

## Lysimetrie in der sibirischen Steppe

Eckart Stephan<sup>1\*</sup>, Ralph Meißner<sup>2</sup>, Holger Rupp<sup>2</sup> und Dmitri N. Balykin<sup>3</sup>

### Zusammenfassung

Die Kulundasteppe im Südwesten Sibiriens ist eine intensiv genutzte landwirtschaftliche Region im südlichen eurasischen Steppengürtel an der Grenze möglichen Regenfeldbaus. Es herrscht extrem kontinentales Klima mit sehr kalten Wintern und heißen, trockenen Sommern sowie geringen Niederschlägen. Standörtlich unangepasste Landnutzungsstrategien begünstigten in den letzten Jahrzehnten die Winderosion mit der Folge von Oberbodenverlusten sowie Humusreduktion bei den dort auftretenden Schwarzerden. Um ein detailliertes Verständnis des regionalen Landschaftswasserhaushalts zu gewinnen und Entscheidungshilfen für angepasste Landnutzung ableiten zu können, wurde im Sommer 2013 das erste präzise wägbare Gravitationslysimeter östlich des Urals, 500 km südwestlich von Novosibirsk installiert. Zwei Bodenmonolithe (Oberfläche 1m<sup>2</sup>, 2m tief), der eine aus einem ackerbaulich genutzten Standort (Lysimeter 1), der andere mit natürlicher Steppenvegetation bestanden (Lysimeter 2), wurden monolithisch extrahiert, in eine Container-Lysimeter-Station eingebaut und mit Sensorik ausgestattet. Mit hoher Genauigkeit werden die Massenveränderungen als Grundlage für die Berechnung von Niederschlag, aktueller Evapotranspiration und anderer Faktoren des Bodenwasserhaushalts erhoben. Darüber hinaus sind die Monolithe mit TDR-Sonden, Watermark Sensoren und Thermometern in verschiedenen Messtiefen ausgestattet. Die Quantität des Sickerwassers kann durch einen Kippwasserzähler am unteren Gefäßrand gemessen werden. In Kombination mit weiteren bodenhydrologischen und meteorologischen Daten von landwirtschaftlichen Versuchsflächen in der Umgebung ermöglicht die Lysimeterstation das kontinuierliche Überwachen der Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Pedosphäre und Biosphäre unter sehr kalten und trockenen Steppenbedingungen. Nach einer einjährigen Betriebszeit kann eine erste klimatische Wasserbilanz sowie Effekte der landwirtschaftlichen Nutzung auf den Bodenwasserhaushalt im Vergleich zum Bodenwasser unter natürlicher Vegetation vorgestellt werden. Es wird jedoch eine längere Zeitreihe benötigt, um detaillierte Informationen über die Auswirkungen der Bodenbearbeitung auf den Bodenwasserhaushalt zu bekommen.

*Schlagwörter:* wägbares Gravitations-Lysimeter, Steppe, Sibirien, Evapotranspiration, Regenfeldbau

### Summary

The Kulunda steppe in South-western Siberia is an intensively used agricultural region situated in the southern Eurasian steppe belt at the dry-humid boundary for wheat production. It is characterized by an extremely continental climate with cold winters and dry summers as well as low precipitation. Inadequate land use management in the last decades led to top soil loss and humus reduction of the occurring chernozems and chestnut soils. High precision weighable gravitation lysimeters are useful devices to investigate water and solute transport in undisturbed soil columns. In summer 2013 the first lysimeter of this type east of the Ural Mountains was installed 500 km southwest of Novosibirsk. Two soil monoliths (surface area of 1 m<sup>2</sup>, 2 m depth), one from an arable land site, the other from a natural steppe vegetation site, were monolithically extracted. Installed in a containerized lysimeter station they are weighed continually with high precision in order to gain mass change data as a basis for the calculation of precipitation, actual evapotranspiration and more factors relevant for water balance. Furthermore the monoliths are equipped with TDR probes, Watermark sensors and thermometers in different depths. The quantity of seepage water can be measured by a tipping bucket at the lower boundary and further chemical analyzes. In combination with soil hydrological and meteorological data from corresponding fields the two soil monoliths provide a continuous monitoring of the interaction between atmosphere, pedosphere and biosphere under dry steppe conditions. After one year of lysimeter station operation, first results are available. A longer time series is required in order to get detailed information concerning the impact of land management practises on the soil water balance.

