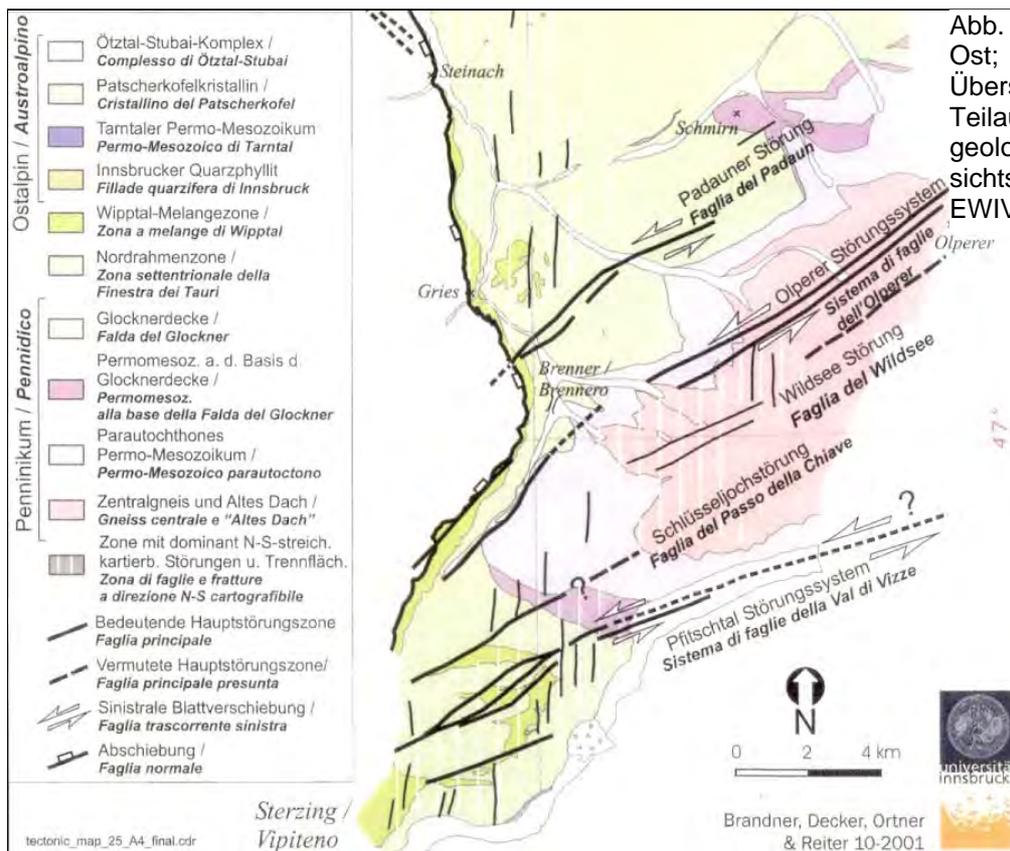


Abb. 2: Modellraum Ost; die geologische Übersichtskarte ist ein Teilausschnitt der geologischen Übersichtskarte in BBT EWIV (2002).

Der Modellraum liegt am Westrand des Tauernfensters und ist im Norden durch das Venntal, in dem das Oplerer-Störungssystem liegt, im Westen durch die Brennerfurche südlich und nördlich des Brenners, im Süden durch die südliche Umrahmung des Pfitschtales und im Osten durch die Kämme der Zillertaler Alpen begrenzt.

Aus geologischer Sicht bildet der Zentralgneis den Kern, der von permomesozoischen Decken, Modereck-Seidlwinkl-Decke, die Wolfendorndecke und Hochstegenzone sowie von der Glockner-

decke umrahmt wird. Im Bereich des Pfitschtales liegen tiefreichende geologische Strukturen vor, die auch die erwähnten Decken erfassen. Nach LAMMERER (1988) handelt es sich um tiefreichende Isoklinalfalten, die gemäß BRANDNER et al. (2001) Richtung Westen tektonisch ausgedünnt sein können. Dabei fällt auf, dass diese tiefreichenden Strukturen im Bereich des Schlüsseljoches in ca. E-W-Streichrichtung vom Pfitschtal in die Brenner Furche südlich des Brenners reichen.

Strukturgeologisch sind das Olperer-Störungssystem und die Brenner-Abschiebung zu erwähnen. Das Olperer-Störungssystem streicht parallel zum Venntal und mündet dann in die Brennerfurche am orographisch linken Hang des südlichen Wipptals ein. Die Brenner-Abschiebung trennt hingegen den Liegendblock „Tauernfenster“ vom Richtung Westen abgeschobenen Ötztal-Kristallin.

