

Erfahrungen mit Rohrsonden zur Wassergehaltsbestimmung an unterschiedlichen Standorten

A. ZARTL, P. CEPUDER und W. LOISKANDL

Abstract

An drei Standorten im Marchfeld (sandiger, schluffiger und toniger Boden) werden seit Juni 2000 verschiedene Meßsysteme (Neutronen-, TDR- und Kapazitive-Methode) zur Ermittlung des Bodenwassergehaltes verglichen. Bei allen drei Systemen werden Rohrsonden bis zu 1 m Tiefe verwendet. Die Messungen erfolgen in dreifacher Wiederholung (3 Sondenrohre) und werden einmal pro Woche durchgeführt. Beim Schluff-Standort befindet sich zusätzlich eine Enviroscan Sentek-Rohrsonde zur online Messung (1-Stunden Intervall). Somit können Vergleiche und eventuelle Interpretationsfehler zwischen punktueller und kontinuierlicher Messung durchgeführt werden. Diese Arbeit erfolgt in Zusammenarbeit mit der Joint Division FAO/IAEA.

Abstract

At three locations in Lower Austria (sandy, loamy and clay soil conditions) different soil water measuring systems (Neutron Probe, TDR- and Capacity-

Method) are compared. All three systems use access tubes to a depth of 1 m with three replications each. Experiments have started in June 2000 and measurements are taken once a week. Additionally at the loamy site there is an online measuring system (Enviroscan Sentek access tube) with one hour measuring interval. Comparison between point and continuous measurements are possible.

This projects is in cooperation with the Joint Division FAO/IAEA.

Einleitung und Aufgabenstellung

Wasser ist in Österreich ein zum Großteil ausreichend vorhandenes Gut, das aber in Zukunft noch mehr an Bedeutung gewinnen wird. Um so wichtiger ist es auf die Qualität unserer Wasserressourcen zu achten - sie zu bewahren, zu schützen und stellenweise zu verbessern.

Ca. 3 % des Jahresniederschlags in Österreich werden vorübergehend im Boden gespeichert und ca. 50 % des Jahresniederschlags werden über das Bo-

den-Pflanze-Atmosphäre-Kontinuum, über die Verdunstung, abgegeben.

Ein effizienter Schutz unserer Wasserressourcen ist nur dann möglich, wenn man über den Bodenwasserhaushalt Bescheid weiß. Daher ist es notwendig eine in-situ Methodik zum Monitoring der Bodenwasserbewegung sowie zur Beschreibung des Wasserkreislaufs und der klimatischen Wasserbilanz zu entwickeln bzw. vorhandene Systeme auf ihre Einsatztauglichkeit zu überprüfen. Die den Bodenwasserhaushalt kontrollierenden Mechanismen sind die bodenphysikalischen Kennwerte – Wasseranteil, Wasserspannung und kapillares Leitvermögen.

Im Rahmen dieser Studie werden langfristige Beobachtungen an drei in bezug auf die Bodenart verschiedenen Standorten im Marchfeld, im Umkreis von 10 km, durchgeführt. Ziel dieser Studie ist es unterschiedliche Rohrsondenmesssysteme zur Wasseranteilmessung zu vergleichen, ihre Handhabung zu erproben und ihre Standorttauglichkeit festzustellen.

