



Forschungsberichtsblatt

Thema:	Entwicklung einer optimierten Tracertechnik unter Verwendung von fluoreszierenden Mikrokügelchen zur Bewertung der hygienischen Gefährdung von Grundwässern
Förderprogramm:	Baden-Württemberg Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS)
Förderkennzeichen:	BWR 23008
Projektleiter:	Prof. Dr. H. Hötzl

1. Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse

Markierungstechniken finden bei der hydraulischen Charakterisierung der Grundwasserleiter im Rahmen von Schutzgebietsabgrenzungen ein weites Anwendungsgebiet. Im Rahmen des BWPLUS-Projektes „Entwicklung einer optimierten Tracertechnik unter Verwendung von fluoreszierenden Mikrokügelchen zur Bewertung der hygienischen Gefährdung von Grundwässern“ wurde der Einsatz von im Wasser unsichtbaren, human- und ökotoxikologisch unbedenklichen Mikrosphären bei Labor- und Feldversuchen weiterentwickelt und optimiert. Das Transportverhalten der Partikel wurde mit dem von herkömmlichen Markierungsmitteln verglichen.

Mit den Laborexperimenten bot sich eine gute Vergleichsmöglichkeit zwischen den verschiedenen Analysenmethoden: Auszählen am Fluoreszenzmikroskop und anhand eines Partikelzählers, Bestimmen der Partikelzahl mit Photometer und Fluorimeter. Die verschiedenen Methoden konnten miteinander validiert werden und liefern stabile Messergebnisse. Allerdings bieten sich für die unterschiedlichen Methoden jeweils unterschiedliche Anwendungsbereiche. Bei Laborversuchen bietet sich die Bestimmung mit dem Fluorimeter an. Dazu wurde eine Online-Methode entwickelt, die es ermöglicht die Datenmenge weiterzuverarbeiten und in ein für gängige Auswertesoftware lesbares Format umzuwandeln. Die Nachweisgrenze ist höher als beim direkten Auszählen, der Aufwand aber erheblich geringer. Das Fluorimeter ist dem Photometer um mehrere Größenordnungen bezüglich der Nachweisgrenze überlegen. Bei niedrigen Partikelkonzentrationen, die üblicherweise bei Feldversuchen auftreten, wurde die Auszählmethode mit einem Partikelzähler validiert. Derzeit wird von einem Kooperationspartner daran gearbeitet, den Partikelzähler auch für weitere Partikelgrößen oder Farben zur Verfügung zu stellen – dann kann ein Partikelzähler mit Fluoreszenzdetektion sicher eine interessante Alternative darstellen. Vergleichende Laborversuche von Partikeln, Mikroorganismen und gelösten Tracern ergaben ein ausgeprägteres Tailing für alle Partikel, während der Durchgang der Fluoreszenzfarbstoffe später einsetzte und früher beendet war.

Es wurden Feldversuche in allen Typen von Grundwasserleitern durchgeführt. Diese haben gezeigt, dass die 1 µm Sphären und auch größere Partikelgrößen (bis 5 µm) in signifikanter Konzentration transportiert werden können.

Für einen Karstgrundwasserleiter konnte ein bedeutender Einfluss der hydrologischen Bedingungen auf das Fließgeschehen gezeigt werden. Bei Hochwasser werden dort sowohl Partikel als auch Fluoreszenztracer schneller transportiert, die Unterschiede zwischen beiden verringern sich bei höherem Abfluss. Dieses Verhalten konnte in einem zweiten Karst-Testgebiet von einem Kooperationspartner in der Schweiz bestätigt werden. In einem Porengrundwasserleiter konnten gleichzeitig zu den Partikeln und Fluoreszenzfarbstoffen Bakterien eingegeben werden. Die Partikel treten früher auf und können bis zur am weitesten entfernt gelegenen Probenahmestelle bei 200 m transportiert werden. Die Bakterien konnten länger als 50 Tage nachgewiesen werden. In einem Kluftgrundwasserleiter konnten ebenfalls Partikel und weitere gelöste Tracer gemeinsam eingesetzt werden. Dort findet sich ein Tailing des Fluoreszenzfarbstoffs, die Partikel besitzen eine schmalere Durchgangskurve und zeigen einen deutlich erniedrigten Wiedererhalt, der mit Sorption an Kluftflächen zu erklären ist.