Aus quartärgeologischer Sicht muss die große Übertiefung des Pfitschtales (östlich des Stausees ca. 225 m, beim Sportheim westlich St. Jakob ca. 300 m) erwähnt werden, bzw. der Umstand, dass westlich des heutigen Stausees ein gewaltiger Bergsturz das Pfitschtal postglazial abriegelt und aufgestaut hat (HERING et al. 1992). Dieser natürliche See ist anschließend verlandet. Zeugen dafür sind die mächtigen Lockergesteine im und an den Hängen des Pfitschtales. Erwähnenswert sind die mächtigen, auch seicht anstehenden feinkörnigen Sedimente, die gemäß dem geologischen Modell Richtung Westen (sprich natürlichen Damm) an Mächtigkeit zunehmen.

## 5.2. Hydrostratigraphische Einheiten

Als einer der ersten Schritte bei der Erstellung eines Hydrogeologischen Modells ist die Ableitung von hydrostratigraphischen Einheiten bzw. Homogenzonen durchzuführen.

Für diesen Arbeitsschritt ist gemäß Abb. 3 zunächst eine hydrogeologische Interpretation des geologischen Modells und in Folge eine hydraulische Bewertung und hydrochemische Charakterisierung der abgeleiteten Einheiten erforderlich.

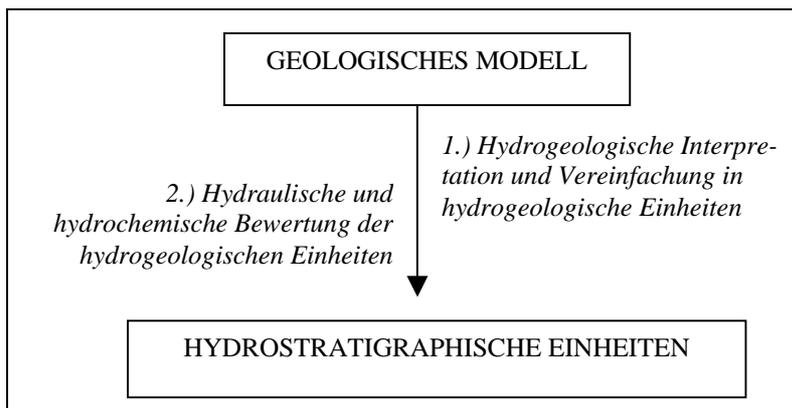


Abb. 3: Ableitung von hydrostratigraphischen Einheiten vom geologischen Modell.

Zur hydraulischen Bewertung dienen im speziellen Fall die Ergebnisse hydraulischer Versuche im Bohrloch sowie physikalische Messreihen als Ergebnis einer umfangreichen hydrologischen Beweissicherung (BURGER et al., 2002), aber auch Literaturdaten und Erfahrungswerte. Hydrochemische und isotopechemische Daten ermöglichen zunächst eine Prüfung der postulierten hydrographischen Einheiten und in Folge eine hydro-/isotopechemische Charakterisierung derselben.

Als Beispiel wird die Ableitung der hydrostratigraphischen Einheit „Karst“ angeführt.

Aufgrund der geologischen Aufnahmen ist bekannt, dass das dominante Gestein in der Hochstegenzone Kalkmarmor ist. Bereits im Gelände fallen lösungserweiterte Klüfte bzw. Hohlräume in Felswänden auf, die auf Karst schließen lassen. Die Hochstegenzone ist Teil der den Zentralgneis umrahmenden Decken, die im Bereich des Schlüsseljoches auch in große Tiefen abtauchen.

Quellen, die aufgrund ihrer topographischen Position die Hochstegenzone als Einzugsgebiet haben müssen, bestätigen eine Zuordnung der Hochstegenzone zur hydrostratigraphischen Einheit „Karst“. Beim hydrochemischen Verhalten der analysierten Quellwässer fällt die geringe Mineralisierung und der typische Ionengehalt von Hydrogenkarbonatwässern auf (Tabelle 1, Zeile HZ).

Das Karstverhalten bestätigt sich auch im physikalischen Verhalten der Quellen, so weist z.B. die Ralsner Quelle, eine bergseitig der Olpererstörung am orographisch linken Hang der Brennerfurche südlich des Brenners austretende Quelle, neben großen Schüttungen auch große Schüttungsschwankungen und jahreszeitliche Schwankungen in der Mineralisierung auf (vgl. Abb. 4). Dieses Verhalten ist typisch für Karstquellen.

