

Erfassung kleinräumiger Heterogenitäten der Bodenwasserdynamik im Fläming (Deutschland)

Gundula Paul^{1*}, Ralph Meißner² und Gregor Ollesch³

Zusammenfassung

Kleinräumige Heterogenitäten im Bodenwasserhaushalt und in der Bodenwasserdynamik können durch die kontinuierliche Messung von Saugspannungs- und Redoxpotentialwerten erfasst werden, wobei die standörtlichen Bodenwasserdynamiken stark von den kleinräumigen Unterschieden der Bodeneigenschaften abhängen. Gezeigt werden standorttypische Austrocknungs- und Wiederbefeuchtungsprozesse von Ackerböden unter Wintergerste im Ober- und Unterboden. Bei gleichen vorherrschenden klimatischen Bedingungen führen die sehr unterschiedlichen Bodeneigenschaften an den beiden nahe beieinanderliegenden Standorten zu sehr verschiedenen Bodenwasserdynamiken, die ein unterschiedliches Wachstum und eine differenzierte Biomasseproduktion der Wintergerste zur Folge hatten.

Schlagwörter: Bodenwasserhaushalt, Monitoring, Redoxpotential, Saugspannung

Summary

By measuring continuously soil moisture tensions and redox potentials, it is possible to detect small-scale heterogeneities in soil water balance and soil water dynamics. However, small-scale heterogeneities of the soil properties play concerning the soil water dynamics an important role. We show typically drying-out and re-wetting processes of agricultural soils under winter barley for top- and subsoils. Although, the climatic conditions are equal, the soil water dynamic at the shown agricultural sites, which are closed to each other, differ clearly and are the result of different soil properties. It becomes visible in unequal growth of the winter barley and, also, in unequal biomass production.

Keywords: soil water content, monitoring, redox potential, soil water tension

Einleitung

Die Ausprägung standortspezifischer Bodenwasserdynamiken hängt stark von kleinräumig auftretenden Heterogenitäten der Bodeneigenschaften sowie der Landnutzungsform ab. Um hydrologische Modelle in einem Gebiet erfolgreich anwenden zu können, ist es notwendig, die räumliche und zeitliche Verteilung der Bodenfeuchte, auch in ihren Heterogenitäten, möglichst genau zu kennen.

WESSOLEK et al. (2008, 2009) zeigten anhand von TDR-Messungen und Tracerexperimenten, dass es unter Grünland und Kieferwäldern kleinräumige Unterschiede in der Bodenfeuchteverteilung und Bodenwasserdynamik gibt. Die Wiederbefeuchtung des Bodens nach Niederschlagsereignissen hängt insbesondere von bevorzugten Fließwegen, dem Gehalt an organischer Substanz und der Hydrophobie des Bodens ab. Um kontinuierlich kleinräumige Unterschiede in der Bodenwasserdynamik zu erfassen, können auch Watermark-Sensoren verwendet werden, die bisher v.a. in der Bewässerungssteuerung eingesetzt wurden (z.B. THOMPSON et al. 2006). Ebenso können Veränderungen im Bodenwasserhaushalt mit Redoxsonden erfasst werden, da sie schnell auf Bodenfeuchteänderungen reagieren (MANSFELDT 2003). Um kleinräumige Heterogenitäten in der Bodenwasserdynamik auf verschiedenen Acker- und

Waldflächen zu erfassen, wird eine Kombination aus Watermark- und Redoxsonden verwendet.

Im Mittelpunkt des Beitrags steht die Vorstellung und Diskussion von hydropedologischen Messergebnissen der Saugspannungs- und Redoxpotentialmessungen an zwei nahe beieinander liegenden Wintergerste-Standorten in der wasserwirtschaftlich sensiblen Region Fläming (Ostdeutschland). Methodische Informationen zum Aufbau und Betrieb des Messnetzes finden sich bei PAUL et al. (2012).

