

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>

## Messung hydraulischer Kennfunktionen mit dem Verdunstungsverfahren – Neuerungen

Schindler, U.<sup>1</sup>, W. Durner<sup>2</sup>, G. von Unold<sup>3</sup>,  
L. Müller<sup>4</sup> und R. Wieland<sup>5</sup>

### 1. Ausgangssituation

Die Verdunstungsmethode nach Wind/Schindler (Schindler, 1980) ist ein einfaches und schnelles Verfahren, um die hydraulischen Funktionen an Bodenproben zu bestimmen. Die Anwendbarkeit des Verfahrens ist jedoch durch den begrenzten Messbereich der Tensiometer eingeschränkt (Tensionsbereich bis 60 kPa). Nachfolgend wird eine Neuerung vorgestellt, die den Messbereich durch Nutzung des Lufteintrittspunktes des keramischen Materials der Tensiometerkerzen erweitert. Dies ermöglicht die erweiterte Quantifizierung der hydraulischen Kennfunktionen bis zu Tensionen von etwa 600 kPa.

### 2. Material und Methoden

#### 2.1 Verdunstungsmethode

Eine wassergesättigte 250 cm<sup>3</sup>-Stechzylinderprobe (5 cm hoch, 8 cm Ø) wird auf einem Messkopf montiert. Durch vertikal angeordnete Tensiometer werden die Tensionen in zwei Tiefen kontinuierlich gemessen. Eine Waage unter dem Aufbau registriert die verdunstungsbedingte Massenabnahme der Probe. Die Zuordnung der mittleren Tension zum mittleren Wassergehalt ergibt Messwerte der Retentionsfunktion, die Zuordnung des Wasserflusses

durch die Messschicht zum hydraulischen Gradienten ergibt die hydraulische Leitfähigkeit (Schindler, 1980; Peters und Durner, 2008).

#### 2.2 Saugspannungsdynamik und Lufteintritt

Die Tensionsmessung bei Verdunstung zeigt drei Phasen (Abb. 1):

Erste Phase: repräsentative Wasserspannungen werden gemessen.

Zweite Phase: das Wasser in der Kerze beginnt zu kochen. Die gemessenen Tensionen verbleiben auf einem Plateau (Dampfdruck). Wasser tritt durch die Tensiometerkerze in den umgebenden Boden ein.

Dritte Phase: die Saugspannung im Boden steigt so stark an, dass die größten Poren der Kerze entwässert werden (Lufteintrittspunkt) und Luft in die Kerze eintritt. Der Unterdruck im Tensiometer kollabiert und geht gegen Null.

#### 2.3 Messbereichserweiterung

Der Lufteintritt in die Kerze wird als zusätzlicher Messpunkt der Tensionsmessung verwendet. Der Lufteintrittspunkt der Tensiometerkeramik ist dafür reproduzierbar und genau bestimmbar (Schindler et al, 2009). Der Tensionsverlauf zwischen dem Ende der ersten Phase und dem Lufteintritt wird mittels eines kubischen Splines interpoliert (Abb. 2).

#### 2.4 Lufteintritt durch die Tensiometerkeramik

Die Bestimmung des Lufteintrittspunktes der Tensiometerkeramik erfolgt nach Beendigung des Verdunstungsexperiments. Die Prozedur beginnt mit der Sättigung der Tensiometerkeramik, die analog zur Anfangspräparation der Tensiometer erfolgt. Dann wird die Tensiometerkerze in Wasser getaucht und ein positiver Druck im Tensiometerinneren erzeugt (Verbindung zu Kompressor oder Gasdruckleitung). Der Innendruck wird schrittweise erhöht, bis sich an der Oberfläche der Kerze Blasen bilden.