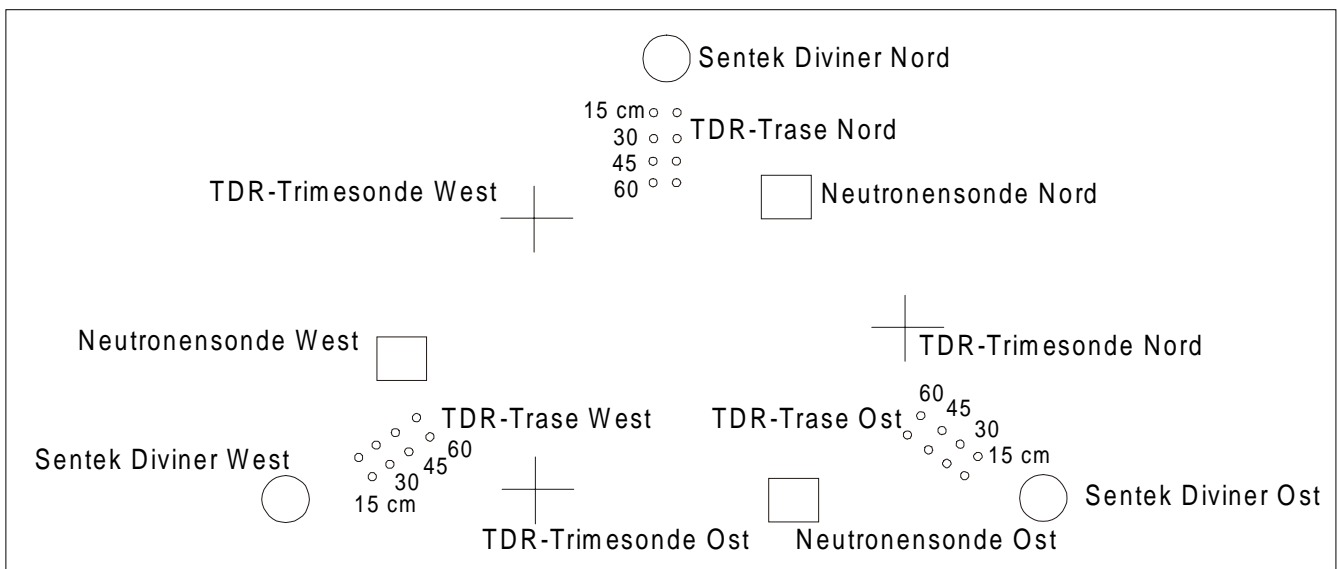


Abbildung 1: Anordnung der Meßsysteme

Autoren: DI Dr. Angelika ZARTL, DI Dr. Peter CEPUDER und DI Dr. Willibald LOISKANDL, Universität für Bodenkultur, Muthgasse 18, A-1190 WIEN

Material und Methoden

Pro Standort und Meßsystem sind drei Meßrohre eingebaut. Die Rohre sind im Dreieck angeordnet und haben einen Abstand von 30 bis 100 cm (*Abbildung 1*). An jedem Standort befindet sich zusätzlich ein Niederschlagsauffanggefäß, um regionale Unterschiede zwischen den Meßstellen feststellen zu können. Zusätzlich stehen die Niederschlagsaufzeichnungen der Wetterstation auf dem Gelände der Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf (betrieben vom Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft) zur Verfügung.

Alle Rohre wurden durch kombinierte Bohr-Schlagtechnik mit den vom Hersteller empfohlenen Geräten im Sommer 2000 eingebaut. Beim Einbau der Rohre wurde Bodenmaterial in 20 cm Schichten herausgebohrt, um es für weitere Analysen zu verwenden.

Tabelle 1: Kornverteilung, organischer Kohlenstoff in % und Trockendichte ρ_d in g cm^{-3} für den Standort 1

Entnahmetiefe in cm	Sand	Schluff	Ton	org. C	ρ_d
0-20	27,5	56,1	16,4	2,47	1,30
20-40	22,7	57,4	19,9	1,68	1,38
40-60	18,9	56,4	24,7	1,38	1,26
60-80	13,8	57,8	28,4	1,33	1,25
80-100	12,9	57,7	29,4	0,86	1,30
100-120	14,2	57,8	27,9	0,67	k.M.
120-135	16,5	49,8	33,7	0,28	k.M.

Tabelle 2: Kornverteilung, organischer Kohlenstoff in % und Trockendichte ρ_d in g cm^{-3} für den Standort 2

Entnahmetiefe in cm	S	U	T	org.C	ρ_d
0-20	29,7	59,6	10,7	1,32	1,39
20-40	30,3	59,3	10,4	1,09	1,45
40-60	19,2	70,1	10,7	0,68	1,40
60-80	18,5	67,8	13,7	0,65	1,43
80-100	24,0	58,0	17,9	0,72	1,45
100-120	15,4	64,6	19,9	1,06	k.M.
120-140	12,2	63,9	23,9	1,21	k.M.

Tabelle 3: Kornverteilung, organischer Kohlenstoff in % und Trockendichte ρ_d in g cm^{-3} für den Standort 3

Entnahmetiefe in cm	S	U	T	org. C	ρ_d
0-20	16,4	64,7	18,9	2,72	1,33
20-40	10,7	64,8	24,4	1,86	1,27
40-60	11,8	69,3	18,9	0,53	1,30
60-80	9,7	79,3	10,9	0,09	1,36
80-100	9,3	81,6	9,2	0,16	1,35
100-120	14,7	78,9	6,4	0,14	k.M.
120-140	22,1	71,0	6,9	0,14	k.M.

Standortbeschreibung

Standort 1:

Standort 1 befindet sich auf dem Gelände der Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf. Die Bodenoberfläche ist ganzjährig mit Gras bedeckt. Beim Standort 1 handelt es sich nach Österreichischem Texturdreieck um einen lehmigen Schluff (*Tabelle 1*). Der Gehalt an organischem Kohlenstoff beträgt in den obersten 20 cm 2,47 % und nimmt mit der Tiefe ab.

Standort 2:

Die Meßstelle befindet sich auf einem Feld der Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf. Die Bearbeitung erfolgt bis auf ca. 30 cm zu den Meßrohren und die Fläche innerhalb der Meßstelle wird offen und unkrautfrei gehalten, ähnlich einem Saatbeetzustand. Beim Standort 2 handelt es sich nach Österreichischem Texturdreieck um einen sandigen Schluff (*Tabelle 2*). Der Gehalt an organischem

Kohlenstoff ist mit 1,32 % in der obersten Schicht gering, er nimmt bis 1 m Tiefe weiter ab und steigt dann auf 1,21 % an.

