

Numerische Simulationen zur Sickerwassererfassung durch Lysimeter unterschiedlicher Bauart

W. DURNER und U. BUCZKO

Zusammenfassung

Zur Erfassung von Sickerwasserflüssen in Böden kommen in den ungestörten Bodenverbund eingebaute Auffanginstrumente, sogenannte Lysimeter, in Betracht. Die Beeinflussung des Fließfeldes von Wasser in Böden nach Einbau von frei drainenden Lysimetern von 0.5 Metern Breite in 1 Meter Tiefe wurde durch numerische Simulation untersucht. Es zeigte sich, dass frei drainende Lysimeter auch größerer Bauart in sandigen Böden nicht in nennenswertem Umfang perkolierendes Wasser auffangen, da das Wasser unter ungesättigten Bedingungen das Auffanginstrument umfließt. Während eine Vergrößerung der Auffangfläche keine nennenswerte Besserung bringt, wirkt sich die Verwendung von Seitenwänden oder von Unterdruck positiv aus. Bei feinkörnigen Böden dagegen können frei drainende Lysimeter zur Sickerwassererfassung eingesetzt werden.

Abstract

To collect percolating water in the unsaturated zone, lysimeters of different types can be build into the undisturbed soil. The use of in-situ lysimeters to sample free percolating water in soils was investigated by means of numerical simulations. As a standard scenario, the water flow field in a sandy soil with lysimeters of 0.5 m width, build in at a depth of 1 meter, was investigated. As upper boundary conditions, typical European meteorological conditions were used and compared to a scenario which consisted of two heavy rainstorms. The simulations showed that no water enters the lysimeters, since all of the water circumpasses the instrument by unsaturated water flow. Increasing the width of the lysimeter brought no improvement, whereas the use of impermeable side walls, or the application of suction lead to water ent-

ry into the instruments. We conclude that free percolating lysimeters can only be used to collect water in fine textured soils.

Problematik

Im Rahmen der Sickerwasserprognose zur Abschätzung von Stofffrachten durch den ungesättigten Boden zum Grundwasser ist sowohl die Kenntnis der Fließdynamik des Sickerwassers als auch seiner chemischen Beschaffenheit notwendig. Da die eigentliche Prognose in der Praxis modellbasiert erfolgen muss, ist zur Validierung der eingesetzten Modelle eine in-situ Beprobung von Sickerwasser wünschenswert. Eine in Hinblick auf Mengen und Qualität repräsentative Beprobung von Sickerwasser in einem ungestörten Boden unter ungesättigten Fließbedingungen ist jedoch bis heute ein ungelöstes Problem, da jeder Einbau von Erfassungsinstrumenten mit erheblichen Rückwirkungen auf den Zustand des Systems verbunden ist.

Grundsätzlich können Saugkerzen, Saugplatten, Dochtlysimeter sowie frei drainende Lysimeter zur Sickerwassererfassung in einem nicht von der Umgebung isolierten Bodenverband eingesetzt werden. Im Rahmen dieses Beitrags soll die hydraulische Wirkung von frei-drainenden Lysimetern auf den natürlichen Wasserfluss in der ungesättigten Bodenzone untersucht werden.

Bei frei drainenden Lysimetern kann Wasser vom Boden nur dann in das Lysimeter übertreten, wenn die Bodenzone unmittelbar an der Kontaktfläche zum Lysimeter gesättigt ist, d.h. ein Matrixpotential größer oder gleich Null aufweist. Wassergesättigte Bedingungen sind in der Bodenzone von sandigen Substraten jedoch praktisch nie anzutreffen. Durch die Bauart des Lysimeters können allerdings gesättigte Bodenbedingungen am Kontakt Boden-Lysime-

