

Bestimmung der Sickerwasserfließgeschwindigkeit in Lysimetern Zusammenfassendes Ergebnis des Workshops in Neuherberg, 1998

K.-P. SEILER und D. KLOTZ

1. Einleitung

Die wasserungesättigte Zone mit Sediment, Boden und der Meso- und Mikrobiobewelt stellt ein wesentliches Regelglied für

- die Ausbildung der Pflanzendecke,
- Infiltrations- und Perkulationsprozesse sowie
- Transport- und Umsetzungsprozesse dar.

Sie steuert das Abflußgeschehen nach Zeitdauer, Menge und chemischer Beschaffenheit wie auch das Pflanzenwachstum.

Unter den mannigfachen und komplex ineinandergreifenden Mechanismen in der wasserungesättigten Zone spielen die Wasserbewegung und -speicherung eine zentrale Rolle. Sie steuern in dieser Zone die Verteilung von Mikroorganismen, geben den Zeitvorrat wieder, der für Prozeßabläufe verfügbar ist, und bestimmen so das Ausmaß von Stoßbelastungen der Gewässer bei Abflußereignissen und die Abbauintensität von Schadstoffen, bevor sie in Gewässer gelangen.

Nachdem die Fragestellung der Sickerwasserbewegung in sehr unterschiedlichen Disziplinen wie der Land- und Forstwirtschaft, der Hydrogeologie und den mathematisch-physikalischen Wissenschaften angesiedelt ist und auf sehr verschiedenen Skalenebenen angegangen wird, wurde auf dem Workshop in Neuherberg (27./28.04.1998) eine Skalengröße, das Lysimeter, vorgegeben, um von den verschiedenen Disziplinen die direkten und inversen, die hydraulischen und tracerhydrologischen, reaktiven und nicht-reaktiven Ansätze zu Sickerwasserbewegung und Stofftransport darzustellen und Wissenslücken aufzuzeigen.

In der folgenden zusammenfassenden Darstellung werden Ergebnisse des Workshops ohne Zitat wiedergegeben. Alle Arbeiten, auf die hier Bezug genommen wird, finden sich in

KLOTZ, D. und K.-P. SEILER, 1999: Bestimmung der Sickerwassergeschwindigkeit. - GSF-Bericht 1/99, Neuherberg

2. Lysimeteranlagen

Die dargestellten Arbeiten bezogen sich auf Naturlysimeter ohne seitliche Begrenzung wie auch auf Gefäßlysimeter mit seitlicher Berandung. Die Sickerwasserbewegung wird in den Naturlysimetern komplexer als in den Gefäßlysimetern erfaßt, da bei letzteren die laterale Bewegungskomponente behindert ist; dies kann vor allem bei Methoden zur Bestimmung der Grundwasserneubildung sowie des Zeitvorrates und der Milieubedingungen für Umsetzungsprozesse zu Überschätzungen beim Übertrag von Ergebnissen aus Lysimeterstudien auf Landschaften führen. Dem Prozeßverständnis tut die Wahl der Lysimeteranlage dagegen keinen Abbruch, ausgenommen den Fall, daß Lateralflüsse Zwischenabflüsse produzieren und durch Lysimeter mit seitlicher Begrenzung behindert werden.

Die dargestellten Lysimeterergebnisse stammen aus dem deutsch-österreichischen Raum und konzentrieren sich überwiegend auf quartäre Sander in sandiger, kies-sandiger oder kiesiger Ausbildung; sie stellen häufig keine Bodenmonolithe dar, wurden langjährig betrieben und haben so ein konsolidiertes Matrixgefüge und stehen in verschiedenen mitteleuropäischen Klima- und Niederschlagszonen (Berlin, Dresden, Graz, München, Münster, Stendal). Die langen

Beobachtungsreihen aus diesen Lysimetern bieten den Vorteil, daß lange Meßreihen unter variablen Klimabedingungen erfaßt wurden und so zu einer vorteilhaften Validierung und Kalibrierung von mathematischen Sickerwassermodellen beitragen.

Die meisten vorgestellten Lysimeteruntersuchungen erbringen für die Region, in der sie durchgeführt wurden, nur bedingt quantitativ übertragbare Ergebnisse, denn sie sind entweder nicht in ein angrenzendes, großräumiges Meßnetz eingebunden oder führen häufig für den Beobachtungsort untypische geschüttete oder monolithische Füllungen. Zum Prozeßverständnis leisten jedoch diese Lysimeterstudien allemal einen wesentlichen Beitrag.

3. Zur Sickerwasserbewegung

Die Sickerwasserbewegung wird vielfach ab der Geländeoberkante als homogen angenommen. Dies trifft jedoch häufig nicht zu, denn oberflächennah hat man es oft mit langsamen Matrix- und schnellen Bypass-Flüssen zu tun. Dies ist seit ca. 25 Jahren bekannt, hat jedoch insofern wenig Eingang in Überlegungen zur Sickerwasserbewegung gefunden, weil man zwar die Existenz solcher raschen Flüsse darlegen kann, sie aber nie großflächig oder großräumig quantifiziert hat, weil entsprechende Methoden nicht entwickelt wurden bzw. erst in Entwicklung sind. Sollte es sich bewahrheiten, daß - wie im Workshop dargelegt - Bypass-Flüsse sehr hohe Anteile der Sickerwasserneubildung umfassen, dann müßte dies in Betrachtungen und Modellierungen der Sickerwasserbewegung einfließen und würde für Modellierun-

Autoren: Prof. Dr. Klaus-Peter SEILER und Dipl.-Phys. Dietmar KLOTZ, GSF - Institut für Hydrologie, Ingolstädter Landstraße 1, D-85764 NEUHERBERG

gen besondere Formen der Anfangsbedingungen schaffen.

