

Hydrogeologische Untersuchungen im Abstromgebiet des Schollbergs : Pilotprojekt Deponie Schollberg (Phase 2)

Autor(en): **Weber, Anita**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft**

Band (Jahr): **89 (2000)**

PDF erstellt am: **20.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-832577>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Hydrogeologische Untersuchungen im Abstromgebiet des Schollbergs

Pilotprojekt Deponie Schollberg (Phase 2)

Anita Weber

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	79
1. Einleitung	80
2. Geologie	80
3. Hydrochemie	86
4. Hydrogeologie	88
5. Schlussfolgerungen	94
Literaturverzeichnis	95

Zusammenfassung

Eine Kehrriechtschlackendeponie im Festgestein des Schollbergs würde im möglichen Grundwasserzuströmgebiet für die Trinkwasserpumpstation Dornau in Trübbach liegen.

Die Fliesswege des Grundwassers sind stark von der Rheininfiltration und dem durch Kraftwerke beeinflussten Pegelstand abhängig. Bei schwacher oder nicht existenter Rheininfiltration richtet sich der rheinufernahe Grundwasserstrom nur minim zur Pumpstation hin oder verläuft rheinparallel. Starke Infiltration lenkt den rheinparallelen Grundwasserstrom in Richtung Pumpstation Dornau ab. Die tatsächlichen Fliesspfade sind infolge der Inhomogenität des Grundwasserleiters unsicher. Aufgrund der ausgeführten Untersuchungen kann keine absolute Sicherheit gegeben werden, dass aus dem Deponiebereich in den Lockergesteinsaquifer austretendes Zirkulationswasser nicht die Trinkwasserpumpstation Dornau erreichen könnte. Diese Unsicherheit könnte durch Tracerversuche geklärt werden.

1. Einleitung

Der Verein für Abfallbeseitigung (VFA) betreibt in Buchs (SG) eine Kehrichtverbrennungsanlage, deren Schlacke in der Schlackendeponie am Buchserberg entsorgt wird. In wenigen Jahren wird diese aufgefüllt sein. In einer Grobstudie für mögliche neue Deponiestandorte wurde auch der unterirdische Steinbruch im Schollberg in Trübbach (Gemeinde Wartau/SG) ausgeschieden. Trübbach liegt im Rheintal, ungefähr drei Kilometer nördlich von Sargans. Der Schollberg befindet sich unmittelbar südlich des Dorfes Trübbach. Im Bergwerk könnte gemäss Abbaukonzept schlussendlich 6 000 000 m³ Deponieraum in Form von Kavernen zur Verfügung stehen.

Da eine Untertage-Deponie für Abfallstoffe in der TVA (Technische Verordnung über Abfall) vom 10. Dezember 1990 nicht vorgesehen ist, wurden in den letzten Jahren mehrere Untersuchungen im Rahmen eines Pilotprojekts durchgeführt. Eine zentrale Frage stellt die mögliche Gefährdung des Trinkwassers der Gemeinde Wartau dar. Dieses wird in der Pumpstation Dornau, welche im direkten Abstromgebiet des Schollbergs liegt, zu Tage gefördert. Für die Trinkwasserversorgung werden prioritär Quellen genutzt, die im Gebiet Zagg (Abbildung 1) an verschiedenen Stellen austreten und im Reservoir Zagg gefasst werden. Erst bei grösserem Trinkwasserbedarf wird zusätzlich Grundwasser beim Pumpwerk Dornau entnommen.

Während in einer vorangegangenen Diplomarbeit (SCHLEGEL 1995) die Geologie, Hydrologie und Hydrogeologie des Festgesteins des Schollbergs untersucht wurden, widmete sich die nächste Diplomarbeit (WEBER 1998) in einer zweiten Phase hauptsächlich den hydrogeologischen Parametern im Lockergestein. Dabei wurden zur Klärung der Grundwasser-Fliessverhältnisse verschiedene Untersuchungen durchgeführt.

Der Situationsplan (Abbildung 1) zeigt die nahe Umgebung des Untersuchungsgebiets von Trübbach.

Zwei Sondierbohrungen wurden direkt auf dem Schuttfächer des Trüebbachs, zwei weitere in der eigentlichen Rheinebene abgeteufelt (Abbildungen 1 und 2). Zur Erfassung der hydraulischen Leitfähigkeit im Untergrund wurden Pumpversuche im Schotter und Packertests (Test im Bohrloch zur Bestimmung der Gesteinsdurchlässigkeit in pneumatisch abgetrennten Sequenzen) im Festgestein durchgeführt. Verschiedene Analysen der Wasserchemie sollten Hinweise auf die Herkunft des Grundwassers und den Einfluss der Rheininfiltation auf den Grundwasserstrom ergeben. Mit der Installation von Grundwasserloggern (Drucksonden, welche direkt ins Bohrloch gehängt werden und digital Druckänderungen, also Wasserspiegelschwankungen aufzeichnen) in den Sondierbohrungen im Locker- und Festgestein und zusätzlichen Handmessungen wurde der Verlauf des Grundwasserspiegels erfasst.

Die hier präsentierten Resultate stellen eine Auswahl aus der Diplomarbeit der Autorin (WEBER 1998) dar.

2. Geologie

2.1 Lokale geologische Situation

Der Schollberg ist vollständig aus Malmkalcken aufgebaut und bildet eine verschuppte Falte mit einer SW-NE verlaufenden Faltenachse, welche mit ca. 30 Grad in nordöstlicher Richtung abtaucht. Das Stollensystem des Steinbruchs Schollberg verläuft hauptsächlich im Quintnerkalk.

In der Würm-Eiszeit waren Schollberg und Gonzen vom Rheingletscher bedeckt. Moränenmaterial und Findlinge bis hinunter auf die Höhe Zagg (Abbildung 1) sind Zeugen dieser Vergletscherung. Gegen Ende der Würmeiszeit wurden mit dem Gletscherückzug fluviatile Schotter in deren Vorfeld abgelagert. Der grösste Teil der Talebene be-

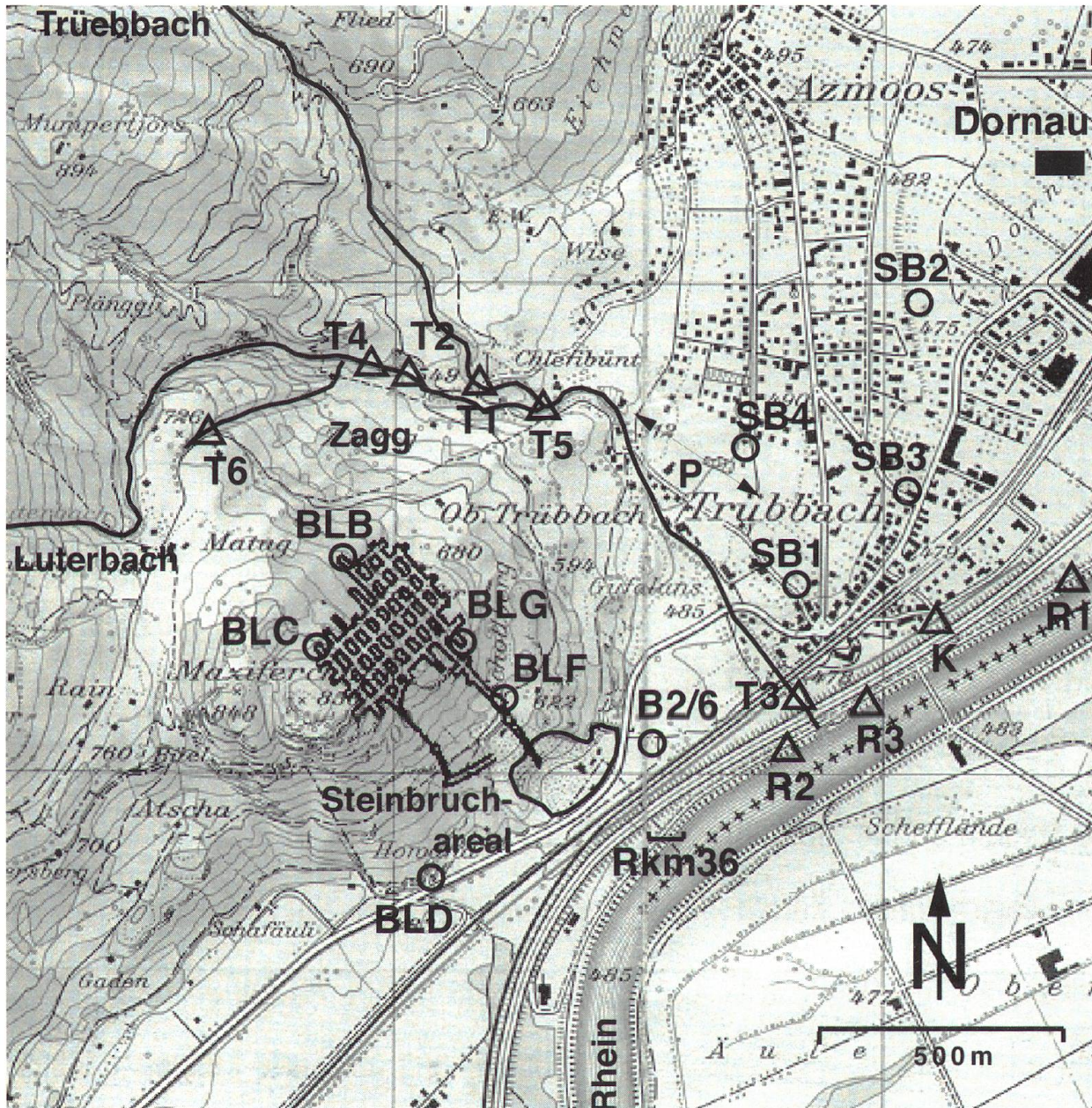


Abbildung 1:

Übersichtskarte des Untersuchungsgebiets bei Trübbach mit eingezeichnetem Stollensystem des Bergwerks Schollberg. SB1 bis SB4 und B2/6: Bohrungen im Lockergestein; BLB, BLC, BLF, BLG und BLD: Bohrungen im Festgestein; T, R und K: Standorte für Wasserprobenahmen im Trübbach, Rhein und Saar-Kanal; R36: Rheinkilometer 36, Dornau: Lage des Pumpwerks Dornau; P: Lage eines seismischen Profils. Nicht eingetragen sind die Quellenstandorte.

steht aus diesen spät- bis nacheiszeitlichen Schottern und darunterliegenden mächtigen Seeablagerungen. Am Talrand sind sie unter jüngeren Schuttfächern zu finden oder sind mit ihnen verzahnt (zum Beispiel in Sondierbohrung SB4 in Trübbach).