Standort 3:

Die Meßstelle befindet sich ebenfalls auf einem Acker der Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf. Die Bearbeitung erfolgt bis auf ca. 30 cm zu den Meßrohren und die Fläche innerhalb der Meßstelle wird offen und unkrautfrei gehalten. Beim Standort 3 handelt es sich nach Österreichischem Texturdreieck um einen lehmigen Schluff. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff in der obersten Schicht beträgt 2,72 % und nimmt bis in 140 cm Tiefe auf 0,14 % ab (*Tabelle 3*).

Meßsysteme

Bei den Rohrsonden kommen drei verschiedene Meßsysteme zum Einsatz: Time Domain Reflectometry Methode (TDR), Radioaktive Methode mit Neutronenstrahlung und kapazitive Methode.

Time Domain Reflectometry:

TDR ist eine indirekte Methode zur Bestimmung des Wasseranteils. Sie basiert darauf, daß Wasser eine höhere Dielektrizitätskonstante hat als Feststoff. Bei dieser Methode wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit und Abschwächung einer elektromagnetischen Wellen hoher Frequenz gemessen (GHz). Daraus folgt die Dielektrizitätszahl des Bodens und der Wasseranteil des Bodens kann berechnet werden (TOPP und DAVIS, 1985; TOPP und FERRE, 1998).

Bei dieser Studie kommen zwei auf TDR basierende Methoden zum Einsatz: TDR-Trime-T3 Rohrsonde und TDR-Trase mit vertikalen Stäben bis 60 cm Tiefe.

Die TDR-Trime-T3 Sonde besteht aus einem zylindrischen PVC-Körper, ca. 20 cm lang, mit vier aufgesetzten, paarweise angeordneten und gegenüberliegenden Aluminiumplatten. Jedes Plattenpaar fungiert als TDR-Wellenleiter. Die Sonde mißt im Inneren eines Tecanat Plastikrohrs, das mit einem speziellen Einbauset, bestehend aus Bohrer und Schlagrohr, welches sich im Inneren des Tecanatrohres befindet und nach dem Einbau gezogen wird, installiert wird.

Die Sonde wird händisch in die gewünschte Tiefe eingeführt, eine Messung ausgelöst und anschließend wieder gezogen. Für die Aufzeichnung der Meßwerte ist keine automatische Datenerfassung vorhanden. Laut Firmenangaben beträgt die Genauigkeit $\pm 2\%$ des volumetrischen Wasseranteils und der Meßradius 15 cm.

Das TDR-Trase Gerät bestimmt den Wasseranteil des Bodens entlang zweier vertikal eingebauter Stäbe. Der angegebene Wasseranteil in z.B. 30 cm Tiefe entspricht dem mittleren Wasseranteil von 0 bis 30 cm Tiefe. Je 2 Stahlstäbe von 15, 30, 45 und 60 cm Länge sind fix im Boden eingebaut. Bei der Messung werden die Stäbe über eine Wellenleiterverbindung mit dem Trasegerät verbunden und eine Messung ausgelöst. Die Messung dauert ca. 15 Sekunden, die Daten werden im Gerät gespeichert und können anschließend über einen PC ausgelesen und weiterverarbeitet werden. Aus den Stablängen mit 15 cm Differenz kann der Wasseranteil in je 15 cm Bodentiefe errechnet werden. Laut Firmenangaben beträgt die Genauigkeit $\pm 2\%$ des Wasseranteils.

Neutronen Methode:

Diese Methode beruht auf der Wechselwirkung der Neutronenstrahlung mit der Materie. Schnelle Neutronen (0,1 - 10 MeV), welche von einer radioaktiven Quelle, wie z.B. 226 Ra- 9 Be oder 241 Am- 9 Be, ausgesandt werden, werden durch Kollisionen mit Atomkernen abgebremst und in ihrer Richtung geändert. Die Neutronen verlieren bei jeder Kollision Energie solange bis sie etwa die thermische Energie der Atome bei vorherrschender Temperatur angenommen haben. Sie werden dann als thermische Neutronen bezeichnet (etwa 0,025 eV). Die statistische Wahrscheinlichkeit einer Kollision, der sogenannte Streuungsquerschnitt, hängt von der Massenzahl des betrachteten Kerns ab und ist für Wasserstoff am größten (KASTANEK, 2000; CHANASYK et al., 1996; EVETT und STEINER, 1995; OULD MOHAMMED et al., 1997).

Es wird eine Neutronensonde der Firma Nardieux Humisol verwendet, Typenbezeichnung Solo 40. Es handelt sich hierbei um eine automatisierte Sonde, d.h. nach Aufstellen der Sonde über dem

Rohr wird die komplette Messung in den vorher programmierten Bodentiefen automatisch durchgeführt. Die Speicherung der Daten erfolgt in einem integrierten Datalogger. Die Messung pro Standrohr dauert ca. 10 Minuten und die erhobenen Daten über den Verlauf des Bodenwasseranteils können gleich am PC weiterverarbeitet werden.

Die Meßgenauigkeit hängt von der Dauer einer Messung ab, bei 30 Sekunden ca. 0,5 – 1%. Der Meßradius hängt vom Wasseranteil im Boden und der Quellstärke ab. Je mehr Wasser, desto kleiner das Meßvolumen (Standard: circa Fußballgröße).