Bypass-Flüsse sind allerdings in ähnlichen Sedimenten nicht immer zu finden. So fehlen sie in den glazifluvialen Kiesen von Wagram (Österreich), treten aber in den glazifluvialen Kiesen der Münchner Schotterebene ausgeprägt auf. Hier spielen wohl die lokalen geologischen Bildungsbedingungen eine Rolle.

Um Bypass-Flüsse quantitativ zu erfassen, müssen sie als solche auch eindeutig definiert sein, dies ist nicht ganz der Fall. Die Wasserbewegung ergibt sich, ganz allgemein gesprochen, als Summe aus dem Massentransport und dem Druckabgleich im betrachteten System. Eine spontane Antwort des Systems auf ein Infiltrationsereignis muß also nicht einem raschen Massentransport durch z.B. Bypass-Flüsse entsprechen. Bei rein hydraulischen Betrachtungen von aquatischen Systemen, wie sie auch den meisten numerischen Verfahren zugrunde liegen, muß an diesen Unterschied gedacht werden, bei tracerhydrologischen Untersuchungen wird dagegen nur der Massentransport erfaßt. Nachdem in der Hydrologie in der Regel Wasserhaushaltsbetrachtungen im Vordergrund stehen, werden die Bypass-Flüsse eher über als unterschätzt, wenn sie über die Abflußkomponentenseparierung, d.h. über den Interflow, erfaßt werden.

3.1 Tracermethoden

Tracermethoden erfassen den Massentransport, wenn eine geeignete Tracer-

auswahl getroffen, d.h. der ideale, konservative bzw. nicht reaktive Tracer gefunden wurde. Dies ist das getracerte Wassermolekül, das die Wasserbewegung als Referenzbewegung wiedergibt. Andere Tracer, wie z.B. Bromid oder ^{15}N , können dagegen in gleicher Weise ein nicht-reaktives wie auch ein reaktives Verhalten aufweisen; dies ist in erster Linie eine Frage der Porenraumgeometrie, der Porengrößenverteilung und der Materialeigenschaften der wasserungesättigten Zone. Gerade bei Bromid stellt sich immer wieder heraus, daß es durch Pflanzen aufgebraucht werden oder aufgrund seiner Ladung sogar schneller als Wasser fließen kann.

Mit nicht-reaktiven Tracern läßt sich das Verhalten von reaktiven Tracern quantitativ erfassen und durch ergänzende chemische Untersuchungen auch bewerten. Insbesondere zeigen verschiedene Untersuchungen, daß als Dünger aufgebrauchter, isotopisch markierter Stickstoff (^{15}N) weniger mobil ist als der aus der Mineralisierung der organischen Substanz freigesetzte Stickstoff.

Das Wassermolekül wird häufig durch seine Isotope (^2H) künstlich markiert, um Fließgeschwindigkeiten des Sickerwassers in der Matrix der wasserungesättigten Zone zu bestimmen, die in unseren Klimabreiten bei 0,5 bis 2 m/Jahr liegen. Sie werden aber auch in natürlicher, jahreszeitlich und ereignisbezogen unterschiedlicher Markierung (^2H , ^{18}O) beigezogen, um aus Input-/Output-Bezie-

hungen Aufenthaltszeiten des Sickerwassers und seine Durchmischung in der Sickerwasserzone zu bestimmen. Entsprechende Modelle wurden angewandt, um das Verhalten des Sickerwassers in grob- und feinkörnigen Sedimenten ohne Bodenbedeckung über einen Zeitraum von 8 Jahren lückenlos und nur mit geringen Abweichungen zwischen gemessenem und gerechnetem Isotopenverlauf zu erhalten.

3.2 Hydraulische Methoden

Einen von den Tracermethoden unabhängigen Ansatz stellen hydraulische Methoden dar, die allesamt auf die Richards-Gleichung (Energie- und Massenerhaltungssatz) zurückgehen und zur Lösung die hydraulischen Funktionen der wasserungesättigten Zone brauchen. Die Lösung der Richards-Gleichung geschieht in unterschiedlicher Diskretisierung und direkt oder invers. Die Probe auf das Ergebnis der inversen Lösung wird häufig durch Anwendung der Mualem-van Genuchten-Beziehungen über Saugspannung, Wassergehalte und hydraulischen Leitfähigkeiten geprüft. In einigen Fällen wurden die hydraulischen Funktionen auch durch Verdunstungsuntersuchungen erfaßt.

Interessanterweise wird der naheliegende Versuch des Vergleichs der hydraulischen und der markierungstechnischen Methoden nur dort angestellt, wo man in eine sehr grobe und pauschale Diskretisierung eintritt. Dies ist bei den Speicher-Durchflußmodellen der Fall.