

**This is the accepted manuscript version of the contribution published as:**

**Haselow, L., Rupp, H., Akshalov, K., Meißner, R. (2020):**

Forschungsarbeiten zum Bodenwasserhaushalt in der kasachischen Steppe. Research study on the soil water balance in the steppe of Kazakhstan

*WasserWirtschaft* **110** (4), 34 – 40

**The publisher's version is available at:**

<http://dx.doi.org/10.1007/s35147-020-0366-2>

Lisa Haselow, Holger Rupp und Ralph Meißner

## **Forschungsarbeiten zum Bodenwasserhaushalt in der kasachischen Steppe**

### **Vorspann**

Dieser Beitrag stellt innerhalb des Forschungsprojekts ReKKS die Umsetzung eines bodenhydrologischen Messplatzes in Kasachstan vor, das die Bodenwassernutzung von trockenen Steppenböden durch angepasste Bewirtschaftungsmethoden optimieren soll. Dabei liegt der Fokus auf dem Bodenwasserhaushalt, ermittelt durch meteorologische und pedo-hydrologische in situ-Messungen. Speziell adaptierte wägbare Gravitationslysimeter sollen zudem ermöglichen, erstmals einen ganzjährigen Verlauf der aktuellen Evapotranspiration für diesen Klimaraum zu bestimmen.

Lisa Haselow, Holger Rupp and Ralph Meissner

## **Research study on the soil water balance in the steppe of Kazakhstan**

### **Abstract**

The following article presents the implementation of a monitoring network in the framework of the research project ReKKS in Kazakhstan. The objective is to improve the effectiveness of water usage of the dry steppe soils by adapted soil management. The focus will be on the soil water balance determined by meteorological and pedo-hydrological in situ measurements. Moreover, the actual evapotranspiration ( $ET_a$ ) will be investigated for the first time by weighable gravitation lysimeters over the whole year for this climate. For comparative analysis, there are two lysimeters whose soils stem from different sites. While the first lysimeter vessel was monolithically filled with an arable soil, the second lysimeter vessel contains a pristine steppe soil. The measurements started immediately after installation and the first data set seems to be reliable. At six days at the end of October 2018, results of  $ET_a$ , precipitation, and soil moisture will be presented. As the measurements at winter are of

particular importance, lysimeter data, as well as meteorological data, will be illustrated during the first snowfall.

## **Kernaussagen**

- Aufbau eines meteorologisch-pedohydrologischen Messnetzes in der kasachischen Steppe zur Untersuchung des Bodenwasserhaushaltes
- Darstellung erster Ergebnisse von meteorologischen und Lysimetermessungen

## **1 Motivation**

Kasachstan ist im Besitz von ca. 208 Mio. ha Agrarland, dessen Potenzial dazu beitragen kann, Teil der globalen Kornkammer zu werden. Mit einem Grünlandanteil (Steppe) von 89 % (185 Mio. ha) belegt Kasachstan weltweit den 6. Platz, doch die landwirtschaftliche Produktion ist mit einer Trockenmasse von 0,1-0,4 t/ha niedrig. Die 23 Mio. ha Ackerland werden bisher überwiegend für den Anbau von Sommerweizen genutzt. Diese Vorgehensweise stammt noch aus der Neulandinitiative der ehemaligen Sowjetunion in den 1950er Jahren. Hierbei wurden ca. 42 Mio. ha der Steppenböden zu Ackerland konvertiert. Mehr als die Hälfte der Fläche gehört heute zu Kasachstan. Seitdem dominiert hier der Sommerweizenanbau (Monokulturen) mit ganzjährigen Brache-Phasen. Jedoch sind die Erträge gering und instabil [1]. Gegenwärtig wird dieser Landschaftsraum zusätzlich mit Problemen wie dem Klimawandel, der Bodendegradation, Landnutzungsänderungen und der Landflucht konfrontiert. Trotz der genannten Hemmnisse besteht in der Region aufgrund der natürlichen Bedingungen das Potenzial, einen wesentlichen Beitrag zur Lösung des Welternährungsproblems leisten zu können. Die Herausforderung besteht nun darin, fortschrittliche Konzepte zu erstellen, die sowohl der Ökosystemregeneration als auch der nachhaltigen Landwirtschaft nutzen. An dieser Schnittstelle setzt das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt „Innovationen für nachhaltige landwirtschaftliche Ressourcennutzung und Klimaanpassung in Trockensteppen Kasachstans und Südwestsibiriens (ReKKS)“ an. Aufbauend auf den Ergebnissen des in der sibirischen Kulundasteppe durchgeführten Vorgängerprojekts (KULUNDA) [2], werden im aktuellen Forschungsvorhaben die besonders trockenen und großflächigen Steppen Kasachstans in die Untersuchungen integriert. Im Fokus steht die Entwicklung von innovativen, nachhaltigen und klimaangepassten Landbewirtschaftungskonzepten. Hierbei