Untersuchungsgebiet

Der Fläming, in dem sandige Böden vorherrschend sind, ist ein Komplex aus mehreren saaleiszeitlichen Endmoränen (LIEDTKE 1981) und ein wichtiges Trinkwassergewinnungsgebiet (LUCKNER et al. 2002).

Während die Hochflächen überwiegend bewaldet sind, werden die Niederungen meist landwirtschaftlich genutzt und von mehreren Fließgewässern durchquert. Im Einzugsgebiet der Grimmer Nuthe liegen die beiden in dieser Studie vorgestellten Monitoringstandorte (*Abbildung 1*). Sie wurden im September 2011 mit Wintergerste bestellt, die am 2. August 2012 geerntet wurde. Obwohl die Standorte nur etwa zwei Kilometer Luftlinie voneinander entfernt liegen, weisen sie sehr unterschiedliche Standortbedingungen auf.

¹ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Department Bodenphysik, Brückstraße 3a, D-39114 MAGDEBURG

² Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Department Bodenphysik, Lysimeterstation Falkenberg, Dorfstraße 55, D-39615 FALKENBERG

³ Flussgebietsgemeinschaft Elbe, Geschäftsstelle, Otto-von-Guericke-Straße 5, D-39104 MAGDEBURG

* Ansprechpartner: Dipl.Geogr. Gundula Paul, gundula.paul@ufz.de



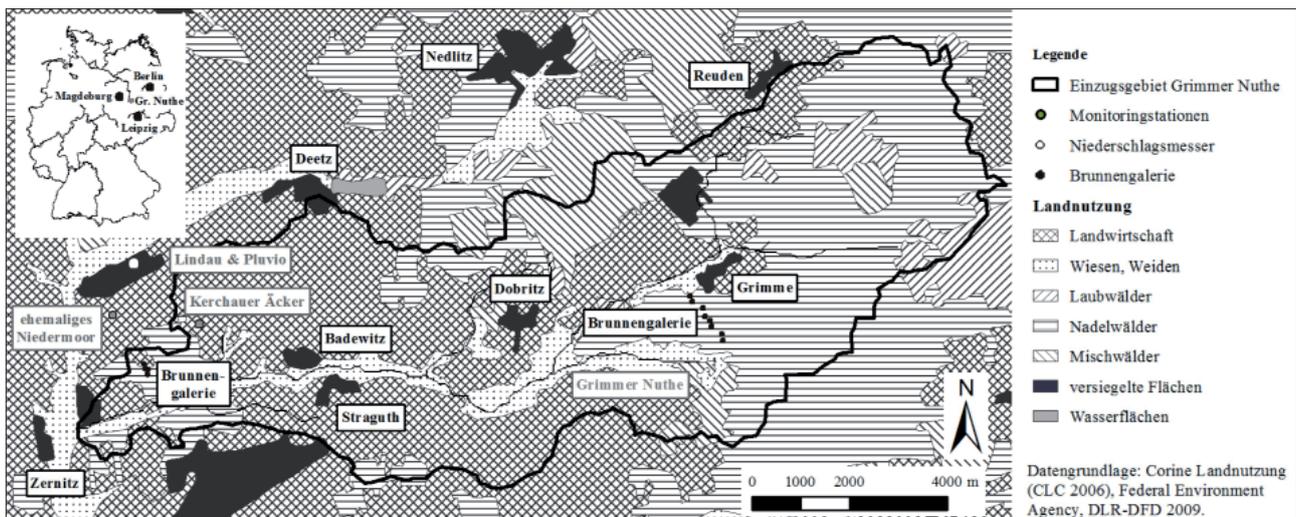


Abbildung 1: Lage der Monitoringstationen im Einzugsgebiet der Grimmer Nuthe

Das ehemalige Niedermoor wird ganzjährig drainiert, um Ackerbau betreiben zu können, die Kerchauer Äcker sind durch kleinräumige Wechsel von sandigen und etwas lehmigen Bodensubstraten geprägt.

