

# Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser

Markus Fette, Eduard Hoehn, Bernhard Wehrli

## Zusammenfassung

Durch den Bau und Betrieb der grossen Speicherkraftwerke im Wallis wurde die Fliesscharakteristik der Rhone stark verändert. Der Winterabfluss wird durch den Kraftwerkseinfluss generell erhöht, die Sommerhochwässer hingegen abgeschwächt. Überlagert wird dieses saisonale Abflussverhalten durch täglich schwankende Wasserstände, die durch die Peakstromproduktion der Wasserkraftwerke verursacht werden. Das Flussbett der Rhone zwischen Sion und Martigny ist stark kanalisiert. Dadurch wird der Geschiebetrieb modifiziert. Diese Modifikation bewirkt eine Kol-

mation der Gewässersohle. Der Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser wird dadurch eingeschränkt. Messungen in einem Untersuchungstransect (1998–2003) bei Fully zwischen Sion und Martigny und ihre Auswertung zeigten, dass nach Beginn der Schneeschmelze im Mai und nach Überschreiten eines Durchflusses von  $180 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  Flusswasser offenbar über den oberen Uferbereich ins Grundwasser infiltrierte.

Im Rahmen der dritten Rhonekorrektur sind Revitalisierungsmassnahmen vorgesehen. Diese bestehen in einer Aufweitung des Ge-

rinnes der Rhone. Dies könnte zu Veränderungen in der Durchlässigkeit der Flusssohle und der Uferandbereiche führen. Diese Veränderungen könnten die heutige geringe Dynamik des Infiltrationsprozesses verändern. Eine erhöhte Durchlässigkeit der Sohle würde beispielsweise kürzere Fliesszeiten des Grundwassers bewirken, was für verschiedene Nutzungen unerwünscht ist. Zudem würde dies die Entwässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen erschweren. Deshalb ist bei Aufweitungen dem Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser Aufmerksamkeit zu schenken.

## Einleitung

Alpine Wasserkraftanlagen in der Schweiz sind für die Erzeugung von elektrischer Energie bedeutsam. Für die Nutzung der Speicherkraft wird Wasser aus hochalpinen Stauseen über Druckleitungen zu den im Tal gelegenen Kraftwerksturbinen geleitet. Nach dem Abarbeiten wird das Wasser in Flüsse eingeleitet und verursacht dort Schwankungen des Wasserspiegels. Dieses als Schwall und Sunk bezeichnete Phänomen kann stellenweise zu beträchtlichen, kurzzeitigen Wasserspiegelschwankungen führen, welche unerwünschte Auswirkungen auf das Ökosystem haben.

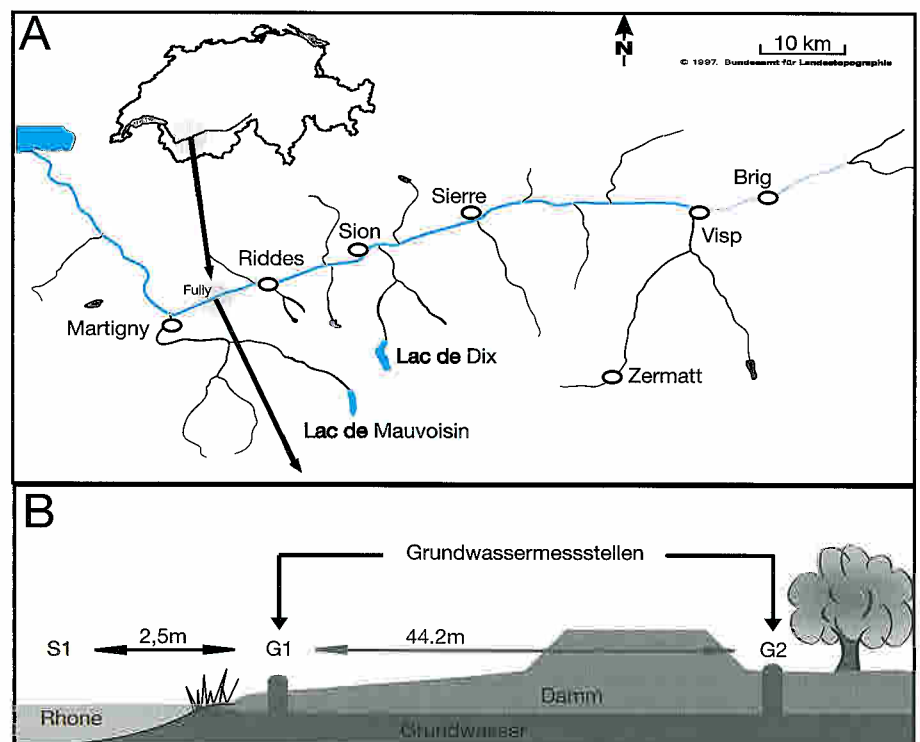
Die Rhone ist ein Gewässer mit starken Hochwässern. Niederschläge auf der Alpensüdseite greifen vor allem in den Südtälern des Wallis östlich des Monte-Rosa-Massivs über den Alpenhauptkamm hinüber und können dort höhere Abflussspitzen in den Seitenbächen der Rhone als im übrigen Wallis hervorrufen (Biedermann 1996).

