

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der
DBG – Kom. I
Titel der Tagung: Böden verstehen
Böden nutzen
Böden fit machen
Veranstalter: DBG, September
2011, Berlin
Berichte der DBG (nicht begutachtete
online Publikation)
<http://www.dbges.de>

Inverse Modellierung des Wasserflusses mit Wurzelwasser- aufnahme in Großlysimetern

Sascha C. Iden, Henrike Schelle, Johann
Fank und Wolfgang Durner

Zusammenfassung

Für die Simulation des Wasser- und Stofftransports in ungesättigten Böden ist die genaue Kenntnis der bodenhydraulischen Eigenschaften notwendig. In heterogenen Medien und unter atmosphärischen Randbedingungen erfolgt die Bestimmung effektiver hydraulischer Funktionen idealerweise durch inverse Simulation. Um hierfür möglichst genaue und vollständige Informationen über die Randbedingungen zu erhalten, eignen sich wägbare Lysimeter, insbesondere wenn sie zusätzlich mit leistungsfähigen Messgeräten ausgestattet sind. Unter Verwendung der natürlichen Randbedingungen wie sie am Gras-Referenz-Lysimeter auf der Lysimeterstation in Wagna (Österreich) gemessen wurden, wurden synthetische Messdaten generiert, um zu untersuchen, ob und bei welchem Informationsgehalt es möglich ist bodenhydraulische Eigenschaften und Wurzelwasseraufnahmeparameter durch inverse Simulation gleichzeitig zu bestimmen. Bei idealisierten, virtuellen Realitäten können unter atmosphärischen Randbedingungen für homogene Bodenprofile gleichzeitig bodenhydraulische Eigenschaften und ein Durchwurzelungsparameter korrekt bestimmt werden.

Institut für Geoökologie,
Technische Universität Braunschweig
Langer Kamp 19c, 38106 Braunschweig
s.iden@tu-bs.de

Schlüsselwörter

Wurzelwasseraufnahme, bodenhydraulische Eigenschaften, Parameterschätzung

Einleitung

Während die Inverse Simulation zur Bestimmung der bodenhydraulischen Eigenschaften bei transienten Laborexperimenten mit kontrollierten Randbedingungen bereits etabliert ist, stellt ihre Anwendung auf der Plot- oder Feldskala immer noch eine große Herausforderung dar. Die Gründe hierfür sind (i) die räumliche Heterogenität von Böden, (ii) die Schwierigkeit der Parametrisierung der Wurzelwasseraufnahme und (iii) die fehlerhafte Bestimmung atmosphärischer Randbedingungen sowie der Flüsse aus der durchwurzelt Zone in tiefere Bodenschichten. Wägbare Großlysimeter lösen die unter Punkt (iii) genannten Schwierigkeiten, da an ihnen die atmosphärischen Randbedingungen und Sickerwasserflüsse genau gemessen werden können. Um den Wasserstatus im Boden zu untersuchen werden zusätzlich häufig Messsonden installiert, die entweder lokale Wassergehalte oder das Bodenwasserpotenzial messen. Aus diesen Daten lassen sich die hydraulischen Eigenschaften des Bodenmonoliths im Lysimeter durch inverse Simulation bestimmen.

In diesem Beitrag soll durch Analyse virtueller Messdaten untersucht werden, welcher Informationsgehalt notwendig ist, um unter atmosphärischen Randbedingungen bodenhydraulische Eigenschaften durch inverse Simulation korrekt zu bestimmen, und gleichzeitig Parameter für die Wurzelwasseraufnahme zu schätzen.

Material und Methoden

Unter Nutzung der am Gras-Referenz-Lysimeter in Wagna (Steiermark, Österreich) gemessenen atmosphärischen Randbedingungen (Abb. 1) wurden durch Simulation der Wasserdynamik mit HYDRUS-1D virtuelle Messdaten erzeugt.