Methoden

An beiden Monitoringstandorten wurden in verschiedenen Tiefen Watermark Soil Moisture Sensors Model 200SS (Irrrometer Company), im Folgenden als Watermark-Sensor bezeichnet, eingebaut. In 15-Minuten-Intervallen werden mit diesen Sensoren kontinuierlich die Veränderungen der Saugspannungswerte, welche dem elektrischen Widerstand zwischen zwei Elektroden entspricht (IRRROMETER COMPANY 2010), gemessen.

Auf den Kerchauer Äckern wurden zusätzlich zwölf Redoxsonden (Plantinelektroden) und eine Referenzelektrode (KCI) in verschiedenen Tiefen permanent im ungestörten Boden installiert. Gemessen wird die Differenz der elektrischen Spannung zwischen den Redoxsonden und der Referenzelektrode. Alle Messwerte wurden durch die Addition von 217 mV auf die Standardwasserstoffelektrode bezogen. Die Erfassung der Niederschlagsmengen erfolgte mit einem Niederschlagsmesser (Pluvio Standard Ott, Kempton) (Abbildung 1).

Ergebnisse

Die Saugspannungswerte auf dem ehemaligen Niedermoor lagen im gesamten Messzeitraum im Bereich der Feldkapazität (0-30 cbar) (Abbildung 2). Eine Ausnahme stellte ein Watermark-Sensor in 20 cm Tiefe dar, an dem ab Mitte Mai eine leichte Austrocknung des Bodens auftrat und die Saugspannungswerte temporär im Bereich der nutzbaren Feldkapazität (>30 cbar) lagen. Nach starkem Niederschlag am 31.5.2012 wurde der Boden wiederbefeuchtet, die Saugspannungswerte sanken und lagen erneut im Bereich der Feldkapazität. Ab Saugspannungen von ~20 cbar stellten sich an diesem Sensor Tag-Nacht-Rhythmen ein.

Die Bodenwasserdynamik auf den Kerchauer Äckern unterschied sich deutlich von der des ehemaligen Nieder-

moors, was sich in einer deutlich größeren Amplitude und Variabilität der Saugspannungswerte zeigte (Abbildung 3). Während im Herbst und Winter die Saugspannungswerte ebenfalls im Bereich der Feldkapazität lagen, stiegen die Werte ab Ende März mit Beginn der Halmentwicklung der Wintergerste an. Der Boden trocknete zeitverzögert mit zunehmender Tiefe aus. Als erstes nahmen die Saugspannungswerte im Oberboden (Sensortiefe 30 cm) und als letztes im Unterboden (Sensortiefe 90 cm) zu. An sandigen Stellen trocknete der Boden etwas eher als an lehmigeren Stellen aus, ebenso wurde der Sandboden nach (starken) Niederschlagsereignissen, wie beispielsweise am 5.6.2012, mit 10.6 mm schneller wiederbefeuchtet.

Tag-Nacht-Rhythmen traten v.a. im Hauptwurzelraum der Wintergerste (Sensortiefe 30 cm) ab einer Saugspannung von ~50 cbar auf (Abbildung 3), wobei die Tagesamplituden der Saugspannungswerte in sandigeren Bereichen stärker als in lehmigeren Bereichen ausgeprägt waren. Während einer Frostperiode Anfang/Mitte Februar wurden auf den Kerchauer Äckern sehr hohe Saugspannungswerte in 30 cm Tiefe gemessen (Abbildung 3), wobei diese an sandigeren Stellen drei Tage länger als an lehmigeren Stellen andauerten.

Die Redoxpotentialmessungen auf den Kerchauer Äckern zeigten einen markanten Tagesgang, der bis in eine Tiefe von 190 cm auftrat (Abbildung 4). Die höchsten Redoxpotentiale traten kurz vor Sonnenaufgang auf, tagsüber sanken sie und stiegen nach Sonnenuntergang wieder an. Mit zunehmender Tiefe nahm die Tagesamplitude der Redoxpotentialwerte ab. Nach ergiebigen Niederschlägen (z.B. 20.06.2012) mit Tagessummen von ≥ 10 mm stiegen – mit einem Zeitverzug von bis zu einem Tag – die Redoxpotentiale in allen Tiefen an.