Kapazitive Methode:

Es wird die elektrische Kapazität, die von der Dielektrizitätskonstante von Boden, Luft und Wasser abhängt, zwischen zwei Elektroden gemessen. Die elektrische Kapazität, die sich um den Sensor einstellt, ist abhängig von der Zusammensetzung des Boden-Wasser-Luft-Kontinuums und somit auch stark abhängig von einem guten Kontakt zwischen Sensor und Boden (PALTINEANU und STARR, 1997; CAMPBELL, 1990).

Für die wöchentlichen Messungen wurde der Diviner (mobile Rohrsonde) und für kontinuierliche Messungen Enviroscan der Firma Sentek verwendet.

Die Sonde wird händisch eingeführt und mißt automatisch im Abstand von 10 cm die Bodenfeuchte. Die Daten werden sofort von einem Datalogger erfaßt und können noch vor Ort betrachtet werden.

Die Enviroscan Sonde besteht aus mehreren Sensoren, die im Rohr fix installiert in verschiedenen Tiefen angebracht werden und die Bodenfeuchte messen. Die Daten müssen je nach Meßintervall (1 bis 999 Minuten) wöchentlich oder monatlich vom Datalogger ausgelesen werden. Für beide Geräte beträgt laut Firmenangaben die Genauigkeit $\pm 1\%$ des Wasseranteils und der Meßradius 10 cm in die horizontale Ebene des Bodenprofils.

Ergebnisse

Die ersten Ergebnisse der Messungen zeigen eindeutig, daß alle verwendeten Meßsysteme für den jeweiligen Standort kalibriert werden müssen und die werkseitigen Standard- bzw. Voreinstel-

lungen nicht für absolute Angaben des Wasseranteils verwendet werden können. *Abbildung 2* zeigt den Wasseranteil ermittelt am 17.10.2000 mit den verschiedenen Meßsystemen am Standort 1 für die Rohre Nord, stellvertretend für die anderen Standorte und Messungen. Die Meßsysteme sind nicht standortkalibriert. Die Ergebnisse variieren minimal um 8,5 % und maximal um 21,8 %.

Abbildung 2 zeigt nicht nur unterschiedliche absolute Ergebnisse sondern auch einen unterschiedlichen Verlauf des Wasseranteils über die Tiefe zwischen TDR-Trime und den anderen beiden Meßsystemen. Der Verlauf des Wasseranteils über die Tiefe bestimmt mit Diviner und Neutronensonde ist nahezu parallel mit einem Offset von rund 8 %.

Aber es zeigt sich auch, daß die Messungen der TDR-Trime Sonde sowohl im Verlauf als auch zahlenmäßig untereinander stark variieren, d.h. die Wiederholungen zeigen eine starke Streuung (*Abbildung 3*).

Bei Diviner und Neutronensonde beträgt der maximale Unterschied im Wasseranteil zwischen den Wiederholungen nur 3 %. Die Verläufe der Bodenfeuchte über die Tiefe sind nahezu parallel. Bei der TDR-Trase Messung zeigt nur die Messung Süd, 45 cm Tiefe, einen unrealistischen Wert, die anderen Werte variieren um 0,9 bis 4,3 %.

Kalibrierung

Es wurde bzw. wird versucht alle vier Meßsysteme im Feld zu kalibrieren.

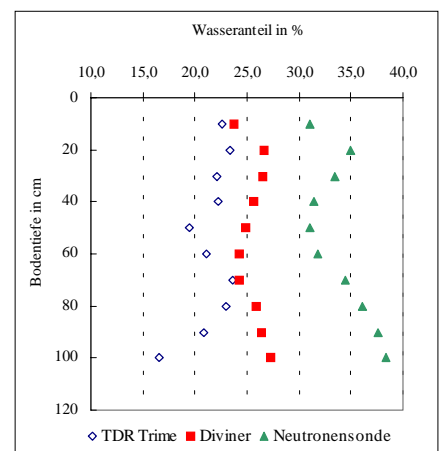


Abbildung 2: Wasseranteil in % für TDR-Trime, Diviner und Neutronensonde Messungen am Standort 1, Rohre Nord, 17.10.2000