sollen Bodenbearbeitungsverfahren hinsichtlich des Erosionsschutzes, der Kohlenstoffanreicherung im Boden sowie der Nährstoff- und Wasserversorgung der Kulturpflanzen optimiert werden. Des Weiteren liegt ein Schwerpunkt in der Entwicklung von Methoden zur Steppenrestauration und der nachhaltigen landwirtschaftlichen Inwertsetzung von Brachflächen. Speziell geht es hierbei um die Wiederherstellung der durch Winderosion geschädigten, ehemals landwirtschaftlichen Flächen und deren Nutzung als Weideland bzw. Futteranbaufläche. Letztendlich zielen diese Aufgaben auf eine nachhaltige und gesteigerte landwirtschaftliche Produktion unter der Verwendung von innovativer Technik. Die einzelnen Forschungsschwerpunkte sind zusammenfassend in **Tabelle 1** dargestellt.

Innerhalb des Projekts wird das Teilprojekt 2 federführend vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ bearbeitet und koordiniert. Der Fokus liegt hier in der Optimierung des Standortwasserhaushaltes durch innovatives Bodenmanagement. Bereits im KULUNDA Projekt wurde der wesentliche Einfluss des Faktors Wasser bei der Etablierung von nachhaltigen Bewirtschaftungsmaßnahmen herausgearbeitet. Da diese Regionen vor allem durch den voranschreitenden Klimawandel geprägt werden, kommt der optimierten Nutzung der natürlich verfügbaren Wasserressourcen vorrangige Bedeutung zu. Aktuell besteht die Tendenz leicht erhöhter Niederschläge, jedoch mit einem parallelen Temperaturanstieg. Die Folgen wären eine schnellere Austrocknung des im Boden gespeicherten Wassers sowie Einbußen der Erträge. Das Vorgängerprojekt zeigte den maßgeblichen Einfluss der angepassten Bodenbearbeitung auf die Wasserverfügbarkeit im Boden und damit die Entwicklung der Pflanzenbestände [3]. Diese Erkenntnis beruht vor allem auf Informationen über den regionalen Bodenwasserhaushalt, ermittelt durch meteorologische Kenngrößen und pedo-hydrologische in situ-Messungen. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die tatsächliche Evapotranspiration ( $ET_a$ ), dessen Höhe und Verlauf Aufschluss über den Wasserbedarf der angebauten Fruchtarten geben soll. Die Ermittlung der  $ET_a$  ist aufwendig und soll durch den Einsatz von wägbaren Lysimetern gelöst werden. Bisher ist es noch nicht gelungen, ganzjährige Messungen in den Steppen Süd-Westsibiriens und Kasachstans durchzuführen. Die wesentliche wissenschaftliche Herausforderung besteht somit in der Realisierung dieser Messungen für diesen Klimaraum. Obwohl die winterlichen Bedingungen enorme Anforderungen an die Messtechnik stellen, bieten gerade die hohen Schneemengen ein beträchtliches Wasserreservoir für die Böden. Sollte es gelingen, diese Wassermassen im Boden zu halten und für die Pflanzenproduktion nutzbar zu machen, dann wäre bereits ein großer Beitrag zur Sicherung der Standorte als Ackerland geleistet.

Ziel des Beitrags ist die Darstellung des in der kasachischen Steppe installierten Messnetzes zur Erfassung klimatischer und pedo-hydrologischer Parameter, die Vorstellung der aktuellen

Forschung bezüglich der Gewährleistung ganzjähriger Lysimetermessungen in diesem Klimaraum sowie die Diskussion der ersten Messergebnisse.

## **2 Material & Methoden**

### **2.1 Untersuchungsgebiet**

Der Projektstandort befindet sich in der kasachischen Steppe, ca. 100 km westlich von der Hauptstadt Astana entfernt (**Bild 1**). Die Tiefebene ist Teil der trockenen Kurzgrassteppe und liegt auf einer Geländehöhe von 322 m ü. NHN. Die Basis der lokalen Böden bildet Löss, deren Quelle abgelagerter Lehm oder äolische Feinsande sind. Dementsprechend sind die verbreiteten Bodentypen Kastanozem und Chernozem. Das Klima ist zentral kontinental geprägt und durch warme Sommer und kalte sowie schneereiche Winter gekennzeichnet. Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 2,7 °C, die durchschnittliche Temperatur des kältesten Monats Januar -16 °C und des wärmsten Monats Juli +21 °C. Die Periode ohne Bodenfrost reicht von Mai bis September. Der jährliche Niederschlag schwankt zwischen 200 und 400 mm. Die potentielle Evapotranspiration ( $ET_p$ ) ist mit 600 mm/a zwei bis dreimal höher als der zu verdunstende Anteil des Niederschlags [1].

