

## URS VON GUNTEN: «SÄULENEXPERIMENTE ZEIGEN, DASS EISEN UND MANGAN FREISETZT WERDEN KÖNNEN»

Das Nationale Forschungsprogramm NFP 61 will wissenschaftlich fundierte Grundlagen zum künftigen Umgang mit Wasser bereitstellen. Es verfügt über einen Finanzrahmen von zwölf Millionen Franken und dauert ab Januar 2010 vier Jahre. Die Praxisrelevanz wird im Programm stark gewichtet. Aqua & Gas stellt in dieser Ausgabe das Projekt «Auswirkungen von Szenarien der Klimaveränderungen auf die Uferfiltration (RIBACLIM)» vor. Projektleiter Urs von Gunten und sein Team von der Eawag geben Einblick in ihr Projekt.

### Zur Untersuchung der Vorgänge und Abbauprozesse während der Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser benutzen Sie Feld- und Laborversuche. Wo führen Sie die Feldversuche durch und wie sehen die Feldversuche im Einzelnen aus?

Der Feldstandort liegt in der Nordostschweiz an der Thur, in Niederneunforn/Altikon. Dieser Standort wurde über mehrere Jahre hinweg mit einer Vielzahl von Piezometern instrumentiert ([www.cces.ethz.ch/projects/nature/Record](http://www.cces.ethz.ch/projects/nature/Record)). In diesen Piezometern haben wir Sensoren installiert, die den Grundwasserspiegel, die Temperatur, die elektrische Leitfähigkeit und die gelöste Sauerstoffkonzentration im Grundwasser kontinuierlich aufzeichnen. Dieselben Parameter werden auch in der Thur gemessen. Zusätzlich zu diesen kontinuierlichen Messungen führten wir Probenahmekampagnen durch, bei denen wir sowohl Flusswasser als auch Grundwasser in mehreren Piezometern beproben. Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH und gelöste Sauerstoffkonzentration wurden im Feld gemessen, gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) und die Redoxparameter Nitrat, Nitrit und Ammonium wurden an der Eawag analysiert.

### Wie lassen sich bei Feldversuchen klimabedingte Veränderungen erkennen?

In den Feldversuchen im RIBACLIM können wir Klimatrends nicht erfassen, da unsere Daten nur eine Zeitspanne von drei Jahren umfassen. Unsere Felduntersuchungen stützen sich auf die Annahme, dass wir in unseren Flüssen in Zukunft im Sommer höhere Temperaturen und niedrigere Abflüsse (nach Abschmelzen der Gletscher) haben werden. Wir haben deshalb gezielt untersucht, wie sich die

Temperatur und der Abfluss in der Thur auf die Sauerstoff-, DOC- und Nitratkonzentration auswirken. Wir haben dabei festgestellt, dass bei konstant hohen Temperaturen im Sommer bei der Uferfiltration tatsächlich anaerobe Zustände auftreten. Allerdings wurde Nitrat nie vollständig gezehrt, so dass für unsere Beobachtungsperioden immer eine ausreichende «Nitratpufferung» vorhanden war, welche die Freisetzung von Eisen und Mangan verhinderte.

### Können Sie bitte den Aufbau der Laborversuche genauer beschreiben?

Die Laborversuche werden mit 30 cm langen Säulen (Durchmesser 5 cm), die mit korngrossenfraktioniertem Sand (125-250 µm) aus den Thursedimenten gefüllt sind, durchgeführt. Die Säulen werden von unten nach oben durchströmt und Wasserproben können entlang der Fliessstrecke mittels 15 Probenahmestellen zur Untersuchung von verschiedenen Parametern (pH, Alkalinität, Sauerstoff, Nitrat, Nitrit, Ammonium, gelöstes Mangan und Eisen, DOC etc.) entnommen werden. Wir betreiben unsere Säulenexperimente mit Thurwasser, das je nach Fragestellung modifiziert werden kann.

### Bei den Laborversuchen können Sie gezielt Parameter variieren, um deren Einfluss zu verstehen. Welche Parameter stehen hierbei im Vordergrund?