*Keywords:* weighable gravitation lysimeter, steppe, Siberia, evapotranspiration, rainfield agriculture

<sup>1</sup> Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften und Geographie, Von Seckendorff-Platz 4, D-06120 HALLE (SAALE)

<sup>2</sup> Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Department für Bodenphysik, Falkenberg 55, D-39615 ALTMÄRKISCHE WISCHE

<sup>3</sup> Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Molodezhnaya 1, 656038 BARNAUL, Russia

\* Ansprechpartner: Diplom-Geograph Karl Eckart Stephan, eckart.stephan@geo.uni-halle.de



## Einleitung

In der südwestsibirischen Kulundasteppe, die sich auf 80000 km<sup>2</sup> südwestlich von Novosibirsk erstreckt, herrscht zentralkontinentales Klima mit heiß-trockenen Sommern und kalt-trockenen Wintern, geringen und unregelmäßigen Niederschlägen und hoher Verdunstung. Die Tschernoseme und Kastanoseme der Region werden insbesondere seit der sogenannten „Neulandaktion“ in den 1950er Jahren landwirtschaftlich genutzt. Die häufig sehr intensive Bodenbearbeitung wird in vielen Fällen auf eine den klimatischen Bedingungen wenig angepasste Weise (pflugbasiert) durchgeführt, so dass in den vergangenen Jahrzehnten Degradationserscheinungen wie Verringerung des Humushorizonts, Abnahme des Humusgehalts, Gefügeveränderungen (Schadverdichtung) oder Salzakkumulation aufgetreten sind. Derartige Schädigungen gefährden die langfristige Tragfähigkeit der Landwirtschaft in der Region und verändern die Böden auf den sehr umfangreichen Flächen von Kohlenstoffsenken zu -quellen mit entsprechenden Folgen für das Globalklima (MEINEL 2002, FRÜHAUF et al. 2013, ILLIGER et al. 2014).

Im Rahmen der Fördermaßnahme „Nachhaltiges Landmanagement“ finanziert das deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung das Forschungsvorhaben „KULUNDA – Wie verhindert man die nächste „Global Dust Bowl“? – Ökologische und ökonomische Strategien zur nachhaltigen Landnutzung in Russischen Steppen“, welches darauf abzielt, nachhaltige Bodenbearbeitungstechnologien zu entwickeln, zu testen und in der Region zu etablieren sowie Maßnahmen zur Steppenrestauration zu prüfen. Im Zuge dieses Projekts werden u.a. bisher nicht vorliegende Informationen zu Parametern des Bodenwasserhaushalts wie beispielsweise Grundwasserneubildung, Sickerwassermengen und -qualität und aktuelle Evapotranspiration erhoben. Zu diesem Zweck wurde 2012/2013 ein bodenhydrologisch-meteorologisches Messnetz errichtet. Die damit gewonnenen Informationen zum Bodenwasserhaushalt sollen in der Folge als Grundlage für Entscheidungshilfen im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft dienen.

## Material und Methoden

In der Ortschaft Polujamki wurden im Sommer 2013 ein bodenhydrologisch-meteorologisches Messnetz, bestehend aus einer Gravitations-Lysimeterstation, einem stationären bodenhydrologischen Messplatz und einer Wetterstation, installiert (Abbildung 1). Insbesondere das wägbare Gravitations-Lysimeter, das erste seiner Art im asiatischen Teil Russlands, ist geeignet, auch kleine Wasser- und Stoffflüsse zwischen Atmosphäre und Pedosphäre zu detektieren. In der Anlage werden zwei monolithisch extrahierte Bodensäulen in Hinblick auf ihre Oberflächennutzung und deren Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt verglichen. So stammt Lysimeter 1 von einem langjährig ackerbaulich genutzten Standort, während Lysimeter 2 aus einem weitgehend unbeeinflussten Steppenboden entnommen wurde. Der Oberflächenbewuchs wurde bei der Entnahme beibehalten und auf Lysimeter 1 auch weiterhin die ackerbauliche Nutzung fortgeführt. Beide Monolithe weisen eine Oberfläche von je 1 m<sup>2</sup> und eine Tiefe von je 2 m auf. Jeder Monolith steht auf



