

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>

## SHYPFIT 2.0 – Software zur Anpassung hydraulischer Funktionen an Messdaten

Durner W. und A. Peters

### Zusammenfassung

SHYPFIT 2.0 ist ein Werkzeug zur Anpassung von hydraulischen Funktionen an Messdaten, in dem folgende Innovationen umgesetzt wurden: (1) Sichere Schätzung des globalen Optimums für hydraulische Funktionen ohne Angabe von Anfangsschätzwerten, (2) Elimination von systematischen Schätzfehlern nahe Sättigung, (3) Gewichtete simultane Schätzung der Retentions- und Leitfähigkeitsfunktion, (4) Auswahl aus einer Vielzahl von Retentions- und Leitfähigkeitsmodellen, darunter das Free-Form-Modell von Iden und Durner (2007). Das Programm wird ab 2010 über die Webseiten des Instituts für Geoökologie in Braunschweig frei downloadbar sein. Features des Programms sind ferner in der Auswertungssoftware des Labor-Verdunstungs-Systems HYPROP™ der Fa. UMS München implementiert.

### Schlüsselwörter

Hydraulische Funktionen,  
Retentionskurve  
Ungesättigte Leitfähigkeit  
Peters-Durner-Modell

---

Institut für Geoökologie,  
Technische Universität Braunschweig  
Langer Kamp 19c, 38106 Braunschweig  
[w.durner@tu-bs.de](mailto:w.durner@tu-bs.de)

### Einleitung

Zur Anpassung von hydraulischen Funktionen an Messdaten existieren eine Reihe von frei verfügbaren Softwareprodukten. Aufgrund von kürzlich erfolgten Entwicklungen bei der Beschreibung und Bestimmung hydraulischer Eigenschaften wurde das in die Jahre gekommene Tool SHYPFIT (Soil Hydraulic Properties Fitting, Durner, 1994b) zur Funktionsanpassung durch SHYPFIT 2.0 ersetzt, das auf den neuesten Stand der Optimierungstechnik und der Funktionsdarstellung ist.

Die Software zur Anpassung von hydraulischen Funktionen an Messdaten beinhaltet eine Reihe von Programmeigenschaften, die für eine bestmögliche Anpassung von Belang sind. Die Software soll ab 2010 für interessierte wissenschaftliche Anwender frei verfügbar gemacht werden. Ziel dieses Beitrags ist die Darstellung der Innovationen des neuen Software-Tools SHYPFIT 2.0.

### Features

- Die Retentionsfunktion kann aus einer Palette von parametrischen Modellen gewählt werden, die sich von einer Reihe klassischer unimodaler Modelle bis hin zu bimodalen Modelle erstreckt (Tab. 1).
- Systematische Fehler der Parameterschätzung, welche aus Nichtlinearitäten des vertikalen Wassergehaltsprofils in gemessenen Bodensäulen resultieren, werden durch Verwendung einer integrierten Wassergehaltsberechnung in der Objektfunktion eliminiert (Abb. 1).
- Als Modell für die hydraulische Leitfähigkeitsfunktion können neben den klassischen Porenbündelmodellen von Burdine oder Mualem alternativ auch verbesserte Kapillar-Filmflussmodelle gewählt werden (Abb 2).
- Die Form der Leitfähigkeitsfunktion kann aus der Retentionsfunktion vorhergesagt und bei Vorliegen von Daten simultan angepasst werden. Dabei wird für die multikriterielle Schätzung ein innovativer balancierter Gewichtungsansatz verwendet (Abb. 3).

