

Wasserretentionseigenschaften von Böden über den gesamten Feuchtebereich - ein Methodenvergleich

Henrike Schelle^{1*}, Lisa Heise¹, Kristin Jänicke¹ und Wolfgang Durner¹

Zusammenfassung

Die genaue Charakterisierung der bodenhydraulischen Eigenschaften ist für eine Reihe von Fragestellungen z.B. in der Landwirtschaft und im Grundwassermanagement von großer Bedeutung. Für die Untersuchung der Retentionskurven von Böden im Labor werden verschiedene Methoden eingesetzt. Standardmethoden sind u.a. (i) die Saugplattenmethode und (ii) die vereinfachte Verdunstungsmethode (HYPROP®) für den feuchten bis mittleren Druckbereich, sowie (iii) die Drucktopfmethode und (iv) die Taupunktmethode (WP4C PotentiaMeter®) für den mittleren bis trockenen Bereich. Diese vier Methoden wurden untersucht und verglichen mit der Zielsetzung, ihre Kompatibilität zu überprüfen. Die Saugplatten- und die Verdunstungsmethode lieferten übereinstimmende Retentionsdaten im feuchten bis mittleren Bereich. Die Taupunktmethode lieferte dazu passende Ergebnisse im trockenen Bereich, während die Ergebnisse der Drucktopfmethode besonders für feinkörnige Böden von denen der anderen Methoden abwichen.

Schlagwörter: Verdunstungs-, Saugplatten-, Drucktopf-, Taupunktmethode, Hysterese

Summary

The exact characterization of the soil hydraulic properties is essential for various purposes, e.g. in agriculture and groundwater management. Various laboratory methods for the determination of the soil water retention characteristics are frequently applied. Standard methods comprise (i) the suction plate method and (ii) the simplified evaporation method (HYPROP®) for moist to moderate pressure head ranges, and (iii) the pressure plate and (iv) the dew point method (WP4C PotentiaMeter®) for moderate to dry pressure head ranges. These four methods were evaluated and compared with the goal to prove their compatibility. The suction plate method and the evaporation method yielded agreeing retention data in the moist to moderate pressure head range. The dew point method yielded matching results in the dry range, while retention data obtained from the pressure plate method differed from those obtained with the other methods, particularly for fine textured soils.

Keywords: Evaporation, suction plate, pressure plate, dew point method, hysteresis

Einleitung

Es gibt kein Messgerät, mit dem die Retentionskurve über den gesamten Feuchtebereich bestimmt werden kann. Daher ist die Kombination verschiedener Methoden notwendig und sinnvoll (SCHELLE et al. 2011). In der wissenschaftlichen Literatur gibt es immer wieder Hinweise, dass unterschiedliche Methoden zur Untersuchung der Retentionskurve verschiedene Ergebnisse liefern (e.g. BITTELLI und FLURY 2009). Die Kenntnis der korrekten Retentionskurve eines Bodens ist jedoch in mehrfacher Hinsicht von Bedeutung. Die Retentionskurve dient zur Ableitung des pflanzenverfügbaren Wassers im Boden. Außerdem wird üblicherweise die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit durch Kapillarbündelmodelle von der Retentionskurve abgeleitet, wobei schon kleine Änderungen der Retentionskurve zu großen Änderungen in der Leitfähigkeitsfunktion führen können (DURNER 1994). Dies hat einen enormen Einfluss bei der Modellierung des ungesättigten Wasserflusses.

Ziel dieser Arbeit war es, die Zuverlässigkeit und die Kompatibilität von vier Labormethoden zur Bestimmung der Retentionskurve zu untersuchen, und zwar (i) die vereinfachte Verdunstungsmethode (HYPROP®) und (ii)

die Saugplattenmethode, die den mittleren bis trockenen Feuchtebereich abdecken, und (iii) die Drucktopfmethode und (iv) die Taupunktmethode (WP4C PotentiaMeter®) für den feuchten bis mittleren Bereich. Dafür wurden ungestörte (i und ii) und gestörte (iii und iv) Bodenproben über einen weiten Texturbereich untersucht (Sand, Schluff, Lehm und Ton). Zusätzlich wurde mit dem WP4C PotentiaMeter® untersucht, ob im trockenen Bereich Hysterese eine Rolle spielt.

