

Erste Ergebnisse vom Indoor Lysimeter „Petzenkirchen“

Franz Feichtinger^{1*}, Andreas Scheidl¹, Wolfgang Durner², Johann Fank³, Uwe Schindler⁴
und Georg von Unold⁵

Zusammenfassung

An einer vier Meter hohen Säule, die mit Schotter gefüllt ist, werden die vertikalen Wasserflüsse in diesem Grobsediment im Detail untersucht. Die stufenweise Entwässerung der wassergesättigten Probe ergab, dass Wassermengen aus der Säule ausfließen, die mit den Wassergehaltsänderungen aus der TDR-Messung nicht übereinstimmen. Für die obersten 75 cm der Probe ist die freigesetzte Wassermenge, welche aus den Wassergehaltsänderungen der TDR-Messung resultiert, im Mittel ~ 5 Vol% niedriger als die gemessene Ausflussmenge. Unter Vernachlässigung der gemessenen Wassergehalte (TDR) ergibt eine inverse Modellierung mit HYDRUS-1D eine Retentionscharakteristik der obersten 75 cm der Probe womit die gemessenen Matrixpotentiale und der gemessene Gesamtausfluss gut nachgebildet werden.

Schlagwörter: TDR, pF, inverse Modellierung

Summary

A column of 4 m height, which is filled with gravelly material, has been used to study the vertical water fluxes inside. A multistep-outflow experiment was carried out and as a result the measured total amount of the outflow was about 5 vol % more than the amount of water resulting from the changes of water content measured by TDR. Neglecting the TDR measurements and using the software HYDRUS-1D for a soil physical parametrization of the material yielded a retention characteristic for the upper 75 cm of the column that enables modelling the matric potential and the total outflow in good agreement with the measurements.

Keywords: TDR, pF, inverse modelling

Einleitung

Grundwasservorkommen, die für die Trinkwasserversorgung bedeutsam sind, befinden sich meist in Beckenlagen, die mit Grobsedimenten (Schotter) gefüllt sind. Diese Grobsedimente sind nicht nur Grundwasserleiter, sondern werden oft über mehrere Meter vertikal durchströmt, wenn Grundwasserneubildung aus Niederschlagsversickerung erfolgt. Für eine bestmögliche Einschätzung der quantitativen wie qualitativen Grundwasserdotations aus Niederschlagsversickerung gilt es, das vertikale Fließen von Wasser im Schotter richtig zu bewerten. Gerade dazu waren in Vorarbeiten (FANK et al. 2008) deutliche Unsicherheiten festzustellen. Deshalb wurde das Indoor Lysimeter errichtet, mit dem an einer vier Meter hohen Schottersäule der Wasserfluss im Detail studiert wird. Ziel dieses Projektes ist es, die Prozesse bei der Wasserversickerung im Schotterkörper messtechnisch zu erfassen, Fließmodelle zu prüfen bzw. zu entwickeln, entsprechende Fließparameter abzuleiten und die Erkenntnisse in Modellen umzusetzen.

Material und Methoden

Die Probengewinnung, die Korngrößenzusammensetzung des gewonnenen Materials, die Instrumentierung des Indoor

Lysimeters und die Errichtung im Labor sind in KUMPAN et al. (2011) beschrieben. Details zur Installation von TDR-Sensoren in ungestört gelagertem Schotter sind in SCHEIDL et al. (2011) beschrieben.

Versuchsaufbau

Der endgültige Versuchsaufbau des Indoor Lysimeters ist in *Abbildung 1* als Maßskizze dargestellt (sämtliche Höhenangaben erfolgen in cm unter Zylinderoberkante, ZOK).

Ein mit Schotter gefüllter Zylinder (401 cm hoch, Innendurchmesser 78 cm) steht mit dem unteren Ende auf einer ebenfalls schottergefüllten Stahlwanne, welche mittig mit einem Zu-/Ablauf versehen ist, durch den Wasser ein- und ausströmen kann. Diesem Zu-/Ablauf ist außerhalb des Zylinders ein Standrohr (Innendurchmesser: 2,1 cm) angeschlossen, welches bis über die Zylinderoberkante reicht und so als Pegel fungiert, an dem bei Potentialausgleich die Wasserstände im Zylinder abgelesen werden können. Dieses Gesamtsystem steht permanent auf einer Waage, welche als Y-Rahmen mit drei Wägezellen (an den Endpunkten des Y) realisiert ist. Im Schotter wird die Temperatur in 11, das Matrixpotential in 21 und der Wassergehalt in 19 Mess-

¹ Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, A-3252 PETZENKIRCHEN

² Technische Universität Braunschweig, Institut für Geoökologie, Langer Kamp 19c, D-38106 BRAUNSCHWEIG

³ Joanneum Research - Resources - Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit - Wasser Ressourcen Management, Elisabethstraße 16/II, A-8010 GRAZ

⁴ Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Eberswalder Straße 84, D-15374 MÜNCHENBERG

