

Neue Methode zur Quantifizierung bodenhydraulischer Kennfunktionen unter Berücksichtigung von Schrumpfung und Quellung

Schindler, U.¹, L. Müller¹ und J. Dörner²

1. Ausgangssituation

Bodenhydraulische Kennfunktionen- Wasserretentionskurve oder pF Kurve und ungesättigte hydraulische Leitfähigkeitsfunktion- werden als Eingangsparameter für Simulationsmodelle und verschiedene boden- und pflanzenphysiologische Studien benötigt. Gewöhnlich werden die Böden jedoch als starr und im Porensystem als stabil und unveränderlich angesehen. Für Ton- und Torfböden ist diese vereinfachte Annahme problematisch. Diese Böden schrumpfen und quellen bei Änderungen des Wassergehaltes, wodurch sich ihr Volumen, die Porengrößenzusammensetzung und die bodenhydrologischen Eigenschaften verändern können.

Volumenänderungen durch Quellung und Schrumpfung können mit verschiedenen Methoden gemessen werden. Direkte Messungen, die nach dem Archimedes-Prinzip arbeiten, wurden bereits von Lauritzen und Stewart (1941) angewendet. Neuere Techniken basieren auf optischen Methoden, Laserscannern, Triaxialgeräten u. a. mit deren Hilfe die geometrischen Veränderungen der Probe gemessen werden (Garnier et al., 1997, Sanders und Gerke, 2007, Gregory et al., 2010. Keine dieser Methoden erlaubt jedoch die simultane Messung der bodenhydraulischen Kennfunktionen unter Berücksichtigung von Schrumpfung.

Schlüsselworte: Erweitertes Verdunstungsverfahren (EEM), hydraulische

¹ Institut für Landschaftswasserhaushalt im ZALF e.V. Müncheberg, uschindler@zalf.de, ² Institute of Agricultural Engineering and Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, Centro de Investigación en Suelos Volcánicos, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

Kennfunktionen, HYPROP, Schrumpfung

2. Material und Methoden

2.1 Erweiterte Verdunstungsmethode (EEM)

Das erweiterte Verdunstungsverfahren (EEM) mit dem Messgerät HYPROP ermöglicht die simultane Messung der Wasserretentionskurve (pF) und der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeitsfunktion (K) im Bereich zwischen Sättigung und nahe dem permanenten Welkepunkt (Schindler et al., 2010a und 2010b). Die klassischen Verfahren, Sandbox, Sand-Kaolinbox und Drucktopf für die Messung der pF Kurve und die Multi-Step-Outflow-Methode für die Messung der K-Funktion können durch das HYPROP Gerät ersetzt werden. Die Bodenproben werden in Stahlzylindern bemessen. Quellung und Schrumpfung können so nicht berücksichtigt werden.

2.2 Voruntersuchungen

Die gesättigte Bodenprobe wurde für wenige Stunden an der Luft getrocknet, bis sie sich aus dem Zylinder drücken ließ. Danach wurde die Probe mit einer flexiblen, wasser- und luftundurchlässigen Gummimembran eingehüllt (Abb. 1) und erneut gesättigt. Das gelingt problemlos sowohl für Ton- als auch Torfproben. Als Gummimembran wurde ein abgeschnittener Laborgummihandschuh (Größe 9) verwendet.



Abb. 1: Tonprobe mit Gummimembran

Die Probe (Durchmesser 8 cm, Höhe 5 cm) wurde mit dem HYPROP Gerät verbunden und die Verdunstungsmessung wie bei Schindler et al., 2010a und 2010b be-

schrieben durchgeführt. Während und zum Ende der Messung wurde die Probe geometrisch vermessen. Als Ergebnis zeigte sich, dass die Proben wie ein Kegelstumpf schrumpften, d.h. die Abnahme des Probendurchmessers bei Schrumpfung erfolgte linear von der Probenbasis bis zur Probenoberfläche. Das ist in Abb. 2 für einige

Proben dokumentiert. Desweiteren wurde das Verhältnis aus horizontaler (hs) zu vertikaler Schrumpfung (vs) untersucht. Als Ergebnis der 25 in Abb. 3 dargestellten Proben konnte von einer isotropen Schrumpfung (hs/ds=1,6) ausgegangen werden.