Die Wasserdynamik wurde an 90 cm tiefen Profilen für den Zeitraum 01.01.2008 – 31.12.2008 mit atmosphärischen Randbedingungen am oberen Rand simuliert. Die

Aufteilung der aus der Wasserbilanz des Lysimeters bestimmten Evapotranspiration in Transpiration und Evaporation erfolgte nach dem „Dual-Crop Coefficient“-Verfahren (Allen et al., 1998) unter Zuhilfenahme von Klimadaten, die am gleichen Standort gemessen wurden. Die Anfangsbedingung in Form einer Tiefenverteilung des Matrixpotenzials wurde durch eine Vorsimulation abgeleitet, die eine Dauer von einem Jahr umfasste. Die Simulation der Wurzelwasseraufnahme der mit Gras bewachsenen Profile wurde als Senkenterm in der Richardsgleichung berücksichtigt. Bei der Wurzelwasseraufnahme wurde die Wasserstressfunktion von Feddes et al. (1978) verwendet. Die relative Wurzelverteilung wurde als konstant bis in 10 cm Tiefe, dann linear abnehmend bis in 30 cm Tiefe festgesetzt. Die hydraulischen Eigenschaften wurden mit dem van Genuchten-Mualem-Modell (VGM, van Genuchten, 1980) parametrisiert. Dabei wurden die Parameter durch die in HYDRUS-1D implementierte Pedotransferfunktion ROSETTA LITE, Version 1.1 (Schaap et al., 2001) bestimmt.

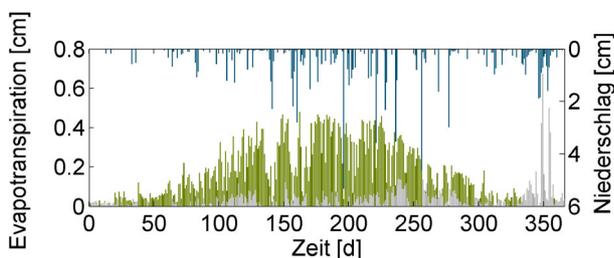


Abb. 1: Im Jahr 2008 am Gras-Referenz-Lysimeter in Wagna gemessene atmosphärische Randbedingungen: Niederschlag: blau, Transpiration: grün, Evaporation: grau.

Verschiedene Informationsgehalte für die Parameterschätzung wurden zum einen durch verschiedene untere Randbedingungen und zum anderen durch tägliche Daten verschiedener Datentypen in der Zielfunktion, die in der inversen Simulation minimiert wird, erreicht (Tab. 1). Jedes Szenario wurde jeweils für ein homogenes Bodenprofil aus Lehm (0-90 cm) und ein geschichtetes Profil aus Lehm (0-20 cm) über lehmigem Sand (20-90 cm) simuliert.

Die Datentypen in der Zielfunktion waren kumulative Ausflüsse am unteren Rand, profilmittelte Wassergehalte und Matrixpotenziale in 10 und 15 cm Tiefe. Die profilmittelten Wassergehalte repräsentierten indirekt die korrekte Bestimmung der Summe aus tatsächlicher Evaporation und Transpiration, und ergaben sich aus der Wasserbilanz. Die simulierten Daten wurden mit einem normalverteilten Fehler mit Erwartungswert Null und Standardabweichung σ versehen, die der typischen Standardabweichung σ des Messfehlers der verwendeten Messgeräte entsprach (0,01 cm für den kumulativen Ausfluss, $1,1 \cdot 10^{-4}$ für den mittleren Wassergehalt und 1 cm für das Matrixpotenzial).

Szenario	1	2	3
untere Randbedingung			
variables Matrixpotenzial	x	x	
frei dränend			x
Daten in der Zielfunktion			
profilgemittelte Wassergehalte		x	x
kumulativer Ausfluss	x	x	x
Matrixpotenziale in 10 und 50 cm Tiefe		x	

Tab. 1: Untere Randbedingung und Datentypen in der Zielfunktion für die unterschiedlichen Szenarien (abnehmender Informationsgehalt von 1 bis 3).

Die bodenhydraulischen Eigenschaften wurden in der inversen Simulation mit dem VGM-Modell bzw. mit frei geformten Funktionen („Free Form“, Iden und Durner, 2007) parametrisiert. Für die VGM Funktion wurden alle sechs Parameter geschätzt. Bei Verwendung der frei geformten Funktionen werden die Werte des Wassergehalts θ und der hydraulischen Leitfähigkeit K an diskreten Stützpunkten des Matrixpotenzials geschätzt und durch Splines interpoliert. Für die heterogenen Profile wurden die hydraulischen Eigenschaften beider Schichten gleichzeitig geschätzt. Zudem wurde die Tiefe, bis in die die relative

Wurzeldichte konstant ist, gleichzeitig mit den hydraulischen Eigenschaften geschätzt. Die Gewichtung der verschiedenen Datentypen erfolgte invers zur Varianz der angenommenen Messfehler ($1/\sigma^2$). Zur Parameterschätzung wurde der global konvergente Shuffled Complex Evolution Algorithmus (SCE-UA) verwendet.