⁵ UMS GmbH, Gmunder Straße 37, D-81379 MÜNCHEN

* Ansprechpartner: DI Franz Feichtinger, franz.feichtinger@baw.at

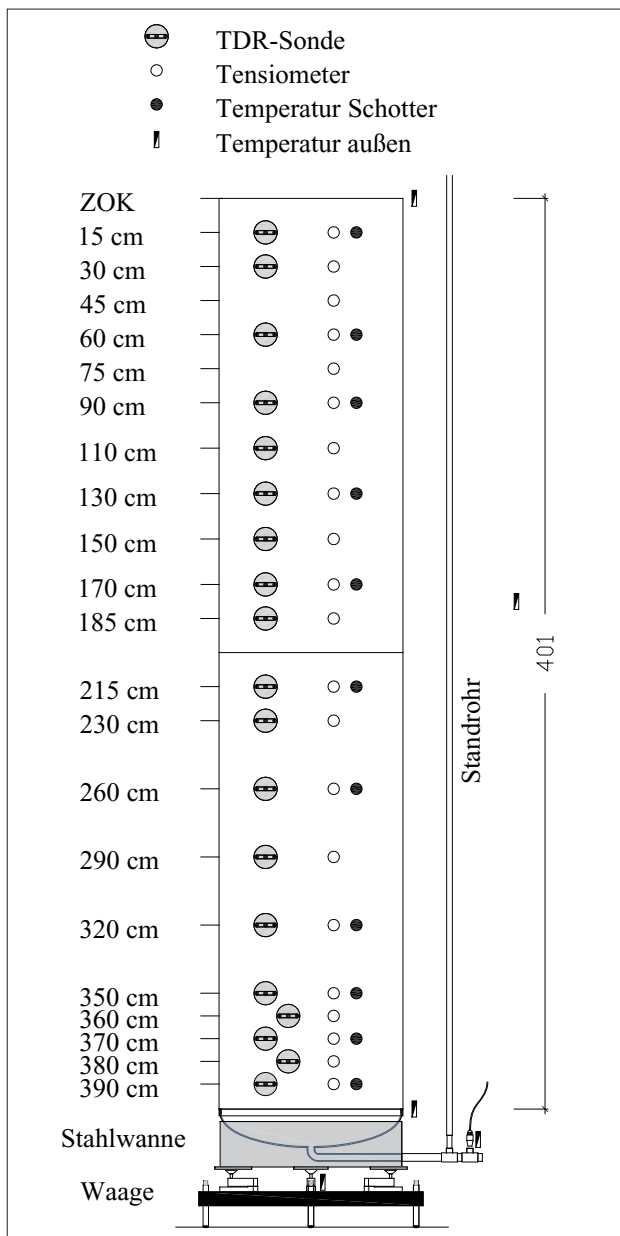


Abbildung 1: Versuchsaufbau und Ausstattung des Indoor Lysimeters Petzenkirchen

ebenen erfasst. Außerdem werden Temperaturen außerhalb des Zylinders gemessen und zwar in Nähe des Standrohres auf Höhe von 0, ~180 und 400 cm unter ZOK, weiters an der Verbindung von Zu-/Ablauf und Standrohr und mittig der Waage. *Tabelle 1* fasst die verwendeten Messelemente zusammen.

Die Messwerte für die Temperatur, das Matrixpotential, die Wassergehalte und für das Gewicht werden durch einen DT85 Datenlogger erfasst. Die Messintervalle sind frei wählbar, solange die benötigte Messdauer nicht limitierend ist.

Bisherige Versuchsdurchführung

Nach Fertigstellung des Versuchsaufbaus wurde Mitte April 2010 mit der stufenweisen Beschickung der Schottersäule

Tabelle 1: Einheiten und Sensoren zu den Messgrößen

Messgröße	Einheit	Sensor*)
Temperatur	°C	Th2-f
Matrixpotential	hPa	T4eK-30 (350, 360, 370, 380) bzw. T3 (restliche Messebenen)
Wassergehalt	Vol%	TRASE, Buriable Waveguide
Gewicht	kg	Wägezelle C6

*) siehe dazu www.ums-muc.de

mit Wasser über den Zulauf an der Unterseite begonnen. Dabei sollten die Daten zu einem „Multistep-Inflow-Experiment“ gewonnen werden und gleichzeitig war dies die Prüfung des Gesamtsystems auf Wasserdichtheit. In dieser Phase waren mehrfache Unterbrechungen erforderlich, um auftretende Lecks abzudichten. Am 8. Juni 2010 war eine Auffüllung der Hohlräume im Schotterkörper bis einige Millimeter unter ZOK erreicht, womit auch die vollkommene Wasserdichtheit der Probe – abgesehen von oberem und unterem Rand – erreicht war. Nachdem in diesem Stadium Temperatureffekte erkennbar waren, wurde eine Stationärphase ohne Wasserfluss zur oder aus der Probe beobachtet; dies ist in FEICHTINGER und SCHEIDL (2011) näher ausgeführt. Im Zeitraum 25. Oktober 2010 bis 2. Februar 2011 erfolgte eine stufenweise Entleerung jener Schotterhohlräume, die entsprechend der Schwerkraft entwässern. Dies geschah, indem am unteren Auslauf ein Ventil geöffnet wurde, um die für die angestrebte Wasserspiegelabsenkung nötige Wassermenge abfließen zu lassen. Danach wurde das Erreichen eines annähernden Gleichgewichtszustandes wieder abgewartet. Mit etwa 50 Teilschritten der Entleerung wurde die Datengewinnung zu einem detaillierten „Multistep-Outflow-Experiment“ angestrebt. Diese Dynamik wurde von ständiger Messung der Temperaturen, Matrixpotentiale, Wassergehalte und Gewichte über Datenlogger begleitet. Parallel wurden manuelle die Wasserstände im Standrohr (Pegel) und die zeitliche Chronologie der Versuchsdurchführung protokolliert. Verdunstung am oberen Rand des Zylinders wurde durch den Abschluss mit einer PVC-Folie unterbunden, wobei der Druckausgleich zur Umgebung gewährleistet war.