Abbildung 1: Lage des bodenhydrologisch-meteorologischen Messnetzes.

jeweils drei Präzisions-Wägezellen. Die hohe Genauigkeit, mit der die Bodensäulen gewogen werden ( $\pm 20$  g), ermöglicht die Berechnung von Niederschlag und Evapotranspiration anhand der Massenveränderungen (XIAO et al. 2009). In den Messtiefen 30 cm, 50 cm und 120 cm sind beide Monolithe mit TDR-Sonden, pF-Metern und Thermometern ausgestattet. Mit Hilfe von Saugkerzen können Bodenwasserproben entnommen und auf ihre Stofffracht hin untersucht werden. Auftretendes Sickerwasser kann, nachdem es durch den am unteren Gefäßrand eingebauten Sand-Kies-Filter und den angeflanschten Auslass ausgetreten ist, mittels eines Kippwasserzählers mengenmäßig erfasst werden. Eine Anpassung an die schwierigen klimatischen Bedingungen Sibiriens stellt der zusätzlich angebrachte, hydraulisch betriebene Schneeschneidring dar, der die Schneeauflast auf den Monolithen vom umgebenden Schnee trennen und so Schneebrücken vermeiden soll, die die korrekte Wägung der Monolithe beeinträchtigen können. Weiterhin ist es mit der Anlage möglich, den oberflächigen Abfluss in Hinblick auf Menge und Stofffracht zu messen. Sämtliche erfasste Daten werden in der zentralen Datenerfassungseinheit zusammengeführt und gespeichert. In unmittelbarer Umgebung der Lysimeterstation steht eine Wetterstation und in etwa 15 km Entfernung wurde ein bodenhydrologischer Messplatz auf einem landwirtschaftlichen Versuchsfeld eingerichtet. Die damit erhobenen Daten in Kombination mit den Daten der Lysimeterstation ermöglichen das kontinuierliche Überwachen der Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre,