Material und Methoden

Sechs Böden unterschiedlicher Textur wurden verwendet, um die Übereinstimmung der vier Methoden zu überprüfen. Bodenproben der Texturen reiner Sand (Ss), sandig lehmiger Schluff (Uls), toniger Lehm (Lt) und lehmiger Ton (Tl) stammen von Standorten bei Pfeffenhausen und Kaufering in Bayern. Ein weiterer reiner Sand (Ss) und ein sandig lehmiger Schluff (Uls) stammen aus der Region Braunschweig-Wolfenbüttel in Niedersachsen. Im Folgenden werden diese nur mit der jeweiligen Hauptbodenart (S, S2, U, U2, L und T) bezeichnet, wobei der Index 2 jeweils für den Boden aus Niedersachsen verwendet wird. Die vier angewendeten

¹ Abt. Bodenphysik, Institut für Geoökologie, TU Braunschweig, Langer Kamp 19c, D-38106 BRAUNSCHWEIG

* Ansprechpartner: Dipl.-Geoökol. Henrike Schelle, h.schelle@tu-bs.de



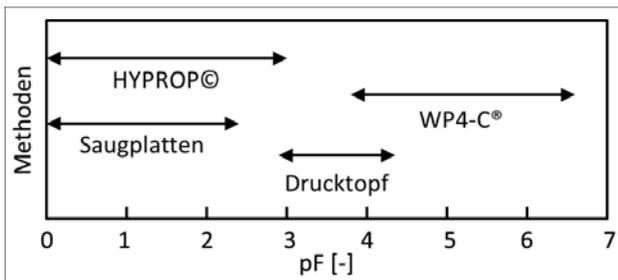


Abbildung 1: Methoden zur Bestimmung der Wasserretentionscharakteristik im Labor und ihre Messbereiche

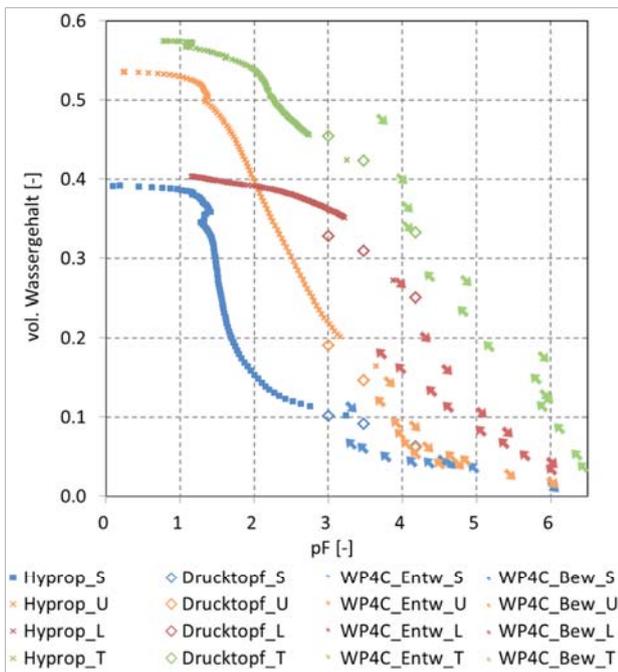


Abbildung 2: Mit der Verdunstungsmethode (Hyprop), dem Drucktopf (Entwässerung) und dem WP4C (Be- (Bew) und Entwässerungskurve (Entw)) gemessene Retentionsdaten für Sand (S), Ton (T), Schluff (U) und Lehm (L)

Methoden sowie ihre Messbereiche sind in *Abbildung 1* dargestellt. Für die Verdunstungsmethode und die Saugplattenmethode wurden ungestörte Proben verwendet, die vor Beginn der Messung von unten aufgesättigt wurden. Für die Drucktopf- und die Taupunktmethode wurden gestörte Proben verwendet, da im Messbereich dieser Methoden die Bodenstruktur keine Rolle spielt.