Datenhaltung und Hilfsmittel zur Datenbewertung

Die Messwerte wurden vom Datenlogger in eine ACCESS-Datenbank übernommen, wo die Datenhaltung erfolgt. Die manuellen Aufzeichnungen sind in EXCEL verfügbar. Für die Anpassung gängiger Retentionsfunktionen an die simultanen Messwerte von Matrixpotentialen und Wassergehalten wurde die Software RETC (van GENUCHTEN et al. 1991) verwendet. Das Softwarepaket HYDRUS-1D (SIMUNEK et al. 2008) wurde verwendet, um mit der Option der inversen Modellierung die messtechnisch erfasste Wasserdynamik für die bodenphysikalische Parametrisierung zu nutzen.

Ergebnisse

Wie von KUMPAN et al. (2011) dargelegt, ist zwischen lehmigem Sand und Schotter in den oberen 75 cm des

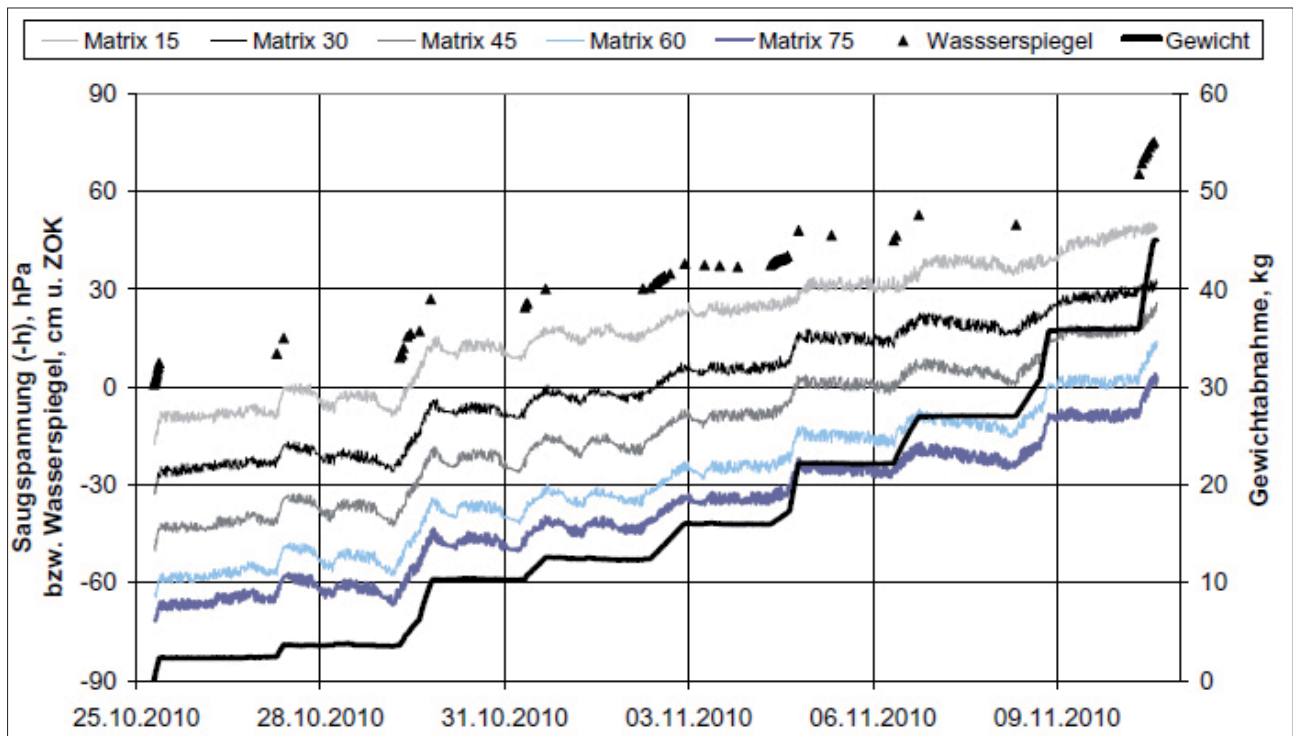


Abbildung 2a: Zeitliche Verläufe der Saugspannung in 15, 30, 45, 60 und 75 cm u. ZOK, der Wasserspiegellage im Zylinder und der Gewichtabnahme des Gesamtsystems im Zeitraum 25.10. - 10.11.2010