2. Welche Fortschritte ergeben sich in Wissenschaft und/oder Technik durch Ihre Forschungsergebnisse

Die höchsten Konzentrationen und den höchsten Wiedererhalt können für die Partikel mit einem Durchmesser von 1 μm ermittelt werden, die wird ja bereits durch das Maximum der single-collector contact efficiency bei etwa 1 μm angedeutet. Größere Partikel werden vermutlich durch verstärkte Filtration und kleinere Partikel durch verstärkte Anlagerung aufgrund zwischenmolekularer Kräfte aus dem Porenwasserstrom entfernt. Sehr viel kleinere Partikel (0.2 μm) verhalten sich ähnlich gelösten Stoffen und können daher mit ähnlichen Fließgeschwindigkeit transportiert werden, der Wiedererhalt ist dementsprechend höher.

Anders als gelöste Stoffe zeigen die injizierten Mikroorganismen ein deutliches Tailing der Kurve, das auch für die verwendeten Partikeltracer nachgewiesen werden kann. Das Uranin zeigt durchweg eine schmalere Durchgangskurve, ein weniger ausgeprägtes Tailing und damit einhergehend eine niedrigere Dispersion.

Die Partikel besitzen einen früheren Ersteinsatz als der gelöste Farbstoff, und meist auch frühere Peakzeiten. Daher können wiederum Poren- oder Größenausschlussprozesse angenommen werden, die es den Partikeln ermöglichen entlang eines schnelleren Fließwegs die Entnahmestelle zu erreichen. Da der Wiedererhalt für Uranin nahezu 100 % betrug, derjenige der Partikel allerdings darunter lag, müssen Sorptions- oder Filtrationsprozesse stattgefunden haben, die Teile der Partikel zumindest zunächst aus dem Volumenstrom entfernt haben. Da das Tailing der Kurve der Partikel signifikant ist, aber das Absinken auf den Nullpunkt nicht abgewartet wurde, kann über eine eventuelle Remobilisierung und ein Detachment keine Aussage getroffen werden. Es ist allerdings anzunehmen, dass sich bei einer verlängerten Versuchsdauer, der Wiedererhalt der Partikel entsprechend erhöht.

Der Kurvenverlauf der Partikel (Tracer und Mikroorganismen) ist unregelmäßiger als derjenige des gelösten Farbstoffs. Diese Schwankungen erschweren eine Auswertung mit analytischen Modellen, scheinen aber gleichzeitig ein Charakteristikum von Partikeln zu sein und werden von verschiedenen Autoren von Feld- und Laborversuchen berichtet (Auckenthaler & Huggenberger 2003), (Knappett 2006), (Flynn 2003) und werden daher nicht als Artefakt angesehen.

Die Ergebnisse bedeuten, dass bei einer Verunreinigung mit Mikroorganismen selbst nach Abklingen einer erhöhten Konzentration noch mit einer signifikanten Verunreinigung gerechnet werden kann, die aus den Daten eines gelösten Stoffes nicht ableitbar wäre. Die Ergebnisse zeigen auch, dass es zwischen den Mikrosphären einerseits, und den Mikroorganismen andererseits durchaus Unterschiede bezüglich des hydraulischen Verhaltens gibt. Dennoch zeigen sie einen ähnlich frühen Ersteinsatz, ähnliche Peakzeiten und ein Tailing der Kurve. Für diese Versuchsbedingungen lassen sich die Ergebnisse der Mikrosphären mit einem

konservativen Ansatz auf die Mikroorganismen übertragen, während dies mit den Ergebnissen des Uranins nur eingeschränkt möglich ist.

3. Welche Empfehlung ergibt sich aus dem Forschungsergebnis für die Praxis

Für die Ausweisung von Schutzgebieten bedeutet dies, dass Abgrenzungen neu überdacht werden sollen und – beispielsweise in Karstgebieten – die hydrologischen Bedingungen stärker berücksichtigt werden müssen (Mehrfachmarkierungen bei unterschiedlichem Abflussgeschehen). Die Zunahme der Hochwasserereignisse infolge des Klimawandels verstärken das hygienische Risiko zusätzlich. Eine Grundwassermarkierung mit Partikeln scheint erforderlich, wenn hygienische Fragen im Vordergrund stehen.