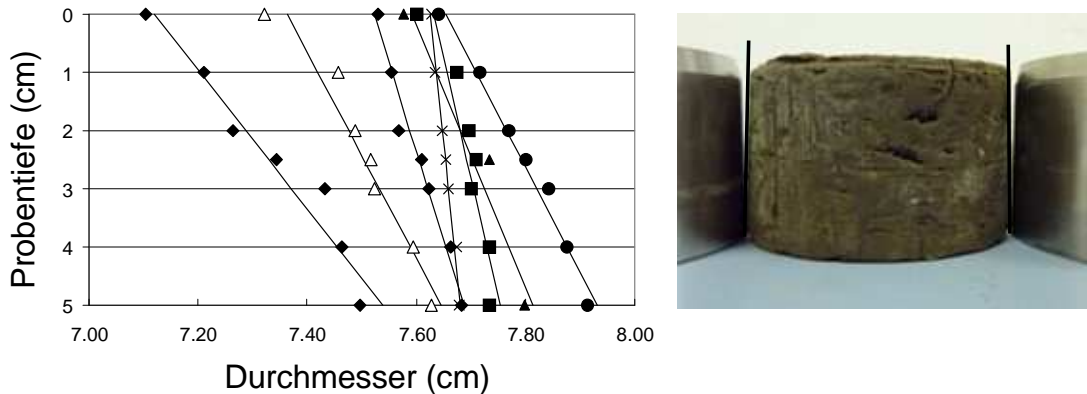


Abb. 2: Durchmesser geschrumpfter Bodenprobe vom Probenboden bis zur Oberfläche, r^2 0.82-0.99.

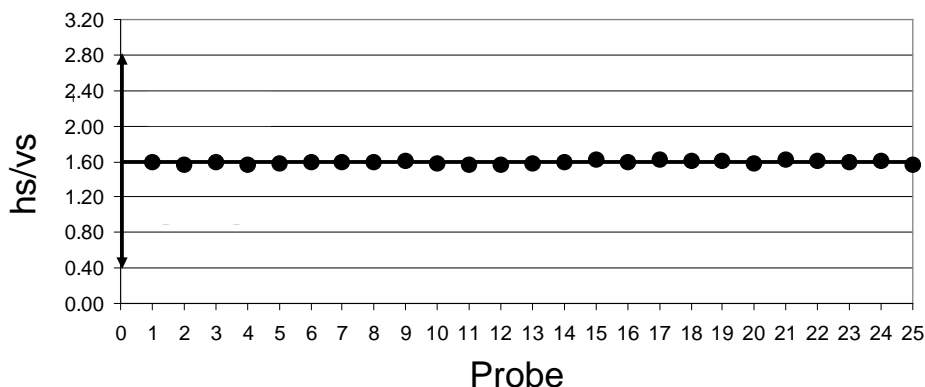


Abb. 3: Verhältnis aus horizontaler (hs) und vertikaler Schrumpfung (vs)

2.3 Messkonzept

Dadurch, dass die Schrumpfung von der Probenbasis bis zur Probenoberfläche linear erfolgt und isotrope Verhältnisse vorliegen, ist es ausreichend, die Änderung des Durchmessers oder des Probenumfangs in Probenmitte zu messen (Abb. 4). Der Probenumfang wurde mit einem Umfangsmessgerät (entwickelt und produziert von der UMS GmbH München) gemessen, das online mit dem HYPROP Gerät gekoppelt wurde. Neben dem Zeitverlauf der Probenmasse und der Saugspannungen am oberen und unteren Tensiometer wurde während des Verdunstungsvorganges zusätzlich die Änderung des Probenum-

fangs aufgezeichnet. Aus der Umfangsänderung wurde die Volumen- und Trockendichteänderung berechnet.

2.4 Berechnung hydraulischer Kennfunktionen

Die Messung des Probenumfangs erhöht die Sensitivität gegenüber dem Durchmesser um den Faktor π . Unter Zugrundelegung einer linearen Umfangsänderung über die Probenhöhe und isotroper Verhältnisse berechnet sich die Volumenänderung der Probe aus Gl. 1, 2 und 3.

mit

$$\Delta V_{s,i} = \frac{\pi}{4} d^2 h - \frac{\pi}{4} d_{s,i}^2 h_{s,i} \quad \text{mit} \quad (1)$$

$$d_{s,i} = \frac{c_{s,i}}{\pi} \quad \text{und} \quad (2)$$

$$h_{s,i} = d_{s,i} \frac{h_{s,i}}{d_{s,i}} \quad (3)$$

V_s ist das durch Schrumpfung veränderte Volumen zur Zeit t_i für $i=1 \dots n$, c_s , d_s , h_s sind der Umfang, der Durchmesser und die Probenhöhe zum Zeitpunkt t_i .