Die Durchflussrate kann so angepasst werden, dass sich in der Säule ähnliche Aufenthaltszeiten ergeben wie bei der Uferfiltration. Es hat sich gezeigt, dass die Durchflussrate für die Sauerstoffzehrung sehr wichtig ist. Die Temperatur als Schlüsselgrösse kann mit unserem

experimentellen Aufbau auch beliebig verändert werden. Unsere Experimente können vollständig in einem thermostatisierbaren Schrank aufgebaut werden. Aufbauend auf Thurwasser haben wir die Wasserzusammensetzung systematisch variiert. Einerseits wurde der Abwasseranteil auf bis zu 50% erhöht, andererseits wurde die Säule ohne Sauerstoff, mit und ohne Nitrat betrieben. So konnten die Denitrifikation und die reduktive Auflösung von Mangan- und Eisenoxiden untersucht werden. Wir konnten so zeigen, dass das gelöste organische Material aus dem Ablauf von Kläranlagen die Sauerstoffzehrung bei der simulierten Uferfiltration nur unwesentlich beeinflusst. Stattdessen spielt das partikuläre organische Material in der Säule eine zentrale Rolle als Elektronenakzeptor für die Sauerstoffzehrung. Die damit verbundenen mikrobiellen Prozesse sind stark temperaturabhängig, was durch Experimente bei 5 und 20 °C gezeigt werden konnte.

### Welche chemischen Stoffe stehen bei Ihren Untersuchungen im Zentrum?

Wir haben bis anhin vor allem Redoxparameter untersucht, da die Bildung von Nitrit oder die Freisetzung von Eisen und Mangan aus Sicht der Wasserqualität unerwünscht sind. In der Schweiz sind diese Parameter besonders problematisch, da oft nach der Uferfiltration keine weitere Aufbereitung erfolgt. Weitere Untersuchungen zum Abbau von anthropogenen Spurenstoffen in verschiedenen Redoxmilieus sind geplant.

**Ziel des Projekts ist es, ein numerisches Modell zu erstellen, mit dem die Prozesse in typischen Sommer- und Wintersitu-**



**ationen sowie Extremszenarien berechnet werden. Welche Vorgänge werden in diesem Modell abgebildet?**

Das reaktive Transportmodell beschreibt sowohl den advektiv-dispersiven Transport von den gelösten Spezies (physikalischer Prozess) als auch die reaktiven Prozesse, die während des Transportes vom Fluss ins Grundwasser stattfinden. Zu diesen gehört primär die mikrobielle Oxidation von organischem Kohlenstoff in gelöster (DOC) und partikulärer Form (POC). Als Oxidationsmittel (Sauerstoff, Nitrat, Manganoxid, Eisenoxid) wird jeweils die Spezies verwendet, dessen Reduktion thermodynamisch am meisten Energie freisetzt. Die Raten der unterschiedlichen Abbauprozesse (entsprechend den unterschiedlichen Oxidationsmitteln) werden unter Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit der mikrobiellen Oxidationsprozesse formuliert. Durch Simulation von Extremereignissen mit erhöhten Temperaturen untersuchen wir, ob Sauerstoff und Nitrat vollständig gezehrt werden, was die Freisetzung von Mangan und Eisen zur Folge hätte.

**Welche Auswirkungen könnten die prognostizierten Klimaänderungen auf Infiltrations- und Reinigungsprozesse haben?**

Die heute verfügbaren Prognosen gehen von längeren Trockenperioden und höheren Temperaturen im Sommer und von mehr Niederschlägen im Winter aus. Im Sommer ist somit in Flüssen ohne Gletscher oder nach Abschmelzen der Gletscher mit einem tieferen Abfluss kombiniert mit erhöhter Wassertemperatur zu rechnen. In unseren Untersuchungen im Feld und im Labor konnten wir übereinstimmend zeigen, dass diese Voraussetzungen (hohe Temperaturen und mögliche tiefere Infiltrationsraten) zu anaeroben Zuständen führen können. Da Nitrat die Freisetzung von Eisen und Mangan in der Infiltrationszone verhindert, wirkt dieses als «Redoxpuffer». Für Szenarien, bei denen Nitrat vollständig ge-

zehrt wird, konnte in Säulenexperimenten gezeigt werden, dass es tatsächlich zu einer Freisetzung von Eisen und Mangan kommen kann. Diese beiden Metalle sind aus ästhetischer Sicht unerwünscht, da bei Kontakt mit Sauerstoff Eisen- und Manganoxide ausgefällt werden. Mangan ist zudem toxikologisch potenziell problematisch. Die im Winter zu erwartenden Hochwasser wurden nicht untersucht.

