

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 93 (2001)  
**Heft:** 1-2

**Artikel:** Zeitreisen des Grundwassers  
**Autor:** Kipfer, Rolf  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-939864>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

schreiben, werden Gleichungen für die maximal erreichbare Kolktiefe im Übergangs- und im turbulent rauen Regime abgeleitet. Anhand einer Größenabschätzung lässt sich dann ein wesentlicher Massstabseffekt ermitteln, welcher für die starken Divergenzen zwischen heutigen Modelluntersuchungen und Naturmessungen verantwortlich sein kann. Es lässt sich deshalb anführen, dass Kolkvorgänge im Labor mit grosser Umsicht auf Prototypen hochgerechnet werden müssen.

Auch geht aus den vorliegenden Untersuchungen klar hervor, dass Kolkvorgänge an Brücken im Besonderen – wie auch Kolke allgemeiner Art – keineswegs als abgeschlossenes Forschungsthema betrachtet werden können. In diesem spannenden Bereich der Hydraulik sind demnach noch eine Vielzahl von Forschungsarbeiten zu erwarten, um die wichtigsten Phänomene ingeniermässig zu beschreiben.

#### Dank

Dieses Projekt stellt eine Zusammenarbeit zwischen der Università della Basilicata, Italien, und der ETH Zürich dar. Wir möchten uns für die Unterstützung bedanken.

#### Literatur

*Ballio, F., Crippa, S., Fioroni, M., Franzetti, S. (2000): Effetto del restringimento di sezione sui processi erosivi in prossimità delle spalle dei ponti. 27 Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche Genova 1: 195–203.*

*Breusers, H. N. C., Raudkivi, A. J. (1991): Scouring. IAHR Hydraulic structures design manual 2. Balkema: Rotterdam.*

*Chabert, J., Engeldinger, P. (1956): Etude des affouillements autour des piles de ponts. Serie A. Laboratoire National d'Hydraulique: Chatou.*

*Hager, W. H., Oliveto, G. (2001): Shields' condition in bridge hydraulics. Journal of Hydraulic Engineering (eingereicht).*

*Kohli, A. (1998): Kolk an Gebäuden in Über-schwemmungsebenen. PhD thesis 12592. ETH: Zürich.*

*Melville, B. W., Sutherland, A. J. (1988): Design method for local scour at bridge piers. Journal of Hydraulic Engineering 114(10): 1210–1226.*

*Oliveto, G., Hager, W. H. (2001): Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. Journal of Hydraulic Engineering (eingereicht).*

#### Adressen der Autoren

Dr. Giuseppe Oliveto, Dip. di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente, DIFA, Università della Basilicata, I-85100 Potenza, Italy, oder über E-Mail-Adresse: gndci121@unibas.it

Prof. Dr. Willi H. Hager, VAW, ETH Zentrum, CH-8092 Zürich, Schweiz, oder über E-Mail-Adresse: hager@vaw.baug.ethz.ch

## Zeitreisen des Grundwassers

■ Rolf Kipfer

Neue Tracermethoden erschliessen die zeitliche Entwicklung im Grundwasser und zeigen, dass sich Grundwasser auf Zeitskalen zwischen Tagen und Jahrmillionen erneuert. Auch in der Schweiz, dem Wasserschloss Europas, wird «altes» Grundwasser aus tieferen Erdschichten geschöpft. Dieses Wasser stammt aus der letzten Eiszeit, erneuert sich entsprechend kaum und wird somit bergmännisch abgebaut.

Grundwasser bewegt sich nicht nur im Raum, es entwickelt sich vielmehr auch in der Zeit. Weltweit erneuert sich Grundwasser auf einer Zeitskala von 1500 Jahren. Bemerkenswert ist jedoch weniger die Größenordnung selbst als vielmehr ihre Variationsbreite von  $\pm 5$  Größenordnungen. In Gebieten mit direkter Flussinfiltration liegen die Grundwassererneuerungszeiten im Bereich von wenigen Tagen. In ariden Zonen steigen die Erneuerungszeiten bis gegen Hundertausende von Jahren. In stagnierendem Porenwasser erreichen sie gar die Formationsalter der sedimentären Ablagerungen.

Jede auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Grundwassernutzung muss sich an der typischen Zeitskala der Wassererneuerung orientieren, welche für jedes Grundwassersystem individuell zu bestimmen ist. Es gilt hierbei zu beachten, dass die Grundwassererneuerungszeit allgemein dem Schwerpunkt einer Altersverteilung entspricht, die sich durch Mittelung der Verweilzeiten aller jener Strömungswege ergibt, welche durch einen bestimmten Grundwasserbrunnen gefasst werden.

#### Nicht erfasste Wirklichkeit

Die Zeit, die zwischen der Grundwasserneubildung und dem Austritt aus dem Grundwasserleiter (Aquifer) verstreicht, wird als Grundwasseraufenthaltszeit bezeichnet. Um sie zu bestimmen werden meist nummerische Grundwassermodelle verwendet, welche das Strömungsfeld auf Grund von hydraulischen Randbedingungen berechnen.

