

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG, Kommission I
Titel der Tagung:
Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung
Veranstalter:
DBG, 7.-12. September 2013, Rostock
Berichte der DBG
(nicht begutachtete online Publikation).
<http://www.dbges.de>

Unterschiede und Gemeinsamkeiten in der Bodenwasserdynamik unterschiedlicher Wald- und Ackerstandorte

Holger Rupp¹, Gundula Paul², Ralph Meißner¹ und Gregor Ollesch³

Zusammenfassung

Die standörtliche Bodenwasserdynamik wird wesentlich durch die Landnutzung, Vegetation, Bodeneigenschaften und Witterung bestimmt. Um in einer Region ein hydrologisches Modell erfolgreich anwenden zu können, ist es notwendig, den Bodenwasserhaushalt in seiner zeitlichen und räumlichen Ausprägung richtig abzubilden. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojektes „Nachhaltiges Landmanagement im Norddeutschen Tiefland“ (NaLaMa-nT) wurden im Fläming bodenhydrologische Monitoringstandorte aufgebaut, die kleinräumige Heterogenitäten in der Bodenwasserdynamik kontinuierlich und zeitlich hoch aufgelöst erfassen. Ergebnisse der Saugspannungsmessungen mit Watermark-Sensoren auf sechs Acker- und Waldstandorten werden präsentiert. Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Bodenwasserhaushalt der Monitoringstandorte werden aufgezeigt und analysiert.

Schlüsselwörter

Bodenwasserhaushalt, Saugspannung, Tag-Nacht-Rhythmus, Watermark-Sensor

¹ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Department Bodenphysik, Lysimeterstation Falkenberg

² Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Department Bodenphysik, Magdeburg, gundula.paul@ufz.de

³ Flussgebietsgemeinschaft Elbe, Geschäftsstelle, Magdeburg

Einleitung

Bodenwasserhaushalt und Bodenwasserdynamik bestimmen vielfältige in der Natur ablaufende Prozesse. So spielt Bodenwasser beispielsweise eine entscheidende Rolle bei der Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen oder bei der Verlagerung von Nähr- und Schadstoffen im Boden (ROWELL 1997). In der Landwirtschaft ist die Sicherung der Ernte abhängig von der Bodenfeuchte (BLUMÖHR ET AL. 2011). Auch spielt die Bodenfeuchte bei Fragen der Bewässerungssteuerung eine zentrale Rolle und wird im Rahmen des Klimawandels als limitierender Faktor zunehmend an Bedeutung gewinnen (CHMIELEWSKI 2011). Ebenso ist die plausible Darstellung der Bodenfeuchte in ihrer räumlichen und zeitlichen Ausprägung für die erfolgreiche Anwendung von Modellen notwendig (PAUL ET AL. 2013).

Es existieren zahlreiche Messsensoren, mit denen die Bodenfeuchte erfasst werden kann. Zur Messung von Bodenfeuchteunterschieden und zur Steuerung der Bewässerung wurde in den 1980er Jahren der Watermark-Sensor entwickelt, der den elektrischen Widerstand zwischen zwei Elektroden misst (LARSON 1985). Seitdem wurde der Sensor weiterentwickelt (HAWKINS 1993) und wird vor allem in der Bewässerungssteuerung eingesetzt (IRMAK ET AL. 2006). Watermark-Sensoren haben einen relativ großen Messbereich (0-239 cbar), sind verglichen mit anderen Messmethoden relativ günstig, wartungsfrei, einfach zu installieren und zu nutzen, widerstehen tiefen Temperaturen und ermöglichen eine kontinuierliche Messung (CHARD 2005, INTRIGLIOLO & CASTEL 2004, IRRROMETER COMPANY 2010). Der elektrische Widerstand, über dem die Bodenfeuchte gemessen wird, ist jedoch boden- und temperaturabhängig; bei Bodenfrost oder in sehr trockenem Boden sind die Messungen daher fehlerhaft. Zudem reagieren die Sensoren schlecht im nassen oder gesättigten Bereich (CHARD 2005, INTRIGLIOLO & CASTEL 2004, PAUL ET AL. 2013).