Für die Berechnung der Wasserretentions-

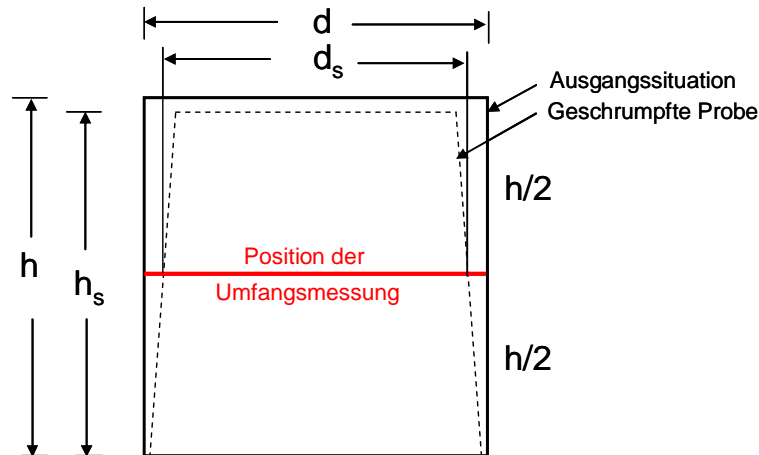


Abb. 4: Modellkonzept der Schrumpfungsmessung, h - Anfangshöhe, $h_{s,i}$ - Probenhöhe nach Schrumpfung, d - Umfang der Probe zu Beginn, $d_{s,i}$ - Umfang nach Schrumpfung

3 Ergebnis

Die Daten der HYPROP Messung-Saugspannung am oberen und unteren Tensiometer 1,2, die Interpolationsfunktion zwischen den Saugspannungsmesswerten und den Luftertrittspunkten der Tensiometerkeramik (A_e , 4,5) und die Probenmasse, 3- sind beispielhaft für eine Tonprobe aus dem Oderbruch in Abb. 5 dargestellt. Die zusätzliche Aufzeichnung der Probenum-

funktion wird das veränderte Volumen zu den jeweiligen Zeitpunkten berücksichtigt. Die hydraulische Leitfähigkeit wird unter Berücksichtigung des durch Schrumpfung veränderten Fluxfaktors (ist für nicht schrumpfende Böden 0,5; Schindler et al., 2010a und 2010b) kalkuliert.

fangsdynamik zeigt Abb. 6. Die Verdunstungsmessung für die Quantifizierung der hydraulischen Kennfunktionen wäre nach Erreichen des Luftertrittspunktes am unteren Tensiometer eigentlich beendet gewesen. Für die Quantifizierung des kompletten Schrumpfungsverlaufes wurden die Messungen der Umfangsänderung und Probenmasse fortgesetzt.