Diskussion

Auf dem ehemaligen Niedermoor ist Landwirtschaft nur durch eine permanente Drainage möglich. Im gesamten Messzeitraum lagen die Saugspannungswerte im Bereich der Feldkapazität, sodass die Wasserversorgung der Pflanzen uneingeschränkt war. Kleinräumige Heterogenitäten der

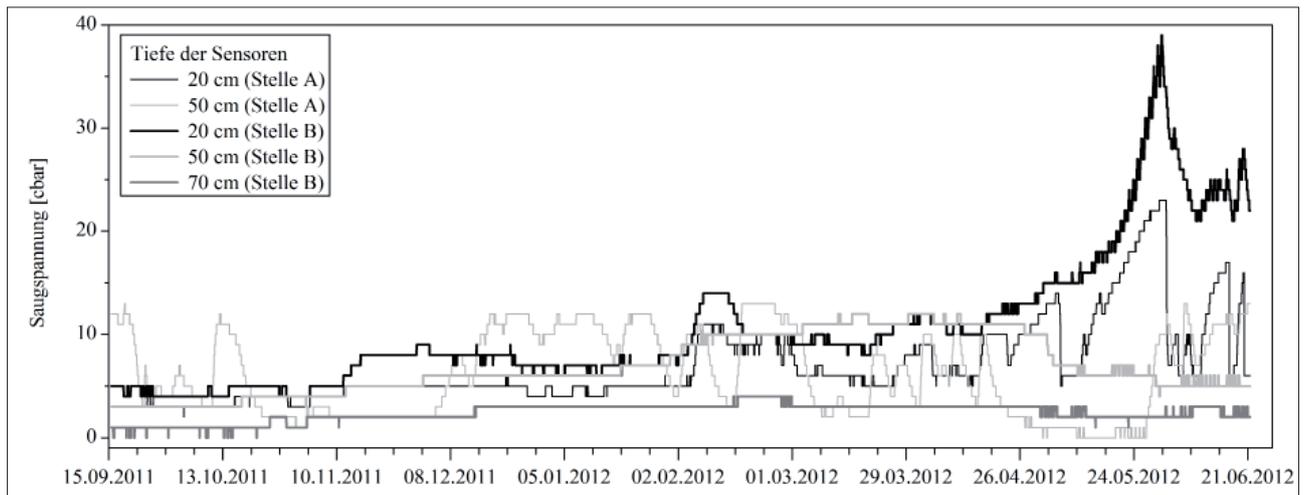


Abbildung 2: Mit Watermark-Sensoren gemessene Saugspannungen auf einem Wintergerstefeld (ehemaliges Niedermoor)

