

Horizontale Differenzierung des vertikalen Wasserflusses in groben Mittelsanden in einem Modell-Lysimeter

P. GERNANDT, K.-W. BECKER und B. MEYER

In einem gläsernen 1 m³-Lysimeter wurde über 283 Tage hinweg das Abflussverhalten in Sanden (355-630 µm) beobachtet und dokumentiert. Im täglich gleichmäßig beregneten Lysimeter ließen sich während der Befeuchtungsphase und einer späteren Färbungsphase die Abflusswege des Wasser in ungesättigten Sanden verfolgen. Der Abfluss erfolgte nicht wie bisher angenommen in einer homogenen abwärtsgerichteten Bewegung, sondern in einer kaskadenförmigen, bei der auch die Zwischenspeicherung von Wasser in auf Luftkissen aufliegenden Wasser-Lamellen und eine laterale Wasserbewegung innerhalb der Lamellen von Bedeutung ist. Die Lage der Luftkissen und Wasser-Lamellen ist von dem Korngrößenspektrum und der Lagerung (Schichtung und Dichte) des Sandes abhängig.

Abstract

During 283 days the movement of water in sand within a 1 m³-lysimeter made of glass (355-630 µm) was observed. When water infiltrates at the beginning it was possible to observe the ways the water went within the unsaturated sand. Approximately the same ways appeared when a soluble dye was added to the system after the rates of infiltration and outflow had reached an equal level. The flow of water downwards did not follow the expected way of a homogenous movement directly downwards but in a more complex manner. It is like a kind of cascadeflow where water can be stored in water-lamellae which lay over pillows of air. It is also important that water could also run lateral through these lamellae. The position of cushions and lamellae is depending on the dimensions of the sandgrains and their sedimentary structure.

Versuchsaufbau und -verlauf

Ein gläsernes Lysimeter (L/B/H/ 150 cm/ 60 cm/115 cm - Fassungsvermögen 1 m³ - mit 171 eingebauten Bodenabflüssen) wurde mit ca. 1,65 t trockenem Mittel-

sand (355-630 µm Ø) befüllt. Die Befüllung erfolgte schichtweise, so dass eine horizontal geschichtete Lagerung des Sandes ähnlich der in äolisch abgelagerten Sanden entstand (Ø Dichte an Oberfläche 1,4 g/cm³; in 100 cm Tiefe 1,9 g/cm³). Über einen Abschnitt von 283 Tagen wurde das Lysimeter in Tagesraten von 10 mm mit ca. 1800 l Wasser bzw. Tracerlösung beregnet. Die Beregnung erfolgte gleichmäßig über die Oberfläche verteilt täglich während 3 ½, 7 oder 14 h. Es stellte sich dabei heraus, dass die unterschiedlichen Beregnungsintensitäten keine messbaren Auswirkungen auf die Abfluss-Verteilung hatten. Das Abfluss-Geschehen verlief nach Einstellung eines Fließgleichgewichts nicht ratensynchron Tagesinput= Tagesoutput. Diese in *Abbildung 1* gezeigten Schwankungen und Zeitverschiebungen entstanden durch die Speicher- und Abgabedynamik der „Schalen“ und „Becken“ eines Kaskaden-Systems, welches hier aus auf Luftkissen liegenden Wasserlamellen bestand. Die laterale Ausbreitung des Wassers in Wasserlamellen oberhalb trockenerer Bereiche war zum einen während der Befeuchtungsphase zum anderen während einer Färbungsphase nach der Ein-

stellung des Fließgleichgewichts (Farbstoff-Tracer Amaranth) durch die Glaswände des Lysimeters zu beobachten. Während der primären Befeuchtung wurden Bereiche angelegt in denen im weiteren Versuchsverlauf der Wasser- bzw. Stofftransport nur noch diffusiv verlief, d.h. vom eigentlichen vertikalen Massentransport abgetrennt war. Es dauerte hier wesentlich länger, um den Farb-Tracer einzutragen. Gleiches galt für die Auswaschung des leicht löslichen Farbstoffes.

Die Variation der Regenintensität (198 Tage 10 mm, 5 Tage, 5 mm, 1 Tag 20 mm, 1 Tag 50 mm und 85 Tage 0 mm) ergaben keine Modifikation des bei der ersten Befeuchtung angelegten Ablaufmusters, d.h. die bei der ersten Befeuchtung des Sandes angelegten Fließwege, welche durch Wasser-Lamellen und Luftpfeileinschlüsse vorgegeben sind, blieben während der gesamten Versuchsdauer stabil. Nur direkt nach den beiden simulierten Starkregen trat Wasser kurzfristig an bislang nicht beteiligten Abflüssen auf, die bereits etablierten Abflüsse fielen aber nicht trocken. Die Abfluss-Verteilung regelte sich nach sehr kurzer Zeit wieder auf die ursprünglichen Verhältnisse ein. Von den 171 Ab-