### **2.2 Messnetz**

Im Oktober 2018 wurde in Kooperation mit dem kasachischen Betrieb TOO Fermer 2002 auf dem Gelände des Landwirtschaftsbetriebes Pelzer (51°14'13.2"N, 70°04'12.0"E) bei Pervomayka ein Messnetzwerk, bestehend aus einer zweifach Lysimeterstation und einer Wetterstation (Hersteller Umwelt-Geräte-Technik GmbH - UGT), errichtet. Um Vergleichsuntersuchungen zwischen den Lysimetern durchführen zu können, wurden zwei Böden unterschiedlicher Bewirtschaftung verwendet. Ein Bodenmonolith stammt von einem ackerbaulich genutzten Standort (Lysimeter 1 – LYS 1), auf dem zum Zeitpunkt der Entnahme Sommerweizen angebaut wurde. Der zweite Monolith ist einem natürlichen, unbearbeiteten Steppenstandort (Lysimeter 2 – LYS 2) entnommen worden. Nachdem die Lysimetergefäße monolithisch befüllt wurden, erfolgte der Einbau einer Filterschicht am unteren Rand des Gefäßes. Die Lysimeter wurden anschließend durch den Einbau von Messsensorik instrumentiert, danach in die Lysimeterstation eingesetzt und auf jeweils drei Wägezellen positioniert. Eine genaue Beschreibung der Entnahme- und Einbautechnik ist Stephan et al. [2] zu entnehmen.

Die Lysimetergefäße haben eine Oberfläche von 1 m<sup>2</sup> und eine Tiefe von 2 m. Die Gesamtmasse eines einzelnen Lysimeters betrug ca. 3,9 t und wurde fortan mit einer Genauigkeit von ±20 g gemessen [4]. Zusätzlich zur Masse, die durch den Eintrag bzw. der Abgabe von Wasser variiert, werden pedo-hydrologische Parameter innerhalb der ungestörten Bodenmonolithe erfasst. In den jeweiligen Tiefen von 30, 50 und 120 cm werden Bodenfeuchte sowie Bodentemperatur durch Soil Moisture and Temperature Sensoren (SMT-Sonden) gemessen, das Matrixpotential durch Tensiometer bestimmt und mithilfe von Saugsonden Perkolat entnommen. Im Falle von Sickerwasser, das den Monolith durchfließt, wird dieses durch eine zentrale Drainage am Lysimeterboden abgeführt, durch einen Kippzähler quantifiziert und in einem Behälter gesammelt. Der Oberflächenabfluss wird über ein offenes Rohr, das zwischen dem Lysimeterkragen und dem Lysimetergefäß befestigt ist, abgefangen, in die Lysimeterstation geleitet und auch hier über einen Kippzähler erfasst und anschließend in einem Auffangbehälter gesammelt (**Bild 2**).

Mit einem Abstand von jeweils 1,5 m befinden sich um die Lysimeter drei mit Kippwaagen ausgestattete Regenmesser, die den Niederschlag auf Geländehöhe aufzeichnen. Des Weiteren wurde in ca. 3 m Entfernung eine Wetterstation sowie ein zusätzlicher Regenmesser in der Standardhöhe von 1 m installiert. Neben dem Niederschlag werden die Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung und Luftdruck in 2 m Höhe gemessen. Zusätzlich wurde eine Kamera an der Wetterstation montiert, die jederzeit visuellen Zugriff auf die Lysimeterstation ermöglicht. Sowohl die Lysimeter- als auch die klimatischen Daten werden mit einer zeitlichen Auflösung von 10 min in einem Datenlogger innerhalb der Lysimeterstation gesammelt und mittels Fernübertragung auf einen zentralen Server in Deutschland gesendet. Somit ist ein direkter Zugriff auf die Daten möglich.