Dies führt dazu, dass Hochwässer weitgehend oberhalb von Sion entstehen und der Fliessbereich der Rhone unterhalb von Sion bis zum Genfersee (Bild 1A) besonders gefährdet ist. Während der Hochwasserereignisse von 1987 und 1993 wurden im Gebiet von Fully zahlreiche Durchsickerungen von Wasser durch den Damm als erste Anzeichen für einen bevorstehenden Dammbruch beobachtet, was deutlich machte, dass der Zustand der Hochwasserdämme und die Abflusskapazität in diesem Fliessabschnitt unzureichend sind (Kanton Wallis, Dienststelle für Strassen- und Flussbau 2000).

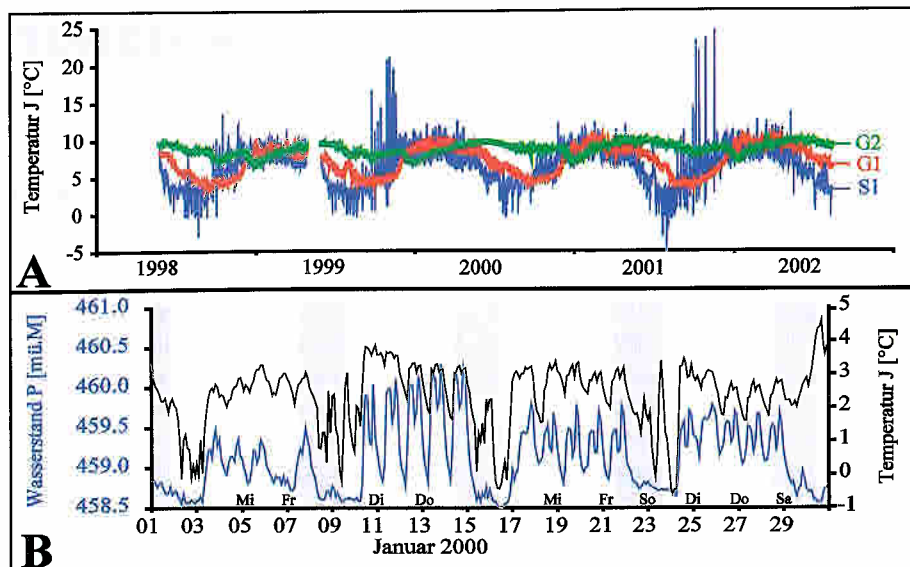
Aufgrund der anstehenden Klimaveränderungen ist mit häufigeren und intensive-

ren Hochwasserereignissen zu rechnen, was eine Überprüfung des derzeitigen Hochwasserschutzkonzeptes notwendig macht (Frei und Schar 2001, Schädler 2002). Das Projekt «Dritte Rhonekorrektur» hat zum Ziel, die ungenügende Sicherheit vor Hochwässern zu verbessern. Moderne Konzepte von Flusskorrekturen schliessen Aufweitungs- und andere ökologische Renaturierungsmassnahmen mit ein (Willi 2001).