<sup>1</sup> Institut für Landschaftswasserhaushalt, <sup>4</sup> Institut für Bodenlandschaftsforschung, <sup>5</sup> Institut für Landschaftssystemanalyse im ZALF e.V. Müncheberg, <sup>2</sup> Institut für Geoökologie, TU Braunschweig, <sup>3</sup> UMS GmbH München

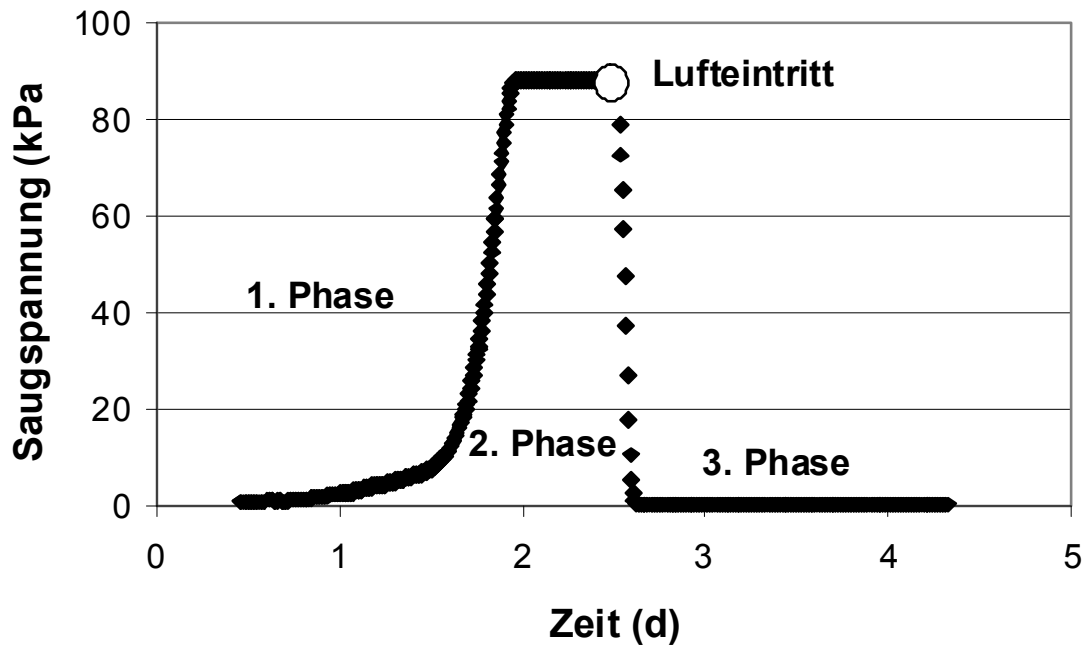


Abb. 1. Saugspannungsdynamik während der Austrocknung.

