

Landbauforschung
*vTI Agriculture and
Forestry Research*

Sonderheft 328
Special Issue

Wasser im Gartenbau
Tagungsband zum Statusseminar
am 9. und 10. Februar 2009
im Forum des vTI in Braunschweig.
Organisiert im Auftrag des BMELV

Walter Dirksmeyer¹, Heinz Sourell² (Hrsg.)

¹Institut für Betriebswirtschaft

²Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik

Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Germany

Analyse des Bewässerungsbedarfes und Bewässerungskontrolle im Gartenbau

Dr. Uwe Schindler und Dr. Gunnar Lischeid¹

1 Einleitung

Das Erreichen hoher und stabiler Erträge im Gartenbau erfordert die Sicherung des Wasser- und Nährstoffbedarfes der Pflanzen in allen Phasen der Ertragsbildung. Auch kurzfristige Defizite können zu Wachstumsstress und Ertrags- sowie Qualitätsminderung führen. Durch Bewässerung und Düngung kann der Wasser- und Nährstoffhaushalt so reguliert werden, dass die Pflanze durchweg optimal versorgt ist. Eine überhöhte Wasserzufuhr kann jedoch andererseits auch zu Wachstumsdepressionen infolge Wasserstau und Luftmangel sowie Verlusten von Wasser- und Nährstoffen durch Auswaschung führen. An eine effiziente und Ressourcen schonende Bewässerung sind deshalb folgende Anforderungen zu stellen:

1. Optimale Versorgung der Pflanzen mit Wasser- und Nährstoffen für eine maximale Ertragsbildung bei hoher Qualität des Ernteproduktes
2. Minimierung von Wasser- und Nährstoffverlusten durch Sickerwasseraustrag

Um diese Forderungen erfüllen zu können, sind neben geeigneter Bewässerungstechnik Informationen zum zeitlichen Bedarf von Wasser- und Nährstoffen erforderlich. Des Weiteren müssen Methoden verfügbar sein, die eine Kontrolle des Ressourcen schonenden Wassermanagements ermöglichen.

2 Grundlagen

2.1 Anforderungen an die Bewässerungssteuerung

2.1.1 Optimale Wasserversorgung von Gartenfrüchten

Gemüsekulturen und Zierpflanzen haben einen hohen Anspruch an die Wasser- und Nährstoffversorgung. Sie reagieren sehr sensitiv auf Wasserstress und besitzen im Vergleich zu Ackerkulturen einen kleineren Wurzelraum. Daraus resultieren ein geringerer Wasserspeicherpuffer in

Dürrephasen und entsprechend hohe Anforderungen an die Präzision der Bewässerung in Zeit und Menge. In Anlehnung an Taylor (1965) ist die Wasserversorgung von Gemüsekulturen und Obstgehölzen optimal für einen Maximalertrag, wenn die Saugspannung im Wurzelraum im Mittel 800 hPa nicht überschreitet. Der Anspruch einzelner Gemüsearten ist jedoch unterschiedlich (Abbildung 2.1). Bei Blattgemüse reicht die Spanne von 200 bis 800 hPa, wobei die meisten Gemüsearten in dieser Gruppe ihre Optimalbedingungen im Bereich zwischen 300 und 500 hPa haben. Wurzelgemüse ist mit einer Gesamtspanne von 300 bis 700 hPa sogar noch etwas anspruchsvoller hinsichtlich Präzision der Steuerung, während bei Obstgehölzen die Saugspannung auch mal die 1000 hPa-Grenze überschreiten darf.

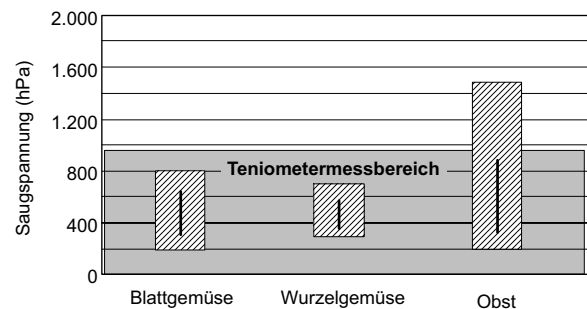


Abbildung 2.1
Saugspannungen für einen Maximalertrag

2.1.2 Bedeutung des Bodens

Die Saugspannung, die im Boden herrscht, kennzeichnet die Energie, die die Pflanze aufbringen muss, um dem Boden das Wasser zu entziehen. Sie ist unabhängig von der Bodenart. Der Wassergehalt, den der Boden bei der jeweiligen Saugspannung besitzt, ist jedoch stark vom Boden, seiner Textur, der Trockenrohddichte und dem Humusgehalt beeinflusst.