Das Flussbett erfüllt eine Funktion als Filterschicht, die das Austauschverhalten zwischen Fluss- und Grundwasser beeinflusst (Schälchli 1992). Besonders in voralpinen Talsohlen liegen Flüsse auf gut durchlässigem alluvialen Schottermaterial, und es bestehen Wechselwirkungen zwischen Fluss und Grundwasser (Infiltration, Exfiltration [Hoehn 2002]). Eine Akkumulation von Feinmaterial im Flussbett führt zu dessen Abdich-



**Bild 1. Untersuchungsgebiet zwischen Sion und Martigny. A: Lage des Grundwassermessnetzes. B: Transekt mit Messstelle Rhone (S1) und Grundwassermessstellen (G1 und G2). Die Messstellen sind mit Dataloggern ausgerüstet (Tiefe 4,1 m bzw. 3,5 m unter GOK) für kontinuierliche Aufzeichnung von Wasserstands- und Temperaturdaten (Intervall: 2 h).**



**Bild 2. Quasi-sinusoidaler Verlauf der Wassertemperaturen in den Messstellen S1, G1 und G2. A: Die Ganglinien sind gegeneinander zeitlich verschoben. B: Situation im Winter: Die Rhone wird durch Einleitung wärmeren Reservoirwassers aufgeheizt.**

tung/Verstopfung (Kolmation). Alpine Wasserkraftanlagen vermindern die Anzahl und Amplitude von Hochwasserereignissen. In den meist monoton gestalteten Flussquerschnitten führt dies zu vermindertem Geschiebetrieb und damit zu einer zunehmenden Akkumulation von Feinmaterial im Flussbett (Murle et al. 2003). Eine verstärkte Tendenz zur Kolmation im Uferbereich als Folge der Wasserkraftnutzung schränkt diese Wechselwirkungen ein. Weit reichende Folgen einer eingeschränkten Wechselwirkung bestehen insbesondere für die Biodiversität. Verschiedene Insektenarten verbringen einen Teil ihres Lebenszyklus sowohl im Oberflächen- als auch im Grundwasser. Sie profitieren deshalb von einem guten Wasseraustausch zwischen Fluss und Grundwasser (Brunke und Gonser 1997, Gonser 2000). Kolmation reduziert den Porenraum im Flussbett und unterbricht Migrationswege für aquatische Organismen (Walther 2002). Als Habitat bietet das Flussbett einen Lebensraum für Invertebraten und ermöglicht die Reproduktion und Weiterentwicklung von Fischen (Brunke und Gonser 1997). Bei einer Aufweitung von Flussläufen könnte die Fließzeit des frisch infiltrierten Wassers verkürzt werden und dadurch Mikroorganismen und Schadstoffe leichter in Trinkwassergewinnungsanlagen aus Grundwasser gelangen (Regli et al. 2004). Für eine ökologisch sinnvolle Revitalisierung von Alpenflüssen mit intensivem Schwall und Sunk und grossem Hochwasserpotenzial muss auch der Austausch zwischen Fluss und Grundwasser über Flussbett und Uferbereich betrachtet werden (Ward 1989).

Auf der einen Seite bietet dieser Grenzbereich einen Lebensraum für Invertebraten und ermöglicht die Reproduktion und

Weiterentwicklung verschiedenster Fischarten. Auf der anderen Seite erfüllen sie eine Funktion als Filterschicht für die Selbstreinigung des Wassers (Schälchli 1992). Ziel einer ganzheitlichen Revitalisierung muss es daher sein, die ökologische Funktionsfähigkeit sicherzustellen und die Trinkwassergewinnung möglichst wenig zu tangieren. Im Rahmen des Rhone-Thur-Projektes wurde ein Verfahren entwickelt, die Wechselwirkungen zwischen Oberflächen- und Grundwasser zu quantifizieren.