ter künstlich herbeigeführt werden, indem die Auffangfläche möglichst groß gewählt wird und mit wasserundurchlässigen Rändern versehen ist. Dadurch kann erreicht werden, dass das perkolierende Sickerwasser das Lysimeter nicht seitlich umfließen kann, sondern sich oberhalb der Auffangfläche ansammelt. Wie effektiv ein Lysimeter Wasser aufzustauen vermag, d.h. wie groß die Fließrate durch das Lysimeter im Verhältnis zur Flussrate im ungestörten Boden ist, ist u.a. eine Funktion der Größe der Lysimeter-Auffangfläche, der Höhe der Seitenränder, der hydraulischen Eigenschaften des Bodens, und der Menge und zeitlichen Verteilung von infiltrierendem Wasser.

Um diese Einflussgrößen systematisch zu quantifizieren, wurden numerische Simulationen mit dem Finite-Elemente-Modell "Hydrus-2D" (SIMUNEK et al., 1999) durchgeführt. Das Ziel dieser Simulationen war, eine optimale Bauart für die frei drainenden Lysimeter im Hinblick auf die erforderliche Größe der Auffangfläche und der Höhe der Seitenränder zu definieren.

Methodik

Für die Szenariensimulationen wurden folgende Parameter variiert:

1. Obere Randbedingung
 - a. Typisches langfristiges Niederschlags-szenario (instationär)
 - b. Starkregenereignis (instationär)**
 - c. Stationäre Infiltration mit einer für Nordbayern typischen GW-Neubildungsrate
2. Bodenhydraulische Parameter
 - a. 100% Sand
 - b. 95% Sand, 5% Schluff
 - c. 90% Sand, 10% Schluff**
 - d. 80% Sand, 10% Schluff, 10% Ton

Autoren: Prof. Dr. Wolfgang DURNER, Abt. Bodenphysik, Institut für Geoökologie, TU Braunschweig, Langer Kamp 19c, D-38106 BRAUNSCHWEIG und Dr. Uwe BUCZKO, Lehrstuhl für Hydrologie, Universität Bayreuth, Universitätsstraße 30, D-95440 BAYREUTH

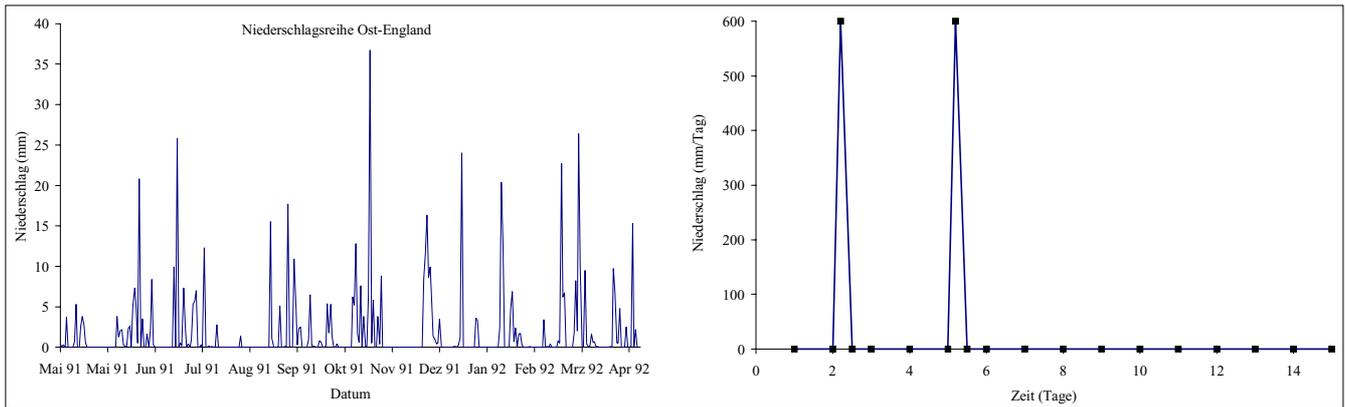


Abbildung 1: Verlauf des Niederschlages für das langfristige Niederschlags-Szenario und das der Starkregen-Niederschlags-Szenario.