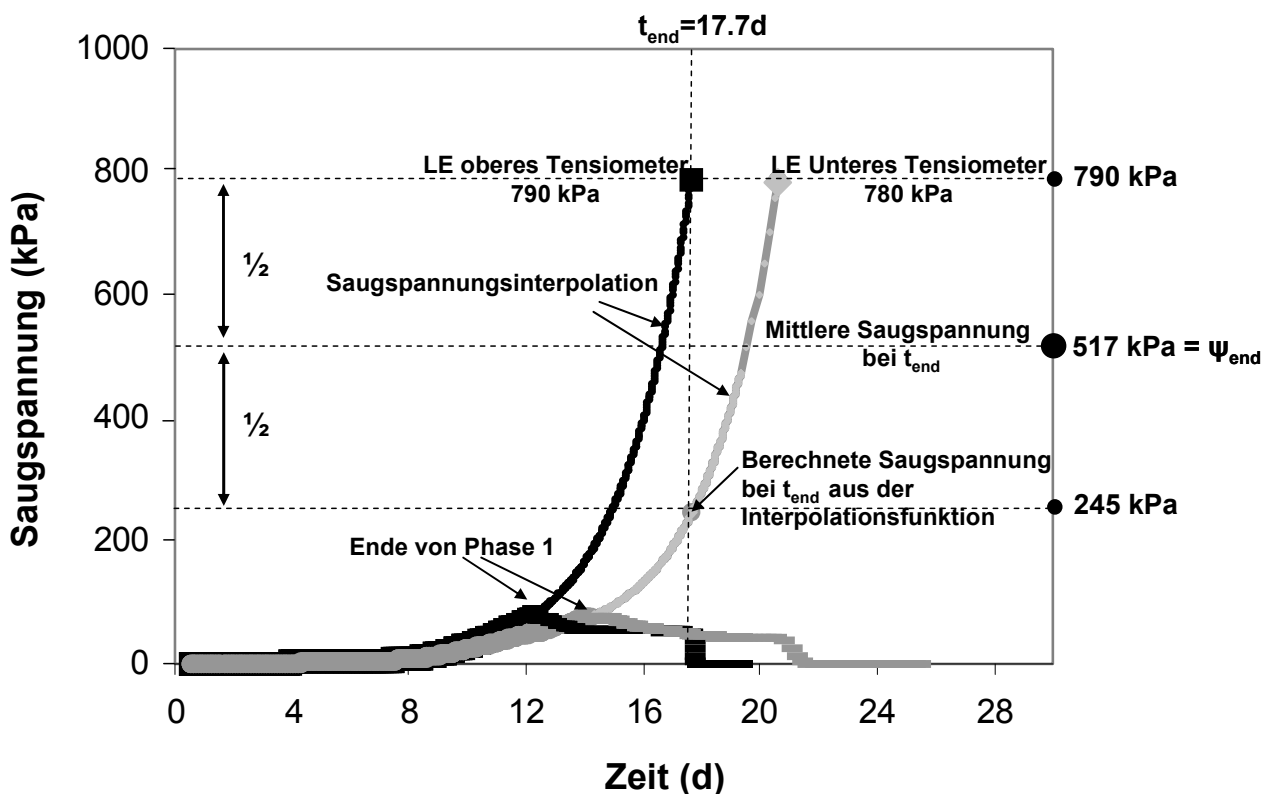


Abb. 2. Vorgehensweise bei der Erweiterung des Messbereiches.

### 3. Ergebnis

#### 3.1 Erweiterte hydraulische Funktionen

Abb. 3 zeigt Messergebnisse mit erweiterten hydraulischen Funktionen an zwei Beispielen. Die Interpolation zwischen

den Tensiometermessungen und dem Lufteintrittspunkt führt zu einer Erweiterung des Messbereichs bis nahe zum permanenten Welkepunkt. Die Bereichserweiterung hängt vom

Lufttrittspunkt des verwendeten keramischen Materials und dem Tensionsunterschied der beiden Messebenen am Ende des Experimentes ab. In unseren Experimenten verwendeten

wir Tensiometer mit einem Lufttrittspunkt zwischen 560 und 870 kPa.