Die Abhängigkeit zwischen Saugspannung und Wassergehalt wird durch die Wasserretentionsfunktion gekennzeichnet (auch als pF-Kurve be-

¹ Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V., Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, uschindler@zalf.de.

zeichnet, wenn die Saugspannung in hPa als dekadischer Logarithmus dargestellt ist). Einige typische Wasserretentionsfunktionen für ausgewählte Bodenarten sind in Abbildung 2.2 dargestellt. Die Wasserretentionsfunktion ist die Grundlage zur Ermittlung der Wassermengen für die Beregnungssteuerung.

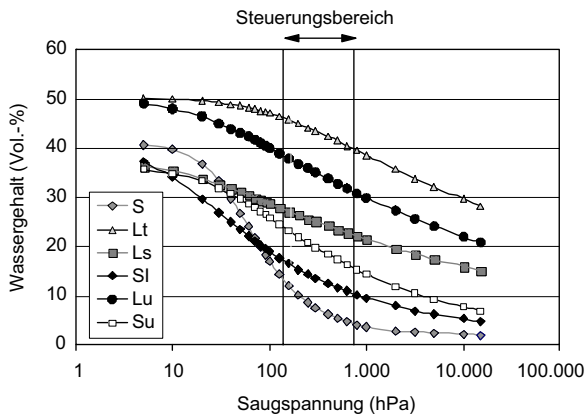


Abbildung 2.2
Typische Wasserretentionsfunktionen von Bodenarten (nach KA5, Bodenkundlicher Kartieranleitung, KA5, 2005)

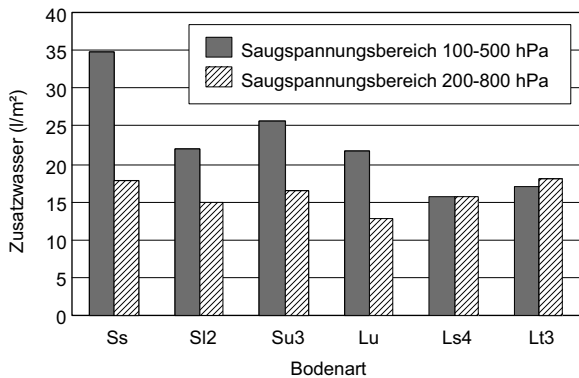


Abbildung 2.3
Zusatzwasser (l/m^2) für die Änderung der Saugspannung in einer 30 cm Bodenschicht

Abbildung 2.3 gibt beispielhaft einen Überblick, wie viel Wasser bei den jeweiligen Bodenarten auszubringen ist, um die Saugspannung in einer gewissen Spannbreite für eine definierte Bodenschicht (Wurzelzone) zu verändern. Die Unterschiede sind teilweise erheblich. Für eine konkrete Bewässerungssteuerung sollte deshalb die Wasserretentionsfunktion von dem jeweiligen Boden vorher gemessen werden. Die Verwen-

dung mittlerer pF-Kurven kann nur eine erste Orientierung liefern.

3 Methoden

3.1 Messung hydraulische Kennfunktionen von Bodenproben

Die hydraulischen Kennfunktionen (Wasserretentionsfunktion, hydraulische Leitfähigkeitsfunktion) können sehr effektiv mit dem Verdunstungsverfahren (Schindler und Müller, 2006) gemessen werden. Diese Verfahrenslösung stellt eine vereinfachte und hinlänglich geprüfte (Wendroth, 1993; Peters und Durner, 2008) Modifikation des Verdunstungsverfahrens nach Wind (1966) dar und wird heute weltweit in vielen bodenphysikalischen Laboratorien angewendet.