#### Quantifizierung der Wechselwirkung zwischen Oberflächen- und Grundwasser

Wechselwirkungen zwischen der Rhone und dem Grundwasser können im Grundwasser über Mischungsanteile und Aufenthaltszeiten im Untergrund abgeschätzt werden. Neben chemischen Wassertracern bietet sich hierfür in günstigen Fällen die kontinuierlich messbare Wassertemperatur an. Im Rahmen einer Ist-Zustand-Untersuchung wurde festgestellt, dass die Rhone in einzelnen Profilen zwischen Sion und Martigny eine kolmativierte Flusssohle aufweist (Baumann in Vorb., vgl. Artikel Baumann und Meile in diesem Heft). Die täglichen Abflussspitzen in der Rhone, verursacht durch den Schwall- und Sunk-Betrieb der Wasserkraftwerke, haben eine zu geringe Schleppkraft, um die Verdichtung/Verstopfung des Flussbettes rückgängig zu machen. Im Untersuchungsstranssekt in der Nähe von Fully, das in einem Bereich erhöhter Dammbrechgefahr liegt (Kanton Wallis, Dienststelle für Strassen- und Flussbau 2000), konnten diese Vorgänge studiert werden. Kennzeichnend für die Rhone im Fließabschnitt zwischen Sion und Martigny ist ein

Doppelprofil, bestehend aus einem durch Blockwurf begrenzten Hauptgerinne und einem mit Vegetation bewachsenen Vorland vor dem Hochwasserdamm (Bild 1B). Das Transekt eignet sich gut für die Untersuchungen, da es unterstrom der Wasserrückgaben der Kraftwerke Grande Dixence und Mauvoisin liegt und sich durch ausgeprägte Wasserstands- und Temperaturschwankungen auszeichnet. Diese sind in zweistündigen Intervallen aufgezeichnet und liegen seit Ende 1998 vor (Bild 2A).

Die Wassertemperatur in der Rhone wird natürlicherweise durch den Energieaustausch mit der Atmosphäre und dem Sediment sowie durch die Reibungswärme beeinflusst (Meier et al. 2003). Überlagert wird das Temperaturregime von der temporären Einleitung von Turbinenwasser der Speicherkraftwerke. Im Boden bewirken zwei Mechanismen Wärmeausgleichsbewegungen: Im fließenden Grundwasser gleicht die Wärmeleitung Temperaturgradienten in der Bodenmatrix und im Wasser aus. Durch Advektion wird Wärme mit einem Grundwasserpaket entlang des Fließweges transportiert. In einer Grundwassermessstelle resultieren aus dem Zusammenspiel dieser beiden Prozesse zeitlich versetzte Temperaturmuster (Schachtschabel et al. 1998).

Der Temperaturdatensatz von Fully erstreckt sich über eine Fünfjahresperiode von Oktober 1998 bis September 2003 und umfasst ca. 21 200 Werte pro Grundwassermessstelle. Langzeitreihen werden mit der Methode der Kreuzkorrelation miteinander verglichen (Hartung 1999, Chatfield 2004). Hierbei wird ermittelt, inwieweit zwei Zeitreihen ein gleichartiges, aber zeitlich versetztes Muster ihres Verlaufs aufweisen. Diese Korrelation wird mit einem Koeffizienten quantifiziert, der eine Aussage über die Stärke der Korrelation macht. Durch den Vergleich der Zeitreihen der Wassertemperatur der Rhone und des Grundwassers konnte deren Infiltrationsrate ins Grundwasser abgeschätzt werden. Die Verwendung eines Hochpassfilters macht es möglich, die Infiltrationsraten bei Niedrig- und bei Hochwasser voneinander zu unterscheiden.

#### Ergebnisse und Diskussion

Die saisonale Temperaturschwankung der Rhone bildet sich abgeschwächt und zeitlich versetzt in den Grundwasser-Messstellen G1 und G2 ab (Bild 2A). In den Messstellen S1, G1 und G2 konnte mit Hilfe der Kreuzkorrelation eine Verschiebung der Maximaltemperatur zwischen S1 und G1 zu 732 h (~1 Monat) und zwischen G1 und G2 zu 2042 h (~3 Monate) quantifiziert werden (Bild 3A). Die Wärmebewegung des Grund-



wassers wird durch eine Interaktion mit der Bodenmatrix verzögert. Dies bedeutet, dass die aus einer Kreuzkorrelation abgeleitete zeitliche Verschiebung des Wärmesignals nicht direkt den Transport eines Wasserpakets charakterisiert. Vielmehr muss die Verschiebung des Wärmesignals durch einen thermischen Retardationsfaktor  $R$  korrigiert werden (Gleichung 1 [De Marsily 1986]):

