

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der
DBG – Kom. I
Titel der Tagung: Böden – eine
endliche Ressource
Veranstalter: DBG, September
2009, Bonn
Berichte der DBG (nicht begutachtete
online Publikation)
<http://www.dbges.de>

Bestimmung hydraulischer Eigenschaften aus Multistep-Outflow und Evaporationsexperimenten – Methodenvergleich

Henrike Schelle, Sascha C. Iden und
Wolfgang Durner

Zusammenfassung

Die Multistep-Outflow- und Evaporationsmethode dienen der schnellen und simultanen Bestimmung der bodenhydraulischen Eigenschaften im Labor. Die mit diesen beiden Methoden ermittelten Retentions- und Leitfähigkeitskurven wurden auf ihre Übereinstimmung hin überprüft. Dazu wurden Bodenproben unterschiedlicher Textur mit beiden Experimenten nacheinander untersucht. Wir fanden sehr gute Übereinstimmungen zwischen den aus den MSO Experimenten gefitteten hydraulischen Funktionen und den direkt aus den Evaporationsexperimenten berechneten Datenpunkten. Da die Methoden für die ungesättigte Leitfähigkeitsbeziehung verschiedene Druckbereiche mit hoher Sensitivität abdecken, lassen sie sich sehr gut ergänzen, um den validen Datenbereich beträchtlich zu vergrößern.

Schlüsselwörter

Hydraulische Funktionen,
Multistep-Outflow Experiment,
Evaporationsexperiment,
Ungesättigte Leitfähigkeit

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

Einleitung

Multistep-Outflow und Evaporationsexperimente haben sich für die simultane Bestimmung der Retentionsfunktion und der hydraulischen Leitfähigkeitsfunktion im Labor etabliert. Trotz der Bestrebungen, die Versuchsdesigns und Evaluationstechniken zu verbessern, wurde bisher wenig Aufmerksamkeit darauf verwendet, die Übereinstimmung der aus diesen beiden Methoden erzielten bodenhydraulischen Eigenschaften zu untersuchen.

Ziel dieser Studie war es, die Retentions- und Leitfähigkeitskurven zu vergleichen, die mit Hilfe der Multistep-Outflow Methode und der vereinfachten Evaporationsmethode nach Schindler (1980) an jeweils ein und derselben Bodensäule bestimmt wurden.

Material und Methoden

Bodensäulen mit gestörtem und ungestörtem Material wurden mit beiden Methoden nacheinander untersucht. Zunächst wurde das Multistep-Outflow Experiment (MSO) an einer gesättigten Bodensäule durchgeführt. Nach der erneuten Aufsättigung wurde die Evaporationsmethode (EVA) angewendet.

Im Multistep-Outflow Experiment wurde der anfangs gesättigte Boden entwässert, indem am unteren Rand ein Unterdruck angelegt und stufenweise erhöht wurde. Der kumulative Ausfluss über den unteren Rand sowie das Matrixpotenzial in ein oder zwei Tiefen in der Säule wurden aufgezeichnet. Aus den Messdaten des MSO Experiments wurden Retentions- und Leitfähigkeitskurven mit dem Free-Form Ansatz nach Iden und Durner (2007) durch inverse numerische Simulation geschätzt.

Im Evaporationsexperiment wurde die gesättigte Bodensäule auf einer Waage platziert und der Verdunstung im Labor ausgesetzt. Die Gewichtsänderung sowie das Matrixpotenzial in zwei Tiefen wurden über die Zeit gemessen. Im symmetrischen Aufbau nach Schindler (1980) können Retentionsdaten aus mittlerem Wassergehalt und mittlerem Matrixpotenzial zu jedem Zeitpunkt bestimmt werden (Peters und Durner, 2008a). Leitfähigkeitsdaten werden durch Invertierung der Darcy-Gleichung aus dem Gradienten des

Matrixpotenzials zwischen den zwei Tensiometern und dem Wasserfluss, der sich aus der Gewichtsänderung ergibt, berechnet.

Ergebnisse

Ergebnisse werden exemplarisch für einen gepackten Mittelsand (Ss) und einen ungestörten sandigen Lehm Boden (Ls) gezeigt.