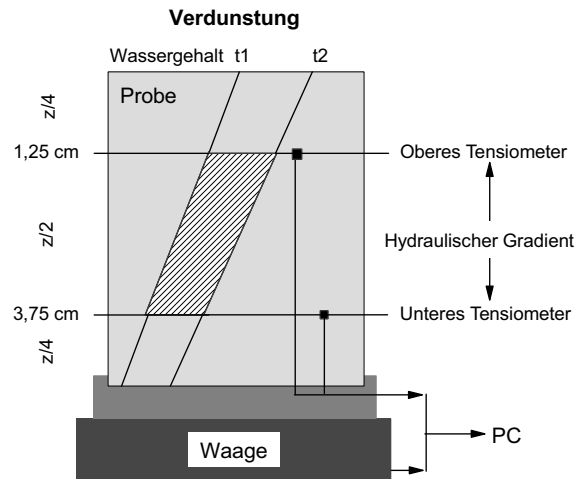


Abbildung 3.1
Prinzipdarstellung des vereinfachten Verdunstungsverfahrens

Eine Bodenprobe (250 cm^3 , Höhe 5 cm) wird wassergesättigt. In die Probe werden zwei Tensiometer in 1,25 cm und 3,75 cm unter Stechzylinderoberkante eingebaut. Die Probe wird basal verschlossen, auf eine Waage gestellt und die Probenoberfläche der Verdunstung ausgesetzt. Im Zeitintervall werden die Saugspannungen vom oberen und unteren Tensiometer und die Probenmasse gemessen. Aus den Saugspannungen wird der hydraulische Gradient berechnet. Die Masseänderung der Probe bildet die Grundlage für die Ermittlung des Fluxes durch die Probe. Diese Werte reichen aus, um die Wasserretentionsfunktion und die hydraulische Leitfähigkeitsfunktion zu berechnen. Die Funktionen sind über den gesamten Messbereich mit einer Viel-

zahl von Messwerten belegt. Durch die Verwendung neuartiger T5-Tensiometer (UMS GmbH München) ist es heute möglich, die Funktionen

bis weit über die 100 kPa-Grenze hinaus zu messen (Abbildung 3.2).

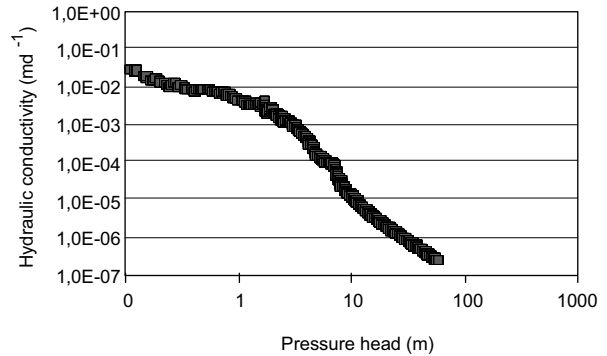
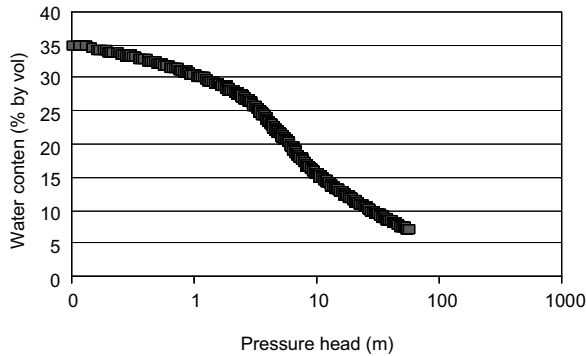


Abbildung 3.2

Wasserretentionsfunktion (links), hydraulische Leitfähigkeitsfunktion (rechts). Ap 10-15 cm, lehmiger Schluff, Luacheng, China

Das Messsystem HYPROP (UMS GmbH) München ermöglicht die vollautomatische Analyse der hydraulischen Kennfunktionen (Abbildung 3.3). Es ist eine Parallelmessung von mehr als 10 Proben möglich. Die Messzeit beträgt je nach Boden und Verdunstungsrate zwischen zwei (Tonböden) und zehn Tagen (Torf und Sandböden).