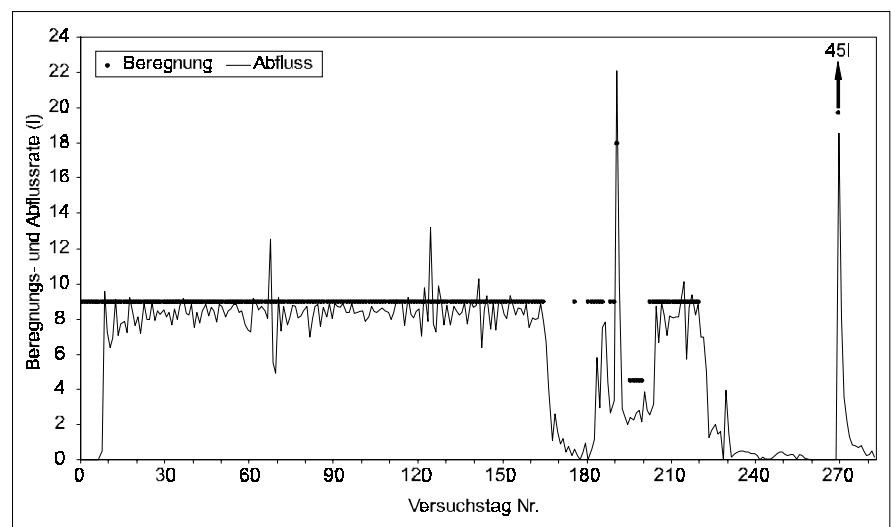


Abbildung 1: Tagesraten von Beregnung und Abfluss

Autoren: Dipl.-Geogr. Peter GERNANDT, Dr. Klaus-Wenzel BECKER und Prof. Dr. Brunk MEYER, Institut für Bodenwissenschaft, Universität Göttingen, Von-Siebold-Str. 4, D-37075 GÖTTINGEN

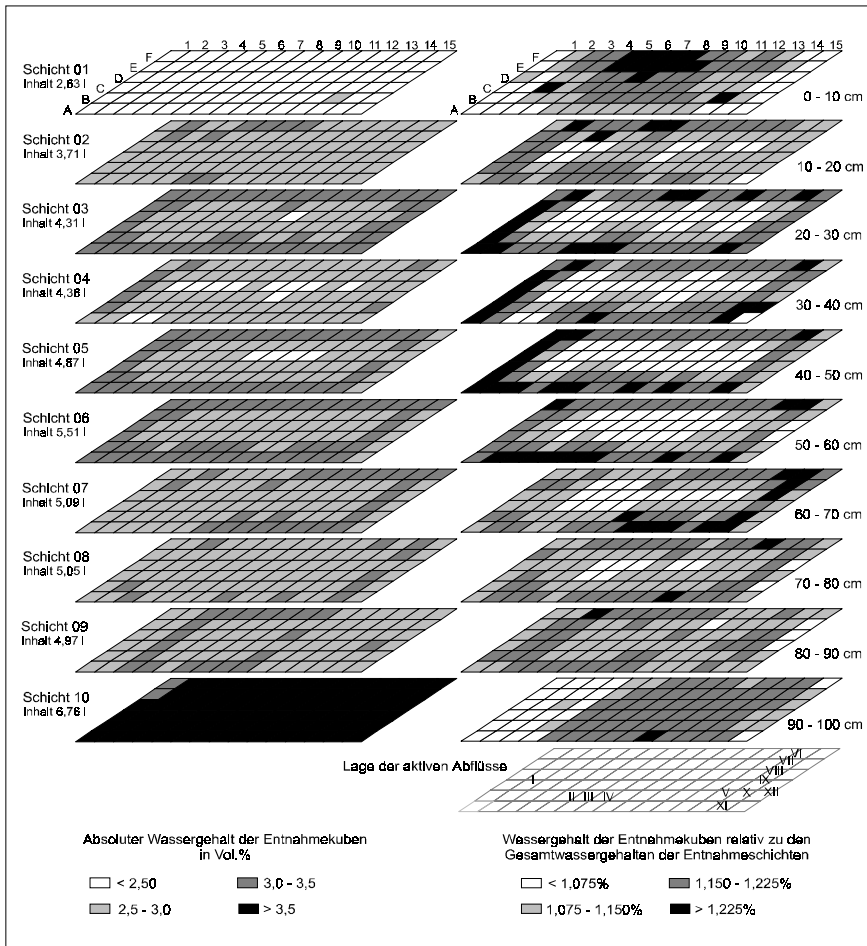


Abbildung 2: Absolute und relative Wassergehalte innerhalb des sandgefüllten Lysimeters