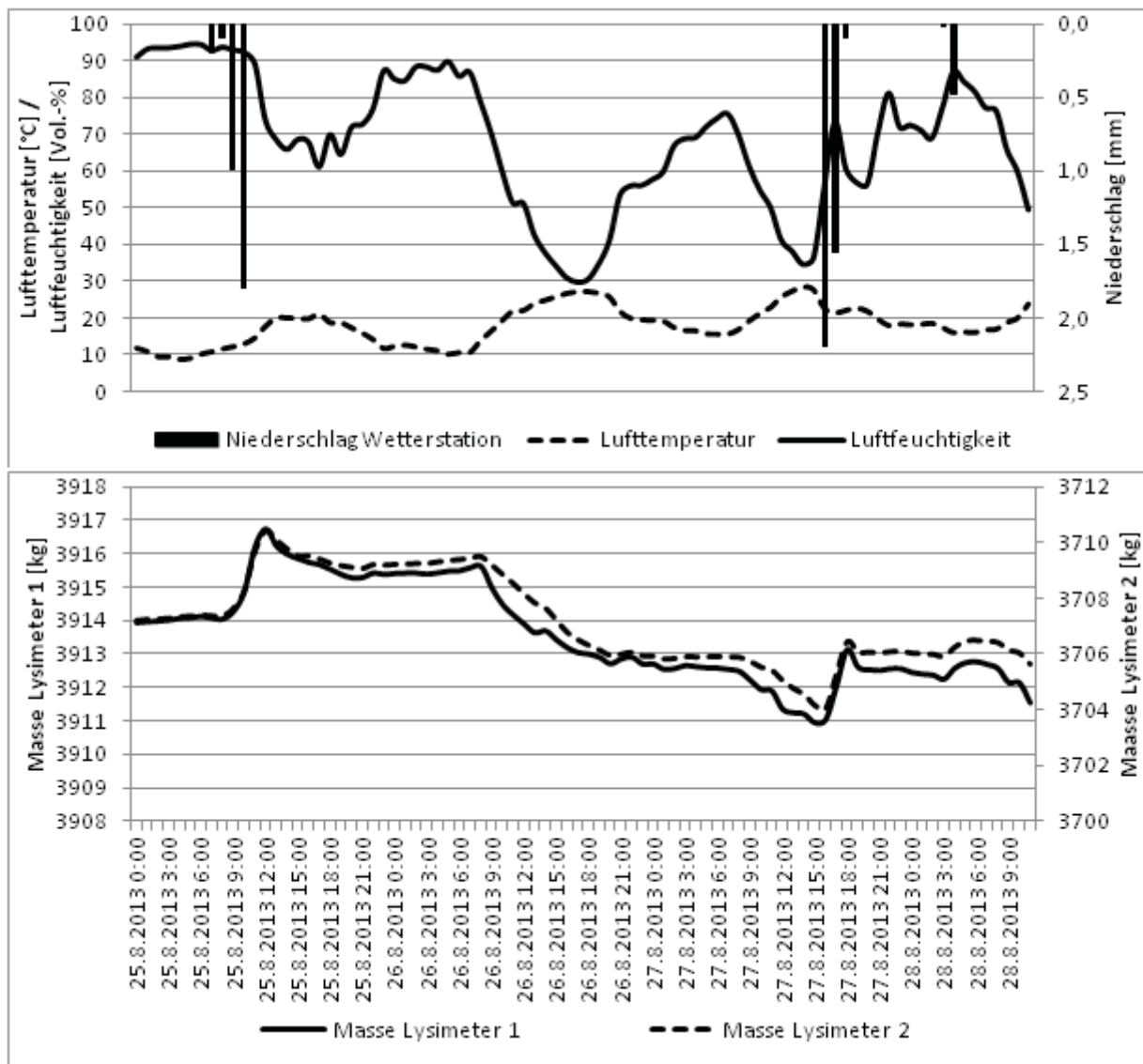


Abbildung 2: Bodenhydrologisch-meteorologische Parameter des Messnetzes in Polujamki: oben: Daten der Wetterstation, unten: Daten der Lysimeterstation.

Pedosphäre und Biosphäre unter sehr kalten und trockenen Steppenbedingungen (STEPHAN et al. 2014).

## Ergebnisse und Diskussion

Nach einer etwa einjährigen Betriebszeit des bodenhydrologisch-meteorologischen Messnetzes zeigte sich die Lysimeteranlage trotz winterlicher Lufttemperaturen von bis zu  $-36\text{ °C}$  im Frühjahr 2014 vollständig intakt und offenbar geeignet, in den schwierigen Bedingungen der kalt-trockenen Steppe Südwestsibiriens Informationen zum Landschaftswasserhaushalt zu generieren. Es können hier erste Ergebnisse zu Effekten landwirtschaftlicher Nutzung auf den Bodenwasserhaushalt im Vergleich zum Bodenwasser unter natürlicher Vegetation für den Zeitraum vom 25.8.2013 bis zum 28.8.2013 vorgestellt werden. Es wird jedoch eine längere Zeitreihe benötigt, um detaillierte Informationen über die Auswirkungen der Bodenbearbeitung auf den Bodenwasserhaushalt zu bekommen.

Es zeigt sich zunächst, dass die Kurven, die die Massenveränderungen der Monolithen abbilden, trotz des absoluten Massenunterschiedes von etwa 200 kg während des Untersuchungszeitraums weitgehend parallel verlaufen und so die messtechnische Qualität der Lysimeterstation bezeugen. Beide Kurven zeigen eine maximale Divergenz von 1,1 mm. Diese Unterschiede resultieren aus dem unterschiedlichen Bewuchs und der damit verbundenen Interzeption (Abbildung 2).

Positive Massenveränderungen der Monolithen werden als verschiedene Formen sich absetzenden oder auftreffenden Niederschlags gedeutet. Am Morgen des 25.8. konnte ein Niederschlagsereignis registriert werden, indem die Masse von Lysimeter 1 von 3914,1 kg um 2,7 kg (= 2,7 mm Niederschlag) und von Lysimeter 2 (3707,4 kg) um 2,4 kg (= 2,4 mm Niederschlag) anstieg. Ein weiteres Ereignis konnte am Abend des 27.8. abgebildet werden, dabei stieg die Monolithmasse um 2,2 kg (= 2,2 mm) bzw. 2,4 kg (= 2,4 mm).