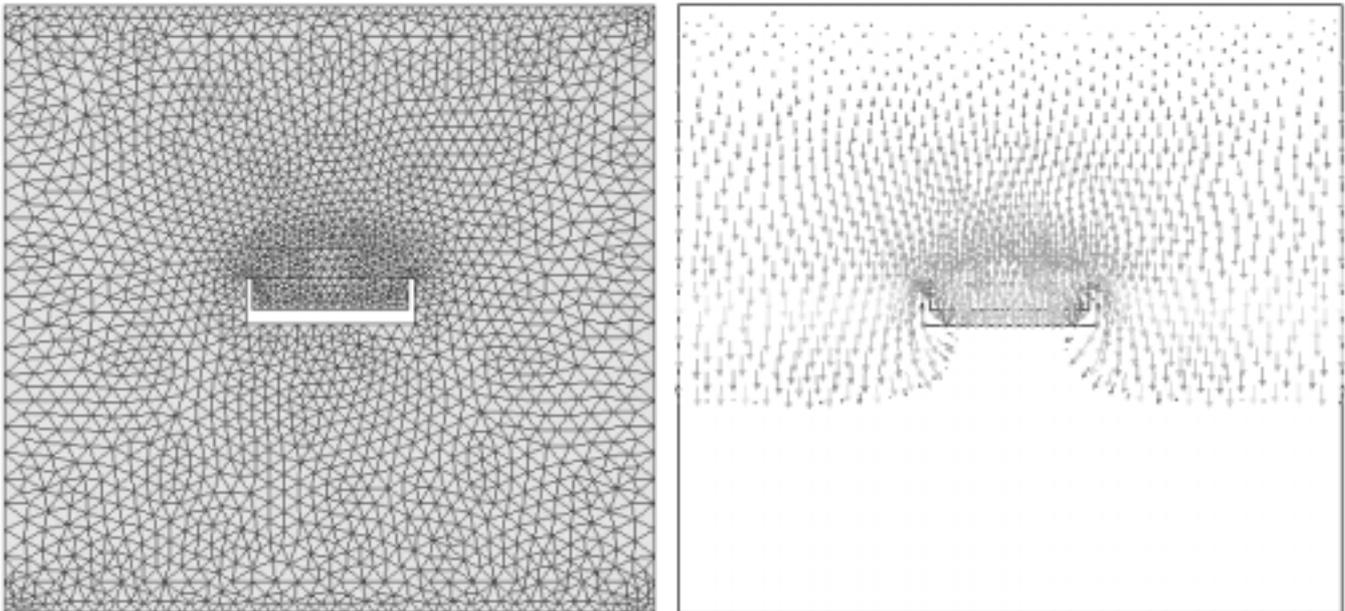


Abbildung 2: Für die Simulationen verwendetes 2D-vertikales FE-Gitter von 2 mal 2 m und beispielhafte 2D-vertikale Verteilung der simulierten Fließvektoren.

3. Breite des Lysimeter-Auffanggefäßes

a. 50 cm

b. 100 cm

4. Höhe des Lysimeter-Randes

a. 10 cm

b. 20 cm

c. 30 cm

d. 40 cm

5. Druck, bzw. Saugspannung am Lysimeter

a. 0 cm (frei drainend)

b. -50 cm WS

Als langfristiges instationäres Niederschlagszenario mit täglicher Auflösung wurde eine für gemäßigte Breiten typische 1-jährige Meßreihe mit einer Niederschlagssumme von 656 mm von Mai 1991 bis April 1992 verwendet (Abbil-

dung 1). Als extreme Starkregen wurden zwei Ereignisse mit einer Intensität von 600 mm/Tag und einer Dauer von 0,2 Tagen mit drei Tagen Abstand simuliert. Als stationäre Approximation wurde ein Szenario mit einer gleichmäßigen Infiltration in Höhe einer mittleren Grundwasser-Neubildungsrate von 0,1 cm/Tag gerechnet.

