

# Anmerkungen zur Modellkalibrierung durch inverse Modellierung

Martin Wegehenkel

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.  
Institut für Landschaftssystemanalyse  
Eberswalder Straße 84  
15374 Müncheberg  
Email: [mwegehenkel@zalf.de](mailto:mwegehenkel@zalf.de)

**Abstract:** Eine Parameteroptimierung ist bei der Anwendung deterministischer Bodenwasserflussmodelle für eine optimale Simulationsgüte oftmals nicht zu vermeiden. In einer Lysimeterstudie wurden jedoch Grenzen der Parameteroptimierung aufgezeigt. Sind die Fliessbedingungen im Lysimeterboden offensichtlich nicht mehr im Gültigkeitsbereich der den Modellen zugrundeliegenden Flussgleichung, verbessert eine Parameteroptimierung nicht die Simulationsgüte des Modells.

## 1 Einleitung

Im Agrarbereich hat sich die Anwendung von Simulationsmodellen zur Berechnung von Pflanzenerträgen, Bodenwasserverfügbarkeit oder Stickstoffausträgen etabliert. Die Ergebnisse dieser Modellrechnungen werden genutzt, um z.B. die Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsstrategien auf Agrarökosysteme abzuschätzen. Dazu existiert eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Computermodelle wie z.B. das komplexe Forschungsmodell Coupmodel [JK04] oder einfachere Modellen wie z.B. das Modell Hermes [Ke07]. Bei Workshops zur Präzision von Agrarökosystemmodellen zeigte sich, dass sich häufig komplexe und einfache Modelle zum Beispiel bei der Berechnung der volumetrischen Bodenfeuchten nur unwesentlich unterscheiden. Anwender einfacher Modelle postulieren häufig, dass komplexe Modelle mit höherem Aufwand kalibriert werden müssen um eine optimale Modellpräzision zu erreichen und das daher einfachere Modelle zu bevorzugen seien. Ein häufiges Argument ist auch, dass man über Kalibrierung und inverse Modellierung ein komplexes Modell optimal an gemessene Werte anpassen kann. Diese Argumentation wird auch durch die Entwicklung von Programmen zur Parameteroptimierung wie z.B. Windows-Beopest [Do10] gestützt. Im folgenden Beitrag wird jedoch am Beispiel einer Anwendung des Bodenwasserhaushaltsmodells Hydrus-1D [Si08] mit Daten aus wägbaren Lysimetern gezeigt, dass auch eine Parameteroptimierung über inverse Modellierung an ihre Grenzen stoßen kann.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Lysimeterdaten**

Die Lysimeterstation Berlin-Dahlem mit 12 wägbaren Lysimetern und einer agrarmeteorologischen Station wurde von 1990-2004 vom früheren Institut für Landschafts- und Umweltplanung Fachgebiet Wasserhaushalt und Kulturtechnik der TU Berlin betrieben [Ze03], [Di07]. Die Lysimeter mit einer Oberfläche von 1 m<sup>2</sup> und eine Tiefe von 1.5 m waren mit ungestörten Bodenmonolithen bestückt. In den Lysimetern 1-4 waren Monolithe aus Sandböden und in den Lysimetern 9-12 Monolithe aus schluffig-tonigen Böden installiert. In den Lysimetern 3-4 und 9-10 wurde eine konstante Grundwassertiefe von 135 cm und in den anderen Lysimetern von 210 cm eingestellt. Die Wägegenauigkeit für die Lysimeter entsprach  $\approx 0.1$  mm Wasseräquivalent, Perkolations- und kapillarer Aufstieg wurden mit vergleichbarer Genauigkeit gemessen. Die Lysimeterdaten bestanden aus Tageswerten der aktuellen Verdunstung, Bodenwasserspeicherung, Ausfluss und kapillarer Aufstieg für den Zeitraum vom 1.1.1996 bis zum 31.12.1998 (Zenker, 2003). Weitere Informationen über diese Lysimeterstation finden sich in [Ze03] und [Di07].

### **2.2 Simulationsmodell Hydrus-1D**

Das frei verfügbare Modell Hydrus-1D erlaubt die Berechnung der Wasser-, Wärme- und Stoffbewegung in ungesättigten und gesättigten Böden [Si08]). Hydrus-1D löst die Richards-Gleichung der Wasserbewegung im gesättigten und ungesättigten porösen Medium. Hydrus-1D ermöglicht zudem eine Parameteroptimierung anhand inverser Schätzung auf der Basis von Messwerten. Mehr zu dem Modell kann z.B. [Si08] entnommen werden.