Ein grosser Schuttfächer zieht von der westlichen Talseite bis nach Trübbach hinunter und endet in einer steilen Böschung, welche den Prallhang eines früheren Rheinlaufs markiert (Abbildung 2). Nördlich des Schuttkegels schliesst Bergsturzmaterial an, welches aus dem Alvier-Gebiet ins Tal gelangt ist.

Die quartäre Talanlage des Liechtensteiner Rheintals wurde von EBERLE (1987), KELLER (1990) und KOBEL (1994) ausführlich beschrieben.

2.2 Sondierbohrungen

Im Raum Trübbach existieren bereits ältere Bohrungen zur Grundwasserspiegelbeobachtung. Die vier neu abgeteuften Sondierbohrungen SB1 bis SB4 (Abbildung 1) sollen vertiefte Erkenntnisse bezüglich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im direkten Abstromgebiet des Schollbergs liefern.

Vorgehen

Alle vier neuen Bohrungen wurden zu Grundwassermessstellen ausgebaut. In den drei Bohrungen SB1 bis SB3 wurden in der gesamten Bohrtiefe 4½" PVC Voll- und Filterrohre installiert. Die Bohrung SB4 wurde mit drei in verschiedenen Tiefen endenden

2"-PVC Rohren ausgerüstet. Sie haben ihre Filterstrecken auf drei unterschiedlichen Stufen.

Ergebnis

Die Sondierbohrungen SB1 bis SB3 liegen vollkommen in Lockergesteinen (Hang-, Bachschutt und fluviatile Schotter), die Sondierbohrung SB4 erreicht in 96,15 Meter Tiefe den Fels (Quintnerkalk). Alle vier Bohrungen liegen mindestens 10 Meter im gesättigten Bereich des Grundwasserleiters.

Abbildung 3 zeigt einen Schnitt durch den Lockergesteinskörper auf der Höhe der Sondierbohrungen SB1, SB4 und einer älteren Tiefbohrung in Balzers.

Nachfolgend wird auf die vier neuen Sondierbohrungen näher eingegangen.

Sondierbohrung SB1 (Abbildung 4)

Die Bohrung SB1 liegt im unteren Teil des Trübbach-Schuttfächers.

Nach einer dünnen Humusschicht im obersten Bereich der Bohrung folgt eine knapp 16 m mächtige Vermischung von Bachschutt des Trübbach-Alluvialfächers mit aufgearbeitetem Gehängeschutt und Verwitterungslehmen. Zur Vereinfachung wird dieses Gemisch im Folgenden Hang- und Bachschutt genannt. Dieser besteht hauptsächlich aus tonigem Silt und siltigem Ton mit mehr oder weniger grossem Anteil an eckigem Kies und Steinen. Alle Gesteinsbruchstücke stammen aus Formationen des Malm und der Kreide, also aus der näheren Umgebung. Teilweise schalten sich geringmächtige tonige Überflutungssedimente ein. Ab 16 m bis in 30 m Tiefe stehen spät- bis nacheiszeitliche Schotter an. Das Material besteht aus vorwiegend siltigem Kies mit reichlich bis viel Sand und siltigen Sanden mit Kies. Der Kies, die Steine und Blöcke sind mittelmässig bis sehr gut gerundet und von unterschiedlicher Herkunft. Nebst den Malmkalken des umliegenden Gebiets sind viele verschiedene kristalline Gesteine vorhanden. Ihr Herkunftsgebiet liegt weit rheinaufwärts.

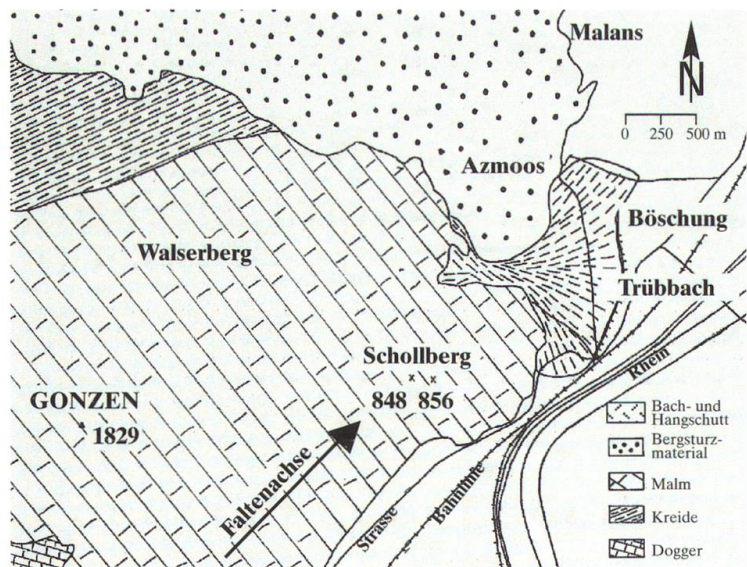


Abbildung 2:
Grob skizzierte Ansicht des weiteren Untersuchungsgebiets bei Trübbach aufgrund der Kartenvorlage von A. Heim (HEIM UND OBERHOLZER 1917).

Die Gesteine aus den umliegenden Formationen wurden nach dem Gletscherrückzug am Ende der Würmzeit durch Seitenbäche oder Rutsche von den Talhängen in die Talebene getragen. Die kristallinen Komponenten wurden von den im Gletschervorfeld austretenden Bächen das Rheintal hinabtransportiert und schliesslich im Raum Trübbach abgelagert.

Während die spät- bis nacheiszeitlichen Schotter einen Grundwasserleiter bilden, ist der überliegende Bach- und Hangschutt schlecht durchlässig. Vor allem ein 80 Zentimeter mächtiger blaugrauer Tonhorizont (Stillwasserablagerung) in 11,90 m bis 12,70 m Tiefe dichtet den Untergrund gegen oben sehr gut ab. Dadurch ist das Grundwasser in der Bohrung SB1 leicht gespannt.

Sondierbohrung SB2 (Abbildung 5)

Die Sondierbohrung SB2 liegt unmittelbar unterhalb einer von einem alten Rheinmäander erodierten Böschung. Die Bohr-

Abbildung 3:

Darstellung der Hydrostratigraphie im Bachschuttkegel von Trübbach. Das Profil verläuft in südöstlicher Richtung von SB4 durch SB1 zum Rheinkilometer 36,2 und zur Tiefbohrung Balzers. Der grundwasser-gesättigte Bereich ist blau eingefärbt, der sehr schlecht durchlässige Bereich des Schutt-fächers gelb. Das Profil ist 25fach überhöht.

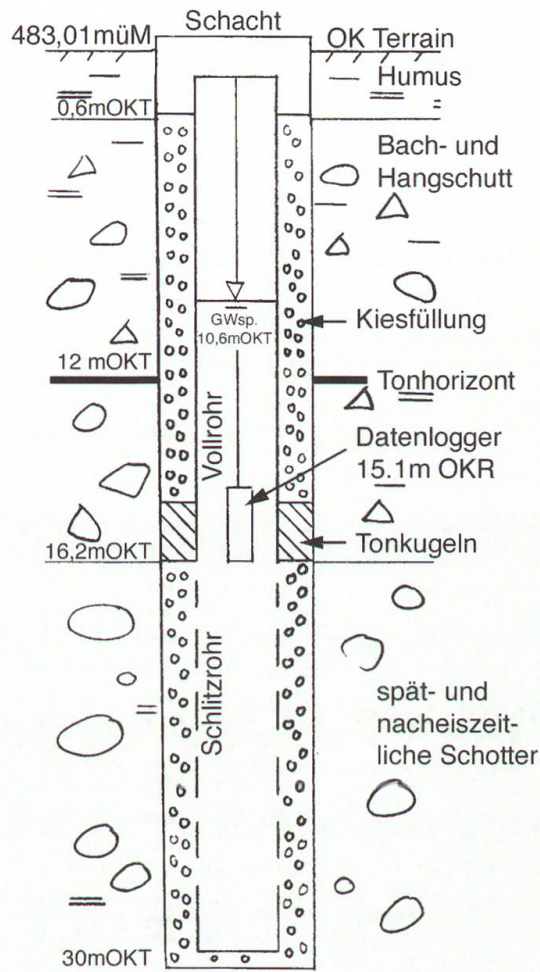
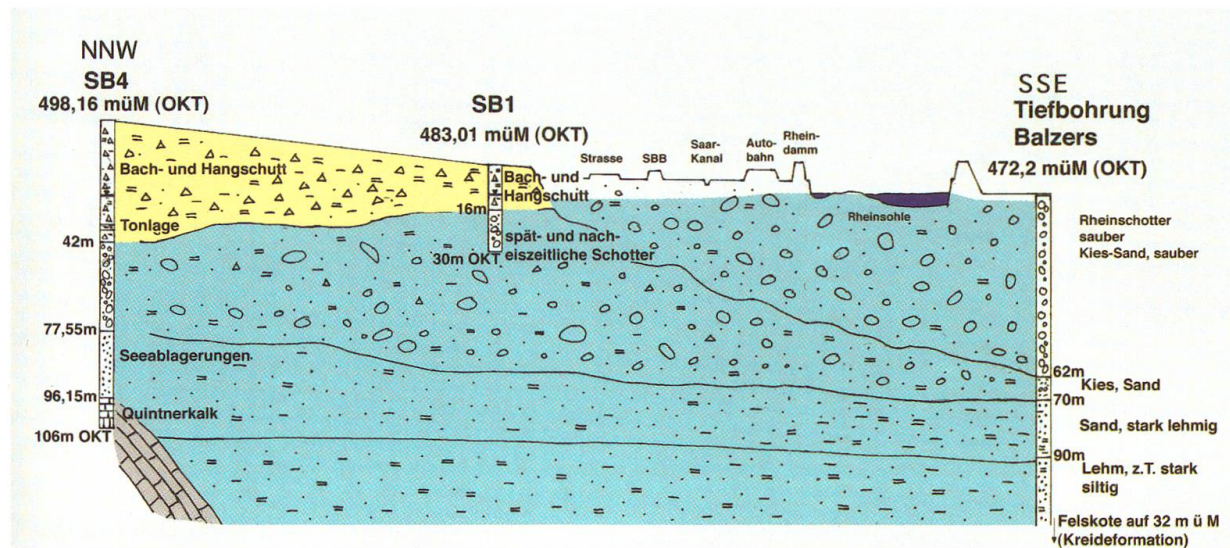