### **2.3 Messstrategie**

Durch das Vorgängerprojekt KULUNDA wurden bereits Erfahrungen über Lysimetermessungen in diesem Klimaraum gesammelt. Verlässliche und plausible Wägedaten konnten lediglich in den Sommermonaten erhoben werden. Doch wie bereits zuvor erwähnt, stellten vor allem Wintermessungen eine große Herausforderung dar. Sobald die Temperaturen unter 0 °C fielen und Schnee zu verzeichnen war, wurden die Messwerte unplausibel. Obwohl beide Lysimeter über eine Gewindestangen angetriebene Schneeschneidevorrichtung verfügten, konnte kein zuverlässiger Betrieb der Anlage festgestellt werden. Aufgrund der Bildung von Schneebrücken zwischen dem Lysimetergefäß und dem Lysimeterkragen wurde die freie Ausrichtung auf den Wägezellen beeinflusst.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wird im laufenden Projekt in Zusammenarbeit mit der Firma UGT an einer technischen Neuerung gearbeitet.

Um die klimatischen Bedingungen zu simulieren, wurde zunächst ein Lysimetermodell in einer Skihalle installiert. Auf diese Weise kann untersucht werden, inwiefern sich Schnee, der in Verbindung mit Frost vor allem zu Verharschung und Vereisung führt, auf die Wägung auswirkt. Diese hierbei gewonnenen Erkenntnisse sollen die Grundlage für Versuche mit unterschiedlichen technischen Möglichkeiten darstellen, um einerseits die Vereisung des Lysimeterkragens und andererseits die Bildung von Schneebrücken zu verhindern. Es ist vorgesehen, nach erfolgreich absolvierten Tests die neu entwickelte messtechnische Methodik in die bestehende Lysimeteranlage in Pervomayka zu integrieren und damit die Basis für die Durchführung von ganzjährigen Messungen in diesem Klimaraum zu ermöglichen.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Mit der Inbetriebnahme des Messnetzes am 23.10.2018 begann die Messkampagne in der kasachischen Steppe. In **Bild 3** werden die Wägedaten der Lysimeter vom 26.10. bis 01.11.2018 dargestellt. Aufgrund der Geometrie der Lysimeter entspricht eine Massenänderung einer Wasservorratsänderung (Niederschlag, Verdunstung oder Abfluss), d. h.  $1 \text{ kg} \approx 1 \text{ l/m}^2 = 1 \text{ mm}$ . Da in dem betrachteten Zeitraum kein Sickerwasser gemessen wurde, ist von der Annahme auszugehen, dass eine Massenzunahme auf Niederschlag und eine Massenabnahme auf  $ET_a$  zurückzuführen ist. Dementsprechend konnten innerhalb von sechs Tagen eine  $ET_a$  von 1,6 mm bei LYS 1 und 1,3 mm bei LYS 2 ermittelt werden. Ab dem 27.10. setzte regelmäßiger Niederschlag ein, der sowohl von den Lysimetern als auch von den umliegenden Niederschlagsmessern auf Geländehöhe registriert wurde. Dessen absolute Summe beläuft sich bei den Niederschlagsmessern auf 13,5 mm, während diese bei den Lysimetern 18,3 mm (LYS 1) bzw. 17,6 mm (LYS 2) ergibt. Die Differenz ist in der unterschiedlichen Auflösung begründet, die bei der Kippwaage 0,1 mm und bei den Lysimetern 0,02 mm beträgt.

Der Niederschlag spiegelte sich auch deutlich in der Bodenfeuchte wider (**Bild 4**). Ab dem 30.10.2018 wurde ein stetiger Anstieg der Bodenfeuchte im Oberboden (30 cm) beider Lysimeter beobachtet. Dabei ist das unterschiedliche Muster zwischen den Lysimetern auffällig. Während bei LYS 1 die Zunahme zu Tagesbeginn einsetzte, lag bei LYS 2 eine Verzögerung um bis zu zwölf Stunden vor. Des Weiteren fiel der Anstieg bei letzterem

deutlich langsamer und geringer aus. Die Tage zuvor zeigte LYS 2 eine stabile Bodenfeuchte um die 9 % und stieg zum 01.11.2018 auf 15 %. Demgegenüber steht LYS 1 mit einer Steigerung um 13 %. Dies ist auf die erhöhte Infiltrationskapazität des Ackerbodens zurückzuführen, herbeigeführt durch dessen Bodenbearbeitung und das ausgeprägte Wurzelsystem der Weizenkultur. Die daraus resultierenden Makroporen bewirken eine schnellere und erhöhte Aufnahme von Wasser. Der Boden des natürlichen Steppenstandortes ist hingegen dicht und trocken. Dementsprechend infiltriert weniger Wasser über einen längeren Zeitraum. Andererseits nimmt die Bodenfeuchte mit der Tiefe zu, da der Boden das Wasser speichert. Demnach zeigt dieser eine höhere Resistenz gegenüber Trockenperioden. Unerwartet hingegen war die hohe Bodenfeuchte von LYS 1 im Unterboden (120 cm). Da der ackerbaulich bewirtschaftete Standort über das Jahr auch Perioden aufweist, bei dem der Boden zeitweise unbedeckt ist (z. B. nach der Ernte), kann das Niederschlagswasser währenddessen tiefer in den Boden infiltrieren. Diese Annahme kann jedoch erst nach längerer Beobachtungszeit beurteilt werden.