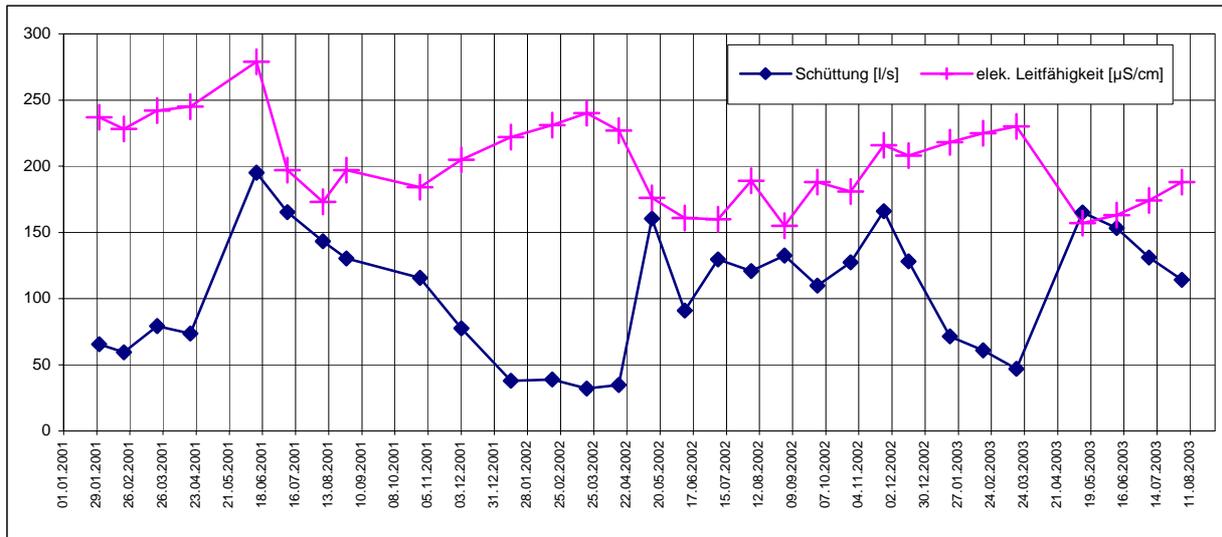


Abb. 4: Schüttungs- und elektrisches Leitfähigkeitsverhalten der Ralsquelle über den Zeitraum Jänner 2001 bis August 2003.

Anhand dieser Ergebnisse lässt sich die Hochstegenzone der hydrostratigraphischen Einheit „Karst“ zuordnen.

Im Überblick lassen sich für den Modellraum Ost folgende hydrostratigraphische Einheiten ableiten:

- Grundwasserstauer (ungestörter Zentralgneis, Metakonglomerate und Schwarzphyllite der Seidlwinkel-Modereck-Decke, Glimmerschiefer, Phyllite und Kaserer Serie der Wolfendorndecke und Hochstegenzone, lakustrine Sedimente im Pfitschtal, Bergsturz von Afens).
- Linearer Grundwasserleiter (spröde tektonisierter Zentralgneis).
- Regionaler Grundwasserleiter (Modereck-Seidlwinkel-Decke, Glocknerdecke).
- Karst (Hochstegenzone).
- Lockergesteinsaquifer (Alluvionen des Pfitschtales).

Die in Tabelle 1 angeführten physikalischen und hydrochemischen Daten (Mittelwerte der zuzuordnenden Quellen) ermöglichen eine hydraulische und hydrochemische Charakterisierung der hydrostratigraphischen Festgesteins-Einheiten.

Hyd. Einheit	Nr. Messorte	Q <sub>min</sub> [l/s]	Q <sub>max</sub> [l/s]	Q <sub>av.</sub> [l/s]	EC <sub>min</sub> [ $\mu\text{S/cm}$ ]	EC <sub>max</sub> [ $\mu\text{S/cm}$ ]	EC <sub>av.</sub> [ $\mu\text{S/cm}$ ]	NO <sub>3</sub> [mg/l]	Cl [mg/l]	SO <sub>4</sub> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	K [mg/l]	Na [mg/l]
GD <sub>KR</sub>	13	2.6	12.7	5.8	296	369	325	3.7	2.4	23.8	184.3	58.2	8.0	1.1	1.6
GD <sub>KA</sub>	5	2.1	8.2	4.0	321	345	331	1.7	0.5	21.6	198.8	49.6	14.9	0.7	1.2
GD <sub>ID</sub>	9	0.8	3.3	1.7	470	527	500	1.4	2.3	95.8	217.0	65.9	27.6	0.7	1.5
MScD	7	0.3	2.3	0.8	419	562	493	1.0	0.4	116.8	204.4	79.9	21.8	0.6	0.8
MSD	28	1.7	9.3	3.8	449	506	479	1.9	1.4	65.1	249.2	54.7	32.0	4.3	1.7
HZ	10	6.6	39.2	18.2	239	293	267	1.3	1.7	26.3	143.2	47.8	6.0	1.0	1.7
ZG	2	3.0	16.1	8.3	73	128	100	1.5	0.2	4.8	59.3	19.5	1.3	0.7	0.7

Tab. 1: Physikalische und chemische Mittelwerte aus 27 monatlichen Messungen und 9 chemischen Analysen. Die Anzahl der hydrographisch zuzuordnenden Messorte ist in der Spalte 2 angeführt. Glocknerdecke (GD), karbonatreich (KR), karbonatarm (KA), Intra-Deckengrenzen (ID); Modereck-Schöberspitz-Decke (MScD); Modereck-Seidlwinkel-Decke (MSD); Hochstegen-Zone (HZ); Zentral-Gneis (ZG).

