

Kaskaden-Fluss in Böden und Folgen für die Anwendung der Lysimeter-Technik

B. MEYER und K.-W. BECKER

Abstract

Rendsinas on Limestone debris, Pelosols on clay stones, but also many sand soils do not allow to describe their water balance by simple models of downward displacement. Their network of vertical and horizontal fissures creates a preferential flow of water which leads to a lateral spreading of the infiltrating water. It is described and defined as cascade flow. Because measurements of Ψ - Θ -ku in the field and their modelling are mostly without success the question of lysimeter application newly arises. Lysimeters with a closed mantle instead of plate lysimeters are applicable but create artefacts in water flow pathways. In spite of this fact lysimeters are in many cases the only possibility to get basis information about landscape hydrology.

Noch immer bestehen für die Wasserwirtschaft Unsicherheiten in der verlässlichen Erfassung und Einschätzung von Wasser-Haushalt und Wasser-Dynamik einzelner Boden-Areale von Wasser-Einzugsgebieten. Das ist besonders dann der Fall, wenn sich die Böden aufgrund ihrer Struktur in natürlicher Lagerung den herkömmlichen Modell-Vorstellungen vom Fließen des Sickerwassers entziehen und weder mit den herkömmlichen Ψ - Θ -ku-Beziehungen noch mit herkömmlichen Lysimeter-Techniken charakterisieren lassen. Zum besonderen Problem wird dieser Umstand, wenn die Untersuchung des Wasser-Haushaltes mit der des Stoff-Haushaltes verbunden werden soll.

Wir berichten in diesem Tagungs-Berichtsband einerseits über Rendsinen und Terra fusca aus Kalkstein-Schutt und Pelosolen aus Schiefererton-Fließerden (1), andererseits über Sandböden (2). In beiden Gruppen wird der abwärts gerichtete Transport des einsickernden Wassers von einer lateralen Ausbreitung begleitet. Das daraus entstehende Problem soll

in dieser Arbeit in Form einer Zusammenschau behandelt werden.

Wesentlich ist, dass bei diesen Problemböden die Versickerung nicht als homogene Abwärtsverdrängung (downward displacement, piston flow) behandelt werden kann, sondern nur als ein spezielles Phänomen des bevorzugten Fließens (preferential flow, miscible displacement). Bei ihm ist der Wasserfluss auf Leitwege wie z.B. Kluft-Grobporen $>50 \mu\text{m}$ beschränkt. Die Boden-Matrix ist sehr wenig, kaum oder gar nicht am Wassertransport beteiligt. Das besondere am Wasserfluss in diesen Böden besteht darin, dass er sich in Kaskaden vollzieht. Das heißt, vertikale Gefällstrecken mit großen Gradienten des Gravitationspotentials sind mit schwach geneigten bis horizontalen Leitwegen vernetzt, auf denen bei geringen Gradienten ein lateraler Fluss stattfindet und auch nach Beendigung des Fließvorganges eine Vorratshaltung für Wasser möglich ist.

Diese Situation ist einerseits in besonderem Maße in Böden mit Flächenporen gegeben, so bei den verkantet lagernden Kalkstein-Brocken in Rendsinen und Bearbeitungs-Aggregaten in Pelosol-Ackerkrumen, aber auch in den horizontal verlaufenden Schrumpfrissen, welche die Pelosol-Prismen unterteilen. Andererseits tritt das Phänomen in Sandböden auf, wo die von Luftkissen getragenen Wasser-Lamellen, die später zu Tonbändern werden, für den lateralen Fluss und dessen trichterförmigen Abfluss sorgen, was häufig durch den infiltrierten Ton makroskopisch in Form von Kaskaden sichtbar wird und wo die vertikale Speisung der Wasser-Lamellen auf wenigen vertikalen Durchbrüchen erfolgt - beides im Intergranular-Porenraum des Sand-Schüttungsgefüges.

In der bodenhydrologischen Literatur ist der Begriff „Kaskaden-Fluss“ noch wenig gebräuchlich. MIYAZAKI (1993) be-

trachtet die Vorgänge des lateralen und des vertikalen Fließens getrennt und spricht von „funelling“ und „fingering flow“. Eine Zusammenfassung beider Teilprozesse des Fließens, die miteinander vernetzt sind, erweist sich jedoch als zweckmäßig im Hinblick auf die gesamt-hydrologische Charakterisierung der Böden.