Das **Bild 5** zeigt im Detail den Tagesverlauf vom 26.10.2018. Beide Lysimeter weisen den gleichen Verlauf auf (Bild 5a). Zwischen Mitternacht und 09:30 Uhr kam es zu einer leichten Zunahme der Lysimetermasse um jeweils 0,14 mm. Die Niederschlagsmesser registrierten keinen Niederschlag, die Temperatur lag nahe der Taupunkttemperatur und die Luftfeuchtigkeit durchschnittlich bei 85 % (Bild 5b). Nun muss beachtet werden, dass die meteorologischen Parameter in 2 m Höhe gemessen wurden. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Temperatur direkt über dem Boden den Taupunkt erreicht hatte und die hohe Luftfeuchtigkeit dazu führte, dass der Wasserdampf in der bodennahen Schicht anfang zu kondensieren. Da die Temperatur unter dem Gefrierpunkt lag, kam es anstelle der Taubildung zu Bodenfrost [5], der mithilfe der Kamerabilder bestätigt wurde. Mit Sonnenaufgang und damit einhergehender Strahlung, Temperaturanstieg und Abnahme der Luftfeuchtigkeit begann die Masse beider Lysimeter aufgrund von  $ET_a$  zu sinken. Dabei erreichten sie zwischen 09:30 und 19:00 Uhr Werte von 0,76 mm (LYS 1) bzw. 0,45 mm (LYS 2). Zum Sonnenuntergang gegen 19:00 Uhr kam der Verdunstungsprozess aufgrund von fehlender Einstrahlung zum Erliegen und die Lysimetermasse blieb fortan stabil.

Bisher konnten keine positiven Erfahrungen mit Wintermessungen im KULUNDA Projekt gemacht werden. Im aktuellen Projekt wurden jedoch seither keine erheblichen Beeinträchtigungen festgestellt. Das **Bild 6** zeigt die Wägedaten der Lysimeter sowie Temperatur und Luftfeuchtigkeit zwischen dem 07.11. und 10.11.2018. Alle Regenmesser haben innerhalb dieses Zeitraums keinen Niederschlag registriert. Jedoch wiesen die Lysimeter eine Zunahme von jeweils 14 kg (LYS 1) bzw. 7 kg (LYS 2) auf. Mit Hilfe der

Kamera, die an der Wetterstation montiert ist, konnte bestätigt werden, dass ab dem 08.11.2018 Schneefall einsetzte und beide Lysimeter bereits am 09.11.2018 von einer geschlossenen Schneedecke bedeckt waren. Um den Schnee zu quantifizieren, wird demnächst ein Niederschlagsmesser mit einer Heizfunktion ausgestattet. Trotz fehlender Niederschlagsdaten konnten Temperatur und Luftfeuchtigkeit Aufschluss über potentiellen Schneefall geben. Zum Zeitpunkt der Zunahme der Lysimetermasse lag die Temperatur stetig unter dem Gefrierpunkt und die Luftfeuchtigkeit stieg auf über 98 % an. Nun wurde innerhalb einer Studie die Wahrscheinlichkeit von Schneefall in Abhängigkeit von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit für zahlreiche Standorte der nördlichen Hemisphäre bestimmt [6]. Hierfür wurde ein Regen-Schnee Grenzwert ermittelt, der besagt, dass bei gegebener Temperatur ein Niederschlagsereignis mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% als Regen oder Schnee auftritt. Für Kasachstan liegt dieser Wert bei  $>1,2$  °C. Wird die Luftfeuchtigkeit mit einbezogen, dann liegt die Grenze bei einer Luftfeuchtigkeit zwischen 90 und 100 % bei  $0,7$  °C, d. h. unter diesem Wert fällt der Niederschlag mit einer Wahrscheinlichkeit von  $>75$  % als Schnee. Am 08.11.2018 lag die durchschnittliche Temperatur bei  $-1$  °C, somit betrug die Schneefallwahrscheinlichkeit  $>90$  %. Am 09.11.2018 sank die Temperatur auf unter  $-20$  °C und auch die Luftfeuchtigkeit nahm ab. Es kann davon ausgegangen werden, dass unter diesen Bedingungen der Schneefall aussetzte und der Anstieg der Lysimetermasse durch die Zunahme der Dichte des bereits liegenden Schnees verursacht wurde. Während die Masse von LYS 2 ab dem 09.11.2018 relativ stabil blieb, stieg jene von LYS 1 im Laufe des Tages weiter an. Mit Hilfe der Kamerabilder und des Heranziehens meteorologischer Daten besteht die Vermutung einer Schneeverwehung. Da LYS 1 in Windrichtung lag und Windgeschwindigkeiten bis zu  $10$  m/s vorherrschten, kam es hier zu einer höheren Schneeanammlung.