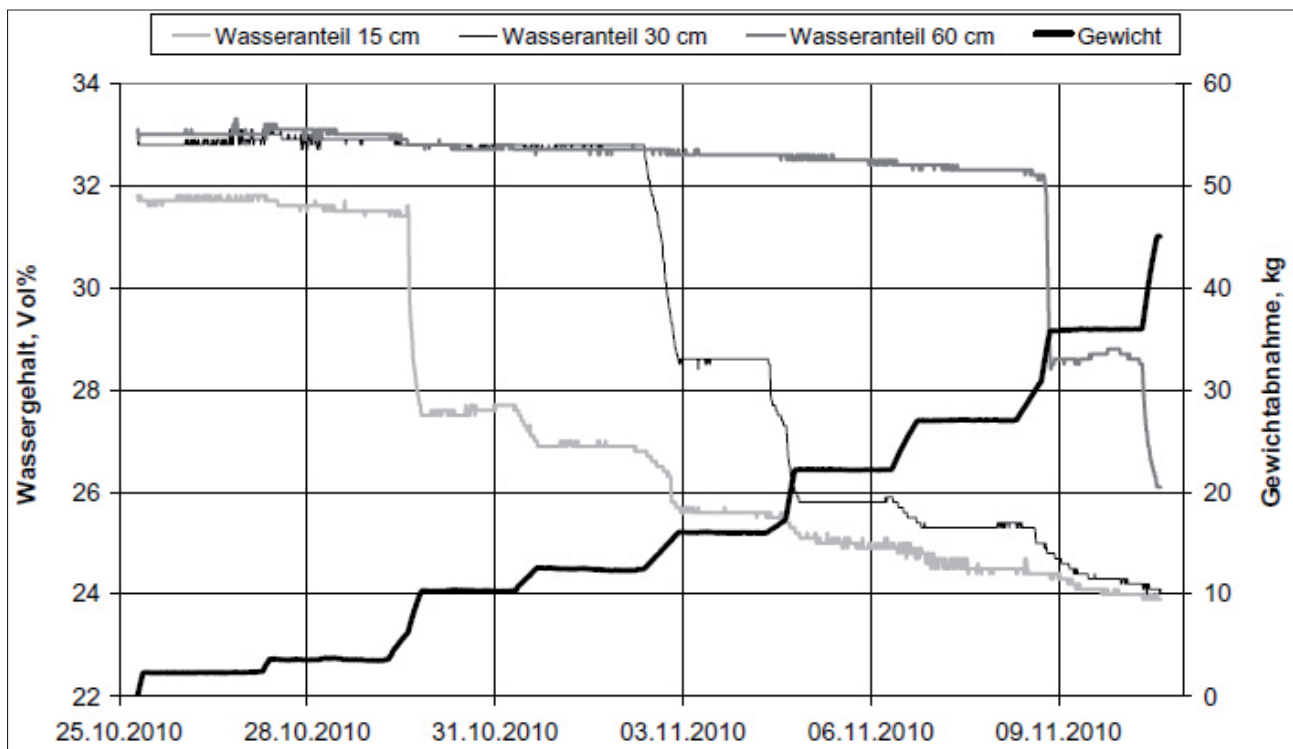


Abbildung 2b: Zeitliche Verläufe der Wassergehalte in 15, 30, und 60 cm u. ZOK und der Gewichtabnahme des Gesamtsystems im Zeitraum 25.10. - 10.11.2010

Zylinders und Sand und Schotter in 75 - 400 cm u. ZOK zu unterscheiden. Aus der Datenfülle werden nachfolgend Ergebnisse aus der stufenweisen Entwässerung der obersten 75 cm, Zeitraum 25.10.2010 bis 10.11.2010, dargelegt.

Laboranalysen zu diesem Tiefenabschnitt ergaben mittlere Gehalte an Ton (< 0,002 mm): 3.5 Masse%, Schluff (0.002 – 0.063 mm): 6.2 Masse%, Sand (0.063 – 2.0 mm): 14.3 Masse% und der Kornfraktion > 2.0 mm: 76.0 Masse%.