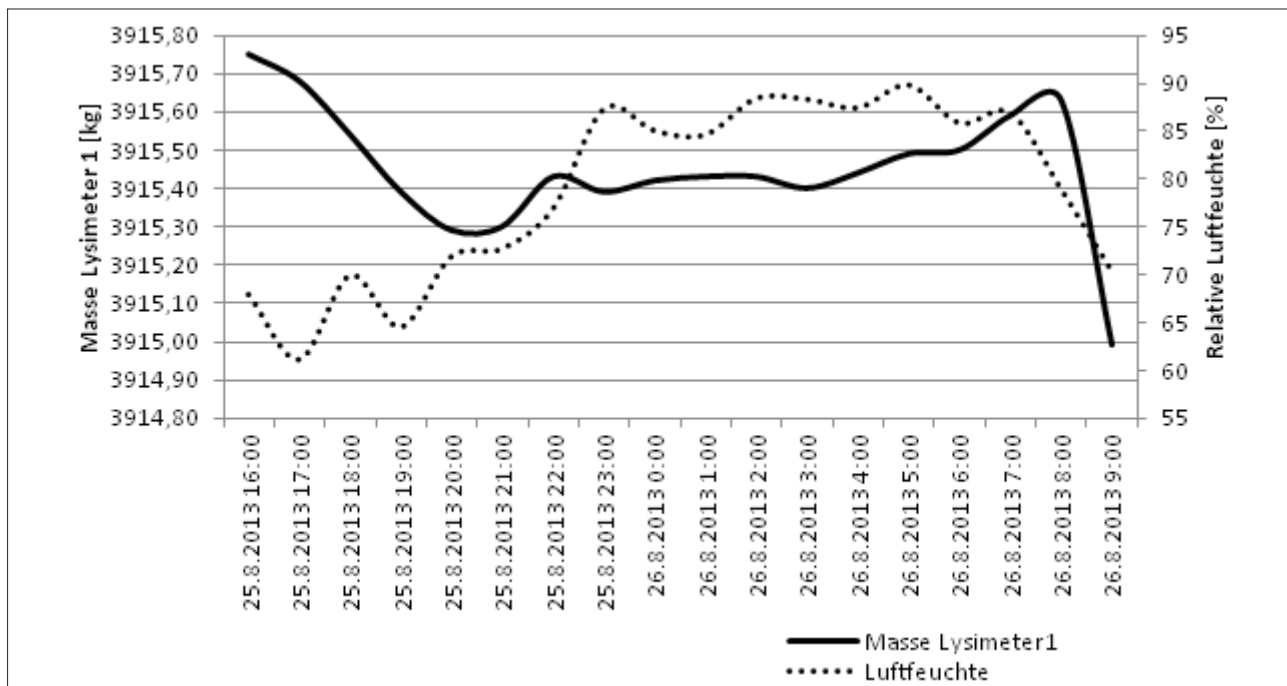


Abbildung 3: Zeitlich hoch aufgelöste Messung der Monolithmasse und der relativen Luftfeuchte.

Beide Niederschlagsereignisse registrierte ebenfalls die Wetterstation. Hier wurden insgesamt die Mengen 2,4 mm (25.8.) und 1,0 mm (27.8.) ermittelt. Die Mengendifferenzen zwischen den Werten von Lysimeter- und Wetterstation sind angesichts der bisherigen Erfahrungen plausibel, Einflüsse von Wind, Größe der Messoberfläche oder Bewuchs auf den Monolithoberflächen verändern die erfassten Niederschlagsmengen (RICHTER 1995).