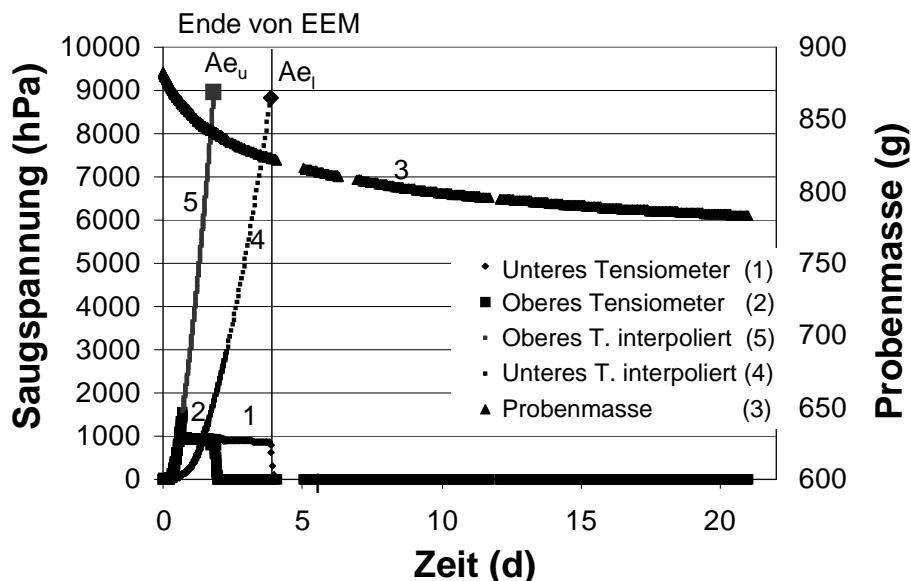


Abb. 5: Messdaten der Verdunstungsmessung, Tonprobe, Oderbruch

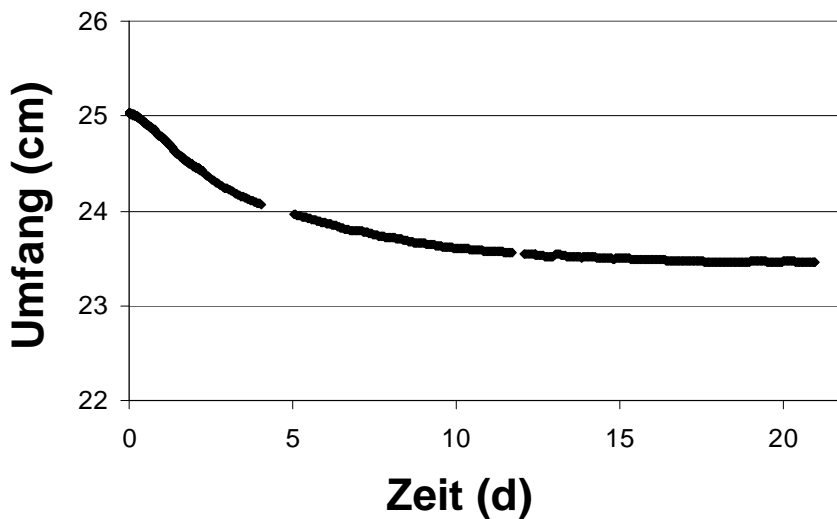


Abb. 6: Umfangsänderung, Tonprobe, Oderbuch

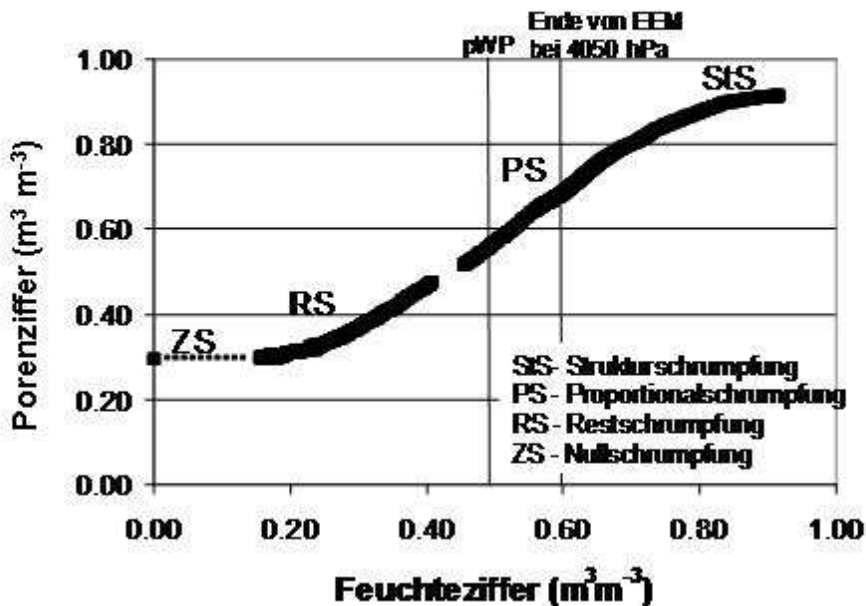


Abb. 7: Schumpungsverlauf, Ton, Oderbruch

Der Schumpungsverlauf, wie üblich dargestellt als Diagramm der Porenziffer gegen die Feuchtezahl zeigt Abb. 7.

Die einzelnen Schumpungsphasen sind deutlich zu erkennen:

StS- Strukturschumpfung – Die Änderung des Wassergehaltes erfolgt ohne merkliche Änderung des Bodenvolumens.

PS- Proportionalschumpfung – Die Wassergehalts- und Volumenänderung sind proportional zueinander.