1. the unimodal constrained model of [van Genuchten, 1980] (CODE 10, 30, 40),

$$S_e(h) = \left[ \frac{1}{1 + (\alpha|h|^n)} \right]^{1 - \frac{1}{n}},$$

2. the bimodal constrained model of [Durner, 1994] (CODE 11, 31, 41),

$$S_e(h) = \sum_{i=1}^2 w_i \left[ \frac{1}{1 + (\alpha_i|h|^{n_i})} \right]^{1 - \frac{1}{n_i}}$$

3. the unimodal unconstrained model of [van Genuchten, 1980] (CODE 50, 60, 70),

$$S_e(h) = \left[ \frac{1}{1 + (\alpha|h|^n)} \right]^m,$$

4. The model of [Brooks and Corey, 1964] (CODE 20),

$$S_e(h) = \begin{cases} (\alpha|h|)^{-\lambda} & \text{for } (\alpha|h|) > 1 \\ 1 & \text{for } (\alpha|h|) \leq 1 \end{cases},$$

5. the model of [Ross and Smettem, 1993] (CODE 80, 81, 82),

$$S_e(h) = (1 - w_2) \frac{1 + \alpha_1|h|}{e^{-\alpha_1|h|}} + w_2 \left[ \frac{1}{1 + (\alpha_2|h|^n)} \right]^{1 - \frac{1}{n}}$$

6. the model of Fayer and Simmons (1996), (CODE 110, 111, 112),

$$\theta(h) = \theta_r(h) + [\theta_s - \theta_r(h)] \left[ \frac{1}{1 + (\alpha|h|^n)} \right]^{1 - \frac{1}{n}},$$

with

$$\theta_r(h) = \theta_a \left( 1 - \frac{pF}{6.9} \right)$$

Tab. 1: In SHYFIT 2.0 verwendete Retentionsfunktionen.

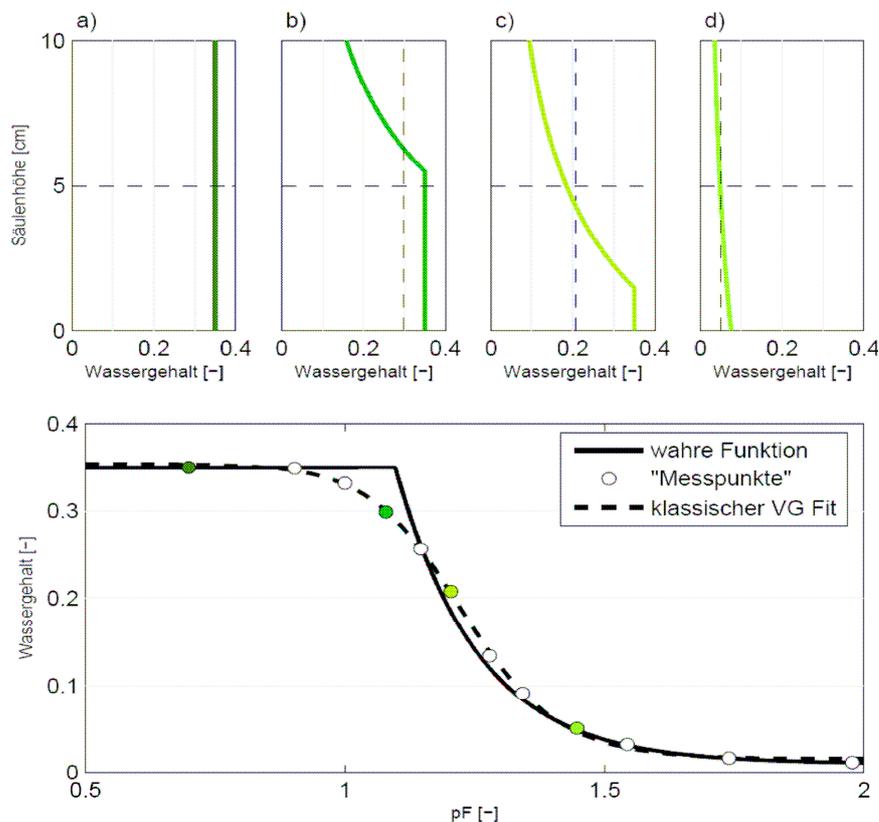


Abb. 1: Vermeidung von Artefakten der Funktionsanpassung bei hohen Bodensäulen und grobkörnigem Material durch die Verwendung des „Integralen Fits“ nach Peters und Durner (2006).