### **2.3 Modellanwendung Hydrus-1D**

Die Modellrechnungen für Tageswerte von aktueller Verdunstung, Bodenwasserspeicherung, Ausfluss und kapillarer Aufstieg vom 1.1.1996 bis zum 31.12. 1998 wurden für jede Kombination Bodentyp / Untere Randbedingung Grundwasser durchgeführt. Die Bodenprofile der Lysimeter wurden für die Modellrechnungen in 150 Schichten a 1cm diskretisiert. Die obere Randbedingung für die Anwendung von Hydrus-1D wurde über Tageswerte Niederschlag, Transpiration und Evaporation aus einer früheren Studie über die Lysimeterstation [WG12a] definiert. Als untere Randbedingung wurde für die Lysimeter 3-4 und 9-10 eine konstante Saugspannung von +15 cm und für die Lysimeter 1-2 and 11-12 eine Saugspannung von = - 60 cm angenommen. Die Parametrisierung der bodenhydraulischen Funktionen erfolgte nach den [vG80] und den [Mua76]-Gleichungen. Erste Parameterwerte für die Lysimeterböden wurden aus [We08] entnommen. Diese Werte für die [vG80] und den [Mua76]-Gleichungen wurden anhand der gemessenen Lysimeterausflüsse über inverse Modellierung optimiert.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Im Sommer 1996 wurden die höchsten Niederschläge des Simulationszeitraums 1996-1998 mit 56 mm d-1 am 3.5.1996 und mit 41 mm d-1 am 14.8.1996 gemessen. An den Lysimetern 1-2 ist nach dem 3.5.1996 ein Ansteigen der gemessenen Perkolation bis 3.8 mm d-1 am 11.5.1996 zu erkennen (Abb. 1). Die Lysimeter 3-4 zeigen den höchsten Ausfluss von 18.5 mm d-1 schon am 4.5.1996 (Abb. 1).

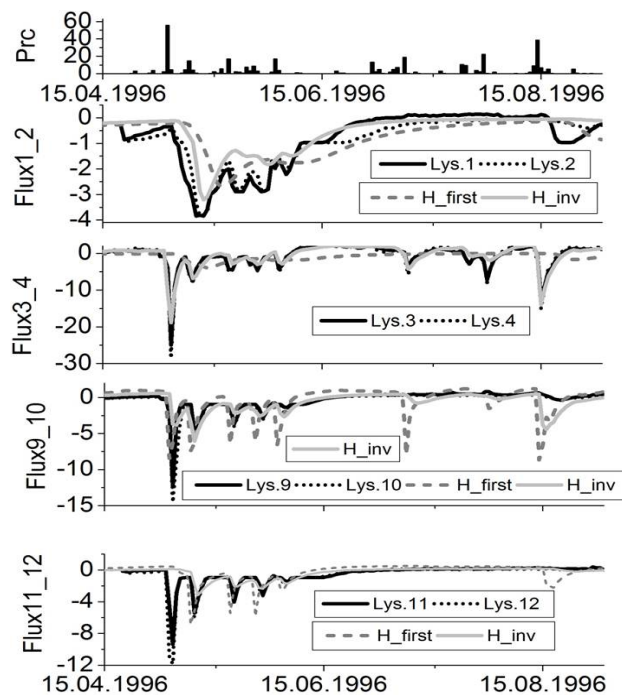


Abbildung 1: Tageswerte Niederschlag (Prc), gemessene Perkolation (Lys.1-4, Lys.9-12) aus den Lysimetern 1-2, 3-4, 9-10, 11-12 (Flux1\_2, Flux3\_4, Flux9\_10, Flux11\_12) in mm d<sup>-1</sup>, Simulation mit nichtoptimierten (H\_first) und mit optimierten Parametern (H\_inv) (aus [WG12b])