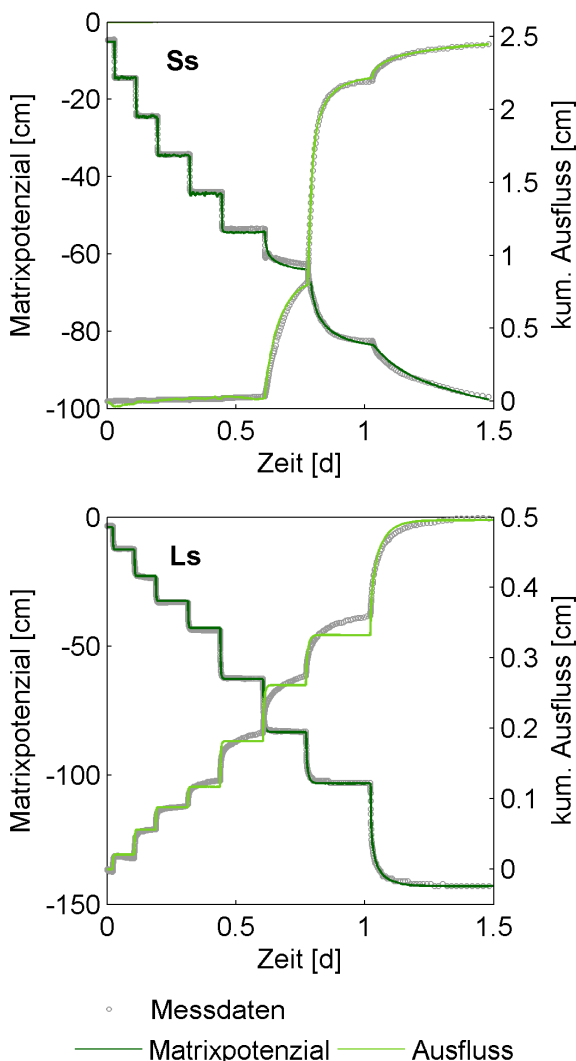


Abb. 1: Verläufe der MSO Experimente für einen Mittelsand (oben) und einen sandigen Lehm (unten).

Der Verlauf der MSO Experimente ist in Abb. 1 durch die gemessenen Daten für den kumulativen Ausfluss und das Matrixpotenzial in einer Tiefe sowie die Daten des gefitteten Free-Form Modells dargestellt. Das Free-Form Modell beschreibt den Verlauf der Messdaten für den Mittelsand sehr gut. Bei dem MSO-Experiment für den lehmigen Sand treten dynamische Effekte auf. Während die Tensionen sich

bei den Druckstufen -70 bis -110 cm schnell stabilisieren, tritt weiterhin Ausfluss auf, der entsprechend auch durch das sehr flexible Free-Form Modell nicht gefittet werden kann. Dies zeigt deutlich die Limitierung des Richards-Ansatzes in diesem Bereich.