$$R = 1 + \beta \frac{(1-n)}{n}$$

wobei  $\beta$  als dimensionsloser Koeffizient die Verteilung der Wärmeenergie zwischen Wasser und Boden beschreibt und  $n$  die effektive Porosität darstellt. Unter natürlichen Bedingungen nimmt der Koeffizient  $\beta$  Werte zwischen 0,3 und 0,7 an (De Marsily 1986). Bei bekanntem Wert für  $\beta$  und bekannter Fließdistanz  $x$  des Infiltratwassers zwischen Rhoneufer und den Grundwasser-Messstellen kann aus Gleichung 1 die Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers  $v_a$  abgeschätzt werden.

Bei bekannter Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers  $v_a$ , Gefälle  $J$  und effektiver Porosität  $n$ , kann aus dem Darcy-Gesetz (Gleichung 2) die Durchlässigkeit  $k_f$  und die spezifische Infiltrationsrate  $q$  bestimmt werden:

$$k_f = \frac{q}{J} \text{ und } q = n \cdot v_a$$

Die  $k_f$ -Werte für den Bereich zwischen S1 und G1 ( $3 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$ ) sind um zwei bis drei Zehnerpotenzen kleiner als diejenigen zwischen G1 und G2 ( $7 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$ ), was wir im Sinne einer Kolmatierung des Flussbettes interpretieren (Tabelle 1).

Aus Gleichung 2 folgten Werte für  $q$  zwischen  $0,02$  und  $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  für den Uferandbereich zwischen S1 und G1 bei Niedrigwasser. Diese spezifischen Infiltrationsraten sind klein, verglichen mit den von Hoehn (2002) in einer Studie über verschiedene Flüsse in der Schweiz festgestellten Werten ( $q = 0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1} - 3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ).

### Tagesgang der Temperatur

Das für die Turbinierung verwendete Wasser aus den Stauseen im Untersuchungsgebiet weist übers Jahr gesehen Temperaturen zwischen  $4^\circ\text{C}$  und  $6,5^\circ\text{C}$  auf (Meier 2004). Im Winter bedeutet dies für das Rhonewasser (natürliche Temperaturminima  $< 4^\circ\text{C}$ ) eine Erwärmung durch den Schwallbetrieb der Kraftwerke um mehr als  $2^\circ\text{C}$ . Im Frühling und Sommer kommt es durch das Turbinenwasser zu einer Abkühlung des natürlichen Rhoneabflusses von ca.  $1^\circ\text{C}$  (vgl. Artikel Meier und Wüest in diesem Heft) gegenüber dem natürlichen Temperaturniveau.

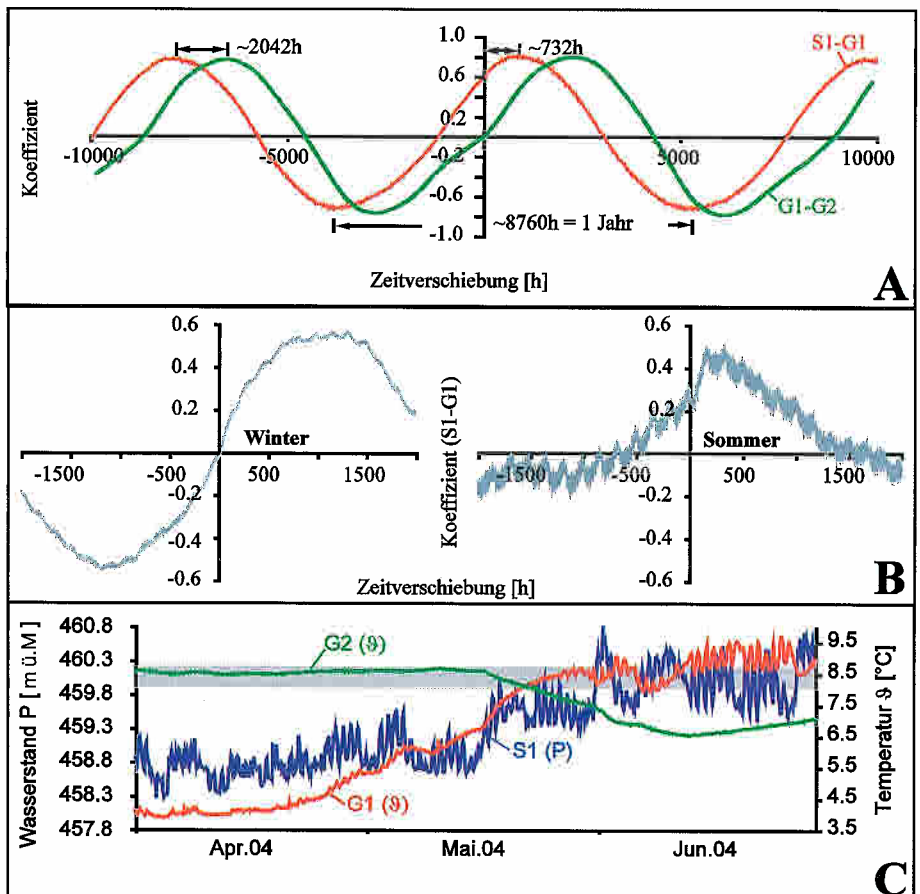
Im Untersuchungsgebiet wird dieser Tagesgang der Temperatur im Sommer bis