Die der hydrostratigraphischen Einheit „regionale Grundwasserkörper“ zugeordnete Glocknerdecke zeigt aufgrund des Schüttungsverhaltens der Quellen, dass

- die in der Glocknerdecke festgestellten Deckengrenzen eine Wasserwegigkeit bilden und die Wässer dabei hoch mineralisiert sind (vgl. Tabelle 1, Zeile GD<sub>ID</sub>),
- die karbonatreichen Bündnerschiefer stärker durchlässig sind als die karbonatarmen Bündnerschiefer.

Letzteres geht aus dem physikalischen Schüttungsverhalten (vgl. Tabelle 1, Zeilen  $GD_{KR}$ ,  $GD_{KA}$ ) von mehreren Quellen hervor, die unter der Annahme ähnlicher meteorologischer Bedingungen und Einzugsgebietsgrößen für die karbonatreichen Bündnerschiefer eine höhere Durchlässigkeit folgern als für die karbonatarmen Bündnerschiefer.

Quellen der Modereck-Seidlwinkel-Decke zeigen, dass die Decke aus Gesteinen mit einer guten Durchlässigkeit und Speicherefähigkeit besteht. Auffällig ist die vergleichsweise hohe Mineralisierung der Quellen, wobei der hohe Sulfatanteil in diesen Wässern aufgrund der positiven  $\delta^{34}S$  ( $>+10\%$  VCDT) eindeutig auf gelöste sulfathaltige Gesteine (Gipse) schließen lässt. Eine Bestätigung für die „germanische Fazies“ der Modereck-Seidlwinkel-Decke (freundl. mündl. Mitteilung BRANDNER, 2001) ist der Umstand, dass Wässer aus dieser Decke K-reicher sind als jene aus der Modereck-Schöber-spitzen-Decke als Folge eines höheren terrigenen Einflusses.

### 5.3. Hydrogeologische Besonderheiten im Modellraum

Das hydraulische Verhalten der Störungen, wie z.B. des Olperer-Störungssystems, bestätigt die Untersuchungsergebnisse von Störungszonen im Gotthard-Massiv (freundl. mündl. Mitteilung ZAN-GERLE, 2002, LÜTZENKIRCHEN, 2002), die zur Erkenntnis eines bimodalen hydraulischen Verhaltens von sprödetektonischen Störungen in Gneisen führten. Austretende Quellen bergseitig der Olperer-Störung lassen für diese eine Funktion als hydraulische Barriere folgern, Ergebnisse einer Tiefbohrung im Venntal zeigen aber, dass in den Störungszonen in 700 m noch vergleichbar „erhöhte“ hydraulische Durchlässigkeiten vorherrschen ( $K = 2,6 \times 10^{-7} \text{m/s}$ ). Dass diese Störungzone für den regionalen Grundwassertransport wesentlich ist, geht aus den für Gneise ungewöhnlich hohen elektrischen Leitfähigkeiten von  $3.450 \mu\text{S/cm}$  hervor. Die hydrochemische Zusammensetzung der Wässer mit hohem  $\text{Cl}^-$  (900 mg/l),  $\text{Na}^-$  (396 mg/l),  $\text{Ca}^-$  (430 mg/l) und  $\text{SO}_4^-$  (660 mg/l) Gehalt lassen auf Lösung evaporitischer Gesteine schließen, die aber im vorliegenden Fall nur weitab im Osten als Mulde mit Richtung Westen abtauchender Muldenachse aufgeschlossen sind.

Zum Verständnis der hydrogeologischen Modellvorstellungen gilt es weiter zu erwähnen, dass Quellen mit den Austritts- und mittleren Einzugsgebiets Höhen entsprechenden Wassertemperaturen bergseitig der Olperer-Störung austreten. Eine Quelle (Brennerbad-Quelle) mit thermalen Eigenschaften (T schwankt zwischen 20 und 22°C) tritt in der Brenner Furche am südlichen Rand der vom Pfitschtal in die Brenner Furche reichenden E-W-streichenden Isoklinalfalte aus.

Im Zusammenhang mit dem Pfitschtal gilt es zu erwähnen, dass erste Wasserbilanzen für das orographische Einzugsgebiet des Pfitschtales (Hochtal östlich Stauseestufe) einen Infiltrationsanteil von ca. 25% der Niederschlagsmenge, die im Mittel ca. 1.300 mm/Jahr beträgt, ergaben und dass trotz der „idealen“ geologischen Gegebenheiten im Lockergesteinsaquifer und dem großen Einzugsgebiet des Tales kein artesischer Aquifer im Pfitschtal auftritt.