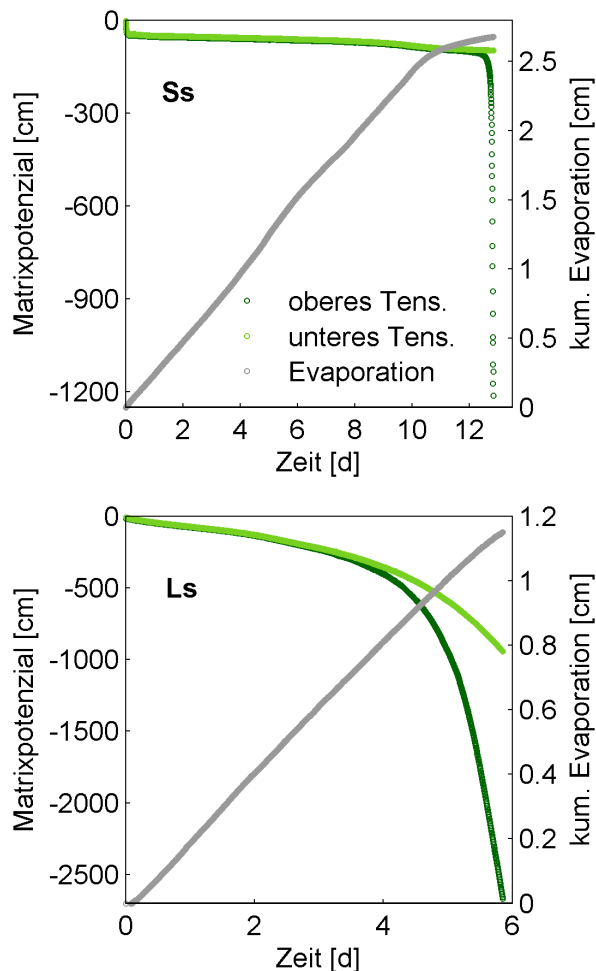


Abb. 2: Verläufe der Evaporationsexperimente für einen Mittelsand (oben) und einen sandigen Lehm (unten).

Die Datenpunkte der kumulativen Evaporation sowie das in zwei Tiefen gemessene Matrixpotenzial stellen den Verlauf des Evaporationsexperiments dar (Abb. 2). Die Messung endet, wenn die Messgrenze des oberen Tensiometers erreicht ist. Im Lehm war dies aufgrund von Siedeverzug im Tensiometer erst bei -2500 hPa der Fall. Beim Mittelsand ist die Evaporationsrate über die ersten 10 Tage konstant und wird durch die potenzielle Laborverdunstung gesteuert. Durch die zunehmende Austrocknung sinkt die Wasserleitfähigkeit unter die Laborverdunstungsrate, Wasser wird nicht mehr ausreichend nachgeliefert,

sodass die Evaporationsrate abnimmt. Die Evaporation wird nun durch die Bodeneigenschaften bestimmt. Das Matrixpotenzial nimmt zunächst kaum, am Ende jedoch sehr schnell ab, und reflektiert die spezifische Wasserkapazität. Beim Lehmboden bleibt die Evaporationsrate über den gesamten Messzeitraum konstant. Das Matrixpotenzial sinkt früher ab, und die Messgrenze der Tensiometer ist nach sehr viel kürzerer Zeit erreicht.

Die Datenpunkte der Retentions- und Leitfähigkeitsfunktion aus dem Evaporationsexperiment werden mit den hydraulischen Funktionen verglichen, die durch inverse Simulation aus dem MSO Experiment berechnet wurden (Abb. 3). Die MSO-Fits sind jeweils bis zu dem pF dargestellt, bis zu dem Informationen aus dem Experiment vorliegen.

Die MSO Methode liefert verlässliche Informationen über Retention und Leitfähigkeit im feuchten Bereich. Die

Evaporationsmethode liefert Retentions- und Leitfähigkeitsdaten bis ca. pF 3, bietet im feuchten Bereich jedoch keine Information über die Leitfähigkeit.

Sowohl beim Mittelsand als auch beim sandigen Lehm stimmen die Retentionskurven beider Methoden im gemeinsamen Messbereich sehr gut überein. Bei den Leitfähigkeitskurven ist der Feuchtebereich, in dem beide Methoden Daten liefern sehr klein bzw. nicht vorhanden. Die Kurven der zwei Messmethoden treffen jedoch präzise aufeinander. Abbildung 3 (oben rechts) verdeutlicht im übrigen, dass die Standard-Extrapolation des Mualem-van Genuchten-Modells in den trockenen Bereich fehleranfällig ist. Der Abfall der Leitfähigkeit erfolgt weniger steil, als dies das Modell erwarten ließe. Grund ist sogenannter „Filmfluss“. Die Leitfähigkeitsfunktion kann durch ein entsprechendes Modell gut beschrieben werden (Peters und Durner, 2008b).