Abbildung 4:

Schematisches Bohrprofil der Sondierbohrung SB1 (Brueswis, Bohrtiefe 30 m). OKT: Messung ab Oberkante Terrain, OKR: Messung ab Oberkante Rohr).



stelle befindet sich nicht mehr auf dem Schuttfächer, sondern liegt in der eigentlichen Talebene.

Gleich nach einer wenige Zentimeter mächtigen Humusschicht folgen Schotter des alten Rheinlaufes. Der in Sondierbohrung SB1 vorkommende Bach- und Hangschutt fehlt vollkommen. Es handelt sich um spät- bis nacheiszeitliche Rhein-Schotter, welche aus aufgearbeiteten älteren Schotter und Gesteinsbruchstücken bestehen. Er überlagert die älteren Schotter und füllt darin eingegrabene Erosionsrinnen aus. Beim Material der spät- bis nacheiszeitlichen Rhein-Schotter handelt es sich vor allem um relativ sauberen, teilweise siltigen Fein- bis Mittelkies mit unterschiedlichen Sandanteilen.

Der Schotter besteht aus umgebungsnahen Kalksteinen und weithergetragenen kristallinen Komponenten.

In der Bohrung ist keine grundwasserstauende Schicht vorhanden, sodass ein freier Grundwasserspiegel vorliegt.

Sondierbohrung SB3 (Abbildung 6)

Wie bereits Bohrung SB2 liegt auch die Bohrung SB3 ausserhalb des Trüebbach-Schuttkegels.

Der erbohrte Untergrund ist demjenigen der Sondierbohrung SB2 sehr ähnlich. Eine dünne Humusschicht liegt über einem gut 1,5 m mächtigen humosen tonigen Silt, worin einzelne Ziegelsteinstückchen zu finden sind. Es dürfte sich dabei um eine künstliche Aufschüttung handeln. Die gesamte restliche Bohrung enthält spät- bis nacheiszeitliche Rhein-Schotter des alten Rheinsystems.

Im Vergleich mit dem Schotter der Sondierbohrung SB2 erscheint der Kies hier noch etwas sauberer. Es handelt sich hauptsächlich

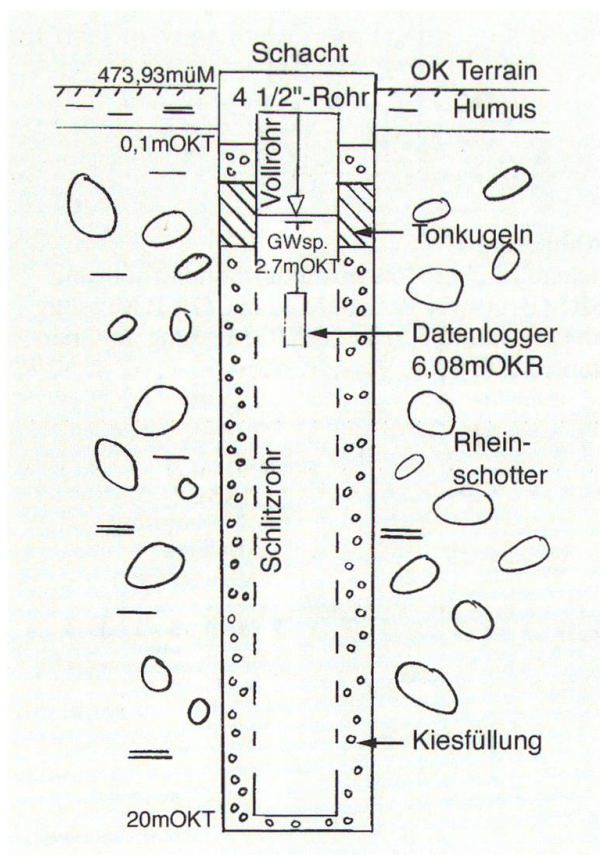


Abbildung 5:
Schematisches Bohrprofil der Sondierbohrung SB2 (Breit, Bohrtiefe 20 m).

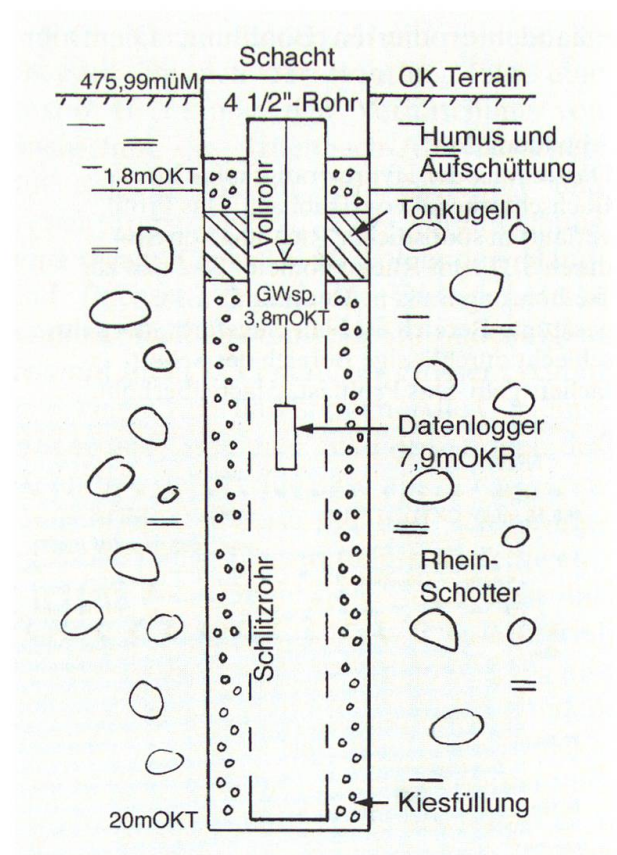


Abbildung 6:
Schematisches Bohrprofil der Sondierbohrung SB3 (Tufi, Bohrtiefe 20 m).

um siltigen bis oft sauberen Kies mit reichlich Sand und Steinen.

Auch hier existiert kein überlagernder Grundwasserstauer, es liegt ein freier Grundwasserspiegel vor.

Sondierbohrung SB4 (Abbildung 7)

Die Sondierbohrung SB4 liegt im oberen Teil des Trüebach-Schuttkegels.

Nach einer gut 65 cm mächtigen Humusschicht folgen bis auf eine Tiefe von 42 m Bach- und Hangschutt. Es herrschen toniger Silt und siltiger Ton mit reichlich Kies vor. Der Kies und die Steine sind eckig und von umgebungsnahe Herkunft (vorwiegend Malmkalke). In einer Tiefe von 38 m taucht eine zwei Meter mächtige Tonsequenz auf. Deren blaugraue Farbe stammt von den sogenannten Palfris-Schiefern der Kreidezeit, welche oberhalb des Trüebach-Einzugsgebiets aufgeschlossen sind und offenbar nach der Erosion in einem Stillwasser abgelagert wurden.

Zwischen 42 und 48 m Tiefe wechseln sich eckige karbonatische Kiese mit gerundeten kristallinen Komponenten ab. Dies deutet auf einen kontinuierlichen Übergang von Bach- und Hangschutt zu fluviatilen Schotter hin (Verzahnung?). Die fluviatilen Schotter wurden wie in der Bohrung SB1 als spät- bis nacheiszeitliche Schotter interpretiert und bestehen hauptsächlich aus siltigem und teilweise auch sauberem Kies mit viel Sand, wobei der Sand mit zunehmender Tiefe immer dominanter wird. In 73,5 m Tiefe wechselt das Material gut sichtbar auf relativ sauberen Fein- und Mittelsand. Dieser Sand entspricht Seeablagerungen, welche ebenfalls in einer Tiefbohrung in Balzers auf ca. 402 m ü. M. aufgeschlossen sind (KOBEL 1994) und sich demnach über weite Teile des Rheintaltrog ausbreiten.

In gut 96 m Tiefe wurde der Fels angebohrt. Es handelt sich um Quintnerkalk – eine am Schollberg vorherrschende Formation des Malm. Aus den lokalen tektonischen Verhältnissen kann geschlossen werden, dass es sich um den oberen Quintnerkalk handelt.

Die Bohrung wurde bis zehn Meter in den Fels abgeteuft, um geohydraulische Versuche durchführen zu können.