### 5.4. Entwicklung der Hydrogeologischen Modellvorstellung

Die hydrogeologische Modellvorstellung für den Modellraum Ost verdeutlichen die schematischen Profile in Abb. 5

Die Grundwasserführung wird hauptsächlich in den Einheiten Hochstegenzone, Modereck-Seidlwinkel-Decke, den sprödet gestörten Bereichen im Zentralgneis und dem grobkörnigen Lockergestein im Pfitschtal angenommen, während die steil Richtung Norden und das Pfitschtal Richtung Süden begrenzenden karbonatarmen Bündnerschiefer der Glocknerdecke, die Kaserer Serie, die lakustrinen Sedimente und der Bergsturz im Pfitschtal als Grundwasserhemmer wirken.

Dort, wo die permotriassischen Decken tief hinabreichen, gelangt auch das Wasser in größere Tiefen und mag, gezwungen durch den „randlich“ stauenden Effekt der Olperer-Störung oder der Brenner-Störung als Thermalwasser „aufgeheizt“, nach oben strömen.

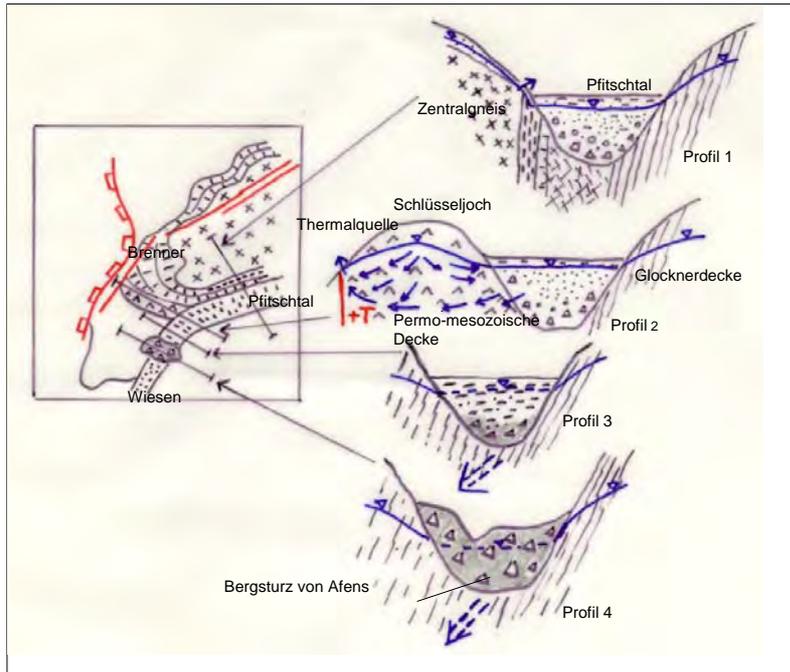


Abb. 5: Hydrogeologische Modellvorstellungen für das Brenner-Gebiet östlich der Brenner-Furche. Aufgrund der stauenden Wirkung des Bergsturzes von Afens und jenen der lakustrinen Sedimente ist ein Grundwasserabfluss aus dem Pfitschtal entweder über einen tiefen Grundwasserstrom unterhalb dieser stauenden Formationen (Profil 3, 4) oder über einen tiefen Grundwasserstrom in der Isoklinalstruktur aus permomesozoischen Decken im Bereich des Schlüsseljoches denkbar (Profil 2).

Wesentlich für die Entwässerung des Pfitschtales sind dabei folgende Feststellungen. Das mit Lockergestein verfüllte Tal wird:

- gegen Süden von den steil Richtung Norden abfallenden Schichten der Glocknerdecke begrenzt,
- gegen Westen vom Bergsturz und den bergseitig folgenden mächtigen lakustrinen Sedimenten abgesperrt,
- gegen Norden von der permotriassischen Hülle begrenzt, wobei eine Ausdünnung dieser tektonischen Einheit in Richtung Westen aufgrund lateraler Störungssysteme anzunehmen ist.

Außerdem

- verbindet eine tief reichende, hydraulisch durchlässige Isoklinalstruktur im Bereich des Schlüsseljoches das Pfitschtal mit der Brennerfurche,
- tritt am südlichen Rand dieser Isoklinalstruktur die Thermalquelle in der Brennerfurche aus.

