

Titel/ATH-Band 2001:

**ASSOCIATION OF TRACER HYDROLOGY (ATH) (Eds.): Tracer Studies in the Unsaturated Zone and Groundwater (Investigations 1996–2001). 8<sup>th</sup> International Symposium on Water Tracing, Munich 2001.**

**Band/Volume 52, Jahrgang/Issue 2001**

W. BERG, B. ČENČUR CURK, J. FANK, F. FEICHTINGER, G. NÜTZMANN, W. PAPESCH, V. RAJNER, D. RANK, S. SCHNEIDER, K.-P. SEILER, K.-H. STEINER, E. STENITZER, W. STICHLER, B. TRČEK, Z. VARGAY, M. VESELIČ & H. ZOJER:  
Tracers in the Unsaturated Zone  
*Markierungsstoffe in der ungesättigten Zone*

R. BÄUMLE, H. BEHRENS, F. EINSIEDL, N. GOLDSCHIEDER, K. GRUST, H. HÖTZL, W. KÄSS, K. KENNEDY, W. KINZELBACH, R. KOZEL, I. MÜLLER, J. MÜLLER, S. NIEHREN, P. ROSSI, P.-A. SCHNEGG, K.-P. SEILER, K. WITTHÜSER, S. WOHNLICH & H. ZOJER:  
Comparative Tracer Studies in Groundwater  
*Vergleichende Studien über Markierungsversuche im Grundwasser*

---

W. BERG, B. ČENČUR CURK, J. FANK, F. FEICHTINGER, G. NÜTZMANN, W. PAPESCH, V. RAJNER, D. RANK, S. SCHNEIDER, K.-P. SEILER, K.-H. STEINER, E. STENITZER, W. STICHLER, B. TRČEK, Z. VARGAY, M. VESELIČ & H. ZOJER:  
Tracers in the Unsaturated Zone  
*Markierungsstoffe in der ungesättigten Zone*

Zusammenfassung (H. ZOJER)

Ein Teil des Niederschlages, der die Erdoberfläche erreicht, fließt oberflächlich ab, der Rest infiltriert in den Untergrund und erreicht nach Überbrückung der ungesättigten Zone das Grundwasser. Dabei ist die Speicherfunktion des Bodens in allen quantitativen und qualitativen Überlegungen zu berücksichtigen.

In Porenaquiferen wird die Infiltration über die Transmissivität des Bodens gesteuert. Infiltrometer, Lysimeter und andere technische Einrichtungen sind geeignet, den Wasser- und Stofftransport zu messen und zu berechnen. Die daraus abgeleiteten mathematischen Modelle basieren auf dem DARCY'schen Gesetz. Nachdem die Dispersion in der vertikalen Bewegung des Wassers in der ungesättigten Zone nur geringe Dimensionen erreicht, wird sie bei Tracerversuchen großteils vernachlässigt. In Karstgebieten kann die ungesättigte Zone gemäß der lithologisch-tektonischen Entwicklung große Mächtigkeiten erreichen. Die Wasserbewegung in diesen hydrogeologischen Systemen ist im Vergleich zu Porenaquiferen noch wesentlich mehr von der Inhomogenität der Gesteinsstruktur geprägt. Der schnelle Abfluss entlang von Schächten und Höhlen steht im Gegensatz zum Matrixfluss in den Mikrokluft. Die Entwicklung von mathematischen Modellen ist daher besonders stark an die Randbedingungen des hydrogeologischen Systems gebunden.

Künstliche Tracer unterliegen auf ihrem unterirdischen Weg physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen. Ihre Eigenschaften sind heute durchaus

bekannt, doch die unterschiedlichen Formen der Grundwasserbelastung durch die intensive Landnutzung kann ihren Habitus oft erheblich beeinflussen, was naturgegeben einen weiteren Forschungsbedarf mit sich bringt.

Vier der fünf Testgebiete beziehen sich auf Porenaquifere: Berlin, Leibnitz, Scheyern und Kecskemet, nur Sinij Vrh in Slowenien repräsentiert einen Karstaquifer. Im Testgebiet Berlin wurden Bromid und Deuterium über künstlichen Regen an der Oberfläche aufgebracht, die mittlere Sickergeschwindigkeit mit 0,75 m/a berechnet. Im Leibnitzer Testgebiet gelangte Natriumbromid als Tracer zur Anwendung, die Sickergeschwindigkeit liegt dort bei 1,4 m/a unter Berücksichtigung mehrerer Probenahmestellen in unterschiedlicher Tiefe. Für die Visualisierung des Wassertransportes in der Bodenzone wurde ein Farbtracer direkt in Bodenprofile eingebracht, die Farbmigration photographisch festgehalten und über Darstellungen, die aus der Fernerkundung bekannt sind, in ein GIS eingebracht. Der Profilvergleich zeigt eine große Heterogenität des Bodenaufbaues. In Scheyern wurde Deuterium als nicht-reaktiver Tracer eingesetzt. Der Matrixfluss erreicht eine Geschwindigkeit zwischen 0,7 und 1,2 m/a, bevorzugte Wasserwege können eine Geschwindigkeit bewirken, die bis zu zwei Größenordnungen höher liegt. Tracerversuche mit abgereichertem Sauerstoff-18 und tritiumfreiem Wasser im Testgebiet Kecskemet führten zu quantitativen Aussagen über den Wassertransport im Lysimeter.