3.2 Quantifizierung der Tiefensickerung und des Stoffaustrages aus der Wurzelzone

Die Quantifizierung der Tiefensickerung und des Stoffaustrages ist erforderlich für die Kontrolle der Bewässerungsgüte hinsichtlich Ressourcenschonung und Umweltverträglichkeit.

In Abhängigkeit von den Niederschlags- und Verdunstungsbedingungen ist ein ständiger Wechsel von Infiltration, Sickerwasserfluss, kapillarem Wasseraufstieg und Pflanzenwasserentzug vorhanden. Mit zunehmender Bodentiefe laufen diese Prozesse langsamer und gedämpft ab (Voigt, 1980; Kutilek und Nielsen, 1994).

Die Grundidee für die Abschätzung der Sickerwasserdynamik aus bodenhydrologischen Messungen bestand deshalb darin, in Bodentiefen zu messen, wo keine Pflanzenwasserentnahme, direkt oder aus kapillarem Wasseraufstieg, mehr erfolgt und damit Messwertänderungen (Saugspannung und Wassergehalt) ausschließlich auf Veränderungen des Sickerwasserflusses zurückzuführen sind (Schindler und Müller, 1998). Diese Bedingungen sind unterhalb der hydraulischen Scheide (Renger et al., 1970) erfüllt. Auf den meisten Acker- und Grasstandorten befindet sich die hydraulische Scheide gewöhnlich dauerhaft oberhalb 3 m, auf Waldstandorten oberhalb 5 m Tiefe (Schindler et al., 2008). Im Gartenbau wird eine Messtiefe von 1,5 m als ausreichend angenommen. Eine konkrete Prüfung kann

v- Flux (Tiefensickerung), w- Wassergehalt, i- hydraulischer Gradient, k-hydraulische Leitfähigkeit, TDR- Time Domain Relectrometry

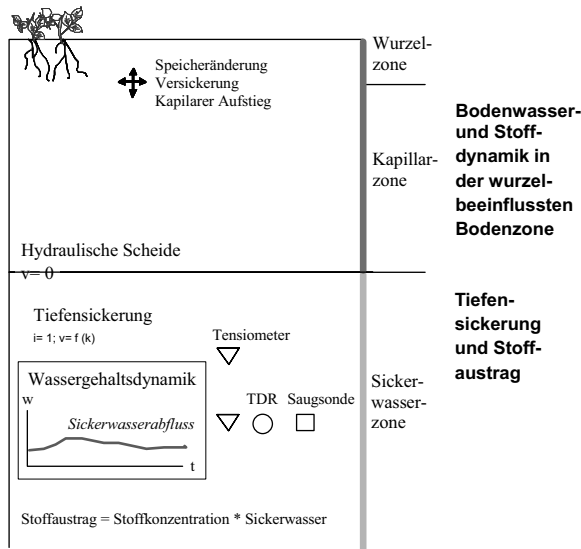


Abbildung 3.3

Schematischer Aufbau bodenhydrologischer Messplätze zur Quantifizierung der Sickerwasserdynamik und des Stoffaustrages

über den hydraulischen Gradienten in der Messtiefe abgeleitet werden (Abbildung 3.4).

Vorgehensweise (Schindler und Müller, 1998):

Wassergehalt (Θ) und Druckhöhe (h) werden unterhalb der hydraulischen Scheide kontinuierlich gemessen und aufgezeichnet. Auf Acker- und Grasstandorten wird gewöhnlich in 3 m Tiefe und auf Waldstandorten in 5 m Tiefe gemessen. Im Gartenbau wird eine Messtiefe von 1,5 m als ausreichend angenommen. Die Tensiometer sind in den Tiefen frostsicher. Aufgrund der langsamen und kontinuierlichen Änderung der Messwerte sind Messintervalle in Tagesintervallen ausreichend (Schindler et al., 2008). Die zusätzliche Messung der Druckhöhe in geringer Höhenentfernung von der Messtiefe (10 oder 20 cm) ermöglicht die Berechnung des hydraulischen Gradienten (i) und erlaubt den konkreten Nachweis, ob sich die Messtiefe zu dem jeweiligen Zeitpunkt unterhalb der hydraulischen Scheide befunden hat. Die hydraulische Scheide grenzt die Bodenzone mit Pflanzenwasserentnahme (oberhalb) von der Sickerwasserzone (unterhalb) ab. An der hydraulischen Scheide ist der hydraulische Gradient $i = 0$, darunter ist $i < 0$, darüber $i > 0$. Gegebenenfalls können so Perioden mit aufwärts gerichteter Wasserbewegung und Pflanzenwasserentnahme ausgegrenzt werden.