Methoden

Der Fläming wurde maßgeblich während der Saale-Eiszeit geprägt (BRUNNER 1962). Heute dominieren im Hohen Fläming

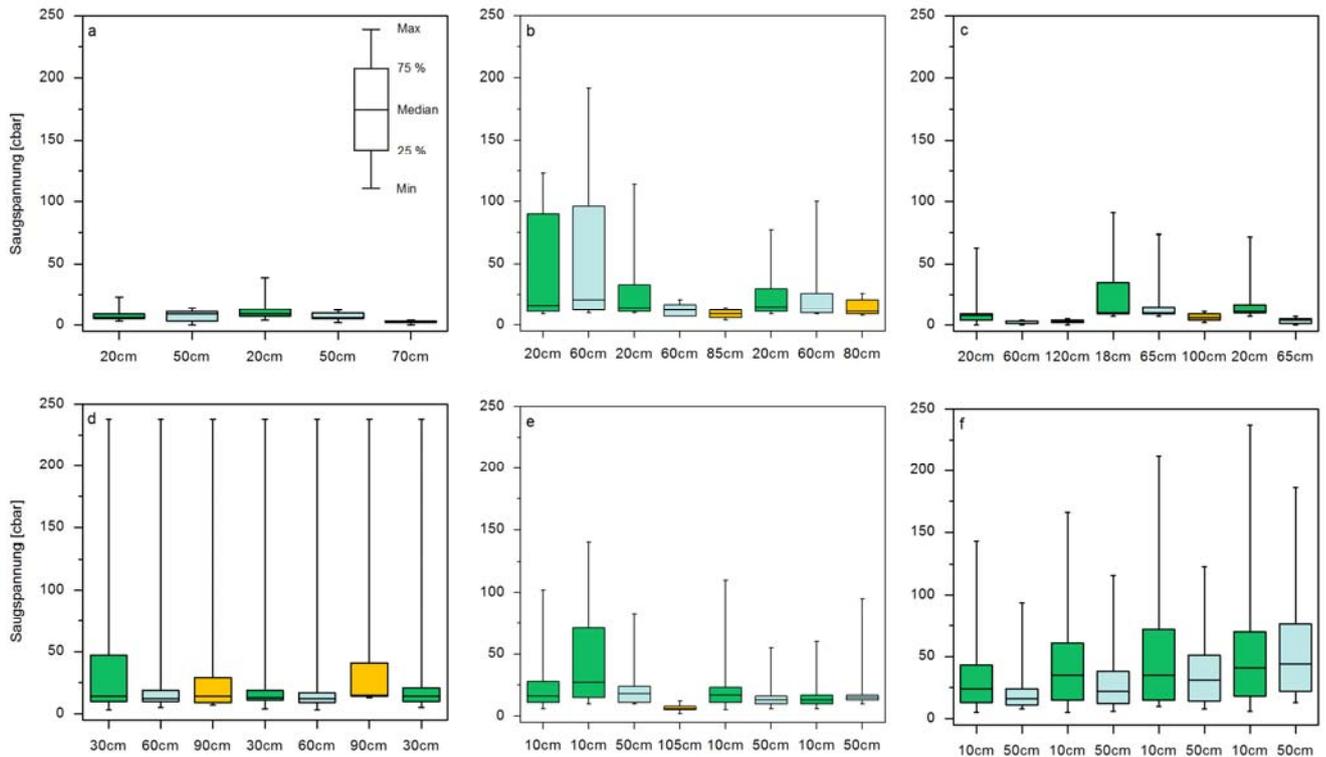


Abb. 1: Saugspannungsmessungen an den Monitoringstationen im Fläming. Sensortiefen: 10-30 cm (grün), 50-65 cm (blau), 80-120 cm (orange). a) Degradiertes Niedermoor, b) Waldstandort Paradies, c) Eichenmischwald, d) Kerchauer Äcker, e) Kiefernreinbestand, f) Buchenvoranbau.