Mehrere hydrogeologische Modellvorstellungen zur Definierung des unterirdischen Abflussregimes des Pfitschtales stehen zur Diskussion:

1. Die Grundwasserneubildung hält dem Grundwasserabfluss nicht stand. Ein Hinweis sind die fehlenden „erwarteten“ artesischen Grundwasserverhältnisse im Pfitschtal. Hilfe zur Klärung kann eine Wasserbilanz bieten, dafür sind aber derzeit noch die Werte für die erforderlichen Parameter (Oberflächenabfluss, Niederschlag, Evaporation, Grundwasserabfluss) zu vage.
2. Der Grundwasserabfluss erfolgt durch einen „tiefen Abfluss“ im Pfitschtal, wobei der stauende Damm im Westen (lakustrine Sedimente und Bergsturz) unterströmt wird (Abb. 5). Hinweise können dabei die großen Grundwasseraustritte am Anfang des Pfitschtales sein, die aber nicht die geforderten hydrochemischen und isotopenchemischen Hinweise aufweisen.
3. Ein Teil des Grundwasserabflusses erfolgt möglicherweise Richtung Westen in Richtung Brennerfurche (Abb. 5), wofür die topographischen, geologischen und strukturgeologischen Gegebenheiten und die hydraulischen Eigenschaften der Gesteine sprechen.

## 5.5. Modellprüfung

Das vorgestellte hydrogeologische Modell hat derzeit aufgrund der fehlenden Modellprüfung den Status eines hydrogeologischen konzeptuellen Modells. Für einige Modellteile ist jedoch der Nachweis und damit die Berechtigung „Hydrogeologischer Modell-Teile“ erbracht worden, so z.B. für

das bimodale Verhalten von Störungen im Zentralgneis durch die abgeteufte Bohrung (Nachweis Störung als Grundwasserleiter) und die festgestellten Großquellen-Austritte am bergseitigen Rand der Störung (Nachweis Störung als Grundwasserhemmer),

- die Zuordnung der Hochstegenzone zur hydrostratigraphischen Einheit „Karst“ sowie der Glocknerdecke zur hydrostratigraphischen Einheit „Regionale Grundwasserleiter“ (physikalisches und hydrochemisches Verhalten der eindeutig zuordenbaren Quellen),
- die Wasserführung der Modereck und Seidlwinkldecke (physikalisches und hydrochemisches Verhalten der Quellen).

Weitere Modellprüfungen, unter anderem in Form von Tiefbohrungen sind geplant.

## **6. Hydrogeologisches Modell westlich der Brenner Furche**

### **6.1. Generelles**

An der Prüfung hydrogeologischer Modellvorstellungen mittels numerischer Modellierung wird derzeit für das „Hydrogeologische Modell westlich der Brenner Furche“ gearbeitet, das Teil eines strukturgeologisch ausgerichteten Forschungsprojektes ist.

Der Modellraum dehnt sich auf das Brenner-Mesozoikum aus, wobei aus hydrogeologischer Sicht dasselbe in einen nördlichen und einen südlichen Abschnitt teilbar ist. Diese Unterscheidung geht auf die strukturgeologische Position der regionalen Grundwasserleiter zurück. Vergleicht man auf der abstrahierten geologischen Karte den geologischen Aufbau des nördlichen Vorkommens mit dem des südlichen Vorkommen (Abb. 6) des Brenner-Mesozoikums, so fällt auf, dass im südlichen Vorkommen die Festgesteinsaquifere in Richtung Osten von der Steinacher Decke überlagert werden. Im nördlichen Vorkommen sind die potentiellen Festgesteinsaquifere hingegen frei an der Oberfläche anstehend.

Aus hydrogeologischer Sicht bedingt dieser geologische Aufbau einen wesentlichen Unterschied in der Grundwasserneubildung und damit der Grundwasserfließrichtung in diesen beiden Vorkommen. Während im Norden die Infiltration in die potentiellen Festgesteinsaquifere direkt erfolgen kann, begrenzt sich die direkte Infiltrationsfläche im südlichen Vorkommen auf den westlich aufgeschlossenen Teil. Im Osten ist die Grundwasserneubildung in den potentiellen Festgesteinsaquiferen aufgrund deren Überlagerung durch gering durchlässige Gesteine der Steinacher Decke als gering anzunehmen.

Ausgehend von diesen geologischen Gegebenheiten ist für das südliche Vorkommen von einem hydrogeologischen Modell auszugehen, das durch die Grundwasserneubildung im Westen geprägt ist und dass aufgrund der Erstreckung der Festgesteinsaquifere in Richtung Osten eine Grundwasserströmung in dieselbe Richtung erfolgt.

Diese Modellvorstellungen werden derzeit mittels der numerischen Modellierung bzw. durch hydrochemische Analysen der Grundwasseraustritte entlang E-W-orientierter Profile gemäß TÓTH (1999) auf Plausibilität geprüft.