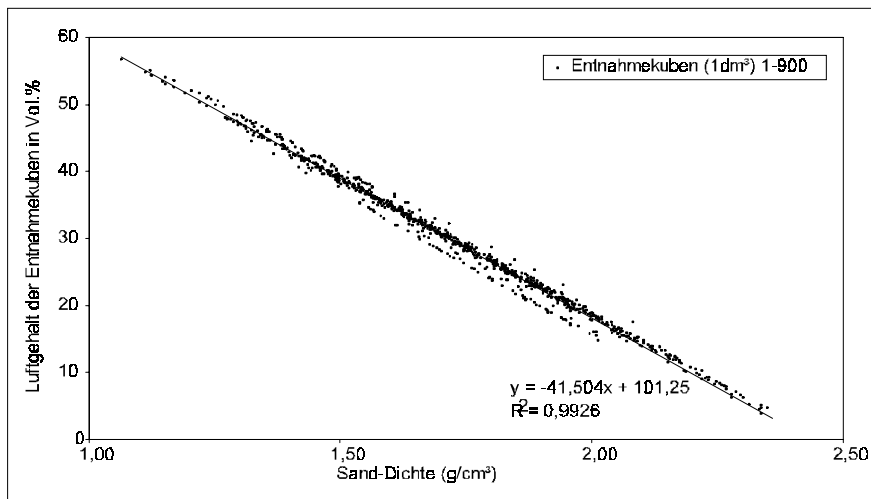


Abbildung 3: Funktion zwischen Luftgehalt und Dichte

flüssen waren im ganzen Versuchszeitraum nur 12 aktiv, wobei die Wassermengen der einzelnen Abflüsse stark divergierten. Über die Abflüsse I, III, X und XI (siehe *Abbildung 2*) liefen 83 % des Gesamtabflusses ab.

Die Verteilung der aktiven Abflüsse orientierte sich auffällig in Randnähe der

Lysimeterwände. Nach der Entnahme von 900 Sandkuben (je 1 dm³) zeigte sich in allen Tiefenschichten eine Feuchtezunahme vom Zentrum zum Rand hin (*Abbildung 2*), d.h. im Zentrum waren mehr Luftporen enthalten. Im feuchten Zustand korreliert die Feuchtdichte des Sandes eng mit dessen Luftgehalt wie *Abbildung 3* zeigt.

Schlussfolgerung

Durch die Arbeiten von Much und Siebner (MUCH, 1996, BECKER et al., 1997, SIEBNER et al., 1997) ist deutlich geworden, dass die abwärts gerichtete Bewegung des Sickerwassers in Sanden nicht den Modell-Vorstellungen der homogenen Abwärtsverdrängung (piston flow) folgt, sondern einem trichterförmigen Abflussgeschehen (preferential flow). Die neuen Untersuchungen an einem Modell-Lysimeter (Inhalt 1 m³) bestätigen, dass der Sickerwasser-Abfluss in Sanden sich in einem kaskadenförmigen System vollzieht. Die „Schalen“ oder „Becken“ dieser Kaskaden sind die Wasser-Lamellen, die von kissenförmig eingeschlossener Luft getragen werden. Die Lamellen werden bei der ersten Befeuchtung durch Sickerwasser angelegt, wobei Luft komprimiert wird und bleiben während der ganzen Dauer des weiteren Sickerwasser-Abflusses ortsfest. Der vertikale Abfluss (die „Wasserfälle“) erfolgt über dünne vertikale Anastomosen, die sich hier und dort beim Auffüllen zwischen den Wasser-Lamellen aufbauen, im weiteren Abflussgeschehen ebenfalls ortsfest bleiben und - unabhängig von den Sickerwasser-Raten - Ursache eines örtlich stark differenzierten trichterförmigen Sickerwasser-Austritts sind. Der Stofftransport erfolgt zum einen durch Massentransport im System Lamelle-Anastomose-Lamelle-Anastomose (Kaskaden-Abfluss) zum anderen - wesentlich schwächer - durch Diffusion innerhalb der Lamellen und Wasser-Linsen. Korngrößenzusammensetzung und Schichtung des Sandes haben wesentlichen Einfluss auf die Wasser-Bewegung im Sand (GERNANDT, 1998) und bestimmen die Lage, die Dicke und die Abstände der Wasser-Lamellen.

Literatur

- BECKER, K.W., B. MEYER und W. MUCH, 1997: Versickerungsverhalten von Ackerböden auf glazialen Vorschüttandsanden. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 85, 1, 63-66.
- GERNANDT, P., 1998: Räumliche Differenzierung der Sickerwasserströme in Sandboden-Modellen. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 88, 363-366.
- MUCH, W., 1996: Wasserversickerung in Ackerböden aus Sand: Chlorid-Tracerversuch auf drenthezeitlichen Vorschüttandsanden. unveröffentlichte Dipl.-Arbeit, Göttingen.
- SIEBNER, C.S., K.W. BECKER und B. MEYER, 1997: Beobachtungen zum dispersiven Wasser- und Soluttransport in Sandböden. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 85, 1, 167-170.