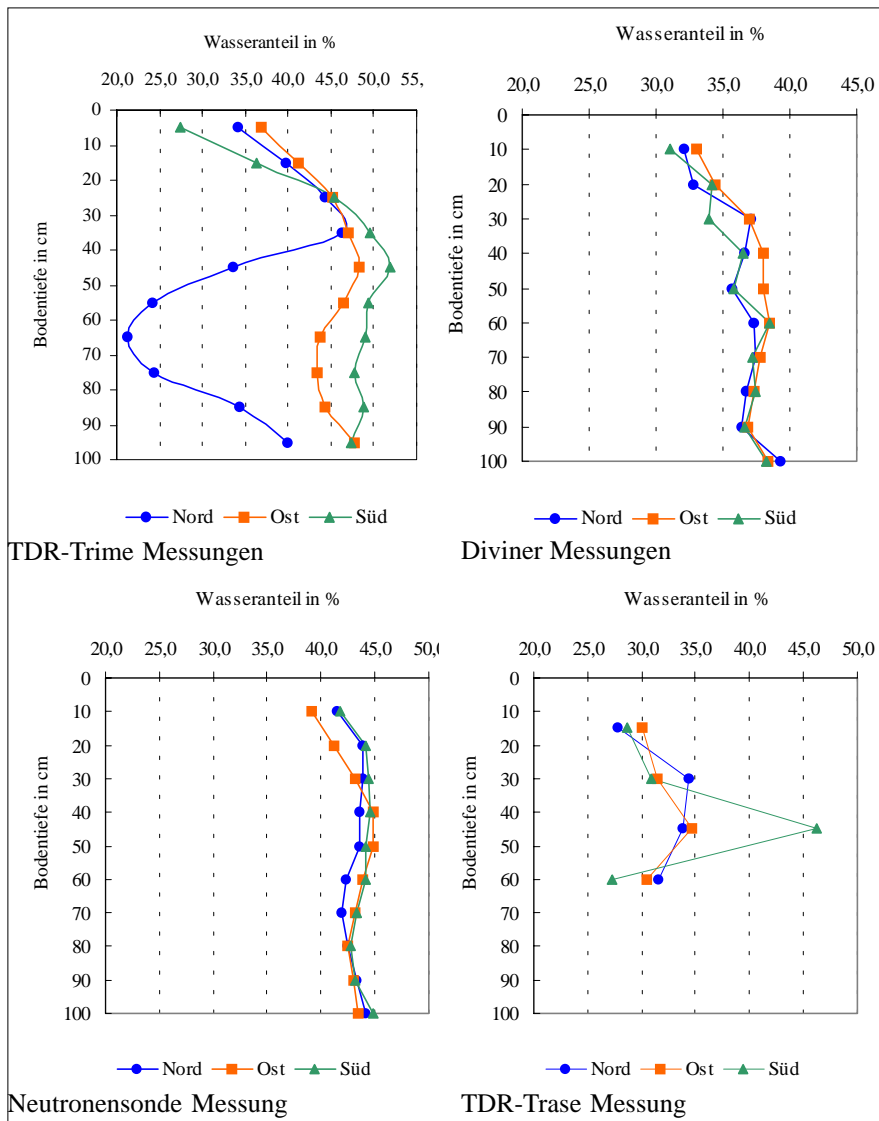


Abbildung 3: Vergleich der Wiederholungen für alle Meßsysteme am Standort 2, für den 22-11-2000

Hierzu werden Bodenproben bis in 1 m Tiefe mit einem Schlagbohrer genommen und der Wassergehalt gravimetrisch bestimmt. Um den Verlauf der Kalibrierbeziehung für das gesamte Wassergehaltsspektrum (5-35 %) festlegen zu können, ist es notwendig die Kalibrierung für trockenen, mittleren und feuchten Bodenzustand durchzuführen. Ende 2000 waren noch nicht für alle Meßsysteme für alle Bodenzustände Bezugsdaten vorhanden.

Vorläufig wurde pro Standort eine Kalibrierfunktion für alle Wiederholungen ermittelt. Da die Probenmenge und gravimetrische Bestimmung des Wassergehaltes mit einer Zerstörung bzw. Durchlöcherung des unmittelbaren Umgebungsboden verbunden ist, kann derzeit eine umfangreiche Beprobung nicht

durchgeführt werden. Es ist geplant dies jedoch vor Ende des Projektes durchzuführen, um so im Nachhinein einen eventuellen Einfluß dieser Vereinfachung zu verifizieren. *Abbildung 4* zeigt die Kalibrierung für den Diviner.

Aus der gemessenen Frequenz und der Kalibrierbeziehung wurde für jeden Standort der Wasseranteil ermittelt. Die für den Standort 2 ermittelte Eichbeziehung kann derzeit nicht verwendet werden. Es sind nur Meßwerte für den Bereich 30 bis 37 % Wasseranteil vorhanden, die Variation in der Frequenz ist sehr gering und die Korrelation nicht ausreichend (*Abbildung 4*). In weiterer Folge wird die vom Hersteller empfohlene Standardkalibrierung verwendet. Die Standardabweichung zwischen dem Wasseranteil, ermittelt aus der Herstell-

erkalibrierung und der ermittelten Kalibrierbeziehung, beträgt für den Standort 1 Nord 4,0 % und für Standort 3 Nord 4,2 %. Die Korrelation zwischen der gemessenen Frequenz und dem Wasseranteil beträgt für den Standort 1 $R^2 = 0,5891$ und für Standort 3 $R^2 = 0,4841$.