Die Wasserretentionsfunktion – Beziehung zwischen Druckhöhe und Bodenwassergehalt – wird angepasst und die relative hydraulische Leitfähigkeitsfunktion wird berechnet. Aus der relativen K-Funktion und dem Wassergehaltsverlauf werden relative Sickerwasserraten für Tagesintervalle berechnet. Auf Grundlage einer Kalibrierung an der Wasserbilanz werden diese relativen Sickerwasserraten in ein reales Niveau transformiert. Als Kalibrierungsperiode wird vorzugsweise ein frostfreier Zeitraum im Winter/Frühjahr genutzt. Ist das System kalibriert, werden für die weitere Sickerwasserberechnung außer den Wassergehaltsmessungen keine weiteren Informationen benötigt wie Niederschlag, Bodenkennwerte u. a.

3.3 Prüfung der Methode zur Sickerwasserabschätzung an Lysimeterergebnissen

Die Prüfung der Methodik zur Sickerwasserabschätzung aus bodenhydrologischen Messungen erfolgte im Vergleich mit Lysimetermessungen der Station Dedelow (Uckermark).

Von den 32 Lysimetern (geschüttet, Gravitationsabfluss, Grundfläche 1*1 m, Tiefe 2 m) wurde ein Lysimeter (Sandbraunerde) für die Vergleichsuntersuchungen ausgewählt (Schindler et al., 2003). Die Messung der Bodenfeuchte erfolgte mit einer TDR-Sonde in 1,85 m Tiefe. Die Druckhöhe wurde mit Tensiometern in 1,6 und 1,85 m Tiefe erfasst. Der Abfluss wurde täglich gemessen. Bei geringen Abflüssen erfolgte die Messung zweimal wöchentlich. Kalibrierungsperiode war der Zeitraum vom 1. November 2001 bis 15. Februar 2002. Die Validierung erfolgte vom 16. Februar 2001 bis 7. Mai 2008.

Für den Vergleich der gemessenen mit den aus Bodenwassergehaltswerten berechneten Sickerwasserraten wurde der Willmott Index of Agreement (Legates and McCabe, 1999) herangezogen. Der Index d variiert zwischen 0 (schlechte Übereinstimmung) und 1 (perfekte Übereinstimmung)

$$d = 1 - \frac{\sum(O_i - P_i)^2}{\sum(|P_i - O_m| + |O_i - O_m|)^2}$$

O_i – gemessene Werte, P_i – berechnete Werte, O_m – Mittelwert gemessen

Der Vergleich der gemessenen mit den berechneten Sickerwasserabflüssen (Abbildung 3.5) zeigte eine gute Übereinstimmung ($d = 0,97$) sowohl bei den Tageswerten als auch bei der Summenkurve. Damit wird bestätigt, dass diese sehr einfache und kostengünstige Methode durchaus Potential hat für eine Sickerwasserabschätzung in situ.

Die Methode zur Abschätzung der Sickerwasserdynamik und des Stoffaustuges wird seit mehr als 15 Jahren erfolgreich auf Acker, Gras und Waldstandorten angewendet. Die Ergebnisse sind in Schindler und Müller (2008) zusammengestellt.