Es ist jedoch prinzipiell schwierig, die relevanten Größen, welche die Grundwassererdynamik kontrollieren, mit Grundwasserströmungsmodellen zu identifizieren. Da die verfügbare Datenmenge zur Modelldefinition stets in krassem Gegensatz zum effektiv benötigten Informationsbedarf steht, lassen sich die realen Verhältnisse im Grundwasser im Modell faktisch nie physikalisch exakt nachbilden. Dies kann dazu führen, dass Grundwassermodelle zwar die hydraulischen Daten korrekt reproduzieren, gleichzeitig aber bezüglich der zugrunde liegenden Prozesse völlig an der Wirklichkeit vorbei zielen. So können sie z.B. aus fehlendem konzeptuellem Wissen heraus weder den typischen Erneuerungszeiten noch der Einmischung

von jungem und altem Grundwasser angemessen Rechnung tragen.

#### Tracermethoden als Ergänzung zu Strömungsquellen

Im Gegensatz zu Grundwassermodellen, welche sich auf hydraulische Parameter (z.B. Piezometerstände) stützen, eignen sich transiente Tracermethoden besonders gut zur Erfassung der Grundwasserneubildung, der mittleren Grundwasseraufenthaltszeiten und der Mischung verschiedener Grundwassertypen. Die Methoden vermögen auf Grund ihrer komplementären Empfindlichkeit die konzeptuellen Schwächen von Grundwassermodellen aufzudecken und zu beheben.

Um die Unsicherheiten von Grundwasserströmungsmodellen zu reduzieren, werden heute vermehrt (isotopen-)geochemische Methoden zur Grundwasserdatierung herangezogen. Diese beruhen auf der Messung verschiedener in der Umwelt und im Grundwasser auftretender Spurenstoffe. Eingesetzt werden meist konservative Stoffe, welche weder chemisch noch biologisch aktiv sind und deren Konzentrationen im

Grundwasser sich entweder durch den radioaktiven Zerfall (z.B. Tritium, Edelgasisotope) oder durch zeitlich variierende Einwachsfunktionen (z.B. halogenierte Kohlenwasserstoffe) verändern.

Ist die charakteristische Zeitskala der Spurenstoffveränderung vergleichbar mit der Zeit, während der sich ein bestimmtes Grundwasser erneut, kann die entsprechende Methode oft erfolgreich eingesetzt werden, um die mittlere Aufenthaltszeit im Grundwasser zu bestimmen. Mit Hilfe der heute zur Verfügung stehenden Methoden können sowohl junge Grundwässer mit Aufenthaltszeiten von Tagen bis Jahren datiert werden als auch alte, stagnierende Wässer, welche sich – wenn überhaupt – erst während Jahrtausenden erneuern.

## (Grund-)Wasser und Auenwälder im Bleniotal

Im Bleniotal stehen Auenwälder von nationaler Bedeutung. Deren Baumbestand geht seit mehreren Jahren kontinuierlich zurück. Die Ursachen dafür sind weitgehend unbekannt. Im Rahmen eines grösseren Forschungsprojektes, in welchem die Eawag den Betrieb von Speicherwerkten nach ökologischen Gesichtspunkten beurteilt (Projekt Ökostrom, vgl. Eawag news 47), wurden die hydraulischen Verhältnisse im Bereich der Aue untersucht. Es galt abzuklären, ob das Grundwasser der Aue direkt durch lokal infiltrierendes Wasser des Hauptflusses (Brenno) gespiesen und erneuert wird. Dazu wurden im Bereich der mittleren Aue an mehreren Bohrlöchern die Alter der Grundwässer viermal im Laufe eines Jahres bestimmt und durch chemische Analysen ergänzt.

Es zeigte sich, dass die Alter der Grundwässer weder zeitlich noch räumlich konstant sind. Vielmehr folgen alle einem einheitlichen jahreszeitlichen Gang. Im Winter liegen die Wasseralter – überraschenderweise selbst nahe beim Brenno – im Bereich von einigen Jahren(!). Im Frühjahr und Sommer liegt jüngeres Grundwasser vor, während die Alter vom Herbst hinweg bis in den Winter wieder auf hohe Werte ansteigen.

Im Weiteren variieren die Wasseralter in Abhängigkeit der Wassertiefe. Es können zwei Grundwässer unterschieden werden. Während des Sommers ist das oberflächennähere Grundwasser jung, doch findet sich in 9 m Tiefe älteres Wasser, dessen mittlere Aufenthaltszeit der winterlichen Situation entspricht. Die jahreszeitlichen Unterschiede und die vertikale Gliederung des Grundwassers legen nahe, dass sich während der Schneeschmelze im Frühjahr und im Sommer junges Oberflächenwasser dem oberen Bereich des Grundwasserleiters zumischt und

sich über altem Grundwasser einschichtet, welches nicht lokal gebildet wird.