Kaskaden-Fließen oberirdischer Gerinne ist durch ein System von Wasserstürzen mit hohen Gradienten des Gravitationspotentials bei hohen spezifischen Stromstärken in Kerben sowie vor- und nachgelagerten Becken und Plateaus mit geringen Gravitationspotential-Gradienten und lateraler Ausbreitung des Wassers in und quer zur Fließrichtung bei geringen spezifischen Stromstärken gekennzeichnet.

Kaskaden-Fließen in der Architektur, bei der Wasser von einem zentralen Höchstpunkt von Schalen- zu Schalen-Niveau fällt, ist meist dadurch gekennzeichnet, dass sich der Gesamt-Querschnitt des wasserabführenden Raumes von oben nach unten kegelförmig verbreitert. Die Schalen stellen in diesem System die Träger des Vorrats an Wasser dar, der bei Inbetriebnahme der Kaskade erst aufgefüllt werden muss, ehe sich das Fließgleichgewicht einstellt. Man kann solche Kaskaden einander nähern und ineinanderschieben, so dass in ihren Fußbecken als Folge der lateralen Verbreiterung eine Mischung des Wassers aus mehreren Kaskaden gegeben ist. Würde man eine der Kaskaden mit einem Farbstoff-Puls versehen, so würde dessen Dispersion nicht nur durch die Verdünnung mit den Wasser-Vorräten in den Schalen dieser Kaskade, sondern auch durch den Wasseraustausch mit den Nachbarkaskaden erfolgen.

Für die Übertragung dieses Kaskaden-Modells auf Böden diene das in *Abbildung 1* angebotene Denk-Beispiel. Hier

Autoren: Univ. Prof. Dr. Brunk MEYER und Dr. Klaus-Wenzl BECKER, Universität Göttingen, Institut für Bodenwissenschaft, Von-Siebold-Straße 4, D-37075 GÖTTINGEN

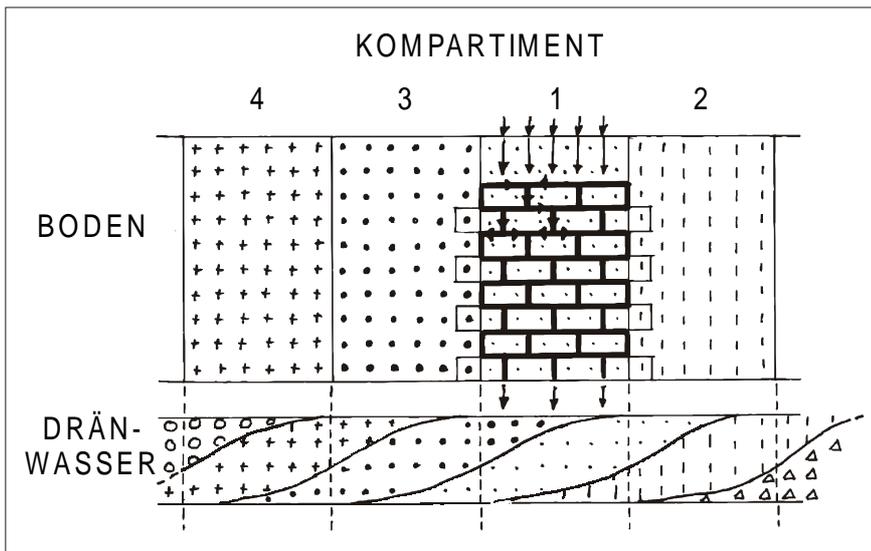


Abbildung 1: Profil eines Bodenkörpers

ist die Beteiligung der Bodenmatrix (des Aggregat-Inneren) an den Fließvorgängen völlig ausgeschlossen worden. Der Wassertransport findet nur in groben flächigen Kluft- und Fugenhohlräumen statt, die vertikal und horizontal angeordnet sind. In *Abbildung 1* wird das Profil eines sehr dünn gedachten Bodenkörpers dargestellt, der an seiner Oberfläche durch 4 nur wenig in den Boden eingedrückte Rechteck-Rahmen in 4 aneinandergrenzende Kompartimente unterteilt ist.