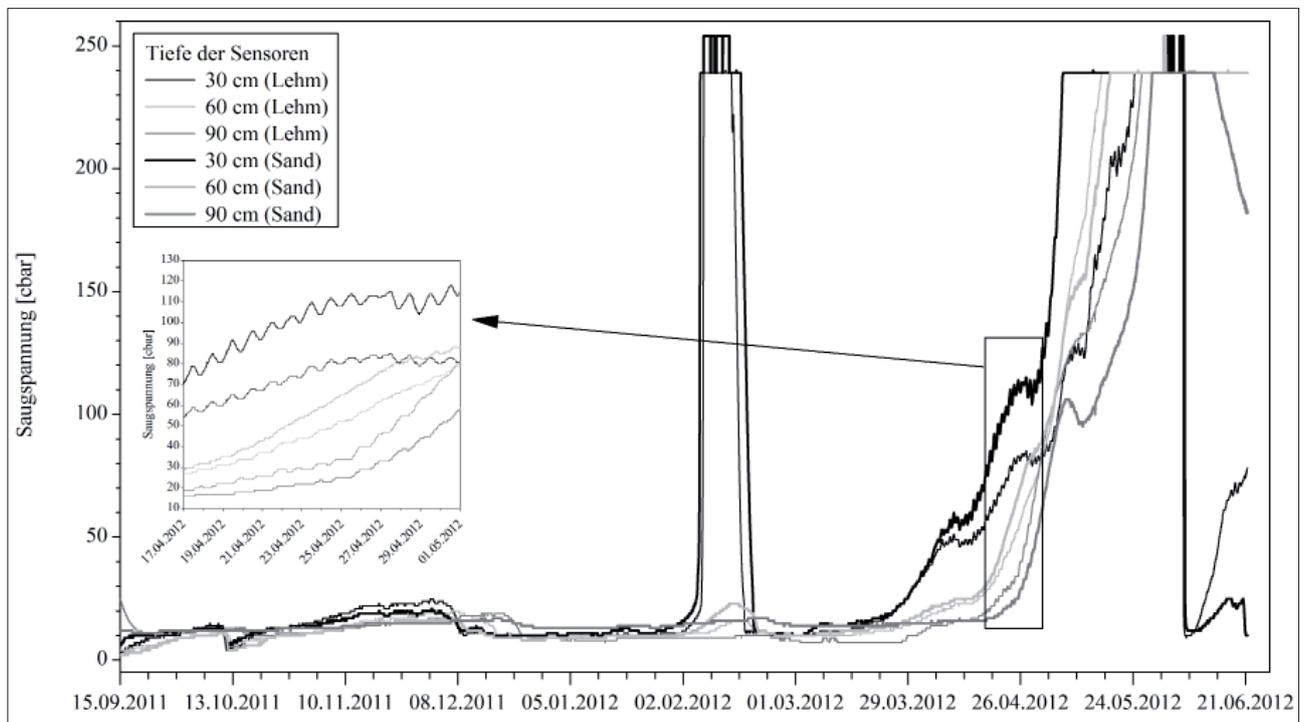


Abbildung 3: Mit Watermark-Sensoren gemessene Saugspannungen auf einem Wintergerstefeld (Kerchauer Äcker)

Bodeneigenschaften verursachten geringe Schwankungen der Saugspannungswerte.

Auf den Kerchauer Äckern begann ab März mit steigenden Lufttemperaturen das Wachstum der Wintergerste, sodass der Boden – vom Oberboden aus beginnend (Sensortiefe 30 cm) – austrocknete und die Saugspannungswerte zunahm. Mit der Bodentiefe stiegen die Saugspannungswerte zeitversetzt an. Durch fortschreitendes Wachstum nahmen die Wurzeln das in tieferen Bodenschichten gespeicherte Wasser auf und nutzten es für das Pflanzenwachstum und die Transpiration. Da Sandböden eine geringere Wasserspeicherfähigkeit als lehmigere Böden haben, trocknete der Boden an sandigeren Stellen früher aus.

Zeitweise waren die Pflanzen auf den Kerchauer Äckern Trockenstress ausgesetzt; dies führte zu transpirationsbedingten Tag-Nacht-Rhythmen ab Saugspannungen von 50 cbar. Während tagsüber Pflanzen und Boden viel Wasser verdunsteten (steigende Saugspannungswerte), ist die Verdunstung nachts herabgesetzt bzw. null (sinkende Saugspannungswerte). Aufgrund der geringeren nutzbaren Feldkapazität von Sandböden ist der Vorrat an pflanzenverfügbarem Wasser eingeschränkt. An lehmigeren Stellen ist die nutzbare Feldkapazität vergleichsweise höher, sodass der Trockenstress für Pflanzen geringer war. Zeitweise ist das Wasser jedoch so stark im Boden gebunden, dass es nicht pflanzenverfügbar ist.