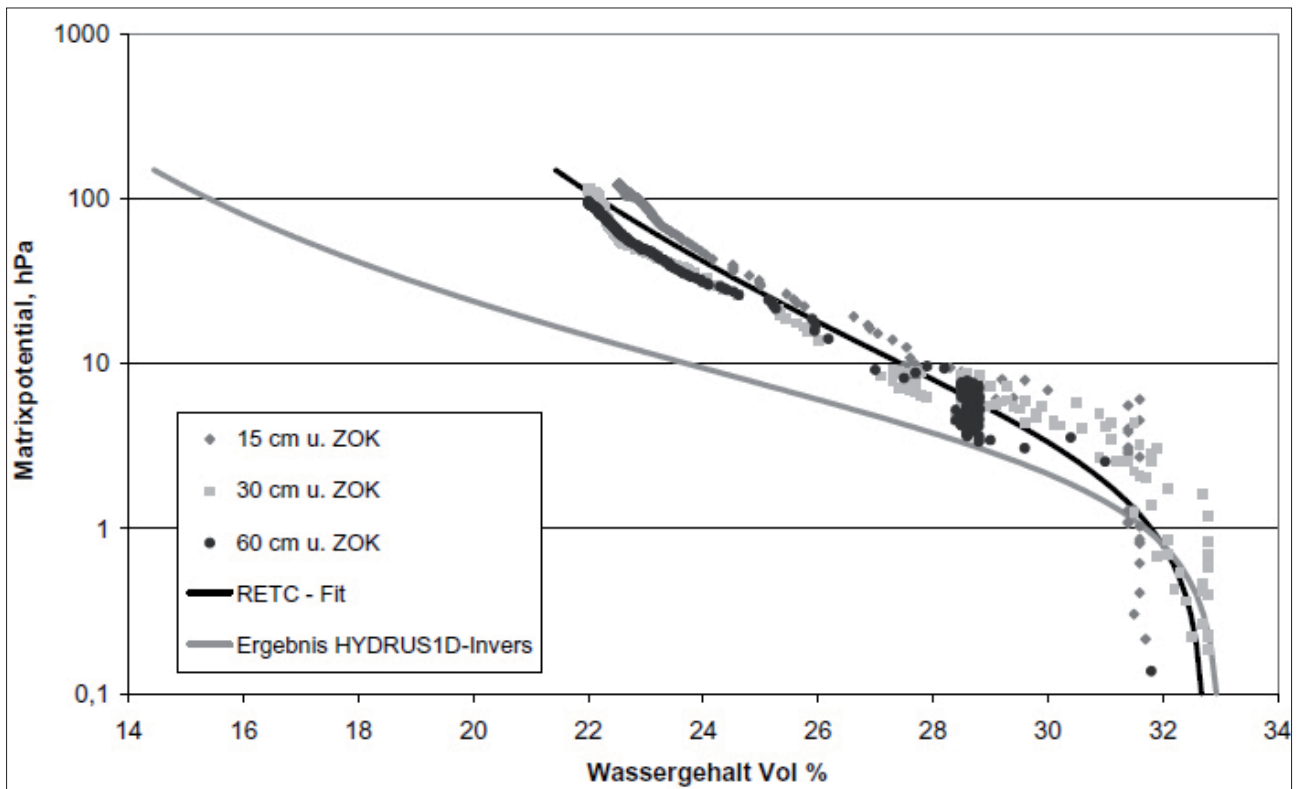


Abbildung 3: Simultan gemessene Matrixpotentiale und Wassergehalte in 15, 30 und 60 cm u. ZOK, die mit RETC angepasste van Genuchten-Funktion und eine Retentionsfunktion aus einer inversen Modellierung mit HYDRUS-1D