RS- Restschumpfung - Aufgrund zunehmender Dichtlagerung des Bodens ist die

Volumenänderung gegenüber der Wassergehaltsänderung gemindert.

NS- Nullschumpfung – Die Bodenteilchen liegen so eng zusammen, dass trotz Wasserverlust keine weitere Schumpfung möglich ist.

Eine Ableitung der hydraulischen Kennfunktionen (pF und K) erlaubt diese Darstellung nicht. In Verbindung mit den Messungen (Saugspannung, Wassergehalt) aus dem HYPROP System ist jedoch wie in Abb. 8 dargestellt, eine Quantifizierung der pF - Kurve, der K -Funktion und der Trockenrohdichte unter Berücksichtigung der Schumpfung möglich.

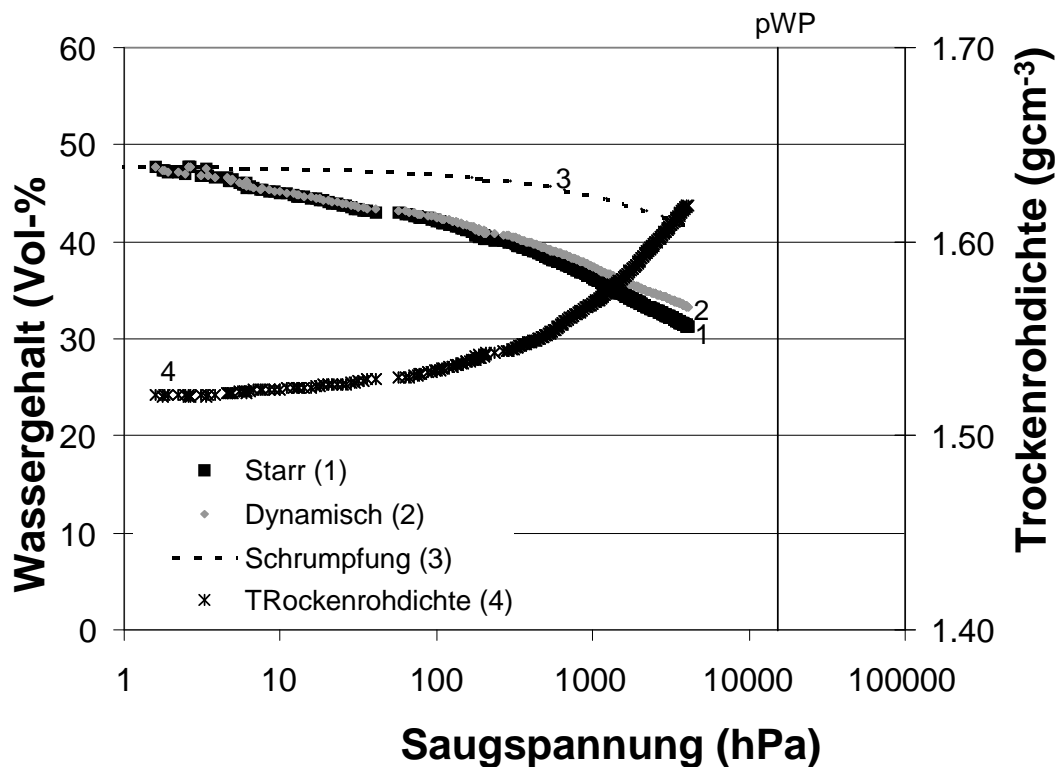


Abb. 8: Wasserretentionskurve und Trockenrohdichteverlauf unter Berücksichtigung von Schrumpfung

Linie 1 zeigt den Verlauf, wenn der Boden wie allgemein üblich als starr betrachtet wird. Linie 3 beschreibt die Volumenänderung im Verlauf der Schrumpfung. Mit Linie 2 wird die Wassergehaltsänderung charakterisiert, wie sie während des Schrumpfungsverlaufes in der Bodenmatrix erfolgt. Dieser Kurvenverlauf berücksichtigt die Änderung der Trockenrohdichte (Linie 4). Alle Kurvenverläufe lassen sich mit den gebräuchlichen Modellen (van Genuchten, Brooks-Corey, u.a.) parametrisieren. Im Fall der untersuchten Tonprobe betrug die Wassergehaltsdifferenz zwischen starr und dynamisch am Ende der Messung etwa 2 Vol.-%.

Die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit wurde hingegen durch Schrumpfung nur unwesentlich beeinträchtigt (Abb. 9).