Parameter	Messstellen bei Niedrigwasser $< 460 \text{ m ü.M.}$		Messstellen bei Hochwasser $> 460 \text{ m ü.M.}$
	S1-G1	G1-G2	S1-G1
Zeitverschiebung [h]	732	2042	14
Fließdistanz $x$ [m]	2,5	44,2	2,5
Effektive Porosität $n$ [-]	0,1–0,2	0,1–0,2	0,1–0,2
Koeffizient $\beta$ [-]	0,45–0,54	0,45–0,54	0,45–0,54
Verzögerungsfaktor $R$ [-]	2,8–5,9	2,8–5,9	2,8–5,9
Grundwassergefälle $J$ [‰]	95–192	2–5	95–192
$v_a$ [ $\text{md}^{-1}$ ]	0,2–0,5	1,5–3,0	23–27
$k_f$ [ $\text{ms}^{-1}$ ]	$3 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-4}$
$q$ [ $\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ]	0,02–0,1	0,2–0,6	5–14

**Tabelle 1. Aus den Gleichungen 1 und 2 berechnete Parameter für die Abstandsgeschwindigkeit  $v_a$ , die hydraulische Durchlässigkeit  $k_f$ , sowie die spezifische Infiltrationsrate  $q$ . Die Werte für  $\beta$  und  $n$  wurden abgeschätzt.**

ins Grundwasser hinein übertragen und konnte im Nahbereich des Ufers (G1) gemessen werden (Bild 3C). Eine Kreuzkorrelation für saisonal getrennte Datensätze S1-G1 bzw. G1-G2 zeigte für den Zeitraum zwischen 1998 und 2003, dass der Temperaturtagesgang im Grundwasser nur im Sommer

messbar war (Bild 3B). Eine Betrachtung des Temperaturprofils in der Messstelle G1 während der Schneeschmelze im Jahr 2004 machte dies im Rohdatensatz deutlich (Bild 3C). So stieg die Grundwassertemperatur in der Messstelle G1 während der Schneeschmelze. Bei einem Wasserstand von ca.



**Bild 3. Wasserstand- und Temperaturverlauf in der Rhone (S1) und im Grundwasser (G1, G2). A: Kreuzkorrelation über den kompletten Datensatz zwischen den Temperaturganglinien von S1-G1 (rot) und G1-G2 (grün). B: Kreuzkorrelation über die Sommer- (Mai bis Oktober) bzw. Winterdaten (November bis April) zwischen S1-G1. C: Die verstärkten Temperaturschwankungen von G1 ( $\vartheta$  rot) zeigen die beginnende Infiltration von Rhonewasser in den Aquifer beim Überschreiten der Höhenkote von ca. 460 m ü.M. (grauer Balken) im Rhoneabfluss S1 (P).**

460 m ü.M. ( $\sim 180 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) begann sie, tägliche Temperaturschwankungen zu zeigen. G2 zeigte keinerlei Tagesvariationen. Mit Hilfe einer Hochpassfilterung der Sommerdaten in Bild 3B konnte gezeigt werden, dass das Temperatursgangssignal in S1 bereits nach 14 Stunden in der Messstelle G1 nachweisbar ist. Dies ist ein Hinweis auf erhöhte Infiltration von Rhonewasser in den Aquifer, welche von hydrologisch aktiven Makroporen in der oberen Flusssohle (z.B. Wurmlöcher und Wurzelkanäle) herrühren könnte.