Sinij Vrh liegt in West-Slowenien, der geologische Aufbau besteht aus Karbonatgesteinen aus der Trias, der Jura und der Kreide. Ein 340 m langer Tunnel, der nur bis zu 25 m überlagert wird, stellt einen hervorragenden Ansatz für Tracerversuche in der Karst-Infiltrationszone dar. Für Tracerversuche wurden anorganische Salze und Uranin verwendet, sie zeigen deutliche Unterschiede im Fließverhalten gemäß der Gesteinsstruktur.

Fließ- und Stofftransportmodelle werden heute vorwiegend in Porenaquiferen angewandt. Die Modelle STOTRASIM und SIMWATER beschreiben den Wasser- und Stofftransport in der ungesättigten Zone. Sie sind eindimensional orientiert, während das Modell HYDRUS2D auf zwei Dimensionen ausgerichtet ist. Sinnvoll ist eine Koppelung von Modellen im Übergang zwischen der ungesättigten und gesättigten Zone.

Die Ergebnisse der vergleichenden Untersuchungen in den verschiedenen Testgebieten von Porengrundwasserkörpern werden die Anstrengungen zu Modellkoppelungen noch verstärken. Traceruntersuchungen sollen zu nachvollziehbaren Modellen führen, um einen Vergleich mit den hydraulisch orientierten Ansätzen zu ermöglichen. In Karstgebieten werden die Modellüberlegungen von den unterschiedlichen Infiltrationsbedingungen auszugehen haben und dies unter Berücksichtigung des Wasser- und des Stofftransportes.

R. BÄUMLE, H. BEHRENS, F. EINSIEDL, N. GOLDSCHIEDER, K. GRUST, H. HÖTZL, W. KÄSS, K. KENNEDY, W. KINZELBACH, R. KOZEL, I. MÜLLER, J. MÜLLER, S. NIEHREN, P. ROSSI, P.-A. SCHNEGG, K.-P. SEILER, K. WITTHÜSER, S. WOHNLICH & H. ZOJER:

Comparative Tracer Studies in Groundwater

*Vergleichende Studien über Markierungsversuche im Grundwasser*

### **Zusammenfassung** (H. ZOJER)

In der modernen Grundwasserhydrologie hat die Modellierung schon vor einiger Zeit Eingang gefunden. Die hydraulische Modellentwicklung folgt, sofern es die Homogenität des Aquifers zulässt, den Grundlagen von DARCY, stoffbezogene Transportprozesse können über Tracer simuliert werden, für den molekularen Wassertransport bieten sich multi-cell Modelle auf der Basis von Isotopendaten an.

Bei vielen Tracerversuchen wurde auf die Stoffeigenschaften Rücksicht genommen. Jeder Tracer reagiert unterschiedlich, abhängig vom mineralogischen Aufbau des Aquifers und vom chemisch-physikalischen Habitus des Grundwassers. Die ATH hat sich seit langem mit diesen Fragen auseinandergesetzt und Tracerversuche unter bestimmten hydraulischen Randbedingungen durchgeführt, auch um Tracereigenschaften zu vergleichen. Darüberhinaus wurde versucht, Untersuchungen künstlicher Tracer mit Umweltisotopen und hydrochemischen Ansätzen zu verknüpfen, um die Aussagekraft zu erhöhen.

Die Tracerarbeitsgruppe hat viele Versuche in Karstgebieten ausgeführt, hinsichtlich der Lockersedimente liegen Ergebnisse von kleinräumigen Versuchen in einem Sand- und in einem Kieshorizont vor. Zur Eingabe gelangten Fluoreszenztracer als organische Salze, anorganische Salze, Mikropartikel und Bakteriophagen. Leider reagieren die meisten Tracer auf Umwelteinflüsse und ändern ihre Fließeigenschaften. In diesem Zusammenhang haben sich Bromidverbindungen als äußerst konservativ erwiesen. Versuche mit Wasser aus anderen Einzugsgebieten und mit einem anderen Deuterium- oder Sauerstoff-18-Signal stellen zweifellos eine Bereicherung in der Traceranwendung dar, zumal sie als Bestandteil des Wassermoleküls keinen chemischen oder biologischen Reaktionen ausgesetzt sind.

Die Strategien zur Durchführung von Tracerversuchen in Festgesteinen, hauptsächlich in Karstgebieten, haben sich in den letzten Dezennien deutlich geändert. Während man in früheren Zeiten mit der Durchführung von Großversuchen optimale Informationen zu erlangen glaubte, spielt heute die Berücksichtigung von hydrologischen Rahmenbedingungen eine große Rolle, auch unter der Vorgabe, durch Tracerversuche nicht das gesamte hydrogeologische System eines Gebirgsstockes zu erfassen. Es werden Tracerversuche unter verschiedenen hydrologischen Verhältnissen wiederholt, um die Variabilität der Fließbewegung im Aquifer und damit auch des Einzugsgebietes von Quellen abzuklären. Erst dadurch ist es möglich, Inhomogenitäten im System zu lokalisieren und die entsprechenden hydrogeologischen Schlüsse zu ziehen.

Hingegen bieten Daten der Umweltisotope die Möglichkeit das gesamte Einzugsgebiet von Quellen oder Brunnen zu bewerten und auch Einzelereignisse des Abflusses auszuwerten. Entsprechende Modellansätze sind zu hinterfragen, um Vergleiche der Speicheranalyse mit anderen Methoden anzustellen.