Kiefernforsten, während im Zerbster Ackerland intensiv Landwirtschaft betrieben wird. Im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes „Nachhaltiges Landmanagement im Norddeutschen Tiefland“ (NaLaMa-nT) wurden im Fläming sechs bodenhydrologische Monitoringstationen auf ackerbaulich und forstwirtschaftlich genutzten Flächen installiert. Watermark-Sensoren (IRROMETER COMPANY 2010) wurden in verschiedenen Tiefen eingesetzt (Tab. 1), um kleinräumige Heterogenitäten der Bodenwasserdynamik kontinuierlich und zeitlich hoch aufgelöst (15-Minuten-Werte) zu erfassen. Gezeigt werden hier Ergebnisse vom 1.11.2011 bis 28.8.2012. Aus den Messreihen wurden alle Werte gestrichen, die außerhalb des Messbereiches lagen (> 239 cbar), ebenso wie alle Werte zwischen dem 27.1. bis 13.2.2012. Die Veränderungen der Saugspannungswerte waren in diesem Zeitraum auf Dauerfrost zurückzuführen. Am Waldstandort Paradies kam es außerdem vom 26.4. bis 21.6.2012 zu Messausfällen. Der Niederschlag wurde mit Niederschlagsmesser in Lindau und Gollmenglin erfasst.

Tab. 1: Eigenschaften der Monitoringstandorte. Grau hinterlegt sind grundwassernah, weiß hinterlegt grundwasserferne Standorte.

Standort	Nutzung	Sensortiefe [cm] & (Sensoranzahl)
Degradiertes Niedermoor	Wintergerste	20 (2), 50 (2), 70 (1)
Kerschauer Äcker	Wintergerste	30 (3), 60 (2), 90 (2)
Eichenmischwald	Eichen-Buchen-Mischwald	20 (3), 65 (3), 100 (1), 120 (1)
Waldstandort Paradies	Kiefern-mischwald	20 (3), 60 (3), 80 (1), 85 (1)
Kiefernreinbestand	Kiefernforst	10 (4), 50 (3), 105 (1)
Buchenvoranbau	Rotbuche unter Kiefer	10 (4), 50 (4)

Ergebnisse und Diskussion

Abb. 1 zeigt, dass die gemessenen Saugspannungswerte stark von Sensor zu Sensor sowie von Standort zu Standort variierten. Tendenziell war die Spannweite der Saugspannungswerte an den grundwassernahen Standorten (vgl. Abb. 1 a-c) deutlich kleiner als an den grundwasserfernen Standorten (vgl. Abb. 1 d-f). Auch nahm mit zunehmender Tiefe tendenziell die Variabilität der Saugspannungswerte ab. Die niedrigsten Saugspannungswerte traten auf

dem ganzjährig drainierten, degradierten Niedermoor auf; die gemessenen Werte lagen hier fast im gesamten Messzeitraum im Bereich der Feldkapazität (< 30 cbar). Somit waren keine Einschränkungen in der Wasserversorgung der Böden und in der Biomasseproduktion zu verzeichnen. Auch an den Waldstandorten Paradies und Eichenmischwald lagen die Saugspannungen überwiegend im Bereich der Feldkapazität. Die im Mittel niedrigen Saugspannungswerte deuten darauf hin, dass auch an diesen beiden Standorten die Wasserversorgung der Böden ausreichend war. Dennoch kamen bis in eine Tiefe von 65 cm häufiger höhere Saugspannungswerte vor. An zwei Sensoren im Paradies traten vermehrt hohe Saugspannungswerte auf, die in der Hydrophobizität des Waldbodens und/oder sich ausbildenden präferenziellen Fließwegen im Boden begründet waren. So wurde nicht nach jedem Niederschlagsereignis der Boden wieder vollständig befeuchtet, sodass sich zeitweise Trockenstress ausbildete. Die größte Variabilität der Saugspannungswerte wurde auf den Kerchauer Äckern beobachtet. Hier erreichten die Saugspannungen mehrfach die Obergrenze des Messbereichs (>239 cbar). An anderen Standorten waren Saugspannungswerte von >150 cbar eine Ausnahme. Die hohe Variabilität der Saugspannungen ist auf das begrenzte standörtliche Wasserdargebot und den großen Wasserbedarf der Wintergerste zurückzuführen. Auf diesem grundwasserfernen Standort wird der Bodenwasserhaushalt maßgeblich durch das Niederschlagsgeschehen beeinflusst; kapillarer Aufstieg aus dem Grundwasser spielt keine Rolle. In niederschlagsfreien Phasen im Frühjahr und Sommer trocknete der Boden teils stark aus, sodass die Saugspannungen anstiegen. Nach Niederschlagsereignissen wurde der Boden wiederbefeuchtet und die Saugspannungswerte sanken. Auch im Kiefernreinbestand und im Buchenvoranbau war die Variabilität der Saugspannungswerte zeitweise groß. Vor allem im Buchenvoranbau stiegen die Saugspannungswerte mit Beginn des Blattaustriebs der Buchen stark an. Durch den höheren Wasserbedarf der Bäume und die steigenden Transpirationsraten trocknete der Boden zunehmend aus und folglich