Verdunstungsmethode (HYPROP©)

Für die Durchführung der vereinfachten Verdunstungsmethode nach SCHINDLER (1980) wurde das kommerzielle Messgerät HYPROP© der Firma UMS GmbH München verwendet. Die aufgesättigten ungestörten Bodenproben (250 cm³, 5 cm hoch) werden der freien Laborverdunstung ausgesetzt. Dabei wird die Wasserspannung in 1,25 und 3,75 cm Tiefe kontinuierlich gemessen und die Proben regelmäßig gewogen (min. einmal pro Tag). Unter Berücksichtigung bestimmter räumlicher und zeitlicher Linearisierungsannahmen (PETERS und DURNER 2008) werden

mit der HYPROP©-Software aus den Messdaten diskrete Datenpunkte für die Retentions- und die ungesättigte Leitfähigkeitsfunktion berechnet. Der Absolutwassergehalt während der Hyprop-Messung wird über die Trockenmasse des Bodens und die Kenntnis des Gewichts aller im Aufbau verwendeten Teile bestimmt.

Saugplattenmethode

Bei der Saugplattenmethode stehen die ungestörten Bodenproben auf einer keramischen Platte, die wasserundurchlässig und luftundurchlässig ist. Über die Wasserphase wird an die Proben durch hängende Wassersäulen ein definierter Unterdruck angelegt.

Mit der Saugplattenmethode wurden nur die Böden S2 und U2 untersucht. Die 100 cm³ großen gesättigten Bodenproben, wurden auf Saugplatten mit Unterdrücken von 10, 30, 60 und 300 cm Wassersäule (WS) gestellt (je 4 Wiederholungen für jeden Boden). Die Proben wurden auf der Platte belassen und wöchentlich gewogen. Nachdem sich der Wassergehalt nach drei Wochen nicht mehr änderte, wurde angenommen, dass sich ein hydrostatisches Gleichgewicht eingestellt hatte. Anschließend wurden die Proben für 24 Stunden bei 105°C getrocknet und durch Rückwägung der volumetrische Wassergehalt bei den verschiedenen Unterdrücken berechnet.

Drucktopfmethode

Bei der Drucktopfmethode wird ein Überdruck an die Gasphase angelegt. Die Wasserphase in der Probe steht über eine feinporige Keramik in Kontakt zum atmosphärischen Umgebungsdruck und wird darüber entwässert. Gestörte Bodenproben wurden in 1 cm hohe Ringe gepackt, vollständig aufgesättigt und im Drucktopf entwässert. Drei Druckstufen (pF 3,0, 3,5 und 4,2), wurden mit je 5 Wiederholungen pro Boden gemessen. Die Entwässerungsdauer der Proben betrug 1-2 Tage für die Stufen pF 3,0 und 3,5 und 16 Tage für pF 4,2. Die Bestimmung des Wassergehalts erfolgte über Wägung, Trocknung bei 105°C für 24 Stunden und erneute Wägung.

Taupunktmethode (WP4C PotentiaMeter®)

Das Messprinzip der Taupunktmethode beruht auf der Gleichgewichtseinstellung des Wassergehalts der Bodenprobe mit dem Wasserdampfdruck in der Luft. In der Messkammer des WP4C PotentiaMeter® (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA 99163, USA) wird über einen gekühlten Spiegel die Taupunkttemperatur und durch einen Infrarotsensor die Proben temperatur gemessen. Über diese beiden Werte wird die relative Luftfeuchtigkeit und daraus über die Kelvingleichung das Gesamtpotential des Bodenwassers berechnet.

Mit dem WP4C PotentiaMeter® wurden Be- und Entwässerungszweige der Retentionskurve gemessen, um zu überprüfen, ob in diesem Bereich Hysterese auftritt. Für die Entwässerungsmessung wurden die gestörten Proben (ca. 2 mm hoch) vollständig aufgesättigt und so lange der Verdunstung ausgesetzt, bis der gewünschte Wassergehalt erreicht war. Dies wurde durch regelmäßige Wägung überprüft.