Ergebnisse

Die Untersuchungen an synthetischen Daten liefern sehr nützliche Informationen für die inverse Parameterschätzung an realen Daten, da sie die Grenzen der Eindeutigkeit der Schätzung in Abhängigkeit vom Informationsgehalt der Messkampagne aufzeigen.

Für den Fall mit größtem Informationsgehalt (variables Matrixpotenzial als untere Randbedingung, kumulative Ausflüsse, profilmittelte Wassergehalte und Matrixpotenziale in zwei Tiefen in der Zielfunktion) konnten die synthetischen Daten durch die invers bestimmten bodenhydraulischen Eigenschaften sehr präzise vorhergesagt werden. Zudem konnten die

bodenhydraulischen Eigenschaften korrekt identifiziert werden (Abb. 2).

Dies galt auch für den Fall mit mittlerem Informationsgehalt (variables Matrixpotenzial als untere Randbedingung, nur kumulative Ausflüsse und profilmittelte Wassergehalte in der Zielfunktion, Abb. 3, links).

Für das Szenario mit dem geringstem Informationsgehalt (frei dränender Auslauf am unteren Rand) konnten zwar die synthetischen Messdaten gut getroffen werden, die hydraulischen Eigenschaften waren jedoch nur in dem Bereich in dem Information aus den „Messdaten“ vorhanden war, korrekt beschrieben (Abb. 3, rechts). Dieses Phänomen ist auch für Laborexperimente bekannt (Schelle et al., 2010).

Ähnlich sahen die Ergebnisse für die Free-Form Parametrisierung aus (nicht gezeigt). Die Durchwurzelungstiefe konnte in allen drei Fällen korrekt und sehr präzise bestimmt werden.

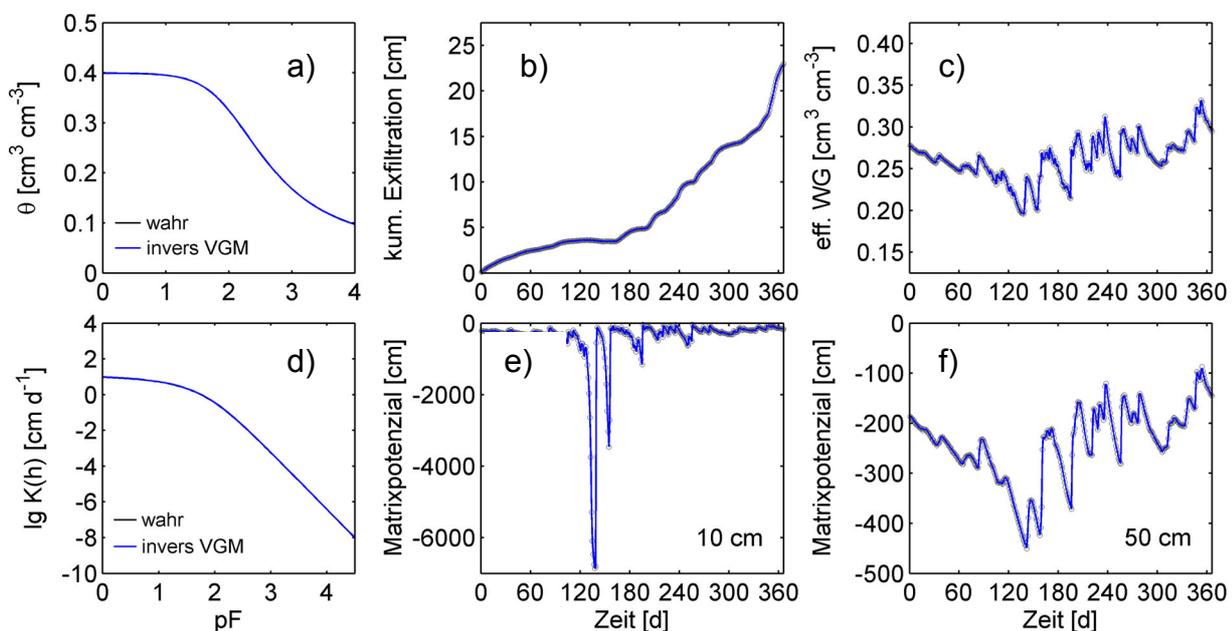


Abb. 2: Ergebnisse der mit der van Genuchten-Mualem Parametrisierung inversen Simulation für das homogene Lehmprofil mit größtem Informationsgehalt; „wahre“ und invers bestimmte Retentions- (a) und Leitfähigkeitsfunktionen (d), gemessene und simulierte kumulative Ausflüsse am unteren Rand (b), profilmittelte Wassergehalte (c) und Matrixpotenziale in 10 (e) und 50 cm Tiefe (f).