Durch die gut abdichtende Tonschicht im Lockergestein sind die Grundwasserverhältnisse gespannt. Beim Anbohren des spät- bis

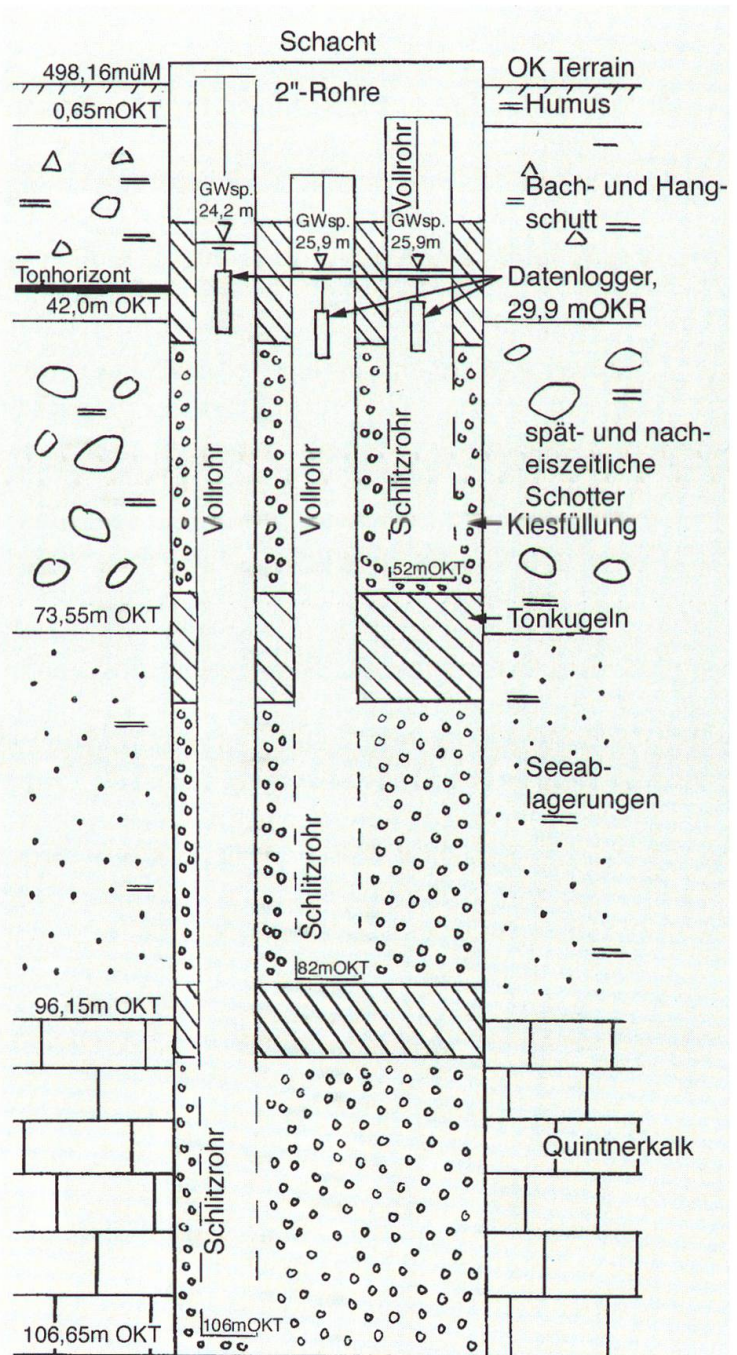


Abbildung 7: Schematisches Bohrprofil der Sondierbohrung SB4 (Prapalier-Wolfgarten, Bohrtiefe 106,65 m).

nacheiszeitlichen Schotter in 42 m Tiefe stieg der Grundwasserspiegel in der Bohrung um 16 m bis auf 26 m Tiefe an. Der Schotter und die sandigen Stillwasserablagerungen bilden zwei Schichten mit sehr unterschiedlichen hydraulischen Eigenschaften.

3. Hydrochemie

Für das Projekt Schollberg interessiert das lokale Herkunftsgebiet des Grundwassers. Stammt es vom Rhein, vom Hangwasser der westlichen Talflanke, vom Festgestein des Schollbergs oder wurde es vor Ort aus Niederschlägen gebildet? Mit Hilfe der Hydrochemie können verschiedene Wassertypen und ihre Eigenschaften ausgeschieden werden. Weisen die Herkunftswässer deutlich verschiedene Zusammensetzung auf, so kann im Idealfall der jeweilige Mengenanteil an der Grundwasserzusammensetzung abgeschätzt werden. Zudem können bereits bestehende Kontaminationen des Grundwassers (Schwermetalle, organische Stoffe) als Basiswerte und zur Beweissicherung aufgezeichnet werden.

Beprobte wurden die neueren Lockergesteinsbohrungen SB1 bis SB4, sowie die schon bestehenden Felsbohrungen BLB, BLC, BLF und BLG innerhalb des Stollensystems Schollberg, die Felsbohrung BLD ausserhalb des Steinbruchs, die Trinkwasserpumpstation Dornau, der Saar-Kanal, der Trüeb- und Luterbach, der Rhein und diverse Quellen oberhalb Trüebach (Abbildung 1).

Die verschiedenen Wasserproben wurden auf folgende Komponenten analytisch untersucht: Konzentrationen von Kationen, Anionen und Schwermetallen, Verhältnisse der stabilen Isotope $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Direkt im Feld wurden sporadisch folgende Messungen durchgeführt: pH-Bestimmung, Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, Alkalität und Acidität sowie Sauerstoffgehalt.

Im Folgenden wird auf einige Parameter näher eingegangen.

3.1 Stabile Sauerstoffisotope

Je nach Entstehungsgeschichte weisen Wässer unterschiedliche Isotopenwerte auf. Bei Vorgängen wie Verdunstung und Kondensation findet in der flüchtigeren Phase durch Isotopenfraktionierung eine Anreicherung der leichteren ^{16}O -Isotopen gegenüber den schwereren ^{18}O -Isotopen statt. Das Verhältnis $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ wird als $\delta^{18}\text{O}$ -Wert gegenüber einem Standard SMOW (Standard mean ocean water) angegeben. Je negativer der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert, umso angereicherter ist die Probe an ^{16}O gegenüber dem Standard.

Vorgehen

Das Rheinwasser wies an allen Messtagen die negativsten $\delta^{18}\text{O}$ -Werte auf, die Proben der beiden Bäche Trüeb- und Luterbach waren positiver und die Grundwasserwerte lagen dazwischen. Das Bergwasser unterschied sich nur geringfügig vom Bachwasser; vom Hangwasser existieren keine direkten Messungen, es sind aber ähnliche Werte wie beim Bachwasser zu erwarten.

Um den Mischungsanteil B des Rheinwassers und des Bachwassers im Grundwasser zu bestimmen, wurde folgende Formel angewendet:

$$\frac{\delta^{18}\text{O}_{\text{Bach}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{Grundwasser}}}{\delta^{18}\text{O}_{\text{Grundwasser}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{Rhein}}} = B$$

Der Nenner- und Zählerwert des obigen Bruchs ist umso kleiner, je ähnlicher die voneinander subtrahierten Isotopenwerte der Wässer sind. Dominiert Bachwasser das Grundwasser ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Bach}} \approx \delta^{18}\text{O}_{\text{GW}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{GW}} \gg \delta^{18}\text{O}_{\text{Rhein}}$), so wird der Wert von B klein, dominiert der Rhein das Grundwasser, so wird B gross (Tabelle 1).

Ergebnis

Aufgrund der Zusammensetzung der Grundwasserproben konnte deren Mischungsverhältnis B berechnet werden. Die folgende Tabelle zeigt die B-Werte von Grundwasserproben mit zwei unterschiedlichen Entnah-

	13.8.1997 $\delta_{18}\text{O}$ SMOW	13.8.1997 Verhältnis B	23.8.1997 $\delta_{18}\text{O}$ SMOW	23.8.1997 Verhältnis B
B1	-12,46	5,21	-12,44	4,27
B2	-11,55	0,53	-11,68	0,80
B3	-12,18	2,21	-12,24	2,53
R3	-12,75		-12,83	
T3	-10,92		-10,77	

Tabelle 2:
Durchschnittliche chemische Zusammensetzung
der verschiedenen Wasserproben
(Probenbezeichnung: B Bohrung, Q Quellen,
R Rhein und T Trüeb- und Luterbach).