Die ersten Daten zeigten die einwandfreie Funktionstüchtigkeit des Messnetzes. Es ist vorgesehen, die Messwerte über den Winter weiter zu beobachten und die Entwicklung der neuen Technik zur Vermeidung von Schneebrücken voranzutreiben. Des Weiteren wird im Frühjahr auf LYS 1 erneut Sommerweizen angebaut, so dass dann die ersten Messungen während einer Vegetationsperiode erfolgen können. Außerdem bietet der direkte Vergleich zwischen den Lysimetern die Möglichkeit, Rückschlüsse über die Wirkung einer ackerbaulichen Nutzung im Vergleich zu einem natürlichen Steppenstandort auf den Bodenwasserhaushalt zu ziehen.

**Dank**

Dieser Beitrag basiert auf das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Forschungsprojekt ReKKS (FKZ 01LZ1704C). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Unser besonderer Dank gilt der Familie Pelzer für die Bereitstellung ihres Betriebes als Versuchsstandort sowie der logistischen und technischen Unterstützung während des Projektaufbaus. Ebenso danken wir O. Shibistova, T. Zhanarbek und K. Akshalov (Baraev Institut) für deren Organisationstalent und die Hilfe vor Ort.

## **Autoren**

Lisa Haselow, M. Sc.

Dr. Holger Rupp

Prof. Dr. Ralph Meißner

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ

Falkenberg 55

39615 Altmärkische Wische

[lisa.haselow@ufz.de](mailto:lisa.haselow@ufz.de)

## **Literatur**

- [1] Müller, L.; Suleimenov, M.; Karimov, A. et al.: Land and water resources of Central Asia, their utilisation and ecological status. In: Müller, L.; Saparov, A.; Lischeid, G.: Novel measurement and assessment tools for monitoring and management of land and water resources in agricultural landscapes of Central Asia. Switzerland: Springer International Publishing, 2014.
- [2] Stephan, E.; Meißner, R.; Rupp, H. et al.: Aufbau eines bodenhydrologischen Messnetzes in der sibirischen Kulundasteppe. In: Wasserwirtschaft 10 (2014), S. 15-22.
- [3] Meißner, R.; Rupp, H.; Bondarovich, A. A. et al.: Soil water management in the Siberian Kulunda-dry steppe. In: Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources 5 (2017), 87-91.

- [4] Xiao, H.; Meißner, R.; Seeger, J. et al.: Testing the precision of a weighable gravitation lysimeter. In: Journal of Plant Nutrition and Soil Science 172 (2009), 194-200.
- [5] Groh, J.; Slawitsch, V.; Herndl, M. et al.: Determining dew and hoar frost formation for a low mountain range and alpine grassland site by weighable lysimeter. In: Journal of Hydrology 563 (2018), 372-381.
- [6] Jennings, K. S.; Winchell, T. S.; Livneh, B. et al.: Spatial variation of the rain-snow temperature threshold across the Northern Hemisphere. In: Nature Communications 9:1148 (2018), 1-9.