Mit dem gleichen Ansatz, wie er durch die Gleichungen 1 und 2 beschrieben wurde, konnte auch eine Infiltrationsrate für Sommerhochwasser errechnet werden (Tabelle 1). Daraus wird abgeleitet, dass die Infiltrationsmenge im oberen, nicht ständig benetzten Uferbereich gegenüber dem kolmatierten Bereich um das 250- bis 700fache erhöht ist. Die Bandbreite der von Hoehn (2002) gefundenen Werte kann somit im Fall von Hochwasser zu grösseren Durchlässigkeiten hin erweitert werden. Diese Erkenntnisse decken sich auch mit Erfahrungswerten im Thurgauer Abschnitt des Thurtals. Dort wird das Grundwasservorkommen in einem beträchtlichen Umfang von der Thur gespeist: ca. 80% stammen aus dem Einsickern von Thurwasser, das allerdings nur bei Hochwasser und einige Zeit danach wirklich intensiv ist (Amt für Umwelt 2003, unveröffentlicht).

Die Verwendung von kontinuierlichen Temperaturdaten unter den im Untersuchungsgebiet herrschenden Randbedingungen ist ein guter Indikator für die Bestimmung saisonal schwankender Infiltrationsverhältnisse zwischen Fluss- und Grundwasser. Aus den ausgewerteten Daten kann daher im vorliegenden Fall für das Untersuchungsgebiet zwischen Sion und Martigny von einer permanent bestehenden Abdichtung der Gewässer-sohle ausgegangen werden. Dies wird bestätigt durch hydraulische Berechnungen in einzelnen Querprofilen, die allerdings nur bis zu einem Maximalschwall von ca.  $110 \text{ m}^3/\text{s}$  durchgeführt wurden (vgl. Artikel Baumann und Meile in diesem Heft). Die verstärkte Infiltration der Rhone bei Fully ab einem Durchfluss von ca.  $180 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  erfolgt wahrscheinlich durch den Anstieg des Wasserspiegels in höhere und besser wasserdurchlässige Ufer-randbereiche und nicht durch ein Aufreissen der Kolmation.

Dank

Wir danken den folgenden Personen für ihre Hilfe bei Probennahmen, Zugang zu bestehenden Datensätzen sowie deren wissenschaftlichen Input: Kanton Wallis: Alexandre Vogel  
Büro BEG (Vétroz): René Décorvet  
Eawag: Jürg Beer, Michael Schurter.