stiegen die Saugspannungswerte an. An allen Monitoringstandorten waren die Unterschiede zwischen den einzelnen Sensoren einer Tiefe an einem Standort gering. Auf die unterschiedlichen Standorte bezogen zeigte sich jedoch, dass die Spannweite der Saugspannungswerte auf den grundwassernahen Standorten deutlich kleiner als auf den grundwasserfernen Standorten war. An den grundwassernahen Standorten war die Wasserversorgung der Böden durch den kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasser deutlich günstiger. Tendenziell nahmen hier die Spannweiten der Saugspannungswerte mit zunehmender Tiefe ab. Dies zeigt, dass die Bodenwasserdynamik im Oberboden deutlich ausgeprägter als im Unterboden war und in entscheidender Weise durch die vorherrschende Witterung beeinflusst wurde. An den drei grundwasserfernen Standorten traten vor allem im sehr warmen und trockenen Frühjahr und Sommer Tag-Nacht-Rhythmen auf (Abb. 2), die auf einen transpirationsbedingten Trockenstress hindeuten. Dabei wurden die höchsten Saugspannungswerte am Mittag und die niedrigsten um Mitternacht herum beobachtet. An den grundwassernahen Standorten trat dieses Muster nur vereinzelt an einzelnen Sensoren auf. Im Kiefernreinbestand und im Buchenvoranbau traten Tag-Nacht-Rhythmen nur im Oberboden (Sensortiefe 10 cm) auf; im Kiefernreinbestand bereits im Bereich der Feldkapazität. Dies ist auf die an diesem Standort stark ausgeprägte Krautschicht zurückzuführen, die ihren Wasserbedarf vor allem aus dem Oberboden deckt. Im Buchenvoranbau waren die Tag-Nacht-Rhythmen stärker als im Kiefernreinbestand ausgeprägt, traten jedoch erst bei höheren Saugspannungswerten auf. Die Tagesamplituden nahmen vom Frühjahr bis in den Spätsommer zu. Dies deutet auf zunehmende Trockenstressbedingungen im Oberboden, dem Hautwurzelraum der Kiefern und Buchen, ab dem Spätsommer hin. Insgesamt wurden an 16 der 45 Watermark-Sensoren transpirationsbedingte Tag-Nacht-Rhythmen nachgewiesen. Das Fehlen dieses markanten Musters hat zwei Gründe: (1) die Standorte werden ganzjährig durch Grundwasser beeinflusst, sodass

der Wasserbedarf der Pflanzen durch den kapillaren Aufstieg von Wasser aus dem Grundwasser in den Wurzelraum gedeckt wurde. (2) Die Tag-Nacht-Rhythmen traten hauptsächlich im Oberboden auf, da die Pflanzen ihren Wasserbedarf vor allem aus diesem Bodenbereich deckten.

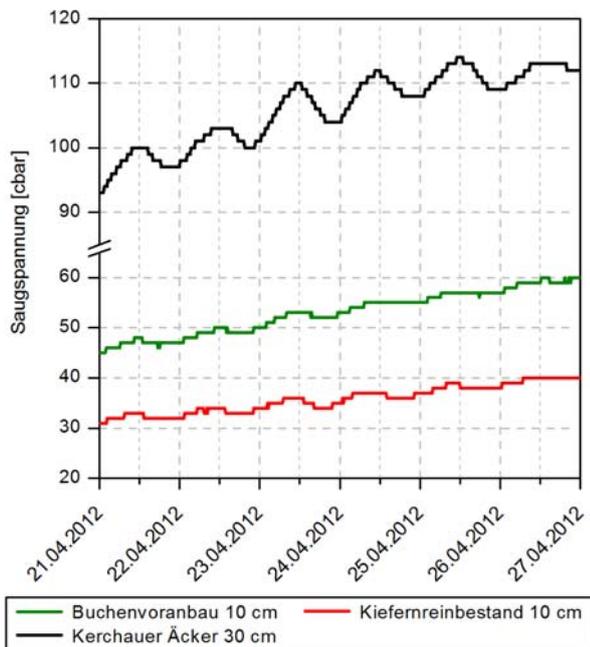


Abb. 2: Tag-Nacht-Rhythmen im Oberboden der grundwasserfernen Monitoringstandorte.