Nimmt die Masse der Monolithen ab, wird dies entweder als Sickerung oder aktuelle Evapotranspiration interpretiert. Seit dem Einbau im August 2013 trat kein Sickerwasser auf, so dass sämtliche negativen Massenveränderungen als aktuelle Evapotranspiration gewertet werden. Am 25.8. fand Verdunstung zwischen 12:00 und 21:00 statt, beide Monolithe zeigten Massenverluste von 1,4 kg (= 1,4 mm). Am 26.8. verdunsteten zwischen 8:00 und 20:00 auf Lysimeter 1 2,9 mm und in Lysimeter 2 3,6 mm. Das Niederschlagsereignis am 27.8. unterbrach die Evapotranspiration, die zwischen 8:00 und 15:00 eingesetzt hatte und in dieser Zeit Massenverluste von 1,5 kg (Lysimeter 1) bzw. 1,7 kg (Lysimeter 2) bewirkt hatte. Zwischen 16:00 und 18:00 fand das Niederschlagsereignis statt, woraufhin zwischen 18:00 und 19:00 die Evapotranspiration erneut in Höhe von 0,5 mm (Lysimeter 1) bzw. 0,4 mm (Lysimeter 2) einsetzte.

Für den gesamten Untersuchungszeitraum vom 25.8.2013 0:00 bis 27.8.2013 23:00 lässt sich angesichts des Niederschlags in Höhe von 4,9 mm (Lysimeter 1) bzw. 5,5 mm (Lysimeter 2) und der Evapotranspiration in Höhe von 6,3 mm (Lysimeter 1) bzw. 7,1 mm eine klimatische Wasserbilanz erstellen. Demnach beträgt die Nettoabgabe von Bodenwasser an die Atmosphäre über den Pfad der Evapotranspiration in drei Tagen bei Lysimeter 1 1,4 mm, im Fall von Lysimeter 2 sind es 1,6 mm.

Die hohe Präzision der Messung von veränderlichen Massen wird in *Abbildung 3* verdeutlicht: es sind die Entwicklung der Massenveränderung eines Monolithen über einen Zeitraum von 17 Stunden (25.8.2013 16:00 bis 26.8.2013 9:00) gemeinsam mit der relativen Luftfeuchte (gemessen mit der Wetterstation) abgebildet. Dabei zeigt sich, dass die Luftfeuchte am frühen Abend des 25.8. von ca. 65 % auf etwa 90 % anstieg, bis 8:00 morgens auf diesem Niveau blieb und anschließend auf etwa 70% abfiel. Die Lysimetermasse nahm infolge der Evapotranspiration zwischen 16:00 und 20:00 von 3915,75 um 460 g ab. Anschließend, zwischen 20:00 und 8:00, setzte eine Massenzunahme von insgesamt 340 g ein. Die Wetterstation registrierte in diesem Zeitraum keinen Niederschlag, so dass in Hinblick auf Beispiele in der Literatur (MEISSNER et al. 2007) die Massenzunahme mit dem Absetzen von Tau erklärt wird.

Das innerhalb eines Jahres oberflächlich abgelaufene Wasser (runoff) konnte bei einer Wartung im Herbst 2014 mengenmäßig erfasst werden und wurde anschließend einer physiko-chemischen Untersuchung unterzogen. Der Einfluss landwirtschaftlicher Bodenbearbeitung auf die Erodibilität zeigte sich hierbei deutlich angesichts ca. 4100 ml oberflächlich von Lysimeter 1 abgelaufenen Wassers im Gegensatz zu lediglich 100 ml, die von der Oberfläche von Lysimeter 2 abgelaufen waren.

Zusätzlich lassen sich aus den Daten der Wetterstation weitere Informationen zu atmosphärischen Zustandsgrößen und ihren Veränderungen ableiten. So zeigt sich in *Abbildung 2*, dass die Lufttemperatur infolge der nächtlichen Abstrahlung ab- und im Laufe des Tages zunahm (Maximum am 27.8. um 14:00: 28,2 °C, Minimum 25.8. um 4:00: 9,0 °C). Die Lufttemperatur wird darüber hinaus vom Niederschlag beeinflusst: die tägliche Zunahme infolge des Sonnenscheins begann infolge des Niederschlags am 25.8. erst um 14:00.

Ebenso kann gezeigt werden, dass bei einem Anstieg der Lufttemperatur entsprechend den Erwartungen die relative Luftfeuchte abnimmt; diese negative Korrelation blieb über den gesamten Untersuchungszeitraum erhalten. Diese tägliche Abnahme wurde bei einsetzendem Niederschlag reduziert, d.h. bei ausbleibendem Niederschlag wie am 26.8. fiel sie bis auf etwa 30 % ab, an den Tagen mit Niederschlag (25.8. und 27.8.) lag ihr Minimum bei nur 60 %.