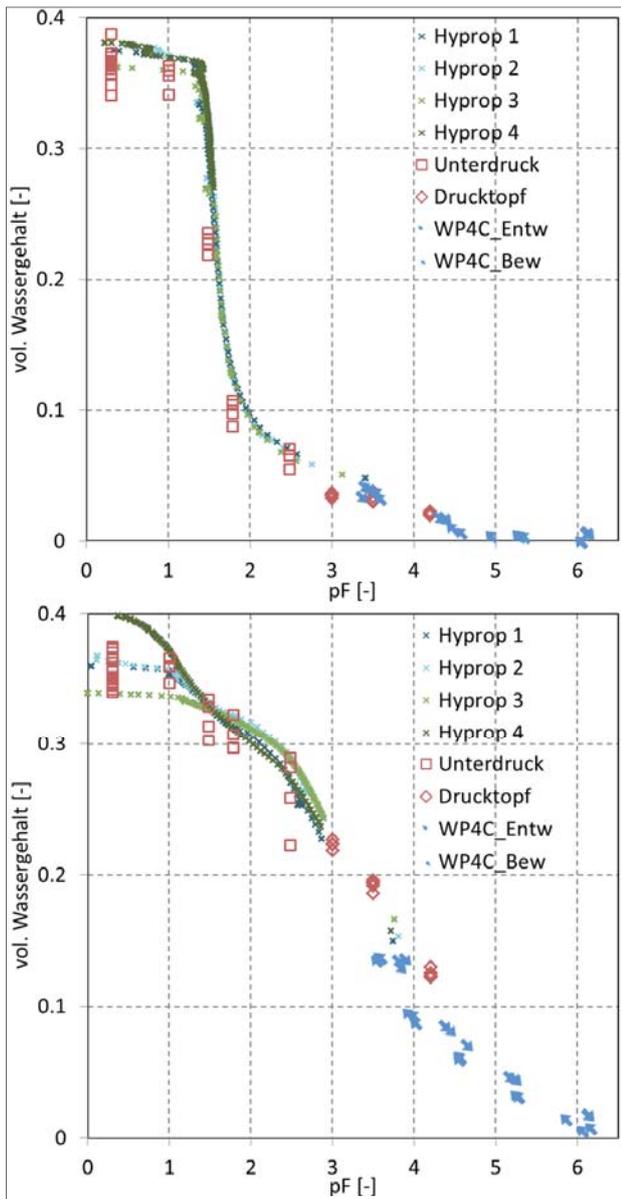


Abbildung 3: Mit der Verdunstungsmethode (Hyprop), der Saugplattenmethode, dem Drucktopf (Entwässerung) und dem WP4C (Be- (Bew) und Entwässerungskurve (Entw)) und gemessene Retentionsdaten für Sand (oben) und Schluff (unten)

Die Proben wurden verschlossen, um eine Gleichgewichtseinstellung der Wassergehaltsverteilung in der Probe zu erreichen. Um hierbei Verdunstung zu vermeiden, wurden die Probendöschen zusätzlich mit Klebeband verklebt, oder in ein fest verschlossenes Gefäß gelegt, in dem ein nasses Tuch für hohe Luftfeuchtigkeit sorgte. Anschließend wurde mit dem WP4C das Bodenwasserpotential und über Wägung der Wassergehalt bestimmt. Bei der Bewässerungsmessung wurde zu den ofentrockenen Bodenproben die gewünschte Wassermenge hinzugegeben, eine Gleichgewichtseinstellung abgewartet und anschließend das Potential und der Wassergehalt bestimmt. Es wurden jeweils 4-5 Feuchtestufen z.T. in mehreren Wiederholungen gemessen.