Abbildung 5 zeigt den Niederschlag und zeitlichen Verlauf des Wasseranteils über die Meßperiode Juni bis November 2000 für die Standorte 1 und 3 in verschiedenen Meßtiefen. In 10 cm Meßtiefe sind erwartungsgemäß starke Schwankungen im Wasseranteil zu beobachten, die mit dem Niederschlag korrelieren. Beim Standort 1 sind auch in 50 cm Bodentiefe Schwankungen des Wasseranteils zu beobachten, die von der Größe der Niederschlagsereignisse (> 20 mm) abhängen. In 100 cm Tiefe ist der Wasseranteil mit rund 30 % über die gesamte Meßperiode konstant. Beim Standort 3 kommt es nach intensiven Niederschlägen Ende Juli/Anfang August zu einem Ansteigen des Wasseranteils in 50 cm Tiefe von 21 % auf rund 27 %. Der Wasseranteil bleibt dann bis Mitte November ziemlich konstant. In 100 cm Bodentiefe ist ein langsamer aber kontinuierlicher Anstieg des Bodenwassergehaltes zu erkennen (Anfang Juli 20 %, Mitte November 28 %).

Vergleich Zeitlich Diskrete-Kontinuierliche Messung

Da für die kontinuierliche Messung noch keine Kalibrierung vorhanden ist und es sich beim Vergleich Diskrete-Kontinuierliche Messung um das selbe Meßprinzip handelt, wird die Standardkalibrierung beider Systeme verwendet. Es zeigt sich, daß die Spitzen im Wasseranteil unmittelbar nach einem Niederschlagsereignis vor allem in den oberen Bodenschichten mit der wöchentlichen Punktmessung nicht erfaßt werden können. Der Verlauf und die Tendenz der Bodenfeuchte kann jedoch sehr gut mit der Punktmessung nachvollzogen werden (*Abbildung 6*).

Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Projektes werden drei verschiedene Wassergehaltsmeßsysteme verglichen, deren Feldtauglichkeit überprüft und die Handhabung getestet. Für