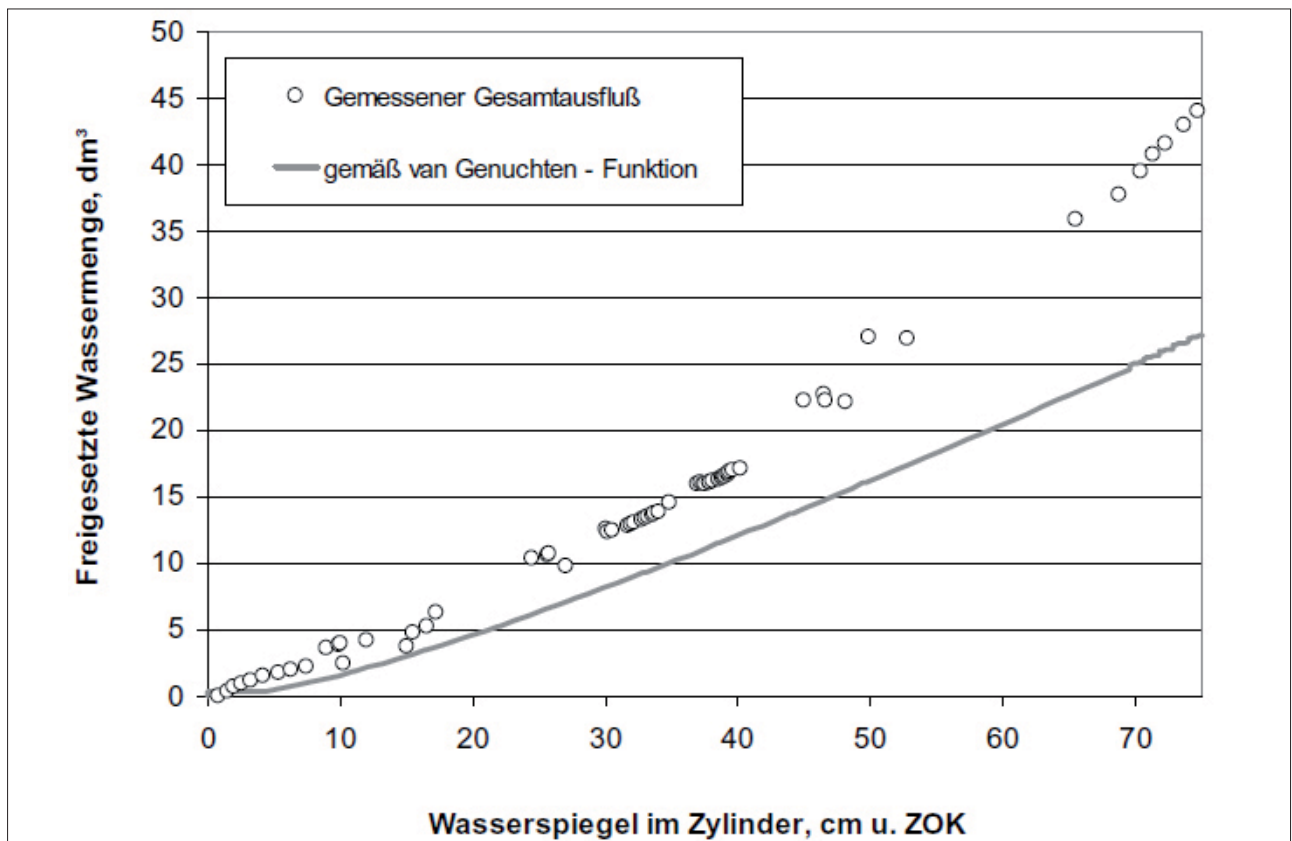


Abbildung 4: Gemessener Wasserausfluss und mithilfe der Retentionsfunktion (RETC- Fit) errechnete Wasserabgabe bei einer Wasserspiegelabsenkung von 0 auf 75 cm u. ZOK

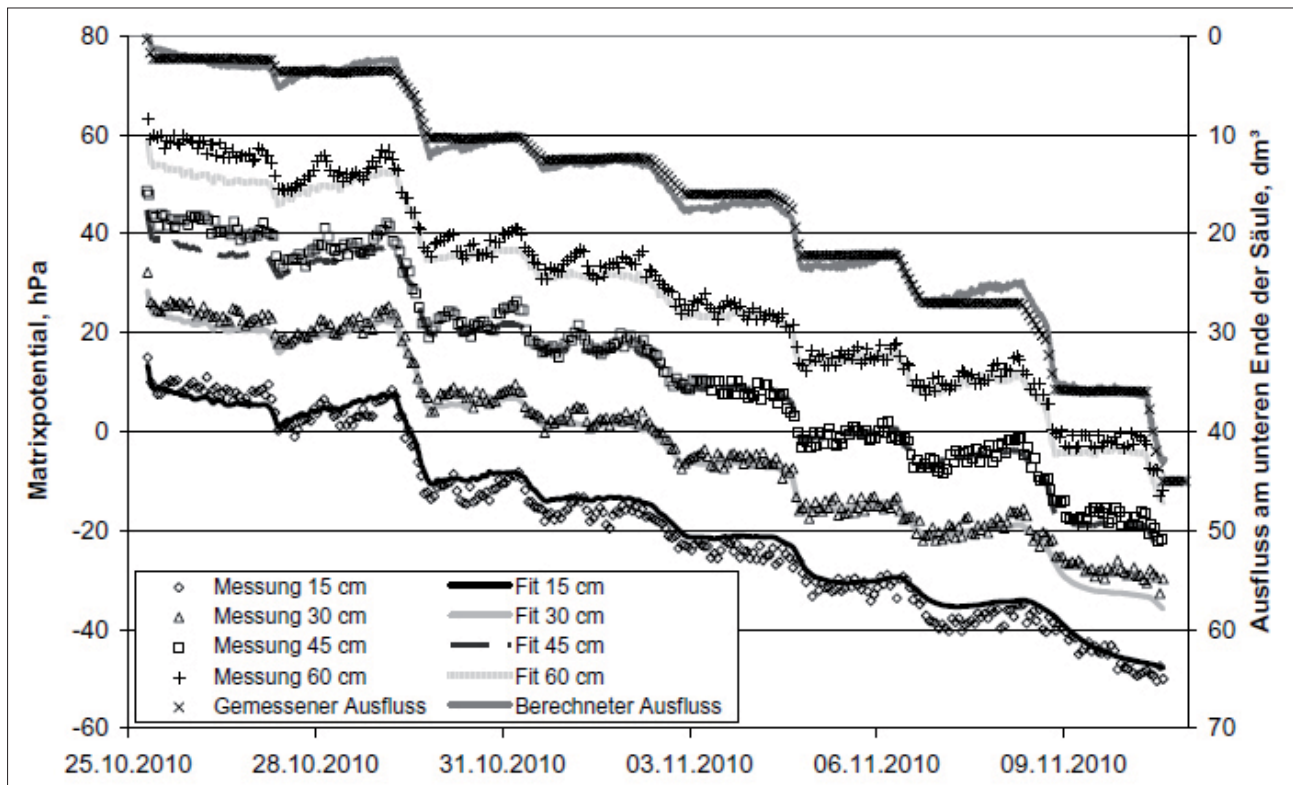


Abbildung 5: Gegenüberstellung der gemessenen Matrixpotentiale aus 15, 30, 45 und 60 cm u. ZOK bzw. des gemessenen Ausflusses den Ergebnissen aus der inversen Modellierung mit HYDRUS1D

Größtkorn: 134 mm, pH: 7.78, CaCO_3 : 77.5 Masse% und Feststoffdichte: 2.82 g/cm^3 sind weitere Analyseergebnisse. *Abbildung 2a* und *2b* halten für die Entwässerung der obersten 75 cm die Zeitreihen der Wasserstände im Zylinder, der Gewichtänderung des Gesamtsystems, der Matrixpotentiale und der Wassergehalte fest und zeigen die zeitlich synchrone Dynamik der Messwerte. Dabei zeigen in *Abbildung 2a* negative Werte der Saugspannung einen Druck größer Atmosphärendruck und damit gesättigte Verhältnisse an. In *Abbildung 2b* ist das Absinken des Wassergehalts bei Heraustreten der entsprechenden TRASE-Sonde aus dem wassergesättigten Bereich durch einen signifikanten Abfall des Wassergehalts deutlich ersichtlich.