Auch mit dem bodenhydrologischen Messplatz wurden Daten generiert, da jedoch sämtliche Schwankungen unterhalb des vom Hersteller angegebenen Fehlerbereichs lagen, sind diese Werte bisher nicht interpretierbar.

## Ausblick

Das Gravitations-Lysimeter in der südwestsibirischen Trockensteppe ist geeignet, unter meteorologisch schwierigen Bedingungen präzise Informationen über landschaftswasserhaushaltliche Parameter zu liefern. Die Informationen der verschiedenen Geräte sind plausibel, kohärent und können untereinander verschnitten werden. Bisher konnten nur kurze Datenreihen ausgewertet werden, da Umweltdaten, wie die hier erhobenen, einer Sicherheitsexpertise durch entsprechende russische Behörden unterzogen werden müssen und ein Datentransfer nach Deutschland erst in der Folge möglich sein wird. Im Zuge dieser Auswertung werden längere Datenreihen verfügbar sein, mit Hilfe derer konkrete Aussagen zu Niederschlags- und Evapotranspirationen, zur klimatischen Wasserbilanz und zur räumlichen wie zeitlichen Verteilung des Bodenwassers in verschiedenen Tiefen getroffen werden können.

## Danksagung

Wir danken dem deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Förderung des Vorhabens „KULUNDA“ (Förderkennzeichen 01LL09055D). Ebenfalls gilt unser Dank der Familie Koschanov, auf deren

landwirtschaftlichen Flächen die Stationen eingerichtet werden konnten. Unser Dank gilt weiterhin den Mitarbeitern der Staatlichen Altai-Universität Barnaul und des Instituts für Wasser und Ökologische Probleme Barnaul, die am Einbau der Lysimeterstation und an der Einrichtung der Dateninfrastruktur in Russland beteiligt waren.

## Literatur

- FRÜHAUF, M. und M. KASARJYAN, 2013: KULUNDA – Wie verhindert man die nächste „Global Dust Bowl“? – Ökologische und ökonomische Strategien zur nachhaltigen Landnutzung in Russischen Steppen. In: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): Nachhaltiges Landmanagement – Eine Herausforderung für alle, Berlin.
- ILLIGER, P., M. FRÜHAUF, G. SCHMIDT, T. MEINEL, V.I. BELAEV, M.M. SILANTEVA und M. KASARJYAN, 2014: Ökosystemkonversion und ihre Folgen bezüglich der Kohlenstoffsenken-Funktion in der westsibirischen Kulundasteppe. In: Grunwald, K., Bastian, O., Drozdov, A. und V. Grabovsky (Hrsg.) (2014): Erfassung und Bewertung von Ökosystemdienstleistungen (ÖSD) – Erfahrungen insbesondere aus Deutschland und Russland. BfN-Skripten. 373, 300-319, Bonn.
- MEINEL, T., 2002: Die geoökologischen Folgewirkungen der Steppen-umbrüche in den 50er Jahren in Westsibirien. Institut für Geographie der Universität Halle, Dissertation.
- MEISSNER, R., J. SEEGER and H. RUPP, 2007: Measurement of dew, fog and rime with a high-precision gravitation lysimeter. In: Journal of Plant Nutrition Soil Science 170, 335-344.
- RICHTER, D., 1995: Ergebnisse methodischer Untersuchungen des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. In: Berichte des Deutschen Wetterdienstes 194.
- STEPHAN, E., R. MEISSNER, H. RUPP, M. FRÜHAUF, G. SCHMIDT, P. ILLIGER, A. BONDAROWITSCH, D. BALYKIN, V. SCHERBININ und A. PUZANOV, 2014: Aufbau eines bodenhydrologischen Messnetzes in der sibirischen Kulundasteppe. In: WasserWirtschaft 104, 10/2014, 15-22.
- XIAO, H., R. MEISSNER, J. SEEGER, H. RUPP and H. BORG, 2009: Effect of vegetation type and growth stage on dewfall, determined with high precision weighing lysimeters at a site in northern Germany. In: Journal of Hydrology 377, 43-49.