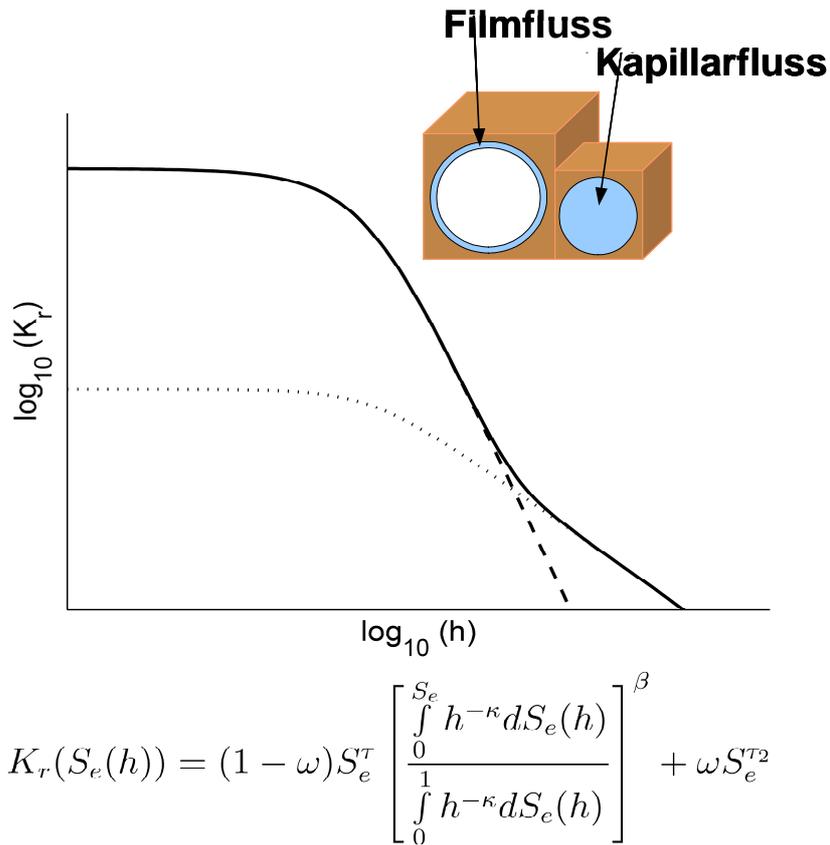


Abb. 2: Mualem-Peters-Durner-Modell (Peters und Durner, 2008a) zur Beschreibung der ungesättigten Leitfähigkeitsfunktion unter Berücksichtigung von Wasserfluss an Mineralkornoberflächen.