**Was lässt sich für Wasserversorgungen, die flussnahe Grundwasserentnahmestellen besitzen, aus Ihren bisherigen Ergebnissen ableiten?**

Im Sommer 2003 hat man in gewissen Wasserfassungen, die von Uferfiltrat gespeist werden, anaerobe Zustände mit gelöstem Eisen und Mangan vorgefunden, die später als entsprechende Oxide ausgefällt wurden. In unseren Laborsäulen konnten wir bestätigen, dass solche Redoxzustände erreicht werden können. Eisen- und manganhaltige Wässer müssen aufbereitet werden, um Ausfällungen in den Leitungen oder sogar im Haushalt zu vermeiden. Es stehen verschiedene bewährte Aufbereitungsmethoden zur Verfügung (*in-situ, pump and treat*). Allerdings könnte das saisonale Auftreten dieser Metalle zu Problemen führen, da die Aufbereitungsanlagen diskontinuierlich betrieben werden müssten.

**Welche Anpassungen sollten Kläranlagenseitig vorgenommen werden?**

Die geplanten Massnahmen zur weitergehenden Abwasserreinigung zur Entfernung von Spurenstoffen wird die Fracht von unerwünschten Stoffen verkleinern. Zudem wird durch zusätzliche Filtrationsstufen die Fracht an partikulärem organischem Material verringert. Beide Faktoren werden zu einer Verbesserung der Wasserqualität führen. Allerdings ist nicht klar, ob das partikuläre organische Material, das zur Ausbildung des Redoxmilieus gebraucht wird, aus natürlichen Quellen oder aus dem Abwasser stammt.

**VON FLÜSSEN GESPIESENES TRINKWASSER: NOCH SAUBER GENUG?**

Das Schweizer Trinkwasser wird vorwiegend aus dem Grundwasser gewonnen. Ungefähr 25–30% des Grundwassers stammen aus Flusswasser, das durch das Gewässerufer infiltriert. Oftmals ist das Gewässerufer die einzige Barriere, die das von Abwasser belastete Flusswasser vom Trinkwasser trennt. Sauberes Trinkwasser hängt deshalb direkt mit den chemischen, physikalischen und biologischen Reinigungsprozessen in dieser Zone zusammen. Werden diese Prozesse in der Infiltrationszone durch veränderte Wassertemperaturen und einem zeitweilig erhöhten Abwasseranteil beeinträchtigt? Flusswasser enthält oftmals beträchtliche Anteile an Abwasser, das aus Kläranlagen stammt.

**ZIEL**

Das Projekt untersucht klimabedingte Veränderungen der Infiltrationsprozesse von Flusswasser ins Grundwasser. In dieser Studie wird mit Labor- und Feldexperimenten an gut instrumentierten Standorten gearbeitet, um so «normale» Veränderungen von klimabedingten Veränderungen zu unterscheiden. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Basis für ein numerisches Modell, mit dem die Prozesse in typischen Sommer- und Wintersituationen sowie Extremszenarien berechnet werden.

**BEDEUTUNG**

Das Projekt liefert Resultate über das Verhalten der Uferfiltration unter verschiedenen Klimaszenarien. Auf dieser Basis wird die bestehende Wasserversorgung aus Uferfiltrat beurteilt. Allfällige Verbesserungen in der Wasserversorgung oder der Abwasserreinigung werden vorgeschlagen.

**IN DER NÄCHSTEN AUSGABE**

Adrienne Grêt-Regamey gibt Auskunft über die nachhaltige Sicherung von Wasserressourcen.