Die Einbautiefe des Lysimeters betrug für alle Szenarien 1 m. Die Standardbreite für die Auffangfläche beträgt 50 cm, in einem Szenario wurde sie auf 100 cm erweitert. Die Standardhöhe der Lysimeter-Ränder beträgt 10 cm. Zusätzlich wurden Randhöhen von 20, 30, und 40 cm simuliert. Da eine Kombination aller einzelnen Varianten miteinander $3 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 2 = 192$ Szenarien ergeben hätte, wurde für jeden Parameter eine

Standardgröße (= fett) definiert, d.h. für die Szenariensimulationen wurden die verschiedenen Variationsmöglichkeiten der einzelnen Parameter jeweils nur mit den Standardgrößen der anderen Parameter kombiniert, so dass sich insgesamt 11 Szenarien für die Simulation der frei drainierenden Lysimeter ergaben. Ergänzt wurden diese Szenarien durch die Simulation eines Unterdrucklysimeters mit -50 hPa Unterdruck.

Für die numerischen Simulationen mit dem Finite-Elemente-Modell HYDRUS-2D wurde ein 2D-vertikaler Bodenausschnitt von 2 mal 2 Meter verwendet. Die Anzahl der Knoten liegt bei 2000, ist jedoch geringfügig von der Geometrie der Lysimeter abhängig. Das FE-Gitter ist in Abbildung 2 (links) beispielhaft für das Standard-Szenario mit einer Lysimeter-

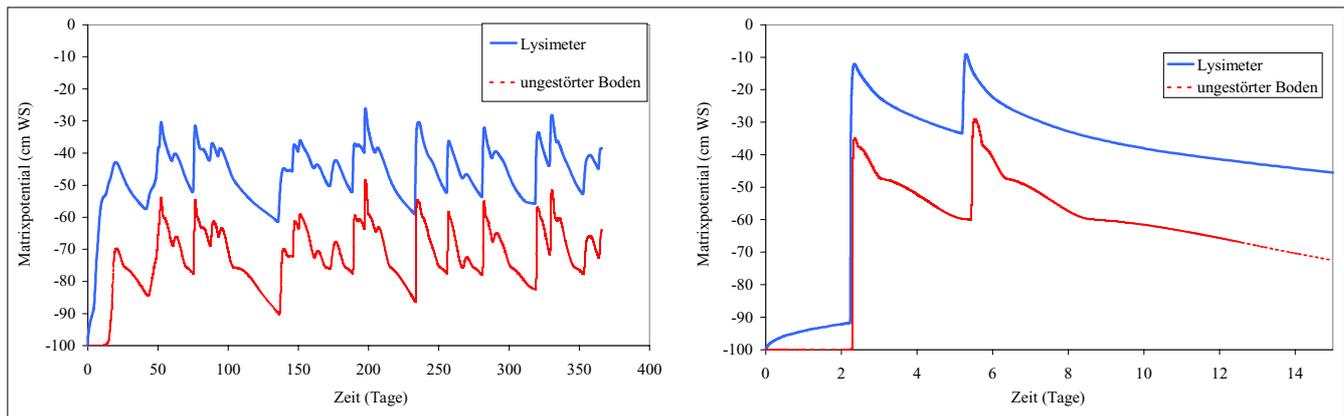


Abbildung 3: Verlauf der Matrixpotentiale für das Standardszenario FL 1 im Vergleich mit dem entsprechenden ungestörten Boden. Links: natürliche Randbedingungen. Rechts: Starkregenszenario.

breite von 50 cm und einer Höhe der Ränder von 10 cm dargestellt. In *Abbildung 2* (rechts) ist beispielhaft die räumliche Verteilung der simulierten Fließvektoren dargestellt.