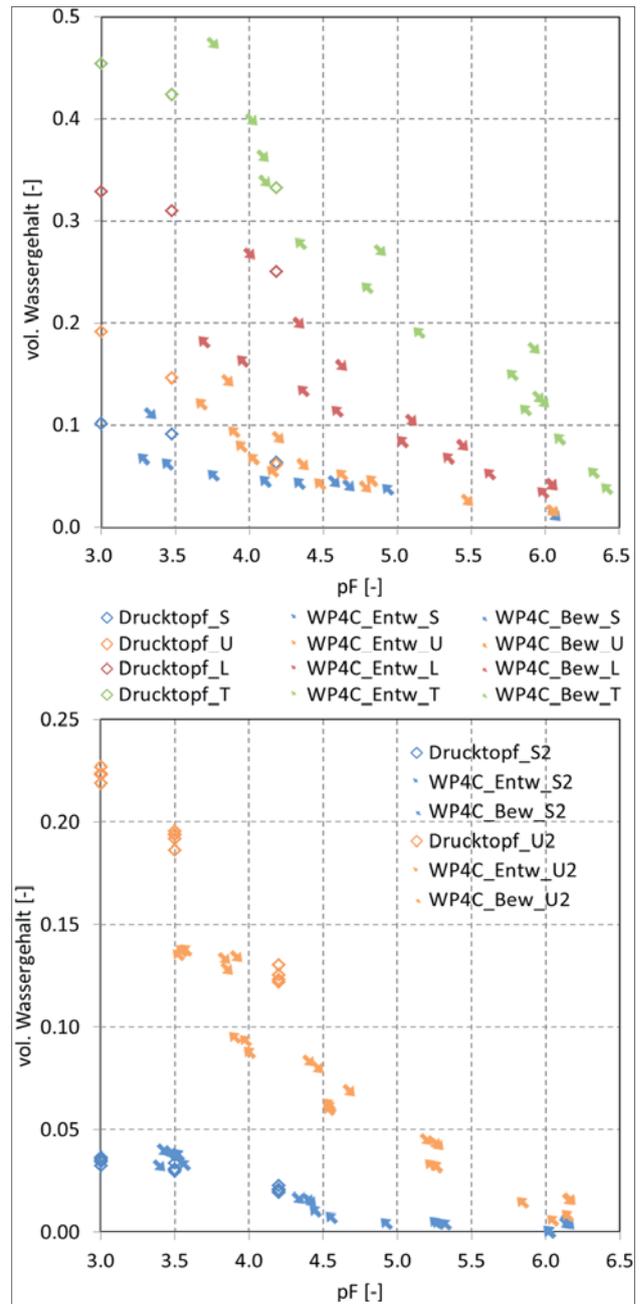


Abbildung 4: Mit dem Drucktopf (Entwässerung) und dem WP4C (Be- und Entwässerung) bestimmte Retentionsdaten im mittleren bis trockenen Bereich für alle sechs Böden

Ergebnisse

Durch die Kombination der vier angewendeten Methoden konnten Retentionsdaten im gesamten Feuchtebereich von Sättigung bis Lufttrockenheit gemessen werden. Die mit den verschiedenen Methoden bestimmten Retentionsdaten sind in *Abbildung 2 - 4* dargestellt. *Abbildung 2* zeigt die Ergebnisse für die Bodenproben aus Bayern mit den vier Texturen S, U, L und T. Die mit der Verdunstungsmethode bestimmten Daten decken den feuchten Bereich bis ca. pF 3 ab und werden im Trockenem sehr gut durch die Daten der WP4C-Messungen ergänzt. Die Daten der Drucktopf-methode passen häufig nicht so gut zu den anderen Daten.

Die zwei Bodenarten aus Niedersachsen (S2 und U2) wurden zusätzlich mit der Saugplattenmethode untersucht; die Verdunstungsmethode wurde in vierfacher Wiederholung durchgeführt. *Abbildung 3* zeigt die Ergebnisse für den Sand (oben) und den Schluff (unten). Hier passen die Daten aller Methoden ziemlich gut zusammen. Während die Daten der Saugplattenmethode stark streuen, liegen die vier Wiederholungen der Verdunstungsmethode sehr genau übereinander. Jedoch zeigen die vier Wiederholungen für den Schluff eine klare Auffächerung nahe Sättigung. Diese ist sehr natürlich, da es sich um ungestörte Bodenproben eines strukturierten Feinbodens handelt, in dem ein sehr heterogenes Grobporensystem vorhanden sein kann. Unterschiede zwischen den Methoden sind erst bei genauer Inspektion erkennbar. Beim Sand (*Abbildung 3*, oben) liegen die Datenpunkte aus der Verdunstungsmethode im Bereich zwischen pF 2,0 und 3,5 über denen der Saugplatten- und der Drucktopfmethode. Dieser Unterschied ist auch bei dem Sand in *Abbildung 2* zu erkennen und könnte durch einen Fehler, der durch die Linearisierungsannahmen bei der Auswertung der Verdunstungsmethode gemacht wird, begründet sein.

In *Abbildung 4* wird in den trockenen Bereich der Retentionskurven gezoomt. Hier sind die Retentionsdaten der Ent- und Bewässerungskurve, die mit dem WP4C bestimmt wurden, sowie die Daten aus der Drucktopfmethode (Entwässerung) dargestellt. Die im Drucktopf gemessenen Wassergehalte sind häufig höher als die mit der Taupunkt-methode bestimmten. Dies wird besonders deutlich für den Sand S (*Abbildung 4*, oben) und den Schluff U2 (*Abbildung 4*, unten) und weist darauf hin, dass sich im Drucktopf wahrscheinlich noch kein Gleichgewicht eingestellt hatte.