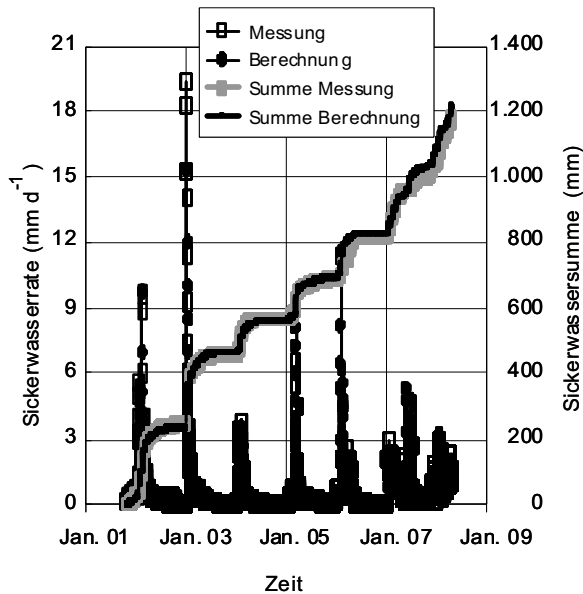


Abbildung 5
Vergleich der Sickerwasserraten aus bodenhydrologischen Messungen mit Lysimeterergebnissen, Lysimeter der Anlage Dedelow (Uckermark)

4 Schlussfolgerungen

Eine effektive und Ressourcen schonende Bewässerungssteuerung im Gartenbau erfordert die Einstellung optimaler Bodenfeuchteverhältnisse in der Wurzelzone und die Minimierung von Wasser- und Stoffaustrag infolge Bewässerung.

Die Kenntnis hydraulischer Kennfunktionen des Gartenbodens ist Voraussetzung für die präzise Anpassung der Bewässerungsgaben.

Mit dem Verdunstungsverfahren können die hydraulischen Kennfunktionen effektiv und in hoher Güte quantifiziert werden.

Die Kontrolle der Bewässerungsgüte hinsichtlich Sickerwasserverlust und Stoffaustrag kann durch einfache und kostengünstige bodenhydrologische Messungen erfolgen.

Der Vergleich mit Lysimeterergebnissen bestätigte die Eignung der Methodik

Die Methodik wurde in den letzten 15 Jahren erfolgreich auf ackerbaulich genutzten Standorten in Versuchen und auf Praxisflächen angewendet.

Literaturverzeichnis

- Bodenkundliche Kartieranleitung; KA5, (2005) 5. verbesserte Auflage. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. 438 Seiten
- Kutilek M, Nielsen DR (1994) Soil hydrology. GeoEcology textbook. Cremlingen-Destedt: Catena Verlag. pp 370
- Legates DR, McCabe GJ (1999) Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*. 35(1). 233-242
- Peters A, Durner W (2008) Simplified evaporation method for determining soil hydraulic properties. *Journal of Hydrology*. 356, 147–162.
- Renger M, Giesel W, Strebel O, Lorch S (1970) Erste Ergebnisse zur quantitativen Erfassung der Wasserhaushaltskomponenten in der ungesättigten Zone. *Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenk.*, 126(1), 15-33
- Schindler U, Müller L (1998) Calculating deep seepage from water content and tension measurements in the vadose zone at sandy and loamy soils in north-east Germany. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 43. 233-243
- Schindler U, Wolff M, Kühn G (2001) Lysimeterstudie zum Einfluss von Düngung und Bewirtschaftung auf die Ertragsbildung, den Wasserhaushalt und die Nährstoffauswaschung im Trockengebiet der Uckermark. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, (164) 697-703
- Schindler U, Müller L (2006) Simplifying the evaporation method for quantifying soil hydraulic properties. *J. of Plant Nutrition and Soil Science*. 169 (5). 169.623-629
- Schindler U, Müller L, Eulenstein F, Dannowski R (2008) A long-term hydrological soil study on the effects of soil and land use on deep seepage dynamics in northeast Germany. - *Archives of Agronomy and Soil Science*. 54 (5): 451-463
- Taylor A (1965) Managing irrigation water on the farm. *Transactions of Amer. Soc. of Agri. Engineers*
- UMS GmbH (2008) HYPROP Bedienungsanleitung: www.ums-muc.de/fileadmin/produkt_downloads/Bodenlabor/Hyprop_Anleitung.pdf

Voigt HJ (1999) Hydrogeochemie. Springer Verlag. Berlin, pp. 310

Wendroth O, Ehlers W, Hopmans JW, Klage H, Halbertsma J, Woesten JHM (1993) Re-evaluation of the evaporation method for determining hydraulic functions in unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 1436–1443

Wind GP (1966) Capillary conductivity data estimated by a simple method. In: *Proc. UNESCO/IASH Symp. Water in the unsaturated zone. Wageningen. The Netherlands.* 181-191