Zusammenfassung und Ausblick

Watermark-Sensoren wurden an sechs Monitoringstationen im Fläming genutzt, um kleinräumigen Heterogenitäten der Bodenwasserdynamik zu erfassen. Die Variabilität der gemessenen Saugspannungen hing vom Standort und der Tiefe der Sensoren ab. An grundwassernahen Standorten waren wegen der ausreichenden Wasserversorgung die Wachstumsbedingungen für die Pflanzen ganzjährig gut. An grundwasserfernen Standorten kam es vor allem im Oberboden zu zeitweiligen Trockenstress, der sich in transpirationsbedingten Tag-Nacht-Rhythmen äußerte. Hier wurde die Bodenwasserdynamik maßgeblich durch die Witterung bestimmt. An allen Monitoringstandorten wurde die Bodenwasserdynamik durch die Landnutzung, Bodeneigenschaften und Witterung bestimmt. Die Unterschiede in der Bodenwasserdynamik zwischen grundwassernahen und grundwasserfernen Standorten waren größer als zwischen den Acker- und Waldstandorten. Die Messergebnisse helfen, die ablaufen-

den Prozesse besser zu verstehen und werden für die Kalibrierung und Validierung des hydrologischen Modells WaSiM-ETH verwendet.

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 P. Gottschalk, H.-J. Wuttig und T. Reis für die Bereitstellung von Flächen und ihre Unterstützung bei der Auswahl geeigneter Plätze für das Monitoringprogramm sowie J. Hagenau für die Hilfe bei der Feldarbeit.

Literatur

- BLUMÖHR, T., BRANDL, M., BREITENFELD, J., DAHL, S., FÜHRER, J., GABKA, D., HAFFMANS, C., HEINZE, S., KRAFT, M., SCHABER, J. SEITZ, R. & TROEGEL, T. (2011): Agrarstrukturen in Deutschland. Einheit in Vielfalt. Regionale Ergebnisse der Landwirtschaftszählung 2010. Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Stuttgart. <http://www.statistik-portal.de>
- BRUNNER, H. (1962): Fläming. In: MEYEN, E. (Hrsg.): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung, Bad Godesberg. S. 1166-1177.
- CHARD, J. (2005): Watermark soil moisture sensors: characteristics and operating instructions.
- CHMIELEWSKI, F.-M. (2011): Wasserbedarf in der Landwirtschaft. In: LOŽAN, J.L., GRAßL, H., HUPFER, P., KARBE, L. & SCHÖNWIESE, C.-D. (Hrsg.): Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle? S. 149-156. <http://www.climate-service-center.de>
- HAWKINS, A.J. (1993): Electrical sensor for sensing moisture in soils. United States Patent. Patent Number 5,179,347. Date of Patent Jan. 12, 1993.
- INTRIGLIOLO, D.S. & CASTEL, J.R. (2004): Continuous measurement of plant and soil water status for irrigation scheduling in plum. *Irrigation Science* 23(2), pp. 93-102.
- IRMAK, S., PAYERO, J.O., EISENHAEUER, D.E., KRANZ, W.L., MARTIN, D.L., ZOUBEK, G.L., REES, J.M., VANDEWALLE, B., CHRISTIANSEN, A.P. & LEININGER, D. (2006): Watermark Granular Matrix Sensor to measure soil matric potential for irrigation management. *EC783*, pp. 1-7.
- IRROMETER COMPANY (2010, Eds.): Watermark soil moisture sensor – Model 200SS. <http://www.irrometer.com>
- LARSON, G.F. (1985): Electrical sensor for measuring moisture in landscape and agricultural soils. United States Patent. Patent Number 4,531,087. Date of Patent Jul. 23, 1985.
- PAUL, G., MEIßNER, R. & OLLESCH, G. (2013): Erfassung kleinräumiger Heterogenitäten der Bodenwasserdynamik im Fläming (Deutschland). 15. Gumpensteiner Lysimetertagung, 16.-17. April 2013, Irdning, Österreich. S. 185-189.
- ROWELL, D.L. (1997): *Bodenkunde Untersuchungsverfahren und ihre Anwendungen*. Springer, Berlin.