### **6.2. Stand der numerischen Modellierung**

Verschiedene Umstände erschweren die numerische Modellierung alpiner Regionen, so z.B. die ausgeprägte Topographie, die komplexe Geologie und der Mangel an Werten für die Parameter eines hydrogeologischen Modells.

Als Beispiel sei auf den Faktor Grundwasserneubildung verwiesen, der in der hydrogeologischen Modellierung als „recharge“ eingeht. Die Bestimmung desselben ist speziell in gebirgigen Regionen mit der großen Vielfalt an Einflussgrößen sehr schwierig. Da sich aber im Untersuchungsraum mehrere Abfluss-Messstellen der Oberflächenwässer des hydrographischen Dienstes befinden, wird eine Auswertung der Abflüsse (Abb. 7) für die Bestimmung der Grundwasserneubildung herangezogen, Ergebnisse dieser Auswertung werden aufgezeigt.

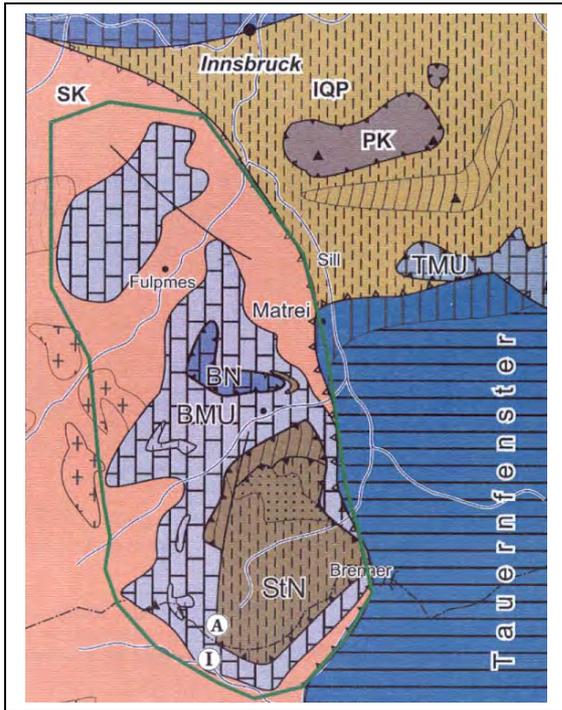


Abb. 6: Schematische geologische Karte des Brennermesozoikums, aus BRANDNER et al. (2003). BMU – Brenner-Mesozoikum, BN – Blaser-Decke, SK – Ötztal-Stubai-Kristallin, StN – Steinacher Decke.

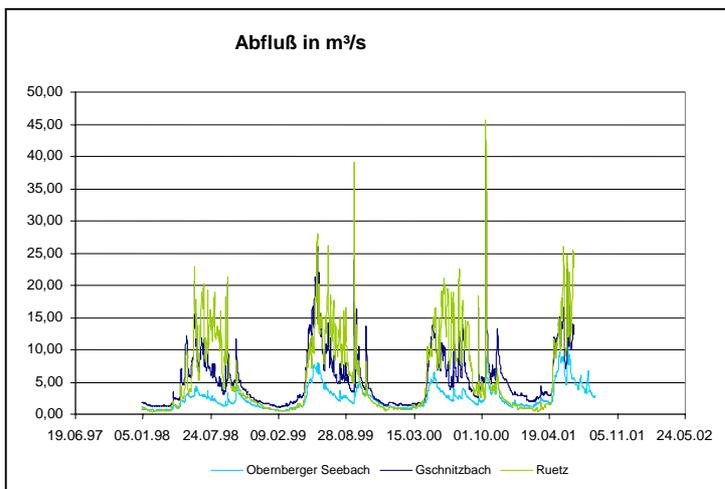


Abb. 7: Abfluss Ganglinien (Tagesmittelwerte) der Bäche Obernberger Seebach, Gschnitzbach und Ruetz, dargestellt für den Zeitraum Jänner 1998 bis November 2001 (Datenquelle Hydrographischer Dienst, Tirol).

Das numerische Modell wird mit „Modflow“ gerechnet, wobei sich diese Software mittlerweile auch als geeigneter Code zur Modellierung regionaler Festgesteinsaquifere etabliert hat (u.a. RAYNE et al. 2001). Erste Ergebnisse der numerischen Modellierung zeigen, dass entsprechend den Erfahrungen von JAMIESON & FREEZE (1983) die Grundwasserströmungen in gebirgigen Regionen wesentlich vom Faktor „hydraulische Durchlässigkeit“ bestimmt werden.

## 7. Schlussbemerkungen

Hydrogeologische Modelle erweisen sich sowohl bei hydrogeologischen Forschungs- als auch bei angewandten Projekten als wichtiges Medium, um hydrogeologische komplexe Zusammenhänge vereinfacht darzustellen und Prognosen machen zu können. Der Vorteil eines hydrogeologischen Modells liegt dabei darin, dass es mittels neuer Daten neu kalibriert und geprüft werden kann und damit ständig verbesserungsfähig ist, was letztlich zu einem dynamischen, interdisziplinären und fachlichen Austausch anregt.