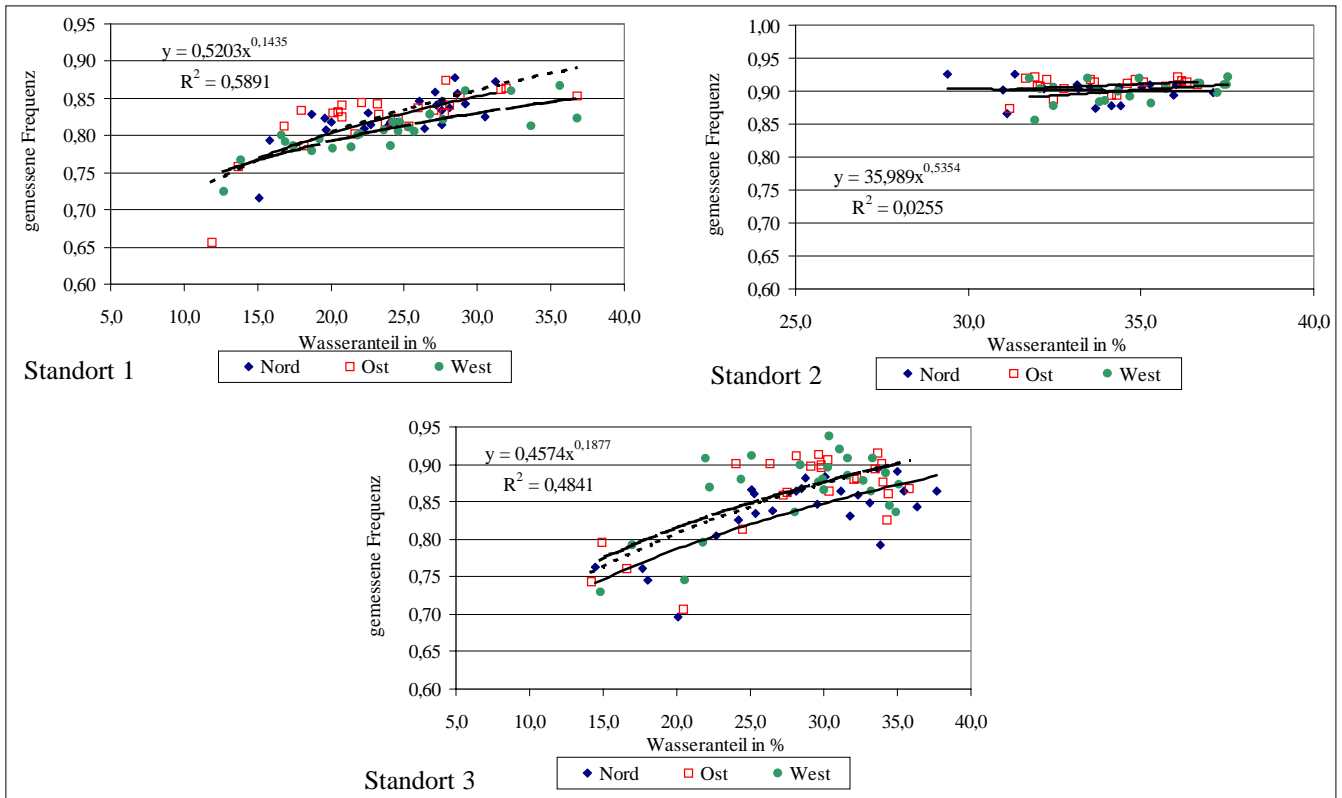


Abbildung 4: Diviner Kalibrierung für alle drei Standorte

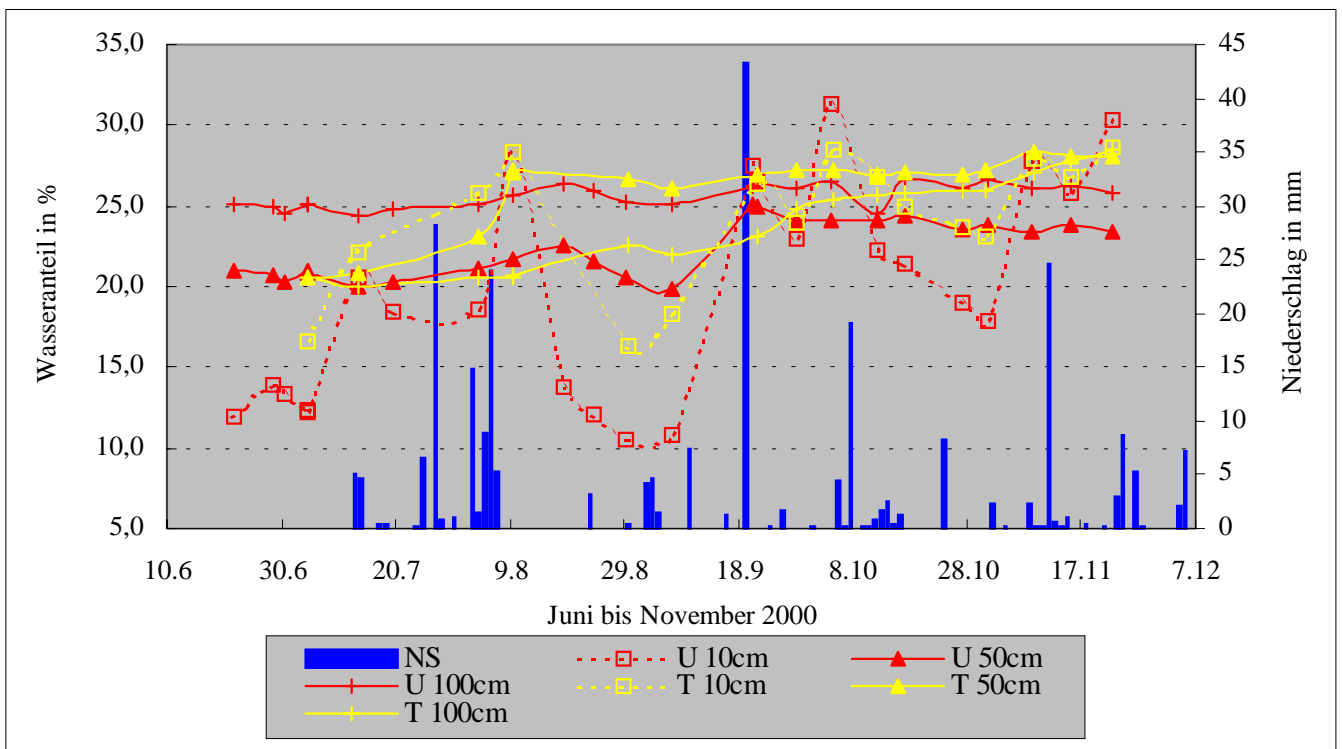


Abbildung 5: Niederschlag und zeitlicher Verlauf des Wasseranteils in verschiedenen Bodentiefen (Diviner Messungen) für die Standorte 1 (U) und 3 (T)

alle Meßsysteme ist es notwendig eine standortspezifische Kalibrierung durchzuführen. Die vom Hersteller empfohlenen Standardkalibrierungen können nicht zum Vergleich unterschiedlicher

Meßstellen herangezogen werden. Im Rahmen dieses Projektes wird die Kalibrierung im Feld anhand von Bodenproben, deren Wassergehalt gravimetrisch bestimmt wird, durchgeführt. Diese Art

der Kalibrierung erfordert Zeit, da Proben des gesamten Wasseranteilspektrum (trocken bis feucht) erforderlich sind und diese Zustände nur zu bestimmten Jahreszeiten auftreten.