Abbildung 4: Verlauf der gemessenen Redoxpotentialwerte in ausgewählten Tiefen auf einem Wintergerstefeld (Kerchauer Äcker) sowie die gemessenen Niederschlagsmengen in Lindau (Gesamtniederschlag im Messzeitraum: 203 mm)

Im Frühjahr, in der Halmentwicklungsphase, brauchte die Wintergerste auf den Kerchauer Äckern viel Wasser für die Biomassenproduktion, sodass die Saugspannungswerte stark anstiegen. Nach (starken) Niederschlägen wie am 5.6.2012 (10.6 mm) wurde der Boden wegen der schnellen Infiltration an sandigeren Stellen eher als an lehmigeren Stellen wiederbefeuchtet. Während einer Frostperiode im Februar waren die Saugspannungswerte sehr hoch. Aufgrund des geringen Wassergehaltes sandiger Böden wies dieser eine geringere Wärmekapazität als der lehmige Boden auf. Daher kühlte er schneller aus und gefror mindestens bis in eine Tiefe von 30 cm; dies führte zu steigenden elektrischen Widerständen und stark ansteigenden Saugspannungswerten.

Die Anbaubedingungen auf dem ehemaligen Niedermoor waren v.a. im Frühjahr wegen der uneingeschränkten Wasserversorgung besser als auf den Kerchauer Äckern. Die unterschiedlich guten Standortbedingungen spiegelten sich auch in der Wuchshöhe der Wintergerste wider. Anfang Juli betrug diese im Mittel auf dem ehemaligen Niedermoor 140 cm und auf den Kerchauer Äckern 100 cm. Zudem war die Pflanzendichte auf dem ehemaligen Niedermoorstandort deutlich höher. Bei gleichen klimatischen Bedingungen waren v.a. Bodeneigenschaften und Bodenwasserdynamik die entscheidenden Faktoren für das unterschiedliche Wachstumsverhalten der Wintergerste.

Die Redoxpotentialwerte auf den Kerchauer Äckern zeigten im Messzeitraum Tag-Nacht-Rhythmen auf. Wäre dieses permanent auftretende Muster nur durch die Transpiration

der Wintergerste bedingt, so dürfte es nicht bis in eine Tiefe von 190 cm nachweisbar sein, da die Wurzeln nur vereinzelt bis in diese Tiefe vorstoßen. Es müssen daher andere, standorttypische Einflüsse das Redoxpotential beeinflussen. Es wird angenommen, dass unterschiedliche parallel ablaufende geochemische Prozesse zu diesem markanten Muster führten. Die Redoxpotentialwerte lagen zwischen ~410 und 560 mV und wiesen auf eine gute Durchlüftung des Bodens hin (GISI et al. 1997); leicht zersetzbare organische Substanz wurde unter aeroben Bedingungen durch Bodenorganismen abgebaut. Tagsüber veratmeten diese Sauerstoff, und es entstand CO_2 . Gleichzeitig läuft unter Sauerstoffverbrauch der Prozess der Nitrifikation ab. Durch die dabei erfolgte Freisetzung von H^+ -Ionen bestehen gute Voraussetzungen zur Verminderung der Redoxpotentialwerte.

Die Tagesamplituden der Redoxpotentialwerte nahmen mit zunehmender Tiefe ab. Dies ist auf eine geringere Anzahl von Bodenorganismen und eine verminderte Bereitstellung von Sauerstoff, der für die Nitrifikation benötigt wird, zurückzuführen. Im Hauptwurzelbereich (Sensortiefe 50 cm) könnte zusätzlich die Transpiration der Wintergerste einen Einfluss auf die Redoxpotentialwerte ausgeübt haben. Durch die Transpiration der Wintergerste bedingt, werden Kationen aus der Bodenlösung aufgenommen. Gleichzeitig werden durch die Pflanzenwurzeln auch H^+ -Ionen freigesetzt. So änderte sich durch die Aufnahme von Nährstoffen und Ausscheidung von Wurzelexsudaten die Konzentration der im Bodenwasser gelösten Stoffe; damit verbunden war

eine Abnahme der Redoxpotentialwerte. Nachts, wenn die Pflanzen weniger bzw. gar nicht transpirierten, war die Nitrifikation reduziert und die Redoxpotentialwerte stiegen an. Nach Niederschlägen von >10mm/Tag stiegen die Redoxpotentialwerte – mit einer Zeitverzögerung von bis zu einem Tag – an. Dieser Anstieg trat nach der Versickerung des Niederschlagswassers in den Boden auf. Vorübergehend stellten sich weitgehend anaerobe Bedingungen ein, die die Denitrifikation begünstigen. Nitrat (NO_3^-) wird unter Verbrauch von H^+ -Ionen zu Nitrit (NO_2^-) und Wasser reduziert. Die Abnahme der H^+ -Ionen-Konzentration führte zu steigenden Redoxpotentialwerten.