Beim geschichteten Profil (hier nicht gezeigt) konnten die bodenhydraulischen Eigenschaften beider Schichten und der Wurzeltiefeparameter durch simultane Schätzung korrekt bestimmt werden, wenn Wasserpotenzialsensorik in beiden Horizonten eingesetzt wurde. Ohne Potenzialsensorik konnte aus der korrekten Beschreibung der Randflüsse und des profilgemittelten Wassergehalts und damit der korrekt simulierten Massenbilanz des Systems nicht mehr auf die Korrektheit der geschätzten bodenhydraulischen Eigenschaften geschlossen werden.

Fazit und Ausblick

Durch Simulationen mit synthetischen Daten konnte gezeigt werden, dass die hydraulischen Eigenschaften homogener Profile bei zutreffenden Annahmen in Hinblick auf Prozessmodell und Typ der hydraulischen Funktionen unter atmosphärischen Randbedingungen korrekt geschätzt werden können. Gleichzeitig kann die Durchwurzelungstiefe korrekt bestimmt werden. Für homogene Profile sind dafür Messdaten des kumulativen Ausflusses und der Änderung des profilgemittelten Wassergehalts ausreichend.

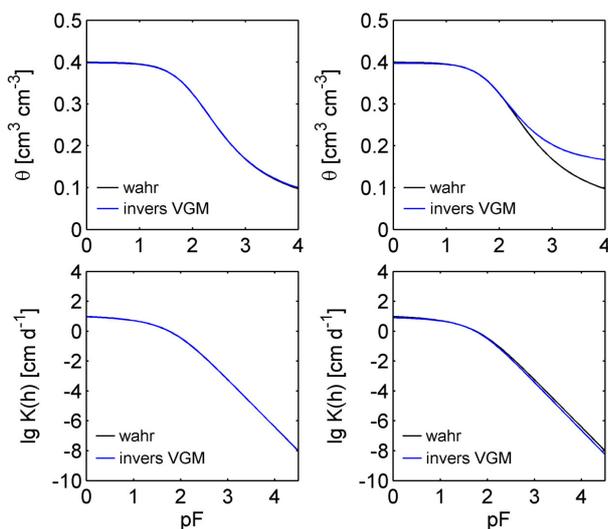


Abb. 3: Wahre und mit der van Genuchten-Mualem Parametrisierung invers bestimmte Retentions- (oben) und Leitfähigkeitsfunktionen (unten) für das homogene Lehmprofil mit mittlerem (links) und geringstem (rechts) Informationsgehalt.

Für geschichtete Profile ist die Instrumentierung von Matrixpotenzialsensoren in

beiden Schichten erforderlich, um die hydraulischen Eigenschaften beider Schichten und die Durchwurzelungstiefe gleichzeitig korrekt zu bestimmen. Zu beachten ist hierbei, dass virtuelle Realitäten eine starke Idealisierung der Realität darstellen. Sie sind jedoch ein nützliches Werkzeug, um die Identifizierbarkeit von Eigenschaften des komplexen Systems Boden-Pflanze-Atmosphäre zu prüfen und im Vorfeld von Messkampagnen Informationen über das experimentelle Design von Lysimeterstudien zu gewinnen.

Dank

Die Arbeiten wurden zum Teil im Rahmen des von der Helmholtz-Gemeinschaft geförderten Projektverbunds INVEST (virtuelles Institut) durchgeführt.

Literatur

- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes und M. Smith, 1998: Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, 300 S.
- Feddes, R. A., P. J. Kowalik, und H. Zaradny, 1978: Simulation of field water use and crop yield, John Wiley & Sons, New York.
- Iden, S. und W. Durner, 2007: Free-Form estimation of the unsaturated soil hydraulic properties by inverse modeling using global optimization. Water Resour. Res. 43:W07451.
- Schaap, M. G., F. J. Leij und M. T. van Genuchten, 2001: Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions, Journal of Hydrology, 251, 163-176.
- Schelle, H., S.C. Iden, A. Peters, and W. Durner (2010): Analysis of the agreement of soil hydraulic properties obtained from multistep-outflow and evaporation methods, Vadose Zone Journal, 9:1080-1091.
- van Genuchten, M. T. 1980: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:892-898.