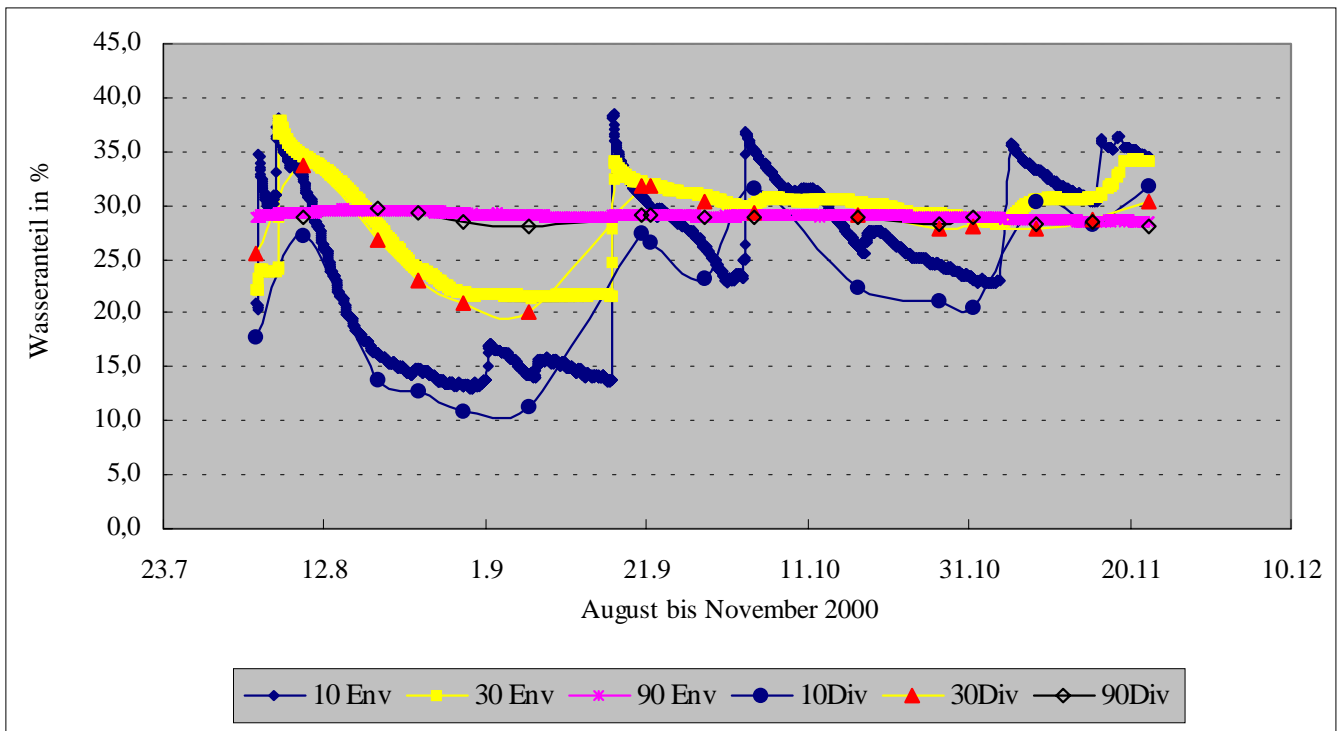


Abbildung 6: Vergleich Diskrete-Kontinuierliche Messung (Enviroscan und Diviner) am Standort 1 Ost, Zeitraum August bis November 2000

Der Einbau ist für alle Rohrsonden ähnlich und erfordert etwas Erfahrung, da ein guter Einbau und vor allem Kontakt des Rohres mit dem Boden für zuverlässige Messungen unbedingt erforderlich ist. Die Stäbe der TDR-Trase Messung können bei feuchtem Bodenzustand bis 60 cm Tiefe problemlos eingebaut werden. In Bezug auf die Handhabung sind der Diviner der Firma Sentek sowie das TDR-Trase Gerät die benutzerfreundlichsten Geräte. Die Messung kann schnell und unkompliziert durchgeführt werden. Über die Meßgenauigkeit der Systeme kann erst nach abgeschlossener Kalibrierung eine Aussage getroffen werden. Derzeit zeigt sich allerdings, daß bei der kapazitiven Methode und der

Neutronensondenmessung die Streuung der Wiederholungen am geringsten ist.

Literatur

- CAMPBELL, J. E., 1990: Dielectric properties and influence of conductivity in soils at one to fifty Megahertz. SSSA, Vol. 54.
- CHANASYK, D.S. and M.A. NAETH, 1996: Field measurement of soil moisture using neutron probes. Canadian Journal of Soil Science 1996, 76 "Modelling and Measurement of Soil Water Content", Proceedings of the Baier and Robertson Symposium, Canada.
- EVETT, S.R. and J.L. STEINER, 1995, Precision of Neutron Scattering and Capacitance Type Soil Water Content Gauges from Field Calibration. Soil Sci. Soc. of America Journal, Vol. 59: 961-968, 1995.
- KASTANEK, F., 2000: Skriptum Bodenphysik. Institut für Hydraulik und landeskulturelle

Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien.

- OULD MOHAMED, S., P. BERTUZZI, A. BRUAND, L. RAISON and L. BRUCKLER, 1997: Field Evaluation and Error Analysis of Soil Water Content Measurement using the Capacitance Probe Method. Soil Sci. Soc. of America Journal, Vol. 61: 399-408, 1997.
- PALTINEANU, C.C. and J.L. STARR, 1997: Real-time Soil Water Dynamics Using Multisensor Capacitance Probes: Laboratory Calibration. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 61, 1997: 1576-1585.
- TOPP, G.C. and J.L. DAVIS, 1985: Measurement of Soil Water Content using Time-domain Reflectometry (TDR): A Field Evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 49, 1985:19 - 24.
- TOPP, G.C. and P. A. FERRE, 1998: Measuring Water Content in Soil using TDR: A State-of-the-Art in 1998, Consultants' meeting on "The comparison of three soil water assessment methods", Joint FAO/IAEA Division, Nov. 98 Vienna.