Die simultan gemessenen Matrixpotentiale und Wassergehalte aus den Messebenen 15, 30 und 60 cm u. ZOK dienten als Grundlage zur Anpassung einer van Genuchten-Funktion mit RETC. Die in *Abbildung 3* dargestellte Funktion ($\text{WCS} = 0.327$, $\text{WCR} = 0.12$, $\alpha = 0.398 \text{ hPa}^{-1}$, $n = 1.192$, $m = 1 - 1/n$) stellt die mittlere Retentionscharakteristik für den Abschnitt 0 - 75 cm u. ZOK dar.

Mit der mit RETC angepassten Retentionsfunktion wurde mithilfe HYDRUS-1D die Entwässerung einer wassergesättigten, 75 cm hohen Säule bei fortlaufender Wasserspiegelabsenkung von 0 auf 75 cm berechnet. Es resultiert ein Ausfluss am unteren Ende der Säule, dessen kumulierte Menge mit fortschreitender Wasserspiegelabsenkung in *Abbildung 4* festgehalten ist. Diese freigesetzte Wassermenge unterscheidet sich deutlich von dem gemessenen Wasserausfluss an der Zylinderunterseite, dargestellt als Summe der gewogenen Wassermengen, die zu einzelnen

Wasserständen (Pegellesungen) des Multi-Step-Outflow-Experiments gemessen wurden (*Abbildung 4*). Es werden bei der Wasserspiegelabsenkung Wassermengen freigesetzt, die durch die TDR-Messungen nicht quantifiziert werden. Die Differenz zwischen den unterschiedlich bewerteten ausgeflossenen Wassermengen beträgt ca. 5 Vol% der obersten 75 cm der Säule. Inwieweit dies von den Modifikationen beim Einbau der Sonden herrührt (SCHEIDL et al. 2011) oder ob dies der TDR-Messung in solchem Substrat anhaftet, ist in weiteren Untersuchungen zu klären.

In einem alternativen Ansatz blieben die TDR-bestimmten Wassergehalte für eine bodenphysikalische Parametrisierung unberücksichtigt und der gemessene Gesamtausfluss (Wiegeergebnis) und die gemessenen Matrixpotentiale waren Grundlage für eine inverse Modellierung mit HYDRUS-1D (Probenhöhe: 75 cm, Modellansatz: van Genuchten-Mualem, obere Randbedingung: Zero-Flux, untere Randbedingung: gemessene Matrixpotentiale aus 75 cm u. ZOK, Anpassungspunkte: Matrixpotentiale aus 15, 30, 45 und 60 u. ZOK und gemessener Gesamtausfluss, Vorgabe: $\theta_s = 33 \text{ Vol}\% \triangleq \text{RETC}$ – Ergebnis auf ganze Vol% gerundet). Die resultierende Retentionscharakteristik des Porenraumes unterscheidet sich erwartungsgemäß deutlich von jener, die aus den Simultanwerten von gemessenen Matrixpotentialen und Wassergehalten erwächst (*Abbildung 3*).

Die Messwerte des Ausflusses und der Matrixpotentiale konnten mit der inversen Simulation gut nachgebildet werden (*Abbildung 5*). Bei den Wassergehalten ist als logische Konsequenz der bisherigen Ausführungen eine deutliche Differenz zwischen den Messwerten und den Berechnungen gegeben (*Abbildung 6*).