Die Chemiedaten folgen dem gleichen zeitlichen Muster. Im Frühjahr und Sommer stimmt die chemische Zusammensetzung des Grundwassers weitgehend mit jener von Schmelzwasser führenden Seitenbächen überein. Im Winter hingegen ist das Grundwasser in der Aue viel stärker mineralisiert. Es gleicht dann in seiner Zusammensetzung einem stark gipshaltigen alten Grundwasser, welches innerhalb der Brennoschwemmebene als Quelle austritt.

Das Grundwasser innerhalb der Aue entspricht demnach einer Mischung von jungem, schwach mineralisiertem Schmelzwasser aus den angrenzenden Hängen und einem alten, sulfatreichen, tieferen Grundwasser.

Der Brenno selbst scheint die Aue grosskalig nur sehr indirekt zu beeinflussen, indem er als möglicher Vorfluter die Grundwasserpegel in der Aue reguliert.

## Eiszeitliches Wasser im Oberen Glatttal

Im Gegensatz zu ungespannten oberflächennahen Grundwasserleitern erneuern sich die tiefer gelegenen Grundwässer viel langsamer. Es ist wesentlich zu erwähnen, dass der Aquifer räumlich begrenzt ist. Der tiefe artesische Grundwasserleiter im Oberen Glatttal enthält, obwohl er sich räumlich nur mehrere Kilometer erstreckt, Wasser aus der letzten Eiszeit.

Da die Löslichkeit von atmosphärischen Edelgasen unter anderem massgeblich durch die Bodentemperatur zur Zeit der Grundwasserneubildung bestimmt wird, lassen sich mit Tracermethoden neben der Altersinformation auch solche über die klimatischen Bedingungen während der Grundwasserinfiltation gewinnen. Derart rekonstruierte Temperaturen zeigen, dass im Oberen Glatttal die mittlere Jahrestemperatur während der Eiszeit um mehr als 5 °C tiefer war als heute (Beyerle et al., 1998).

Auffallend ist, dass das Alter des Grundwassers innerhalb von weniger als 1 km um mehr als 10000 Jahre zunimmt, obwohl die Altersunterschiede innerhalb des 10 km langen Aquifers insgesamt nur 30000 Jahre betragen. Dieser Alterssprung im Zeitbereich des letzten Eishöchststandes der Eiszeit ist zu gross, als dass er fehlenden Bohrungen zugeschrieben werden könnte. Die Daten legen vielmehr nahe, dass Gletscher und Permafrost die hydrologischen Verhältnisse während dieser Zeit um das letzte glaziale Maximum herum grundlegend veränderten und die Grundwasserneubildung stark reduzierten.

## Nicht nachhaltige Wassernutzung

Obwohl der obere Teil des Glatttalaquifers zwischen Uster und Hegnau eiszeitliches Wasser enthält, führen die gleichen Schichten im unteren Teil, auf der Höhe von Dübendorf, heute rezentes Grundwasser. Seit Beginn der 90er-Jahre, als eine Trinkwasserfassung den tiefen Glatttalaquifer erschloss, hat sich die chemische Zusammensetzung des Grundwassers kontinuierlich verändert. War das Wasser früher tritiumfrei und reduzierend, enthält das Wasser heute Sauerstoff und Tritium. Gleichzeitig sanken die Grundwasserspiegel im tiefen Aquifer stark ab. Offensichtlich wurde zuerst altes, sich kaum erneuerndes Wasser gefördert und dadurch die eiszeitliche Ressource erschöpft. Die hydraulischen Veränderungen erlaubten es jungem, oberflächennahem Grundwasser, in die tiefen Schichten einzudringen, wo es heute den Hauptteil des geförderten Wassers ausmacht.

Obwohl sich der Chemismus des geförderten Grundwassers verschoben hat, hat sich die Trinkwasserqualität als solche nicht geändert. Das Beispiel zeigt jedoch, dass auch in der Schweiz Grundwässer vorkommen, welche sich auf den für menschliche Gesellschaften relevanten Zeitskalen nicht nachbilden. Sie sind deshalb als nicht erneuerbare Bodenschätze zu betrachten. Moderne Tracermethoden in Kombination mit innovativen Ansätzen der Grundwassermodellierung werden in Zukunft ihren Beitrag leisten, um sich der räumlichen und zeitlichen Begrenztheit von Wasserressourcen klar zu werden. Sie schaffen wesentliche Voraussetzungen dafür, Grundwasser als Ressource tatsächlich nachhaltig – im ursprünglichen Sinn des Wortes – zu nutzen.

## Literatur

Beyerle U., Purtschert R., Aeschbach-Hertig W., Imboden D. M., Loosli H. H., Wieler R., and Kipfer R. (1996): Climate and groundwater recharge during the last glaciation in an ice-covered region. Science 282, 731–734.

## Adresse des Verfassers

Rolf Kipfer, Eawag, Postfach 611, CH-8600 Dübendorf.