Ergebnisse

Bei Verwendung der Standardgeometrie für das frei-dränende Lysimeter (Breite 50 cm, Höhe 10 cm) und des Standardbodens (95% Sand, 5% Schluff) ergab sich für keines der Infiltrationsszenarien ein Wasserfluss durch die Lysimeter-Auffangfläche. Die simulierten Matrixpotentiale an der Lysimeter-Auffangfläche sind zwar bei allen drei Szenarien höher als im ungestörten Boden, erreichen jedoch in keinem Fall den für den Wassereintritt nötigen Wert von 0 cm WS. Die höchsten Matrixpotentiale werden bei dem simulierten Starkregenergegnis erreicht, aber auch dies reicht nicht für einen Eintritt von Wasser in das Lysimeter aus.

Bei den Simulationen mit den verschiedenen bodenhydraulischen Parametern ergab sich nur für das Starkregenszenario mit der feinkörnigsten Textur und der geringsten gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit ein Eindringen von Wasser in das Lysimeter.

Die Verbreiterung der Auffangfläche des Lysimeters auf 100 cm ergab, unter Beibehaltung der Standardparameter in den

anderen Kategorien (Starkniederschlag, 95 % Sand, Höhe des Lysimeterandes 10 cm) ebenso wie bei der Standardbreite von 50 cm für keines der Szenarien Wasserflüsse in das Lysimeter. Die Breite der Lysimeter-Auffangfläche hat demnach einen relativ geringen Effekt auf das Wasserauffangvermögen eines frei dränenden Lysimeters.

Die Variation der Randhöhen zeigte dagegen, dass ab einer gewissen Mindesthöhe ein starker Einfluss auf das Wasserauffangvermögen eines Lysimeters auftritt. Während mit einer Randhöhe von 10 cm keinerlei Sickerwasser aufgefangen wird, steigt der Anteil des aufgefangenen Sickerwasser bei einer Randhöhe von 30 cm sprunghaft an und erreicht bei einer Randhöhe von 40 cm fast 100%.

Bei Anlegen eines Unterdruckes an ein Lysimeter erhöhen sich die gewonnenen Sickerwassermengen deutlich. Für das Szenario mit einem Unterdruck von -50 cm WS wird praktisch genauso viel Sickerwasser aufgefangen, wie im ungestörten Boden perkoliert. Zu beachten ist, dass unter sonst gleichen Bedingungen in einem frei dränenden Lysimeter kein Sickerwasser gewonnen wird.

Schlussfolgerungen

Die hier mit dem numerischen Finite-Elemente-Modell Hydrus-2D durchge-

fürten Simulationen für normale meteorologische Bedingungen sowie für ein Extremregenszenario und ein Standarddesign in einen Sandboden ergaben keinen Wassereintritt in 50 cm breite Lysimeter in 1 Meter Tiefe. Nennenswerte Wassereintritte erfolgten erst bei feinkörnigeren Böden und unter Verwendung von Lysimeter-Randhöhen von mehr als 20 cm. Die Breite der Lysimeter-Auffangfläche scheint einen nur geringen Einfluss auf das Wasserauffangvermögen eines frei dränenden Lysimeters zu haben. Übertreffend ist dagegen der Effekt von an die Lysimeterauffangfläche angelegten Unterdrücken auf die gewonnenen Sickerwassermengen.

Diese Ergebnisse geben erste Hinweise auf die Wassermengen, die mit unterschiedlichen Lysimeterdesigns bei unterschiedlichen Bodenarten zu erwarten sind und dienen daher als Richtschnur, in welcher Weise Lysimeter für die Sickerwasserbeprobung konstruiert sein sollten.

Literatur

SIMUNEK, J., M. SEJNA, M.Th. van GENUCHTEN, 1999: The HYDRUS-2D Software Package for Simulating the Two-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, Version 2.0.-U.S. Salinity Laboratory, Riverside, California.