Die mit der Taupunkt-methode durch Ent- und Bewässerung bestimmten Daten zeigen für den Lehm eine sehr deutliche Hysterese. Aber auch für den Ton und beide Schluffböden ist Hysterese zu erkennen. Nur bei den Sandböden tritt keine Hysterese auf, was vermutlich auf die niedrige Wasserkapazität der Sande in diesem pF -Bereich zurückzuführen ist.

Diskussion

Die Saugplatten- und die Verdunstungsmethode lieferten übereinstimmende Retentionsdaten im feuchten bis mittleren Bereich. Die Taupunkt-methode lieferte dazu passende Ergebnisse im trockenen Bereich, während die Ergebnisse der Drucktopfmethode besonders für feinkörnige Böden von denen der anderen Methoden abwichen. Die Kombination der Verdunstungsmethode für den feuchten und mittleren Bereich mit der Taupunkt-methode im trockenen Bereich erlaubt eine fast lückenlose Erfassung der gesamten Retentionskurve bei moderatem Zeitaufwand. Die alternativen Gleichgewichts-Methoden sind in der Regel zeitaufwendiger, erfordern eine Abschätzung der Dauer

der Gleichgewichtseinstellung, die insbesondere für höhere Tensionen kaum seriös getroffen werden kann, und setzen einen guten Kontakt zwischen Probe und den keramischen Platten voraus, der vor allem bei der Drucktopfmethode kaum kontrollierbar ist. Die Saugplattenmethode liefert keine Zusatzinformation zur Verdunstungsmethode, und die Retentionsdaten weisen eine größere Streuung auf, daher kann auf diese Methode verzichtet werden.

Insbesondere die Drucktopfmethode scheint nicht sehr geeignet zu sein, da aufgrund der geringen Leitfähigkeit des Bodens bei hohen Drücken kein Gleichgewicht erreicht wird, wie GEE et al. (2002) durch numerische Experimente zeigten. Dies bestätigen auch die in dieser Arbeit vorgenommenen Messungen, bei denen bei einem Druck von 15 000 hPa auch nach zwei bis drei Wochen noch Wasser aus dem Drucktopf austrat, sich also noch kein Gleichgewicht eingestellt hatte. Das WP4C PotentiaMeter® misst mit einer Genauigkeit von mindestens 1% zwischen pF 4.3 und pF 6.5 und stellt damit ein optimales Messinstrument für das Wasserpotential in diesem Bereich dar. Im feuchteren Bereich wird die Genauigkeit geringer, sie beträgt 0.05 MPa (= 500 hPa) was bei pF 4.0 einer Genauigkeit von 5% entspricht.

Danksagung

Vielen Dank an die UMS GmbH, München und die Lysimeter Research Group für die Verleihung des Stenitzer Preises 2010 für den Antrag für dieses Projekt. Durch diesen Preis wurde die Anschaffung eines WP4C PotentiaMeters® und zweier HYPROP© Köpfe und somit die Durchführung dieses Projektes ermöglicht. Ein weiterer Dank geht an UMS, wo im Rahmen eines Praktikums Teile der Versuche durchgeführt wurden.

Literatur

- BITTELLI, M. and M. FLURY, 2009: Errors in water retention curves determined with pressure plates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:1453-1460, doi:10.2136/sssaj2008.0082.
- DURNER, W., 1994: Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. *Water Resour. Res.* 30:211-223.
- GEE, G.W., A.L. WARD, Z.F. ZHANG, G.S. CAMPBELL and J. MATHISON, 2002: The influence of hydraulic nonequilibrium on pressure plate data. *Vadose Zone J.* 1:172-178.
- PETERS, A. and W. DURNER, 2008: Simplified evaporation method for determining soil hydraulic properties. *J. Hydrol.* 356:147-162.
- SCHELLE, H., S.C. IDEN and W. DURNER, 2011: Combined transient method for determining soil hydraulic properties in a wide pressure head range. *Soil Sci. Soc. Am J.* 75:1681-1693.
- SCHINDLER, U., 1980: Ein Schnellverfahren zur Messung der Wasserleitfähigkeit im teilgesättigten Boden an Stechzylinderproben. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd. Berlin* 24:1-7.