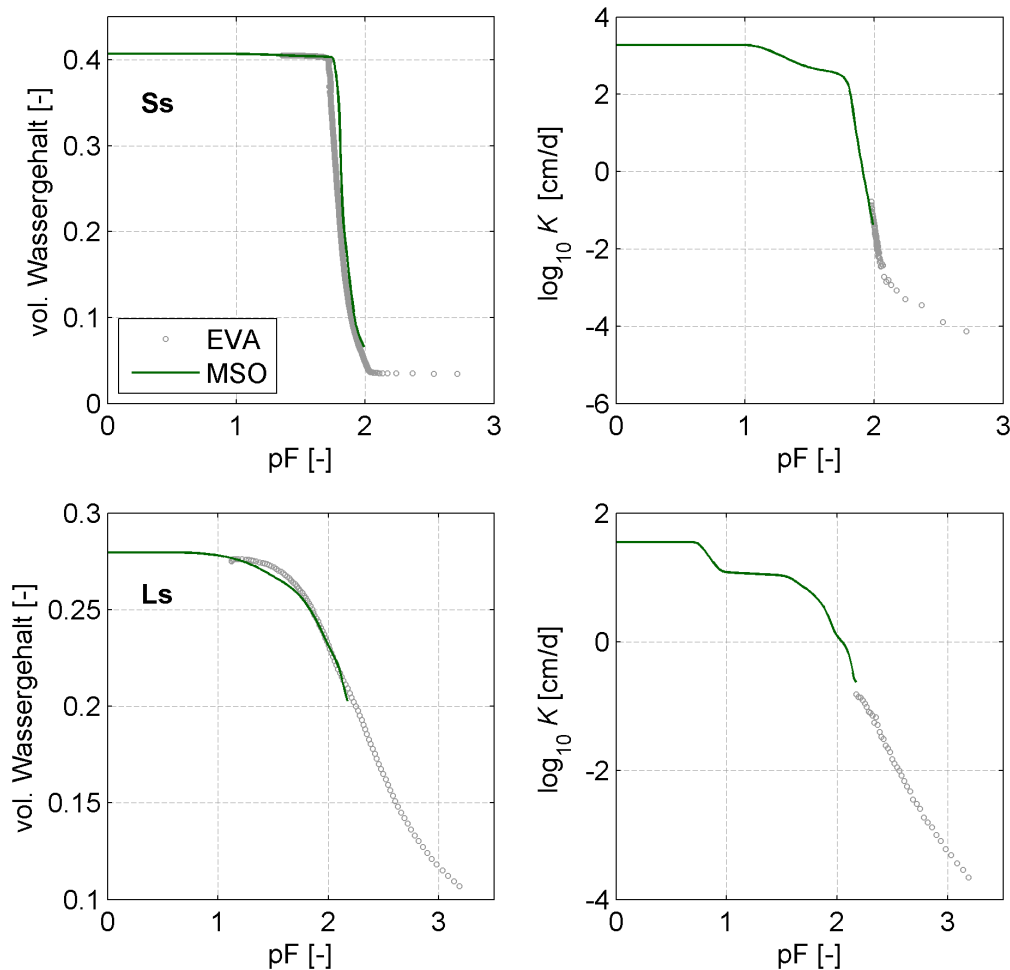


Abb. 3: Retentions- und Leitfähigkeitsdaten aus Evaporationsexperimenten und mit Free-Form invers geschätzte Retentions- und Leitfähigkeitsfunktionen aus MSO-Experimenten für einen Mittelsand (oben) und einen sandigen Lehm (unten).

Fazit und Ausblick

Die aus dem MSO Experiment gefitteten Funktionen stimmen bei beiden Datensätzen mit den Datenpunkten aus der Evaporationsmethode sehr gut überein. Der Informationsgehalt für verschiedene Druckbereiche ist für beide Methoden unterschiedlich. Sie ergänzen sich jedoch sehr gut. Daher ist es sinnvoll beide Experimente zu koppeln, um den Datenbereich erheblich zu vergrößern.

Dank

Diese Forschungsarbeiten wurden im Rahmen des Projektverbunds INVEST (virtuelles Institut der Helmholtz-Gesellschaft) gefördert.

Literatur

- Iden, S. C. und W. Durner (2007): Free-form estimation of the unsaturated soil hydraulic properties by inverse modeling using global optimization, *Water Resour. Res.*, 43, W07451.
- Peters, A. und W. Durner (2008a): Simplified evaporation method for determining soil hydraulic properties, *Journal of Hydrology*, 356, 147–162.
- Peters, A. und W. Durner (2008b): A simple model for describing hydraulic conductivity in unsaturated porous media accounting for film and capillary flow, *Water Resour. Res.*, 44, W11417.
- Schindler, U. (1980): Ein Schnellverfahren zur Messung der Wasserleitfähigkeit im teilgesättigten Boden an Stechzylinderproben. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd. Berlin*, 24, 1–7.