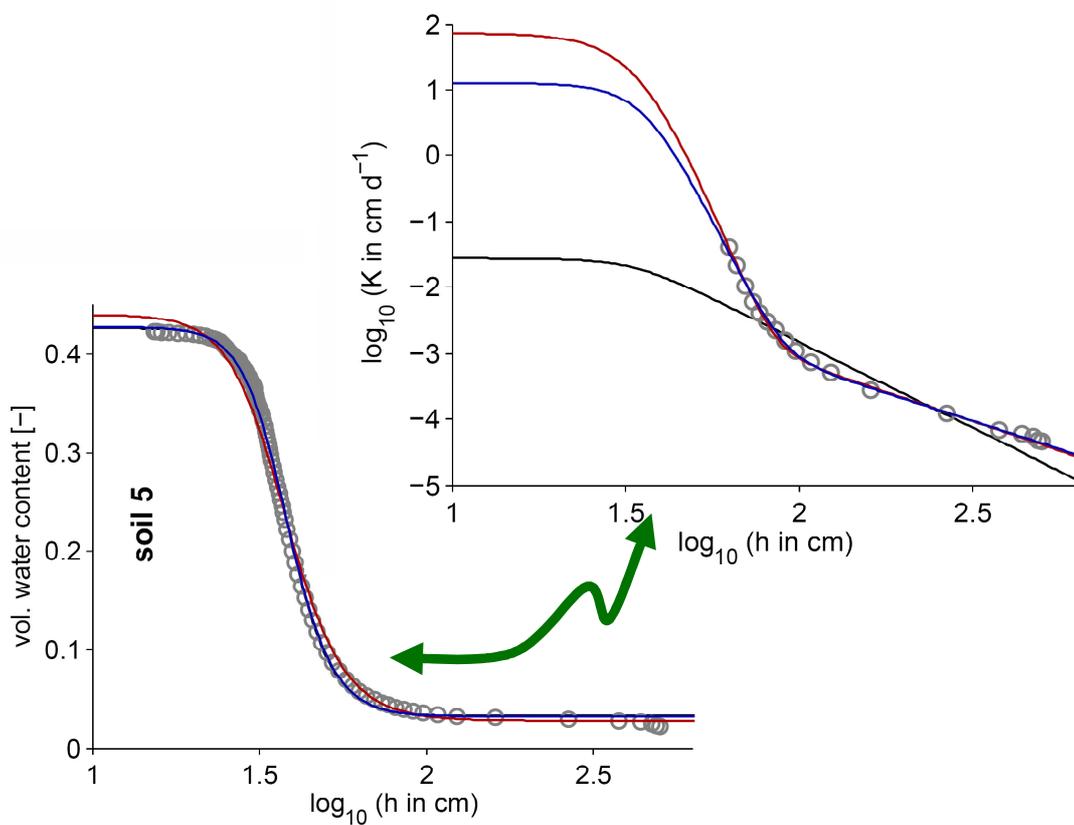


Abb. 3: Simultaner Fit von Retentionskurve und gekoppelter Leitfähigkeitsfunktion, hier nach dem Mualem-Peters-Durner-Modell (Peters und Durner, 2008b).

Die Parameterschätzung erfolgt äußerst robust. Zunächst führt ein globaler Optimierer (SCE-UA, Duan et al., 1992) zu einer zuverlässigen Konvergenz in die Nähe des globalen Minimums, was die Angabe von Anfangswerten für die Schätzung überflüssig macht. Ein nachgeschalteter Levenberg-Marquardt-Algorithmus (Marquardt, 1963) führt zur finalen Konvergenz.

Der Algorithmus wurde ferner im System HYPROP™ der Fa. UMS München (<http://www.ums-muc.de/produkte/bodenlabor/hyprop.html>) zur Auswertung von Verdunstungsversuchen nach Schindler (1980) implementiert (Peters und Durner, 2008a).

## Fazit

SHYPFIT 2.0 ist ein Werkzeug zur Anpassung von hydraulischen Funktionen an Messdaten, in dem folgende Innovationen umgesetzt wurden:

- Sichere Schätzung des globalen Optimums für hydraulische Funktionen ohne Angabe von Anfangsschätzwerten
- Vermeidung von systematischen Parameter-Schätzfehlern nahe Sättigung
- Gewichtete Schätzung der Retentions- und Leitfähigkeitsfunktion

## Dank

Die Entwicklung der Leitfähigkeitsmodells nach Durner und Peters (2008b) wurde durch die DFG unter Zeichen DU 283/7-1 gefördert.

## Literatur

Brooks, R. H., and A. T. Corey (1964), Hydraulic properties of porous media, *Hydrol. Pap.*, 3, 1–27, Colorado State Univ., Fort Collins.

Duan Q., S. Sorooshian und V. Gupta (1992): Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. *Water Resour. Res.* 28, 1015-1031.

Durner, W. (1994a): Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure, *Water Resour. Res.*, 30, 211–223.

Durner W. (1994b) SHYPFIT Users Manual. Research Report 94.1, University of Bayreuth, Dept. of Hydrology, D-95540 Bayreuth, Germany, 25pp.

Fayer, M. J., and C. S. Simmons (1995), Modified soil-water retention functions for all matric suctions, *Water Resour. Res.*, 31, 1233–1238

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.

Marquardt, D. (1963), An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters, *SIAM J. Appl. Math.*, 11, 431–441.

Peters, A., und W. Durner (2006): Improved estimation of soil water retention characteristics from hydrostatic column experiments, *Water Resour. Res.*, 42, W11401.

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.

Ross, P. J., and K. R. J. Smettem (1993), Describing soil hydraulic properties with sums of simple functions, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57, 26–29.

Schindler, U. (1980), Ein Schnellverfahren zur Messung der Wasserleitfähigkeit im teilgesättigten Boden an Stechzylinderproben, *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.*, 24, 1–7.

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.