### **Verzeichnis der Bildunterschriften und Tabellenüberschriften**

- Bild 1: Lage des Projektaufbaus, einschließlich der Standorte der Bodenmonolithentnahmen und der Lysimeterstation; die Entfernung zwischen den Standorten beträgt 15 km
- Bild 2: Schematische Darstellung einer zweifach Container-Lysimeterstation  
© modifiziert nach Umwelt-Geräte-Technik GmbH
- Bild 3: Ergebnisse der Lysimeter- und Niederschlagsdaten zwischen dem 26.10. und 01.11.2018
- Bild 4: Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen zwischen dem 26.10. und 01.11.2018
- Bild 5: Darstellung der a) Lysimetermasse sowie b) Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Strahlung im Tagesverlauf des 26.10.2018
- Bild 6: Entwicklung der Lysimetermasse, Temperatur und Luftfeuchtigkeit während des ersten Schneefalls zwischen dem 07.11. und 10.11.2018
- Tabelle 1: Auflistung der Teilprojekte des Projekts ReKKS mit den leitenden Institutionen und den kasachischen bzw. russischen Partnern

Tabelle 1

<b>Teilprojekt</b>	<b>Projekttitlel</b>	<b>Institution</b>	<b>Kasachische und russische Partner im Zusammenschluss</b>
TP 1	Entwicklung innovativer und klimaangepasster Landtechnik	Amazonen-Werke H. Dreyer GmbH & Co. KG (Amazone)	Baraev Institut für Getreideforschung, Altaier Staatliche Agraruniversität, Landwirtschaftliche Betriebe
TP 2	Optimierung der Wasserversorgung durch innovatives Bodenmanagement	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ	Baraev Institut für Getreideforschung, TOO Fermer 2002
TP 3	Innovative Umweltmesstechnik	Umwelt-Geräte-Technik GmbH - UGT	Baraev Institut für Getreideforschung, TOO Fermer 2002
TP 4	Effekte von Landnutzung und landwirtschaftlichen Bewirtschaftungssystemen für die Winderosion entlang eines Klimagradienten in der Trockensteppe	Martin Luther Universität, Institut für Geowissenschaften und Geographie (MLU-Geo)	Altaier Staatliche Agraruniversität, Baraev Institut für Getreideforschung, Landwirtschaftliche Betriebe
TP 5	Evaluierung von Veränderungen der Boden-Kohlenstoffvorräte	Martin Luther Universität, Institut für Agrar- und Ernährungs-wissenschaften (MLU-Agro)	Baraev Institut für Getreideforschung, Landwirtschaftliche Betriebe
TP 6	Evaluierung der Nährstoffverfügbarkeit und -nutzungseffizienz	Leibniz Universität Hannover, Institut für Bodenkunde (LUH)	Baraev Institut für Getreideforschung, Altaier Staatliche Agraruniversität, Landwirtschaftliche Betriebe
PK	Projektkoordinierung, Bildung und Dissemination	Leibniz Universität Hannover, Institut für Bodenkunde (LUH)	