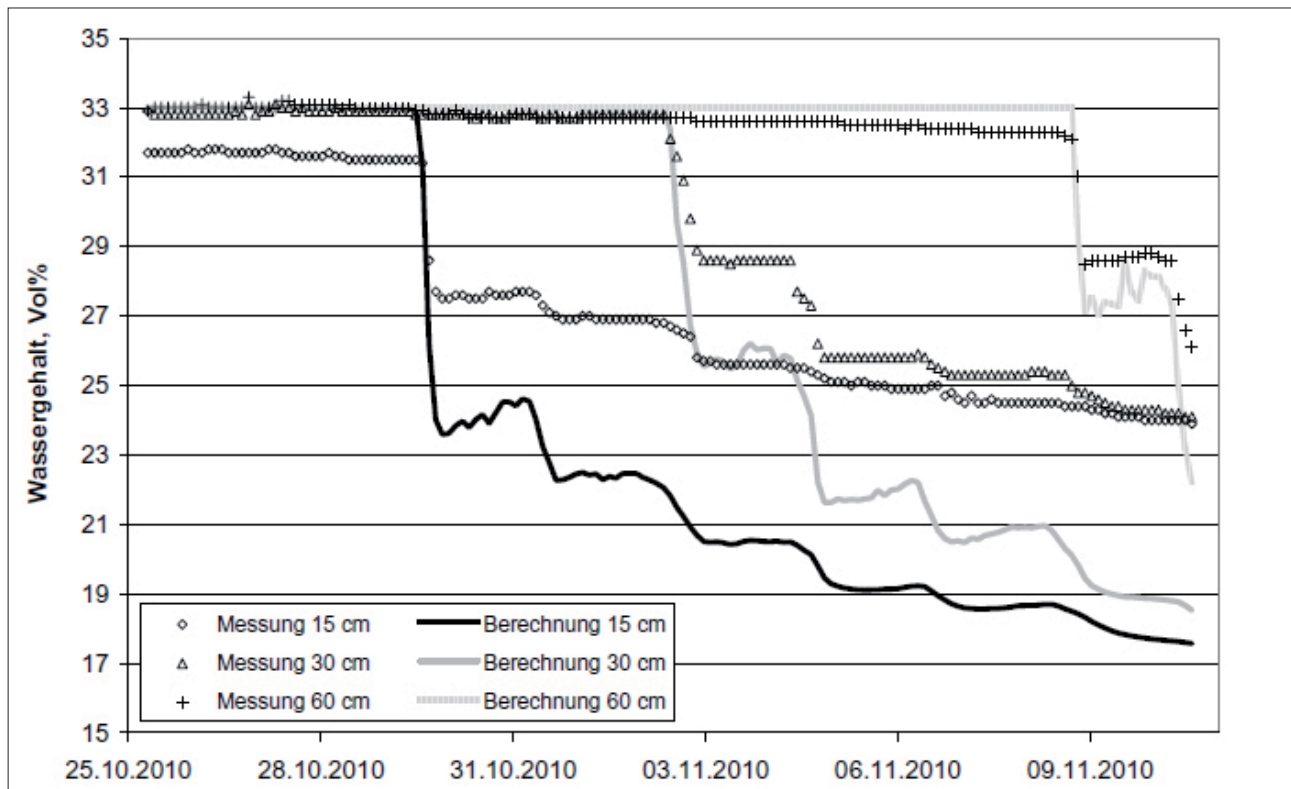


Abbildung 6: Gegenüberstellung der gemessenen und der durch inverse Modellierung mit HYDRUS-1D simulierten Wassergehalte der Tiefen 15, 30 und 60 cm u. ZOK

Resümee

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass bei einer von Wassersättigung ausgehenden Entwässerung des untersuchten Grobsediments Wassermengen freigesetzt werden, die durch die Wassergehaltsänderungen der TDR-Messungen nicht im vollen Umfang identifiziert werden. Das von den TDR-Messungen nicht quantifizierte Wasservolumen beträgt im Mittel der obersten 75 cm u. ZOK ~5 Vol%. Inwieweit dies mit den Modifikationen bei der TDR-Messung im Zusammenhang mit der ungestörten Einbautechnik der TDR-Sonden zusammenhängt, oder ob dies ein generelles Problem von TDR-Messungen in solchem Substrat darstellt, ist in weiteren Untersuchungen zu klären.

Für die stufenweise Entwässerung der Säule war bei Vernachlässigung der gemessenen Wassergehalte (TDR) eine Parametrisierung der Retentionscharakteristik anhand der Zeitreihen der Matrixpotentiale und des gemessenen Gesamtausflusses möglich. Diese Retentionscharakteristik unterscheidet sich deutlich von jener, die aus den Simultanwerten von gemessenen Matrixpotentialen und Wassergehalten erwächst.

Nach Kenntnis der bisherigen Ergebnisse, aber auch im Bewusstsein noch offener Fragen bei der Entwässerung des Grobsediments am Übergang von vollkommener Wassersättigung zu Teilsättigung des Materials soll im nächsten Schritt deren Relevanz bei kontrolliert gesteuertem Wasserfluss im Teilsättigungsbereich untersucht werden.

Literatur

- FANK, J., F. FEICHTINGER und J. FÜRST, 2008: „Prognosemodell Murtal-Aquifer“. – Endbericht, Netzknoten 1, Work Package 1.1.1, im Auftrag der Kompetenznetzwerk Wasserressourcen GmbH. Graz/Petzenkirchen/Wien, am 27.06.2008.
- FEICHTINGER, F. und A. SCHEIDL, 2011: Temperatureffekte beim Betrieb des Indoor Lysimeters „Petzenkirchen“. Bericht über die 14. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter in der Klimafolgenforschung und Wasserwirtschaft“, 3./4. Mai 2011, in Druck.
- KUMPAN, M., A. SCHEIDL, F. FEICHTINGER, J. DORNER und M. KARNER, 2011: Probenahme und Instrumentierung zum Indoor Lysimeter „Petzenkirchen“. Bericht über die 14. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter in der Klimafolgenforschung und Wasserwirtschaft“, 3./4. Mai 2011, in Druck.
- SCHEIDL, A., J. DORNER und F. FEICHTINGER, 2011: Installation von TDR-Sonden in skelettreiches Material. Bericht über die 14. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter in der Klimafolgenforschung und Wasserwirtschaft“, 3./4. Mai 2011, in Druck.
- SIMUNEK, J., M. SEJNA, H. SAITO, M. SAKAI und M.Th. VAN GENUCHTEN, 2008: The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media, Version 4.0x. Hydrus Series 3, Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, CA, USA.
- VAN GENUCHTEN, M.Th., F. J. LEIJ and S.R. YATES, 1991: The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Report No. EPA/600/2-91/065, R. S. Kerr Environmental Research, Laboratory, U. S. Environmental Protection Agency, Ada, OK. 85 p.