## Literatur

- Amt für Umwelt, K. T. (2003) unveröffentlicht: Auswirkungen der 2. Thurgauer Thurkorrektur auf die Grundwassernutzung, Projektbesrieb.
- Baumann, P. in Vorbereitung: Revitalisierung und Benthos der Rhone. Schlussbericht SP I-6, Rhone-Thur-Projekt Eawag + WSL: 101.
- Biedermann, R. (1996): Speicherkraftwerke und Hochwasserschutz. Wasser Energie Luft 88: 221–266.
- Brunke, M., und Gonser, T. (1997): The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. Freshwater Biology 37: 1–33.
- Chatfield, C. (2004): The analysis of time series – an introduction, Sixth edition. Chapman & Hall, Boca Raton.
- De Marsily, G. (1986): Quantitative hydrogeology – Groundwater hydrology for engineers. Academic Press, San Diego.
- Frei, C., und Schar, C. (2001): Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region. Journal of Climate 14: 1568–1584.
- Gonser, T. (2000): Das Grundwasser – ein obskurer Lebensraum. Eawag news 49d: 6–8.
- Hartung, J. (1999): Statistik-, Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, 12th edition. Oldenbourg.
- Hoehn, E. (2002): Hydrogeological issues of riverbank filtration – a review. Pages 17–41 in C. Ray und NATO, editors. Riverbank filtration understanding contaminant biogeochemistry and pathogen removal. Kluwer, Dordrecht.
- Kanton Wallis, Dienststelle für Strassen- und Flussbau (2000): Dritte Rhonekorrektur. Synthesebericht – Juni 2000.
- Meier, W., Bonjour, C., Wuest, A., und Reichert, P. (2003): Modeling the effect of water diversion on the temperature of mountain streams. Journal of Environmental Engineering-Asce 129: 755–764.
- Meier, W., Frey, M., Moosmann, L., Steinlin, S., Wüest, A. (2004): Wassertemperaturen und Wärmehaushalt der Rhone und ihrer Seitenbäche. Eawag, Kastanienbaum.
- Murle, U., Ortlepp, J., und Zahner, M. (2003): Effects of experimental flooding on riverine morphology, structure and riparian vegetation: The River Spol, Swiss National Park. Aquatic Sciences 65: 191–198.
- Regli, C., Guldenfels, L., und Huggerberger, P. (2004): Revitalisierung von Fließgewässern im Konflikt mit der Grundwassernutzung. Gas – Wasser – Abwasser 4: 261–272.
- Schachtschabel, P., Scheffer/Schachtschabel, Auerwald, K., und Scheffer, F. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde, 14., neu bearb. und erw. Auflage. Enke, Stuttgart.
- Schädler, B. (2002): Effects of Global Climate Change on Alpine Aquatic Systems. Eawag news 55e: 24–26.
- Schälichli, U. (1992): The Clogging of Coarse

Gravel River Beds by Fine Sediment. Hydrobiologia 235: 189–197.

Walther, A. (2002): Comparison of the groundwater fauna of two contrasting reaches of the Upper Rhone River. Diploma Thesis. Eawag/ETHZ, Kastanienbaum.

Ward, J. V. (1989): The 4-Dimensional Nature of Lotic Ecosystems. Journal of the North American Benthological Society 8: 2–8.

Willi, H. P. (2001): Synergism between flood protection and stream ecology. Eawag news 51e: 26–28.

## Rhone-Thur-Projekt – Subprojekt SP I-1 Einfluss von Schwall und Sunk auf das Grundwasser

*Ziel einer Revitalisierung der Rhone ist unter anderem, die Durchgängigkeit des Fluss-Grundwasser-Systems wiederherzustellen. Die folgenden beiden Themen stehen im Mittelpunkt dieser wissenschaftlichen Arbeit:*

*1. Grundwasser als Teil von Fließgewässerökosystemen*

*Wasserkraftnutzung kann die Wechselwirkungen zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser verändern. Dies hat Auswirkungen auf die Biodiversität der aquatischen Kleinfafa sowie auf Nutzungsarten des Grundwassers (a).*

*2. Traceruntersuchungen zum Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser*

*Neben den hier vorgestellten kontinuierlichen Messungen der Grundwasserspiegel und -temperaturen erlaubt die Verwendung geochemischer Tracer eine Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser (z.B. die ebenfalls kontinuierlich messbare spezifische elektrische Leitfähigkeit). Den stabilen Isotopen des Sauerstoffs und des Wasserstoffs kommt dabei eine grosse Bedeutung zu, da sie als Bestandteile des Wassermoleküls für den Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser gut geeignet sind (b).*

*(a) Fette M., Weber, C., Peter, A. und Wehrli, B.: Hydro-power and river rehabilitation. A case study on an alpine river. Journal for Nature Conservation, submitted.*  
*(b) Fette M., Kipfer, R., Hoehn, E., Schubert, C. and Wehrli, B.: Assessing river-groundwater exchange in the regulated Rhone river (Switzerland) using stable isotopes and geochemical tracers. Applied Geochemistry, in press.*

Anschrift der Verfasser

Dipl. Ing. Markus Fette, Prof. Dr. Bernhard Wehrli, Eawag, Forschungszentrum für Limnologie, CH-6047 Kastanienbaum, E-Mail: markus.fette@eawag.ch

Dr. Eduard Hoehn, Eawag, Ueberlandstrasse 133, CH-8600 Dübendorf.