Probe- name	Anionen						Kationen						Typisierung
	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Gesamt- minera- lisation mg/l	Gesamt- härte °dH	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
B1	0,47	7,17		5,89	39,8	262,4	5,71	3,5	17,68	82,25	421,92	17,38	Ca-Mg-HCO ₃ -(SO ₄)
B2		5,78		10,25	53	286,8	6,48	10,35	19,22	86,92	455,19	18,46	Ca-(Mg)-HCO ₃ -(SO ₄)
B3	0,37	8,35	1,64	7,87	56,5	317,3	7,92	6,77	21,19	96,74	525,74	20,51	Ca-(Mg)-HCO ₃ -(SO ₄)
B4Fels	6,53	3,21			31,6	256,3	4,44	3,75	23,81	76,44	426,65	17,44	Ca-(Mg)-HCO ₃ -(SO ₄)
B4Sand	1,07	3,68	2,59		45,9	231,9	30,28	57,71	15,58	6,29	393,58	3,80	K-Mg-HCO ₃ -(SO ₄)
B4Schotter		3,22			41,4	286,8	4,77	2,27	17,58	77,15	441,26	16,48	Ca-Mg-HCO ₃ -(SO ₄)
BLB	6,38	2,84			28,4	390,5	162,7	1,61	5,31	4,75	593,50	1,75	Na-HCO ₃
BLC	2,14	2,13	2,01	0,76	71,9	67,1	7,16	12,19	11,56	26,96	178,27	6,70	Ca-Mg-(K)-SO ₄ -HCO ₃
BLD		5,36		10,26	60,5	280,7	4,19	7,77	12,93	96,4	417,37	19,02	Ca-(Mg)-HCO ₃ -SO ₄
BLF	1,39	6,26		123,9	719	219,7	12,49	10,4	70,3	253,5	1412,90	56,33	Ca-Mg-SO ₄ -(HCO ₃)
BLG	1,52	3,57		25,84	105	341,7	2,76	0,79	33,01	93,49	771,42	22,01	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
Dornau	0,82	6,98		5,89	40,9	280,7	7,6	3,89	18,54	79,36	467,58	17,03	Ca-(Mg)-HCO ₃ -(SO ₄)
Kanal	0,37	7,02		6,21	32,4	231,9	5,43	1,76	12,66	70,25	387,20	14,42	Ca-(Mg)-HCO ₃ -(SO ₄)
Q1	0,35	2,58		7,03	15,7	335,6	2,08	2,05	7,73	100,3	483,62	18,79	Ca-Mg-HCO ₃
Q6	0,57	1,75		1,96	19,2	201,4	0,66	0,11	7,51	61,82	336,92	12,06	Ca-(Mg)-HCO ₃ -(SO ₄)
R2	0,45	2,76		0,87	40,5	122,0	2,03	0,96	7,66	49,32	233,13	9,91	Ca-(Mg)-HCO ₃ -SO ₄
R3	0,42	2,32		1,81	35,5	183,0	1,9	0,7	10,26	55,37	297,34	11,42	Ca-(Mg)-HCO ₃ -(SO ₄)
T1	0,35	1,85		1,94	57,4	256,3	3,11	0,85	20,34	76,35	417,44	16,82	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
T2	0,33	1,65		2,45	31,5	195,3	1,03	0,76	12,33	52,07	300,37	11,20	Ca-Mg-HCO ₃ -(SO ₄)
T3	0,44	1,96		0,86	36,1	231,9	1,5	0,57	13,41	65,76	355,47	13,77	Ca-(Mg)-HCO ₃ -(SO ₄)
T4	0,54	1,78		1,64	24,5	225,8	1,03	0,14	8,22	65,7	327,15	12,86	Ca-(Mg)-HCO ₃ -(SO ₄)

Tabelle 1:
Das Mischungsverhältnis B wurde durch
die im Text aufgeführte Formel berechnet.
Je kleiner das Verhältnis B, umso grösser
ist der Bach-, Hang- und Bergwasseranteil
im Grundwasser. Benutzt wurden die
 $\delta_{18}\text{O}$ -Werte der Wasserproben aus den Sondier-
bohrungen SB1 bis SB3, der Rheinproben
R3 und der Trüebbachproben T3, welche als
Wert für Hang-, Bach- und Festgesteins-
wasser galten. Probenbezeichnungen: B Sondier-
bohrung, R Rhein, T Trüeb- und Luterbach).

medaten. Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von R3 und T3 wurden als repräsentativ für $\delta^{18}\text{O}_{\text{Rhein}}$ bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Bach}}$ angenommen.

Aus dem B-Wert der Grundwasserproben des Lockergesteins kann eindeutig geschlossen werden, dass das Grundwasser zu einem grossen Anteil aus infiltriertem Rheinwasser besteht. Es müssen jedoch noch weitere Zuflüsse im Untergrund bestehen. Ob es sich dabei hauptsächlich um Bachwasser des Trüebbachs und des Luterbachs, um oberflächlich abfliessendes Hangwasser oder um unterirdisch zuströmendes Wasser aus dem Festgestein des Schollbergs handelt, konnte nicht festgestellt werden, da sich deren Isotopenwerte kaum unterscheiden.

Infolge der relativen Nähe zum Rhein ist der Rheinwasseranteil in den Bohrungen SB1 und SB3 grösser als in SB2.

3.2 Ionengehalt der Wasserproben

Die chemische Zusammensetzung des Grundwassers hängt einerseits vom Ionengehalt (Anionen und Kationen) der das Grundwasser speisenden Zuflüsse und Niederschläge ab, andererseits aber auch von Löslichkeitsbestimmenden Parametern im Grundwasser selber (Wassertemperatur, Druck, pH-Wert, Redoxpotential und Kohlesäuregehalt).

Praktisch alle analysierten Wässer sind von der Karbonatlösung dominiert und weisen einen hohen Gehalt an Karbonaten auf. Das Grundwasser im Lockergestein gleicht aufgrund der chemischen Zusammensetzung mehr den Oberflächengewässern als dem Grundwasser im Festgestein (Tabelle 2). Da sich die Wässer nur geringfügig unterscheiden, deutet aber nichts darauf hin, dass das Grundwasser ausschliesslich vom Rheinwasser gespeisen wird.

4. Hydrogeologie

4.1 Hydrogeologische Situation

Im Rheintal erstreckt sich zwischen Sargans und Oberriet beidseits des Rheins ein oberflächennahes Schottergrundwasservorkommen. Die allgemeine Fliessrichtung des Grundwassers ist entsprechend dem Rheinverlauf von Süden nach Norden gerichtet.

Neben den hydrochemischen Argumenten können die Fliesswege zwischen dem Steinbruch/Bergwerk Schollberg und der Pumpstation Dornau aufgrund der Lage der Grundwasserspiegel, das heisst aus Grundwasser-Isohypsenkarten abgeschätzt werden.

Dank der vier neu abgeteufte Sondierbohrungen SB1 bis SB4 und der darin ausgeführten Pumpversuche konnten Erkenntnisse über die Grundwasserspiegellage und Hydrostratigraphie im Abstromgebiet des Schollbergs gewonnen werden.

4.2 Pumpversuche in den Sondierbohrungen SB1 bis SB4

Vorgehen

In Zusammenarbeit mit der Bohrfirma Broder AG aus Sargans wurde in den fertig eingerichteten und mit PVC Filter-, beziehungsweise Vollrohren ausgerüsteten Bohrungen SB1 bis SB3 je ein einstündiger Pumpversuch durchgeführt. In allen drei Bohrungen liegt die Filterstrecke in oft siltigen und sandigen, teilweise auch tonigen Kiesen der spät- bis nacheiszeitlichen Rheinschotter. In der Sondierbohrung SB1 ist das Grundwasser leicht gespannt, in den zwei anderen Bohrungen SB2 und SB3 sind die Grundwasserspiegel dagegen frei.

Der Pumpversuch in der Bohrung SB4 fand noch während des Vortriebs im unausgebauten Bohrloch statt. Damit konnte der stockwerkartige Lockergesteinsaufbau abschnittsweise erfasst werden. Im Gegensatz zu den anderen Pumpversuchen dauerte der Pumpversuch nicht nur eine, sondern knapp

sieben Stunden. Gleichzeitig wurden die Wasserspiegel in den Bohrungen SB1 bis SB3 digital aufgezeichnet.

Die Auswertung der Pumpversuche in den Sondierbohrungen SB1 bis SB3 erfolgten nach der Theorie von DUPUIT (1963), diejenige der Sondierbohrung SB4 nach der Theorie von KOERNER (1957). Die ermittelten hydraulischen Leitfähigkeiten im Schotter sind in Tabelle 3 dargestellt.

Ergebnis

In den drei Bohrungen SB1, SB2 und SB3 wurde der Zustand einer stationären Grundwasserentnahme mit praktisch konstanter Lage des abgesenkten Grundwasserspiegels erreicht. In keiner der drei Bohrungen war die Reaktion auf die Pumpleistung von 210 l/Min. von grossem Ausmass. Die grösste Absenkung wurde beim leicht gespannten Grundwasserspiegel der Sondierbohrung SB1 gemessen, sie beträgt jedoch nur gerade neun Zentimeter. In den beiden anderen Bohrungen SB2 und SB3 wurde eine noch geringere Absenkung des Grundwasserspiegels verzeichnet (eineinhalb Zentimeter in SB2 und zwei Zentimeter in SB3). Entsprechend rasch stiegen die Grundwasserspiegel nach dem Abstellen der Pumpe wieder auf ihr ursprüngliches Niveau an.

In der Sondierbohrung SB4 fiel der Grundwasserspiegel bei einer Pumprate von 300 l/Min. innerhalb der ersten 20 Sekunden bereits um 50 cm. Die Pumprate wurde während der ersten Stunde des Pumpens bei ungefähr 110 l/Min. gehalten, musste da-

nach wegen des hohen Feinanteils auf etwa 90 l/Min. und schliesslich auf 60 l/Min. verringert werden. Diese konnte für die restlichen fünf Stunden aufrecht erhalten werden.

Der Grundwasserleiter des Rhein-Schotter um die abgeteufte Sondierbohrungen SB1 bis SB3 ist sehr gut durchlässig, während der Schotter der Bohrung SB4 mittel bis gut durchlässig ist (Tabelle 3). Innerhalb der Bohrungen SB1, SB2 und SB3 konnten keine Grundwasserstockwerke ausgemacht werden. Im Gegensatz dazu enthält die Sondierbohrung SB4 mit dem spät- bis nacheiszeitlichen Schotter und den sandigen Seeablagerungen einen zweischichtigen Lockergesteins-Aquifer.

4.3 Packerversuche im Quintnerkalk

Vorgehen

Zusammen mit der Firma Solexperts AG aus Schwerzenbach (ZH) wurden im Fels der Sondierbohrung SB4 geohydraulische Versuche mit Einfach- und Doppelpackersystem durchgeführt, anhand derer Aussagen zur Durchlässigkeit und zur Transmissivität (entspricht der Summe aller Durchlässigkeiten über die gesamte Grundwassermächtigkeit) des Quintnerkalks gemacht werden können. Dies interessiert vor allem im Zusammenhang mit möglichen Fliesspfaden und -geschwindigkeiten aus dem Innern des Schollbergs in den Grundwasserleiter.