Schlussfolgerungen

Die Saugspannungs- und Redoxpotentialmessungen auf den beiden Ackerflächen im Fläming haben gezeigt,

- dass sich Watermark- und Redoxsonden eignen, standorttypische Austrocknungs- und Wiederbefeuchtungsprozesse des Bodens zu erfassen,
- dass bei gleichen klimatischen Bedingungen die Bodeneigenschaften und der Bodenwasserhaushalt einen entscheidenden Einfluss auf das Wachstum und die Biomasseproduktion der Wintergerste hatten,
- dass kleinräumig auftretende Heterogenitäten der Bodeneigenschaften zu teilweise sehr unterschiedlichen Bodenwasserdynamiken führten.

Die Messwerte sowie die durch die Messungen gewonnenen Erkenntnisse werden für die hydrologische Modellierung des Einzugsgebietes der Grimmer Nuthe genutzt.

Danksagungen

Das diesem Beitrag zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) mit dem Förderkennzeichen 033L029J gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung

liegt bei den Autoren. Wir danken Peter Gottschalk, Hans-Joachim Wuttig (AgriCo Lindauer Naturprodukte AG) und Torens Reis (Forstrevier "Hoher Fläming") für die Bereitstellung von Flächen sowie ihre Unterstützung bei der Auswahl geeigneter Plätze für das Monitoringprogramm. Dank auch der Trinkwasserversorgung Magdeburg GmbH (TWM) für ihre Unterstützungen und Diskussionen über Wassermanagementaktivitäten in der Region Fläming sowie Dr. Jens Hagenau (UFZ) für die Hilfe bei der Feldarbeit.

Literatur

- GISI, U., R. SCHEKER, R. SCHULIN, F.X. STADELMANN und H. STICHER, 1997: Bodenökologie. Thieme, Stuttgart, New York.
- IRROMETER COMPANY (Ed.), 2010: Watermark soil moisture sensor – Model 200SS. <http://www.irrometer.com>
- LIEDTKE, H., 1981: Die nordischen Vereisungen in Mitteleuropa. Forschungen zur Deutschen Landesgeschichte, Bd. 204, Zentralausschuss für deutsche Landeskunde, Trier.
- LUCKNER, L., F. BÖRNER, K. TIEMER und C. BEYER, 2002: Grundwasserressourcen im Westfläming. Langfristige Nutzung des Wasserdargebots im Westfläming. Gutachten. Dresdener Grundwasserforschungszentrum (DGFZ), Dresden.
- MANSFELDT, T., 2003: In situ long-term redox potential measurements in a dyked march soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166(2), 210-219.
- PAUL, G., R. MEISSNER and G. OLLESCH, 2012: Soil-hydrological measuring strategy to estimate water balances in the Flaeming region, Germany. *Agrochemistry and Soil Science Online* (in review).
- THOMPSON, R.B., M. GALLARDO, T. AGÜERA, L.C. VALDEZ and M.D. FERNÁNDEZ, 2006: Evaluation of Watermark sensor for use with drip irrigated vegetable crops. *Irrigation Science* 24, 185-202.
- WESSOLEK, G., K. SCHWÄRZEL, A. GREIFFENHAGEN and H. STOFFREGEN, 2008: Percolation characteristics of a water-repellent sandy forest soil. *European Journal of Soil Science* 59, 14-23.
- WESSOLEK, G., H. STOFFREGEN and K. TRÄUMER, 2009: Persistence of flow patterns in a water repellent sandy soil – Conclusions of TDR readings and a time-delayed double tracer experiment. *Journal of Hydrology* 375(3-4), 524-535.