Die gesättigten Verhältnisse am unteren Rand in den Lysimetern 3-4 durch den konstanten Grundwasserstand in einer Tiefe von 135 cm führen zu höheren hydraulischen Leitfähigkeiten und höheren Perkulationsraten als in den Lysimetern 1-2 mit den ungesättigten Bedingungen durch den Grundwasserstand in 210 cm Tiefe. Die Modellrechnungen mit den nichtoptimierten Parametern zeigen für die Lysimeter 3-4 Abweichungen zwischen gemessenen und simulierten Perkulationsraten (Abb. 1). Im Gegensatz dazu weisen die Ergebnisse der Simulation mit den optimierten Parametern eine bessere Übereinstimmung zwischen gemessenen und simulierten Perkulationsraten auf. Im Gegensatz dazu zeigen für die Lysimeter 9-12 gemessene und simulierte Perkulationsraten aus den Modellrechnungen mit den nichtoptimierten und optimierten Parametern Abweichungen (Abb. 1). Die nach dem Niederschlagsereignis vom 3.5.1996

gemessenen Perkolationsraten bis zu 15 mm d-1 wurden auch mit optimierten Parametern nicht adäquat simuliert (Abb. 1). Zudem wurden für die Lysimeter 9-10 im August 1996 nach dem zweiten Niederschlagsereignis vom 14.8.1996 die Perkolationsraten im Vergleich zu den gemessenen Ausflüssen durch beide Modellvarianten deutlich überschätzt. Dies ist ein Hinweis auf präferentielle Fließbedingungen im Mai 1996 außerhalb des Gültigkeitsbereiches der Richardsgleichung und auf unstationären Fluss im homogenen porösen Medium im Gültigkeitsbereich der Richardsgleichung im August 1996 in den Lysimetern.

#### 4 Fazit und Ausblick

Sind die bodenphysikalischen Rahmenbedingungen für die Anwendung der Richardsgleichung nicht mehr gültig, führen auch Parameteroptimierungsverfahren zu keiner Verbesserung in der Simulationsergebnisse.

#### Literaturverzeichnis:

- [Di07] Diestel, H., Zenker, T., Schwartengraeber R., Schmidt M.: The lysimeter station at Berlin-Dahlem. in Kersebaum, K.C., Hecker, J.M., Mirschel, W., Wegehenkel, M., Eds., 2007. Modelling water and nutrient dynamics in soil crop systems. Springer, 259-267.
- [Do10] Doherty, J.: Windows BEOPEST-Manual, 2010, Watermark Numerical Computing
- [JK04] Jansson, P.E., Karlberg, L.: Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. : <ftp://www.lwr.kth.se/CoupModel/CoupModel.pdf>. Royal Institute of Technology, Dept of Civil and Environmental Engineering, Stockholm, 2004
- [Ke04] Kersebaum, K.-C.: Modelling nitrogen dynamics in soil-crop systems with HERMES. - Nutrient Cycling in Agroecosystems 77 (1), 2007, S.39-52.
- [Mu76] Mualem, Y.: A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resources Research 12(3), 1976, S.513-522.
- [Si08] Simunek, J., Sejna, M., Saito, H., Sakai, M., van Genuchten, M.: The Hydrus-1D-Software Package for simulating the one-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably saturated media Version 4.0. Department of environmental sciences, University of California Riverside, 2008, 281 S.
- [vG08] van Genuchten, M.: A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal 44, 1980, S.892-898.
- [We08] Wegehenkel, M., Zhang, Y., Zenker, Th., Diestel, H.: The use of lysimeter data for the test of two soil water balance models. A case study. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 171, 2008, S.762-776.
- [WG12a] Wegehenkel, M.; Gerke H.H.: Estimation of real evapotranspiration using weighing lysimeters limited by oasis effects, 2012a, submitted to Journal of Hydrology and Hydromechanics.
- [WG12b] Wegehenkel, M.; Gerke H.H.: Simulation of water movement in weighing lysimeters: Effects of water table and soil texture on simulated drainage and optimized hydraulic parameters, 2012b, in preparation.
- [Ze03] Zenker, T.: Verdunstungswiderstände und Gras-Referenzverdunstung. Lysimeteruntersuchungen zum Penman-Monteith-Ansatz im Berliner Raum. Ph.D. Dissertation. Technical University of Berlin, 2003, [http://edocs.tu-berlin.de/diss/2003/zenker\\_thomas.pdf](http://edocs.tu-berlin.de/diss/2003/zenker_thomas.pdf)