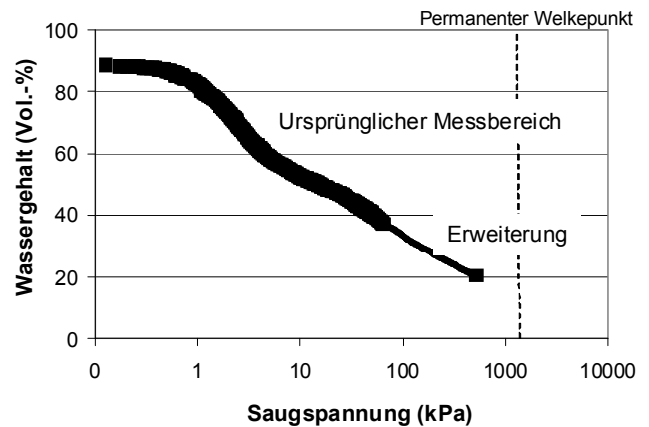
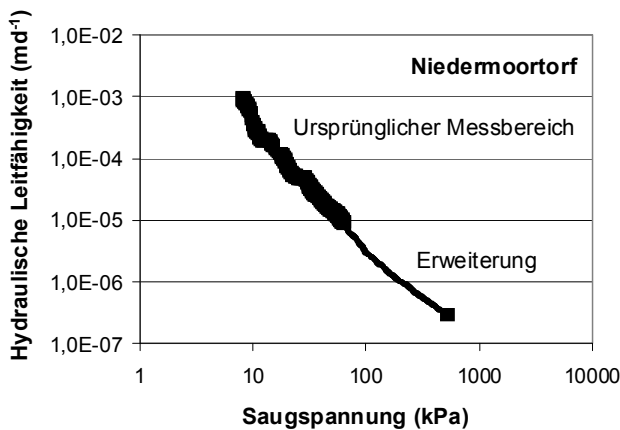
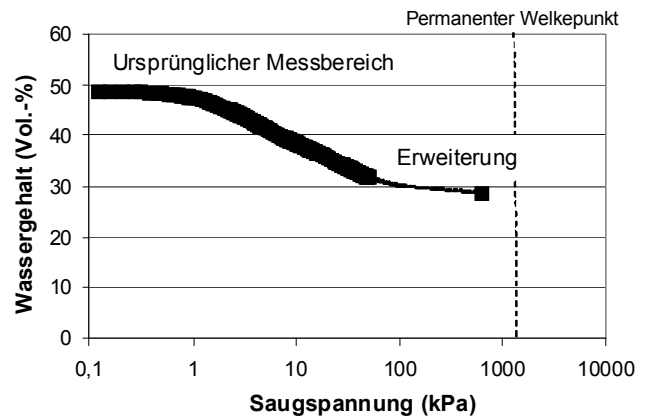
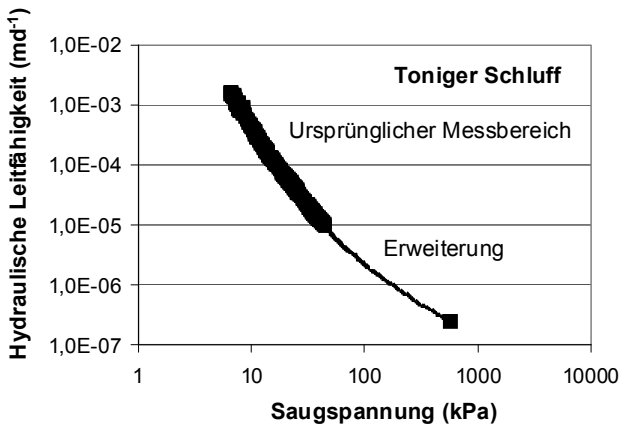


Abb. 3. Erweiterte hydraulische Funktionen.

### 3.2 Modellierung- Wirkung des Wasseraustritts

Während der Wasseraustrittsphase beeinflusst das austretende Wasser (max. 50 mm<sup>3</sup> bei HYPROP und 350-800 mm<sup>3</sup> bei horizontal eingebautem Tensiometer) die Bodenaustrocknung an der Tensiometerkerze.

Zur Beurteilung der daraus resultierenden systematischen Abweichung in der nachfolgenden Trocknung des Bodens um die Kerze wurden numerische Prozesssimulationen durchgeführt. Die Wasserdynamik wurde mit der Richardsgleichung abgebildet. Simuliert wurden Böden verschiedener Textur.

Das Bias in den Tensionswerten war für fein und mittel texturierte Böden bei Ver-

wendung des HYPROP-Aufbaus stets vernachlässigbar (Abb. 4). Bei größerem Wasseraustritt treten bei Schluff nur geringe, sonst größere Verzögerungen der nachfolgenden Austrocknung auf (Schindler et al., 2009).