Die Rahmen werden relativ lang im Vergleich zu ihrer Breite gedacht, um die laterale Ausbreitung des versickernden Wassers in nur einer Ebene, der des vertikalen Schnittes, darzustellen. Man stelle sich nun den Boden strukturell als eine Ziegelmauer aus „Auf Luke“ gesetzten Backsteinen vor. In ihr sind jedoch die vertikalen und horizontalen Fugen nicht vermörtelt, sondern zur Leitung von Wasser offen gelassen. Das Verhältnis von horizontalem zu vertikalem Fugenhohlräumenraum ist mit 2:3 gewählt worden, Länge der Steine 2 E, Höhe und Breite je 1 E.

Die Vertikal-Poren fungieren als „Kaskaden-Abstürze“, die Horizontal-Poren als „Becken“ oder „Schalen“. Für die Berechnung sind 8 übereinander folgende Kaskaden-Stufen (8 Steinreihen) mit

dichotomer Aufteilung des Wasser-Fluxes angenommen. Beim Eindringen des Wassers von oben und der nachfolgenden Einstellung eines Fließ-Gleichgewichtes zeigt sich im Abfluss unter jedem der 4 Kompartimente, dass bei der kaskadenförmigen Versickerung eine nach unten zunehmende laterale Ausbreitung des zu der jeweiligen Oberfläche gehörenden Wasser-Inputs stattfindet. Dabei erfolgt ein Wasser-Austausch mit den rechts und links angrenzenden Kompartimenten.

Das unter einer Kompartiment-Oberfläche aufgefangene Sickerwasser besteht in unserem Modell nur noch zu etwa 70 % aus dem oben aufgegebenen Wasser. Je 15 % stammen aus den benachbarten Kompartimenten, deren Wasser-Verlust durch Abgabe aus unserem betrachteten Kompartiment kompensiert worden ist.

Das dargestellte Beispiel ist als Denkmodell gedacht. Das Verstopfen nur einer vertikalen oder horizontalen Leitfuge kann auf jeder Sickerungs-Tiefen-Ebene gravierende Verschiebungen des Sickerwasser-Verteilungsdiagramms bewirken und dadurch beträchtliche Verteilungsschiefen bewirken.

Es ist schwer möglich, im Gelände festzustellen, wie groß für jeden Boden die

repetierenden Haushaltselemente sind. Es gibt daher nur den Weg, bei solchen Böden mit ummantelten Lysimetern zu arbeiten. Dies schafft zwar insofern Artefakte, als die lateral abströmenden und zuströmenden Wasserbahnen abgebrochen und auf den Lysimeterboden hin geleitet werden. Dies kann Einfluss auf die Verdunstungsrate nehmen, was Unterschiede im Wasserhaushalt der einzelnen Lysimeter bedingt. Dabei ist gegenüber den umgebenden natürlichen Böden eher mit einer zunehmenden Trockenheit als Überfeuchtung zu rechnen. Die Wände solcher Lysimeter können unterschiedlich gestaltet werden: Zur Erfassung des lateralen Abflusses glatte Wände, mit denen sich der angeschnittene Lateralstrom gesondert auffangen ließe oder durch Randinfusion randspaltenfreie Lysimeterkörper, in denen der Lateralfloss zentripetel umgelenkt wird.

Zusammenfassung

Rendsinen aus Kalkstein-Schutt, Pelosole aus Schiefertönen, aber auch Sandböden lassen sich in ihrem Wasserhaushalt nicht durch einfache Modelle der Abwärts-Verdrängung beschreiben. Die Vernetzung von Vertikal- und Horizontal-Leitbahnen erzeugt ein bevorzugtes Fließen, das zu lateraler Ausbreitung des Wassers führt und als Kaskaden-Fluss beschrieben und definiert wird. Da die Erfassung im Gelände mit Ψ - Θ -ku-Messungen und -Modellen große Schwierigkeiten bereitet, bleibt der Einsatz von zylindrig ummantelten Lysimetern eine verwendbare Methode. Sie schafft zwar Artefakte des Wasserflusses, kann aber notwendige Informationen für den Landschafts-Wasserhaushalt liefern.

Literatur

- 1 BECKER, K.-W. u. M. SCHWIEDE, 2001: Eignen sich einfach zu erstellende Lysimeter zur Messung des Stoffaustauschs aus flachgründigen Böden? - In diesem Band
- 2 GERNANDT, P., B. MEYER u. K.-W. BECKER, 2001: Horizontale Differenzierung des vertikalen Wasserflusses in groben Mittelsanden in einem Modell-Lysimeter. In diesem Band
- 3 MIYAZAKI, T., 1993: Water flow in Soils. - Marcel Dekker, New York