Ergebnis

Die ermittelten Durchlässigkeiten des Quintnerkalkes liegen zwischen $6,8 \cdot 10^{-7}$ m/s und $3,9 \cdot 10^{-8}$ m/s (SOLEXPERTS AG 1997).

Die Firma Solexperts AG hat bereits im Jahr 1994 und 1995 innerhalb des Stollenssystems Schollberg Packertests im Quintnerkalk durchgeführt und hydraulische Leitfähigkeiten zwischen $1,3 \cdot 10^{-5}$ m/s und $4,8 \cdot 10^{-10}$ m/s gemessen. Die grösseren Werte wurden in Hauptkluftzonen festgestellt (SOLEXPERTS AG 1994; SOLEXPERTS AG 1995).

Sondierbohrung	k_f -Wert [mls]
SB1	$2 \cdot 10^{-3}$
SB2	$1,3 \cdot 10^{-2}$
SB3	$1 \cdot 10^{-2}$
SB4 Schotter	$5 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 3:
Hydraulische Leitfähigkeit im Schotter der jeweiligen Bohrungen aufgrund der Theorie von DUPUIT (1863) und KOERNER (1957).

4.4 Grundwasserspiegelmessungen im Lockergestein

Vorgehen

Um mehr über Kommunikation von Rhein und Grundwasser zu erfahren, wurden die Grundwasserspiegelschwankungen in den Sondierbohrungen mit dem Rheinpegel verglichen.

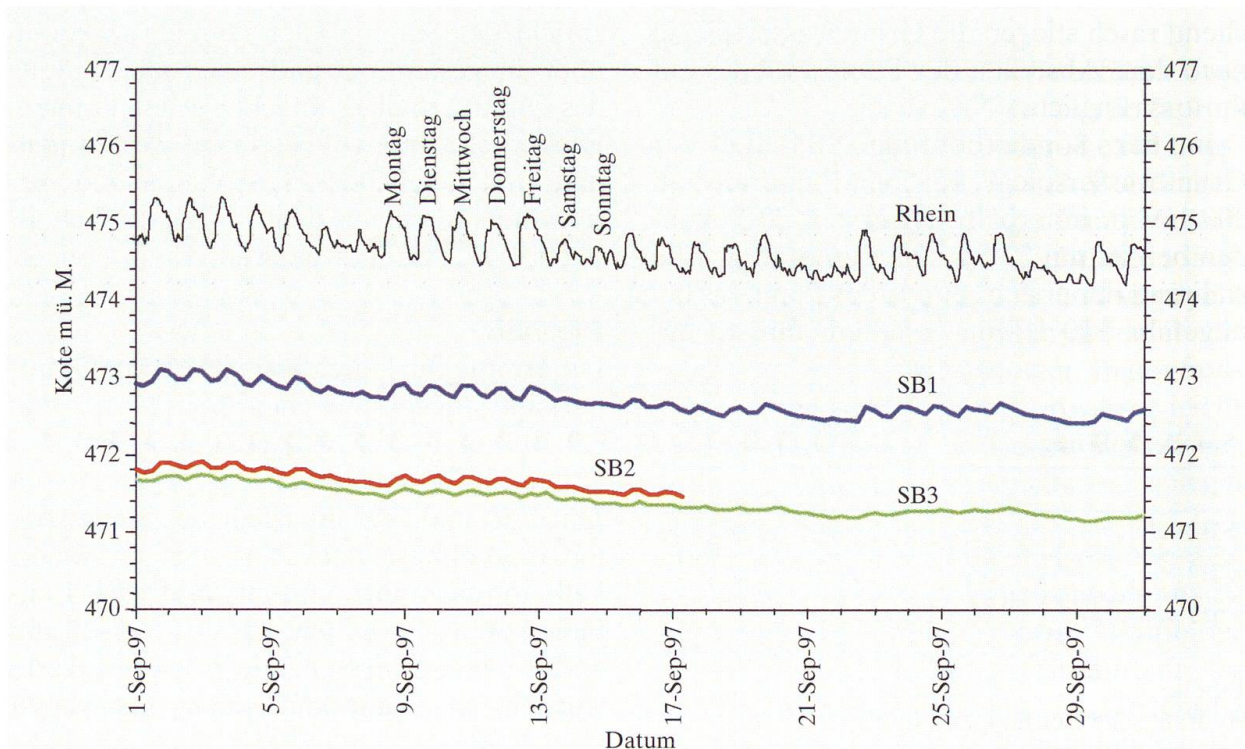
Der Grundwasserspiegel konnte in den neuen Bohrungen dank den Datenloggern (DKLog200-System der Firma Driesen+Kern GmbH), welche den Absolutdruck (aufliegende Wassersäule und atmosphärischen Druck) und die Wassertemperatur messen, kontinuierlich bestimmt werden. Im Pumpwerk Dornau wird der Grundwasserspiegel automatisch per Limnigraphen aufgezeichnet. Da das Schottergrundwasser nur

sporadisch für die Trinkwasserversorgung genutzt wird, entsprechen die Aufzeichnungen einem natürlichen Niveau ohne Beeinflussung durch eine Pumpleistung.

Der Pegelstand des Rheins ist durch flussaufwärts gelegene Kraftwerke, insbesondere von jenem in Domat-Ems bestimmt. Um die Mittagszeit bei Höchststrombedarf wird mehr Wasser turbiniert, was den Rheinpegel erhöht. Dieses künstlich erzeugte Hochwasser kann einige Zeit (ca. 6 Stunden) später an der Pegelmessstelle Rhein-Wartau bei Rheinkilometer 40,5 beobachtet werden. So liegt mittags um 12 Uhr der Rheinspiegel bei Trübbach noch auf tiefem Niveau und steigt dann rasch bis um 80 cm an. Am Abend gegen 18 Uhr hat das ‹Mittags-Hochwasser› Trübbach erreicht und der Rheinpegel sinkt anschliessend langsam wieder ab. Eine zweite Hochwasserspitze wird um Mitternacht in Trübbach registriert, da um 18 Uhr abends in den Kraftwerken nochmals viel Energie erzeugt werden muss. Durch den höheren Strombedarf liegt der Rheinpegel an Werktagen allgemein höher als an Sonn- und Feiertagen.

Abbildung 8:

Vergleich der absoluten Grundwasserspiegelmessungen in den Bohrungen SB1, SB2 und SB3 mit dem Rheinpegel bei Kilometer 36 im September 1997. Durch den Einfluss des Rheinkraftwerks Domat-Ems sind die Wochentage und Tageszeiten deutlich unterscheidbar.



Durch saisonale Einflüsse (Schmelzwasser) sind die Grundwasserspiegel in den Wintermonaten tiefer als in den Sommermonaten.

Ergebnis

Die Grundwasserspiegel der Bohrungen SB1, SB2, SB3, SB4 Schotter und SB4 Sand schwanken praktisch mit gleicher Periodizität und gleichem mittleren Trend wie der Rheinpegel, jedoch nimmt die Amplitude dieser Schwankungen mit zunehmender Entfernung vom Rhein ab (Abbildung 8). Während die Tagesschwankungen des Rheins an Werktagen bis 80 cm betragen, beobachtet man in SB1 bis 16 cm, in SB2 bis 5 cm, in SB3 bis 10 cm und in SB4 Schotter und SB4 Sand ebenfalls bis 10 cm Schwankungen. Die Pumpstation Dornau weist nur sehr schwache Tagesschwankungen bis zu 4 cm auf. Das Amplitudenverhältnis «Sondierbohrung : Rhein» beträgt demzufolge bei SB1 rund 1:5, bei SB2 1:16, bei SB3, SB4 Schotter und SB4 Sand 1:8 und bei Dornau 1:20. Die Grundwasserspiegel reagieren mit kaum merklicher Verzögerung auf den Pegelstand des Rheins.

Der Grundwasserspiegel in SB1 liegt absolut gesehen höher als diejenigen in SB2, SB3, SB4 Schotter, SB4 Sand und Pumpstation Dornau. Der Spiegel der Pumpstation Dornau liegt am tiefsten.

Es scheint, dass die Grundwasserspiegel von den jahreszeitlich bedingten Schwankungen weniger stark abhängen als der Rhein; bei Hochwasserstand im Sommer liegt das Grundwasser bei Kilometer 36,4 tiefer als der Rheinspiegel. Der Rheinpegel sinkt im Winter auf ein sehr tiefes Niveau, während der Grundwasserspiegel zwar ebenfalls sinkt, aber durch Zufluss von Hangwasser weniger an Höhe verliert und so über den Rheinpegel zu liegen kommt (Abbildung 9).

Niederschläge spielen für die Grundwasserspiegellage nur insofern eine Rolle, als dass sie den Rheinpegel ansteigen lassen. Dies ist nur bei länger andauernden und intensiven Niederschlägen der Fall. Lokale,

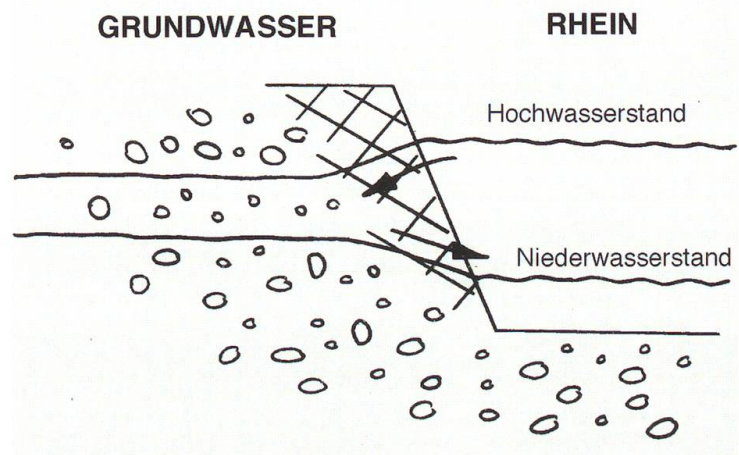


Abbildung 9:
Skizzierte Lage des Rheinpegels und des Grundwasserspiegels bei jahreszeitlich bedingtem Hoch- und Niederwasserstand. Der Grundwasserspiegel reagiert infolge zusätzlichen Hangzuflusses weniger stark auf die jahreszeitlichen Schwankungen.

kleinere Niederschlagsereignisse haben keinen massgeblichen Einfluss auf die Lage der Grundwasserspiegel im Lockergestein.