### 4. Schlussfolgerungen

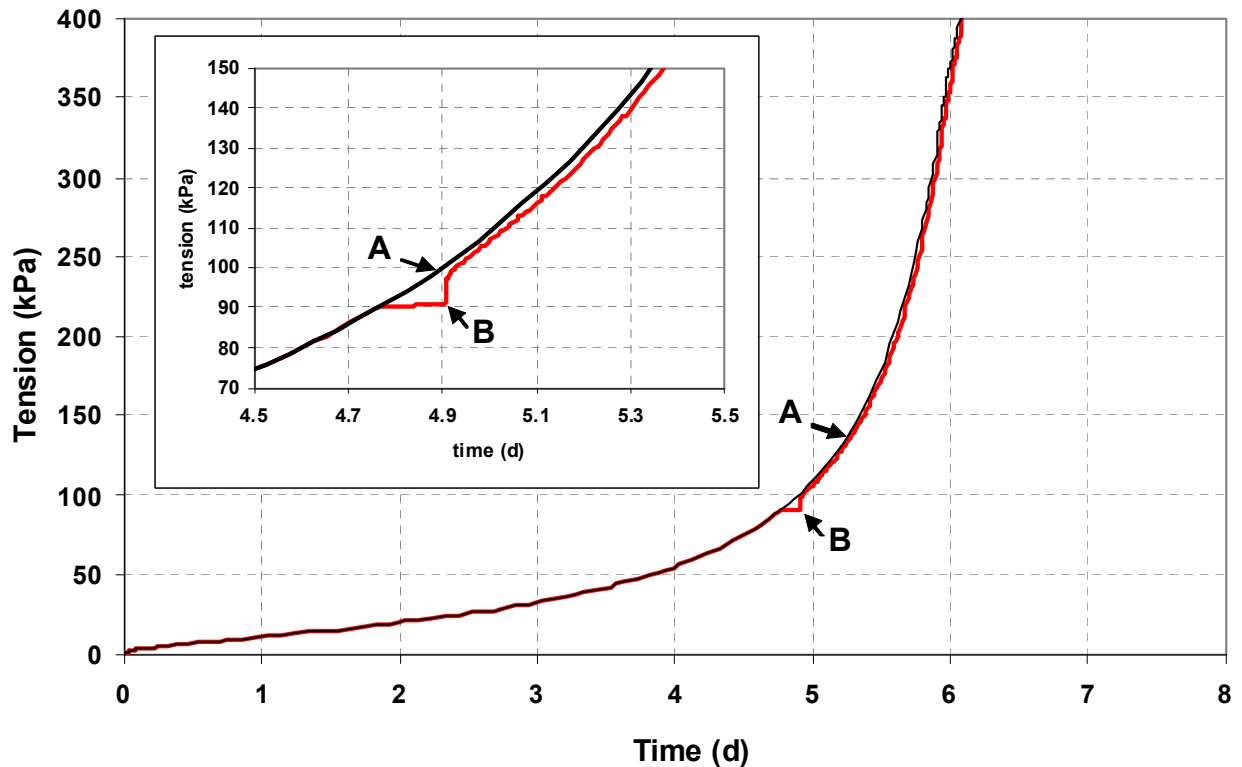
Die Nutzung des Lufttritts in die Tensiometerkerze als zusätzlichem Messpunkt in einem Verdunstungsexperiment erlaubt die Erweiterung des Messbereichs für hydraulische Funktionen zum trockenen Bereich hin.

Eine Prozesssimulation der Austrocknung der Tensiometer ergab eine systematische, in der Regel aber vernachlässigbar kleine Verschiebung der Austrocknungsdynamik

an der Kerzenoberfläche im Vergleich zum Fall ohne Wasseraustritt.

Die Minimierung der Wasseraustrittsmenge kann durch vertikal eingebaute Tensiometer erfolgen (HYPROP-Anlage). In grob-

körnigen Böden und bei horizontal eingebauten Tensiometern muss allerdings der Wasseraustritt als Verzögerungselement berücksichtigt werden.



**Abb. 4.** Einfluss des Wasseraustritts aus der Tensiometerkerze auf die Tensionen in der Bodenprobe. A: Tensionsverlauf ohne Wasseraustritt, B: Tension an Tensiometerkerze mit Wasseraustritt.

#### Literatur:

Peters A. und W. Durner (2008): Simplified evaporation method for determining soil hydraulic properties, *Journal of Hydrology* 356, 147– 162.

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

Schindler U., W. Durner, G. von Unold, L. Müller und R. Wieland (2009): The evaporation method - Extended measurement range for hydraulic properties using the air-entry pressure of the ceramic cup. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, under review.