## Dank

Für die wertvollen Anregungen und die Diskussionsbereitschaft sei den Herrn M. KÖHLER (BBT EWIV), A. LOMBARDI (BBT EWIV), R. BRANDNER (Univ. Innsbruck), F. REITER (Univ. Innsbruck), M. ROCKENSCHAUB (GBA), B. KOLENPRAT (GBA) und G. POSCHER (ILF Beratende Ingenieure ZT GmbH) recht herzlich gedankt.

## Literatur

- BBT EWIV (2002): Kurzbericht 2002 - Geologie Erkundungsarbeiten. - Ed. KÖHLER, M. & LOMBARDI, A., in [www.bbt-ewiv.com](http://www.bbt-ewiv.com), 72 S.
- BRANDNER, R. & ROCKENSCHAUB, M. (2003): Umwelttektonik östliche Stubai Alpen, Projekt TC 12, Bund-/Bundesländerkooperation, 2. Zwischenbericht. - BM für Bildung, Wissenschaft und Kultur, Amt der Tiroler Landesregierung, unveröffentlichter Arbeitsbericht.
- BRANDNER, R., DECKER, K., ORTNER, H. & REITER, F. (2001): Brenner-Basistunnel Geologische Vorarbeiten (Sprödetektonik) Innsbruck-Franzensfeste. - Unveröff. technischer Bericht für BBT EWIV.
- BURGER, U., LUMASSEGER, M., MILLEN, B., POSCHER, G. & STARNI, I. (2002): Hydrogeologische Voruntersuchungen Brennerbasistunnel, Hydrogeologie und Umwelt, Hydrogeologie von Untertagebauten, 5. Kongress der Geologen, Bozen, Südtirol, Italien, Posterpräsentation. - 2002.
- Deutsche Geologische Gesellschaft (2002): Hydrogeologische Modelle - Ein Leitfaden mit Fallbeispielen / Arbeitskreis „Hydrogeologische Modelle und Grundwassermanagement“ der Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft. - Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 24, Hannover, 120 S.
- HERING, G., LANGHEINRICH, G. & WILCZEWSKI, N. (1992): Der prähistorische Bergsturz von Pfannes / Südtirol (Italien). - Eiszeitalter und Gegenwart, 42, Hannover, S. 115-120.
- JAMIESON, G.R. & FREEZE, R.A. (1983): Determining Hydraulic Conductivity Distributions in a Mountainous Area using Mathematical Modeling. - Ground Water, vol. 21, no. 2, S. 168-177.
- JUNGBAUER, H. & HARLACHER, C. (2000): Hydrogeologische Untergrundmodelle - eine Arbeitshilfe der Fachsektion Hydrogeologie. - Arb. H. Wasser, Nr. 1, Hannover, S. 159-166.
- LAMMERER, B. (1988): Thrust-regime and transpression-regime tectonics in the Tauern Window (Eastern Alps). - Geologische Rundschau 77, 1, S. 143-156.
- LÜTZENKIRCHEN, V. (2002): Structural geology and hydrogeology of brittle fault zones in the central and eastern Gotthard Massif, Switzerland. - ETH doctoral thesis.
- RAYNE, T.W., BRADBURY, K.R. & MULDOOM, M.A. (2001): Delineation of capture zones for municipal wells in fractured dolomite, Sturgeon Bay, Wisconsin, USA. - Hydrogeology Journal, vol. 9, no. 5, S. 432-450.
- ROCKENSCHAUB, M., KOLENPRAT, B. & NOWOTNY, A. (2000): Brenner-Basistunnel Geologische Vorarbeiten - Kartierung. - Unveröff. technischer Bericht für BBT EWIV.
- TODD, D.K. (1980): Groundwater Hydrology. - 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons, New York, 535 S.
- TÓTH, J. (1999): Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes and manifestations. - Hydrogeology Journal, vol. 7, no. 1, S. 1-14.

## Anschrift der Verfasser

Mag. Ulrich BURGER und Mag. Bernard MILLEN: ILF Beratende Ingenieure ZT GmbH, Framsweg 16, A-6020 Innsbruck; [ulli.burger@ibk.ilf.com](mailto:ulli.burger@ibk.ilf.com).

Mag. Hubert KIRSCHNER: Vormalig: ILF Beratende Ingenieure ZT GmbH, Framsweg 16, A-6020 Innsbruck; Kontaktadresse: alpS-GmbH, Zentrum für Naturgefahrenmanagement, Grabenweg 3, A-6020 Innsbruck; [kirschner@alps-gmbh.com](mailto:kirschner@alps-gmbh.com).