4.5 Grundwasserspiegelmessungen im Festgestein

Vorgehen

Die Sondierbohrungen SB4, BLC, BLG und BLF wurden ebenfalls durch Datenlogger des Typs DKLog200 ausgerüstet. Damit konnte das Grundwasser im Festgestein (auch Bergwasser genannt) kontinuierlich überwacht werden. In der Bohrung BLD konnte nur vorübergehend ein Logger installiert werden, wodurch ausser den manuellen Abstichmessungen nur wenige Grundwasserspiegeldaten vorhanden sind.

Ergebnis

Die Bergwasserspiegel stehen in hydraulischer Verbindung mit dem Grundwasserspiegel im Lockergestein. Sie reagieren mit nur geringer Verzögerung auf die Tagesschwankungen des Grundwassers im Lockergestein, respektive auf den Pegelstand des Rheins. Die Amplitude der Tagesschwankungen ist bei SB4Fels mit bis zu 6 cm am

grössten. Geringere Unterschiede sind bei BLG und BLF mit Schwankungen von bis zu 3 cm und bei BLC mit weniger als 2 cm vorhanden. Das durchschnittliche Amplitudenverhältnis «Felsbohrung : Rheinpegel» liegt bei SB4Fels bei 1:13, bei BLG und BLF bei 1:27 und bei BLC kleiner als 1:40. Der Bergwasserspiegelstand in der Bohrung BLD ausserhalb des Schollbergs beruht auf relativ wenigen Vergleichswerten, ergibt aber Schwankungen im Bereich von bis zu 10 cm. Dies ergibt ein Amplitudenverhältnis von 1:8. Bei Niederschlägen reagierte das Bergwasser nicht nur auf den Anstieg des Rheinpegels, sondern ebenfalls auf den infiltrierenden lokalen Niederschlag.

Das höchste Niveau hat der Bergwasserspiegel der Bohrung BLB, knapp darunter folgt die Bohrung BLC. Die Wasserspiegelkoten in den Bohrungen BLF, BLG, BLD und SB4Fels liegen bedeutend tiefer. Die Wasserspiegel liegen in den Wintermonaten generell tiefer als in den Sommermonaten.

Es ist ein markanter Bergwasserspiegelanstieg im hinteren Stollensystem zu beobachten. Dies beruht auf dem Wechsel vom Quintnerkalk zur schlechten durchlässigen Zementsteinformation.

4.6 Grundwasserisohypsen und Fließrichtungen im Abstrombereich des Schollbergs

Die Darstellung der Grundwassersituation mittels Isohypsenkarten (Abbildung 10a und 10b) verdeutlicht den Bergwasseraustritt ins Lockergestein und die Fliesswege im Abstrombereich des Schollbergs. Damit können Zeitabschnitte mit verstärkter Rheininfiltration von Abschnitten mit Exfiltration des Grundwassers in den Rhein unterschieden werden.

Vorgehen

Die Grundlage für die Isohypsenkarten bilden Abstichmessungen mit dem Lichtlot, welche bei allen Messpunkten (Bohrungen und Fixpunkte am Rheinufer) zu praktisch

denselben Zeitpunkten gemacht wurden. Die Grundwasserstände der Pumpstation Dornau und der Bohrung B2/6 (Gufaluns) wurden am Pegelschreiber abgelesen oder den Datenblättern entnommen. Die verschiedenen Wasserspiegel wurden zwischen den Messpunkten interpoliert und, soweit bekannt, den geologischen Verhältnissen angepasst.

Anmerkung: Wenn im Folgenden beispielsweise von RkmSB1 gesprochen wird, so ist damit der Rheinkilometer gemeint, an welchem die zum Rheinlauf senkrechte Projektion der Bohrung SB1 liegt.

Ergebnis

Mit Hilfe von Isohypsenkarten konnten die zwei extremsten Grundwassersituationen (höchster und niedrigster Rheinpegelstand) im obersten Grundwasserstockwerk ausgeschieden werden (Abbildung 10a und 10b). Diese entstanden aufgrund von saisonalen und kraftwerkbedingten Schwankungen.

Wintermonate (Abbildung 10a):

In den Monaten Dezember, Januar, Februar und März fliesst das Grundwasser zwischen dem Rkm36 und dem RkmSB2 meist parallel zum Rheinverlauf. Bei hohem Rheinpegel in der zweiten Tageshälfte findet schwache Infiltration des Rheins ins Grundwasser statt. Nur zwischen Rkm36,0 und Rkm36,2 exfiltriert das Grundwasser teilweise leicht in den Rhein. Ab dem Rkm-Dornau liegt immer Grundwasserexfiltration in den Rhein vor. Das aus dem nördlichen Stollensystem Schollberg stammende Festgesteinswasser gelangt anhand der Isohypsenkarte nicht bis zur Pumpstation Dornau, es wird vorzeitig in Richtung Rhein abgelenkt.

Frühling/Sommer/Herbst (Abbildung 10b):

Ab dem Monat März findet zwischen Rkm36 und RkmSB1 keine Grundwasserexfiltration mehr statt. Die Grundwasserströmung verläuft parallel zum Rhein oder wird sogar durch Rheininfiltration leicht abgelenkt. Zwischen RkmSB1 und RkmSB2 do-

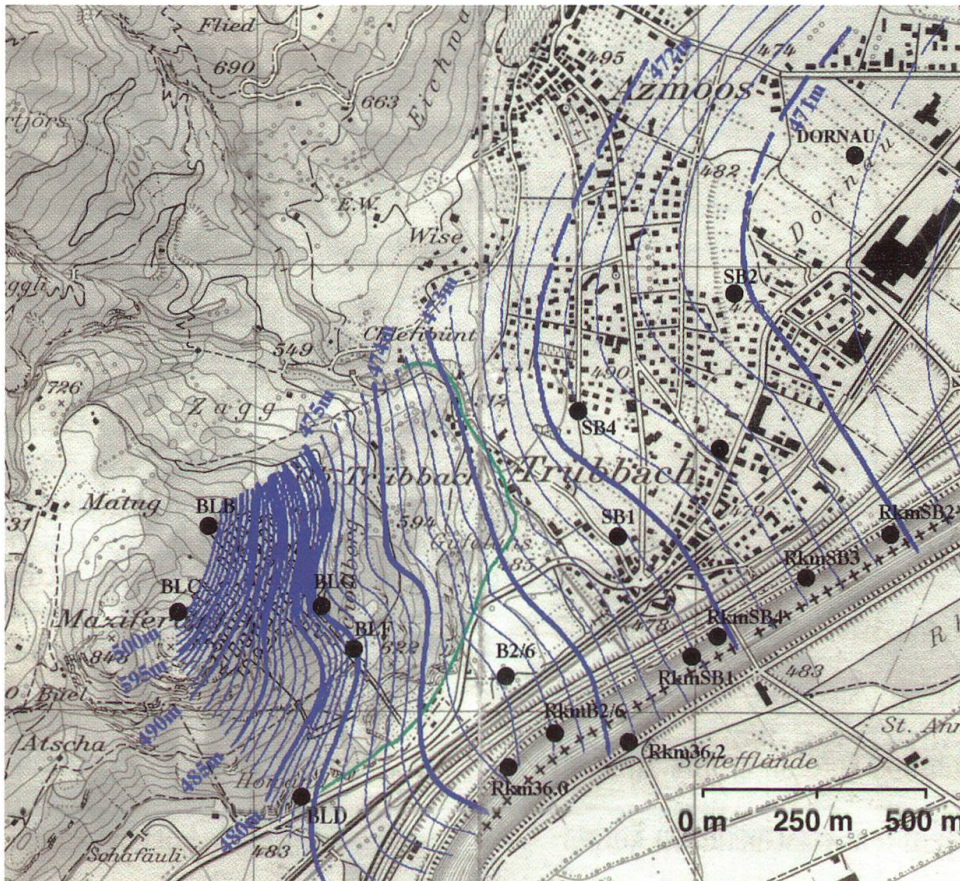


Abbildung 10a: Isohypsenkarte für den Grundwasserleiter im Lockergestein und im Festgestein im Abstrombereich des Schollbergs für die Situation in den Wintermonaten (Rhein-Niederstand). Äquidistanz bis zur Kote 475 m ü. M. 0,2 m, anschliessend 1 m. Die grüne Linie stellt den oberflächennahen Übergang vom Festgestein zum Lockergestein dar.