4. Schlussfolgerungen

Das erweiterte Verdunstungsverfahren und das HYPROP Messsystem ermöglicht die simultane Messung der hydraulischen Kennfunktionen im Bereich zwischen Sättigung und nahe dem permanenten Welkepunkt in 4 bis 10 Tagen. Wenn die Umfangsänderung in Probenmitte während

der Verdunstung gemessen wird, können darüberhinaus die hydraulischen Kennfunktionen unter Berücksichtigung von Schrumpfung quantifiziert werden. Die Wasserretentionsfunktion wird je nach Boden unterschiedlich stark durch Schrumpfung beeinflusst. Für die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit der Bodenmatrix hat die Schrumpfung eine geringe Bedeutung. Wenn kein Umfangsmessgerät für eine kontinuierliche Datenaufzeichnung vorhanden ist, lassen sich die Messungen behelfsweise auch näherungsweise per Hand ausführen.

Literatur

- Garnier, P., Rieu, M., Boivin, P., Vauclin, M., Baveye, P. (1997): Determining the hydraulic properties of a swelling soil from a transient evaporation experiment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1555–1563..
- Gregory, A.S., Bird, N.R.A., Whalley, W.R., Matthews, G.P. (2010): Estimation relative hydraulic conductivity from the water release characteristic of a shrinking clay soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74(4): 1112–1118.
- Lauritzen C.W., Stewart, A.J. (1941): Soil-volume changes and accompanying

moisture and pore space relationships.
 Soil Sci.Soc. Am. Proc. 6:113-116.
 Sanders, T., Gerke. H.H. (2007): Noncontact shrinkage curve determination for soil clods and aggregates by three-dimensional optical scanning. Soil Sci. Soc. Am. J. 71. 1448–1454.
 Schindler, U., Durner, W. von Unold, G., Mueller, L. (2010a): Evaporation Method for Measuring Unsaturated Hydraulic

Properties of Soils: Extending the Range. Soil Sci. Soc. Am. J. 74 (4): 1071–1083.
 Schindler, U., Durner, W., von Unold, G., Mueller, L., Wieland R. (2010b): The evaporation method – Extending the measurement range of soil hydraulic properties using the air-entry pressure of the ceramic cup. J. Plant Nutrition Soil Sci. 173 (4): 563–572.

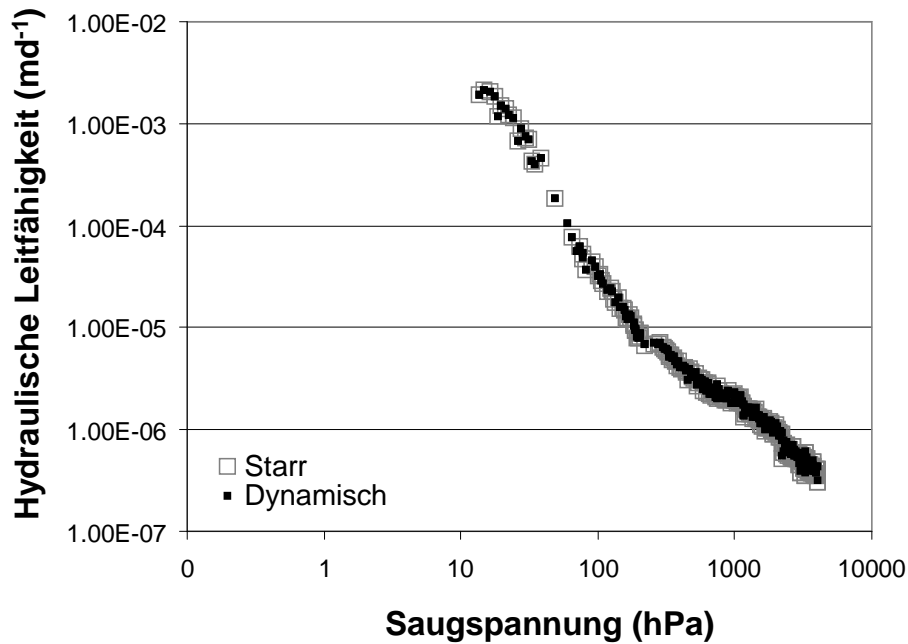


Abb. 9: Ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit bei starren und dynamischen Verhältnissen, Tonprobe, Oderbruch