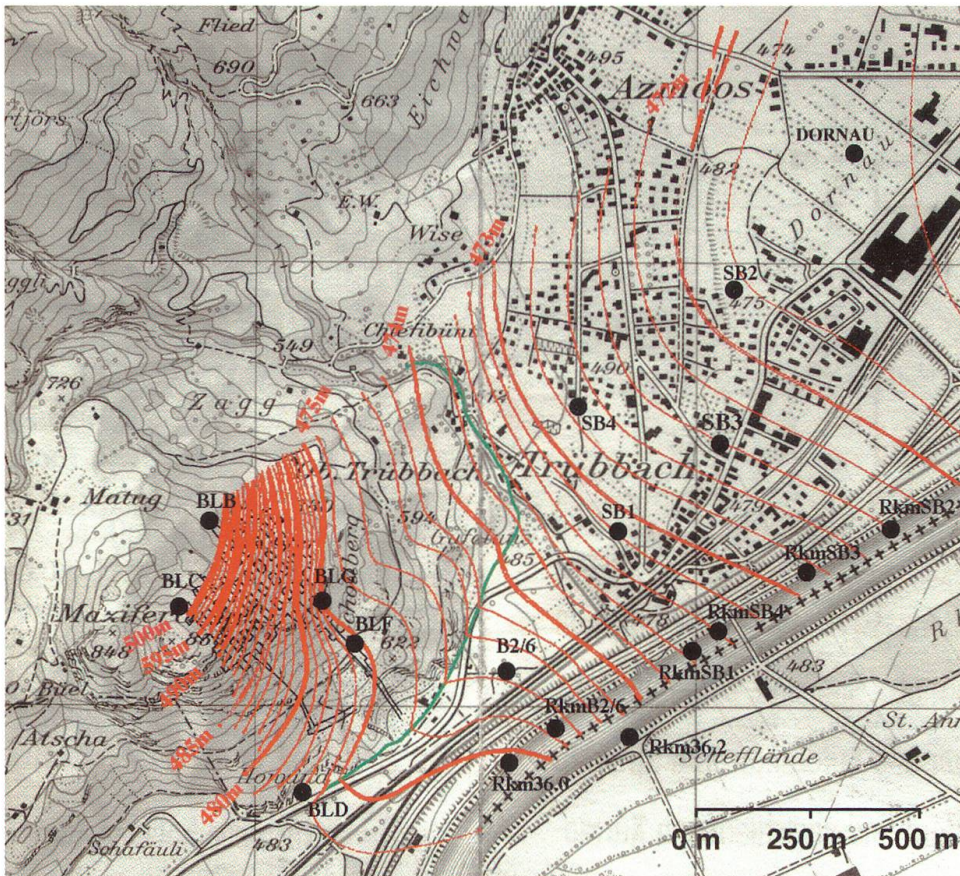


Abbildung 10b: Isohypsenkarte für den Grundwasserleiter im Lockergestein und im Festgestein im Abstrombereich des Schollbergs für die Situation im Frühling, Sommer und Herbst (Rhein-Niederstand). Äquidistanz bis zur Kote 475 m ü. M. 0,2 m, anschliessend 1 m. Die grüne Linie stellt den oberflächennahen Übergang vom Festgestein zum Lockergestein dar.

minierte in der ersten Tageshälfte bei Rheinniederstand wiederum ein rheinparalleler Grundwasserstrom oder schwache Rheininfiltration, in der zweiten Tageshälfte bei Rheinhochstand kommt es zu einer deutlichen bis starken Rheininfiltration ins Grundwasser. An Werktagen ist die Rheininfiltration stärker (höherer Rheinpegel) als an den Wochenenden (niedrigerer Rheinpegel). Der Grundwasserstrom wird dadurch relativ stark in Richtung Pumpstation Dornau abgedrängt. Er scheint aber durch seitlichen Hangzufluss von der westlichen Talflanke vor dem Erreichen der Pumpstation Dornau wieder in Richtung Rhein zurückgedrängt zu werden. Das aus dem nördlichen Stollensystem Schollberg stammende Festgesteinswasser erreicht somit kaum die Pumpstation Dornau. Die Ablenkung in Richtung Rhein geschieht jedoch nur knapp vor der Pumpstation. Da westlich der Pumpstation Dornau keine Grundwassermessstelle existiert, beruht diese Vermutung nur auf der Interpretation der Isohypsenkarten. Bei RkmDornau findet in allen Situationen Exfiltration des Grundwassers in den Rhein statt.

Die Fliessrichtung im Festgestein bleibt praktisch während des ganzen Jahres konstant und zeigt keine Abhängigkeit von der Tageszeit. Es ändern sich zwar die Potentiale der einzelnen Bohrungen gemeinsam mit den Rheinpegelschwankungen und den saisonalen Schwankungen, die relativen Verhältnisse innerhalb des Festgesteins und zum Lockergestein bleiben jedoch erhalten. Die Bohrung BLG scheint in einer stärker geklüfteten Zone des Festgesteins zu liegen, welche die Fliessrichtung des Bergwassers leicht kanalisiert. Im Packertest der Firma Solexperts AG (SOLEXPERTS AG 1995) ist in der Bohrung BLG mit 10^{-5} m/s die grösste hydraulische Durchlässigkeit aller Festgesteinsbohrungen gemessen worden. Da die Faltenachse der Schollbergfalte ziemlich genau durch die Bohrung BLG hindurchzieht, kann die hohe Durchlässigkeit mit der starken Klüftung des Gesteins im Falten-scharnier erklärt werden.

Der Wasseraustritt aus dem Festgestein des Schollbergs ins Grundwasser des Lockergesteins geschieht aufgrund des Isohypsenbildes an mehreren Stellen. Das Bergwasser im Untergrund des südlichen Stollensystems fliesst in Richtung Stolleneingang und gelangt zwischen der Bohrung BLD und dem Ortseingang Trübbach in den von Sargans kommenden Grundwasserstrom des Rheintals. Die nördliche Hälfte des Stollensystems drainiert in nordöstlicher Richtung ins Grundwasser des Lockergesteins.

Von Situationen, in welchen die beiden Pumpen der Trinkwasseranlage Dornau mit einer Leistung von gut 2000 l/Min. über mehrere Stunden Wasser förderten, wurden ebenfalls Isohypsenkarten erstellt. Es konnte kein grosser Absenktrichter um die Pumpstation beobachtet werden. Der Grundwasserstrom vor der Pumpstation wird in dieser Situation allerdings weniger in Richtung Rhein abgelenkt als an anderen Tagen.

5. Schlussfolgerungen

Durch die im Rahmen der Diplomarbeit (WEBER 1998) ausgeführten Untersuchungen konnten folgende Punkte beantwortet werden:

Hängt die Infiltration des Rheins ins Grundwasser von den Jahreszeiten und von den Tageszeiten ab? ⇒ Infolge des Kraftwerkbetriebs Domat/Ems und der saisonalen Schwankungen des Rheinpegels haben die Jahreszeiten sowie die Tageszeiten einen grossen Einfluss auf den Verlauf des Grundwasserstroms im Lockergestein.

Gibt es eine hydraulische Verbindung des Bergwassers im Festgestein zum Grundwasser im Lockergestein? ⇒ Es existiert eindeutig eine hydraulische Beziehung zwischen dem Bergwasser und dem Grundwasser des Lockergesteins. Die Kommunikation der beiden Wasserkörper findet durch Klüfte im Festgestein statt.

Wo tritt das Bergwasser des Festgesteins des Schollbergs ins Grundwasser des Locker-

gesteins aus? ⇒ Je nördlicher das Wasser im Festgestein unterhalb des Stollensystems fließt, umso direkter gelangt es in den Anstrombereich der Pumpstation Dornau. Der südwestliche Teil des Stollensystems entwässert in den Bereich des Stolleneingangs des Schollbergs.

Erreicht das aus dem Schollberg austretende Wasser die Pumpstation Dornau? ⇒ Das von einer späteren «Deponie Schollberg» stammende Zirkulationswasser aus dem nördlichen Stollensystem gelangt aufgrund der Isohypsenkarten in keiner der beiden Extremsituationen in die Pumpstation Dornau. Die Ablenkung in Richtung Rhein erfolgt in der Sommersituation jedoch sehr knapp vor der Pumpstation. Eine gegen Norden gerichtete, durchlässigere Rinne im Untergrund könnte den Grundwasserstrom bis ans Pumpwerk führen. Tracerversuche würden helfen, diese Unsicherheiten zu klären.

Literaturverzeichnis

- DUPUIT, A.J. (1863): Etudes théorétiques et pratiques sur le mouvement des eaux à travers les terrains perméables. – Paris.
- EBERLE, M. (1887): Zur Lockergesteinsfüllung des St.Galler und Liechtensteiner Rheintals. - In: *Eclologiae geologicae Helveticae*, 80/1. – Basel 1987.
- HEIM, A. und OBERHOLZER, J. (1917): Geologische Karte der Alvier-Gruppe (1:25 000). – Schweizerische Geologische Kommission.
- KELLER, O. (1990): Die geologische Entwicklung des Alpenrheintals. – In: *Werdenberger Jahrbuch* 1990, Buchs 1990.
- KOBEL, M. (1994): Das St.Galler und Liechtensteiner Rheintal. – In: Haering et al. (1994): Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte der Schweiz, Blatt Toggenburg, Nr. 5 (1:10 000). – Schweizerische Geotechnische Kommission.
- KOERNER, H. (1957): Die Prüfung der Durchlässigkeit von Lockergesteinsinjektionen im Bauzustand. – *Die Wasserwirtschaft*, Heft 8, Stuttgart.
- SCHLEGEL, H. (1995): Pilotprojekt Schollberg, Hydrogeologische Abklärungen. – Diplomarbeit UNI/ETH Zürich.
- SOLEXPERS AG (1994): Kaverne Schollberg, Hydrogeologische Untersuchungen.
- SOLEXPERS AG (1995): Kaverne Schollberg, Hydrogeologische Untersuchungen, Bohrung G.
- SOLEXPERS AG (1997): Trübbach/Projekt Schollberg, Einfach- und Doppelpackertests in der Bohrung SB4 (Geohydraulische Versuche).
- WEBER, A. (1998): Pilotprojekt Schollberg (Phase 2), Hydrogeologische Untersuchungen im Abstromgebiet des Bergwerk Schollberg, Schlussbericht vom Dezember 1998. – Diplomarbeit ETH Zürich.