Bild 1



Bild 2

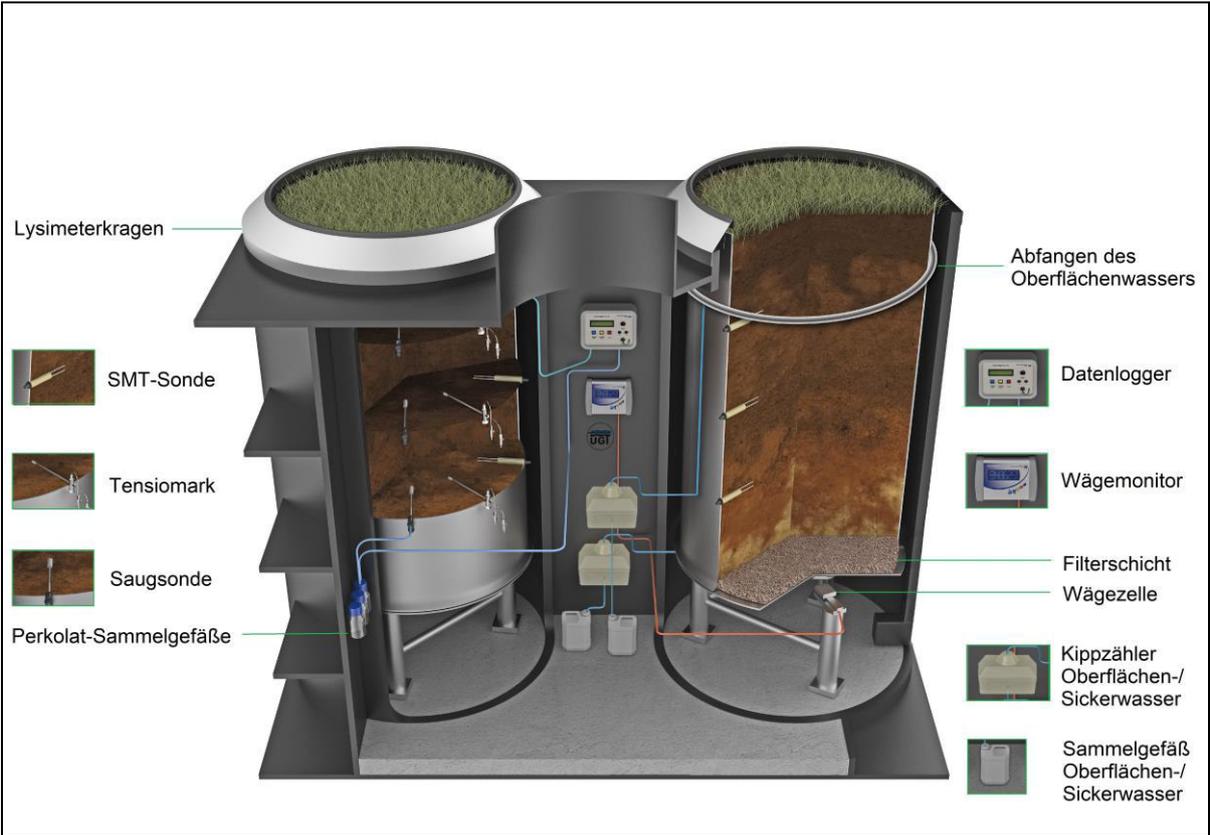


Bild 3

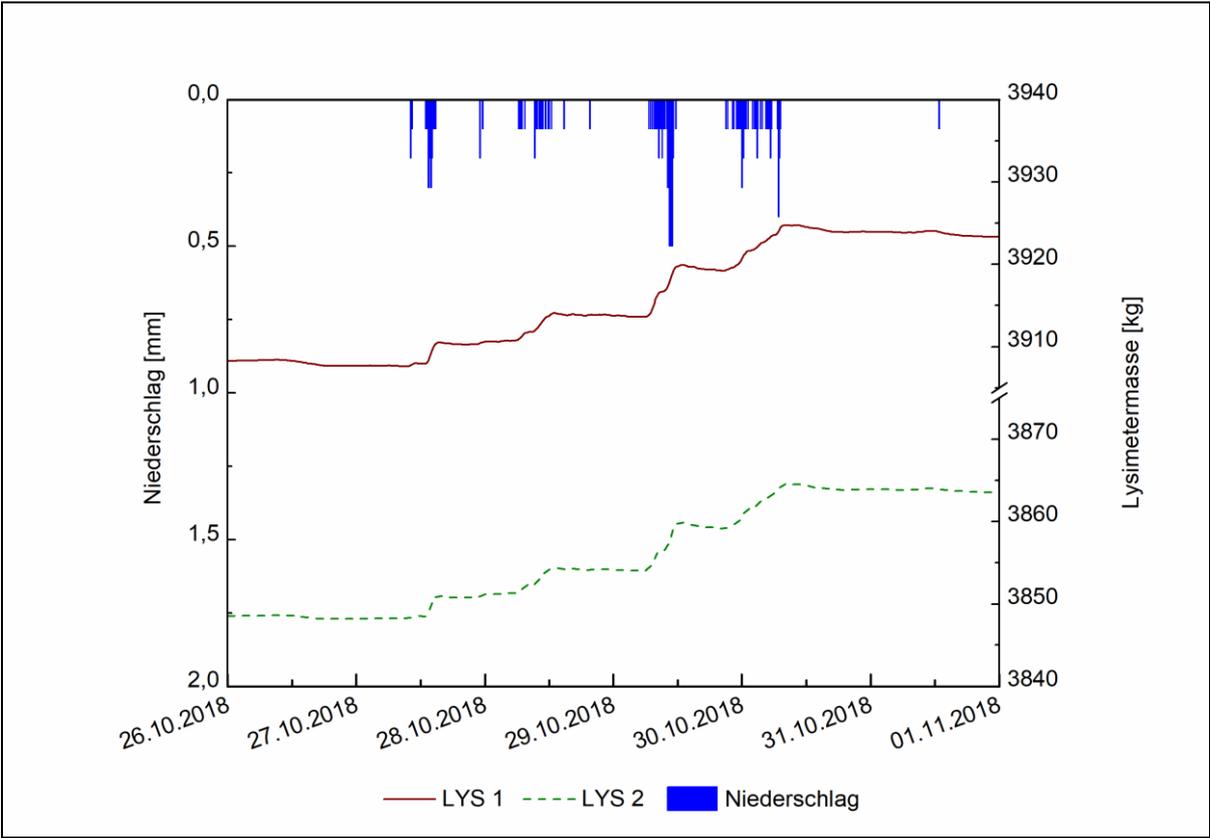


Bild 4

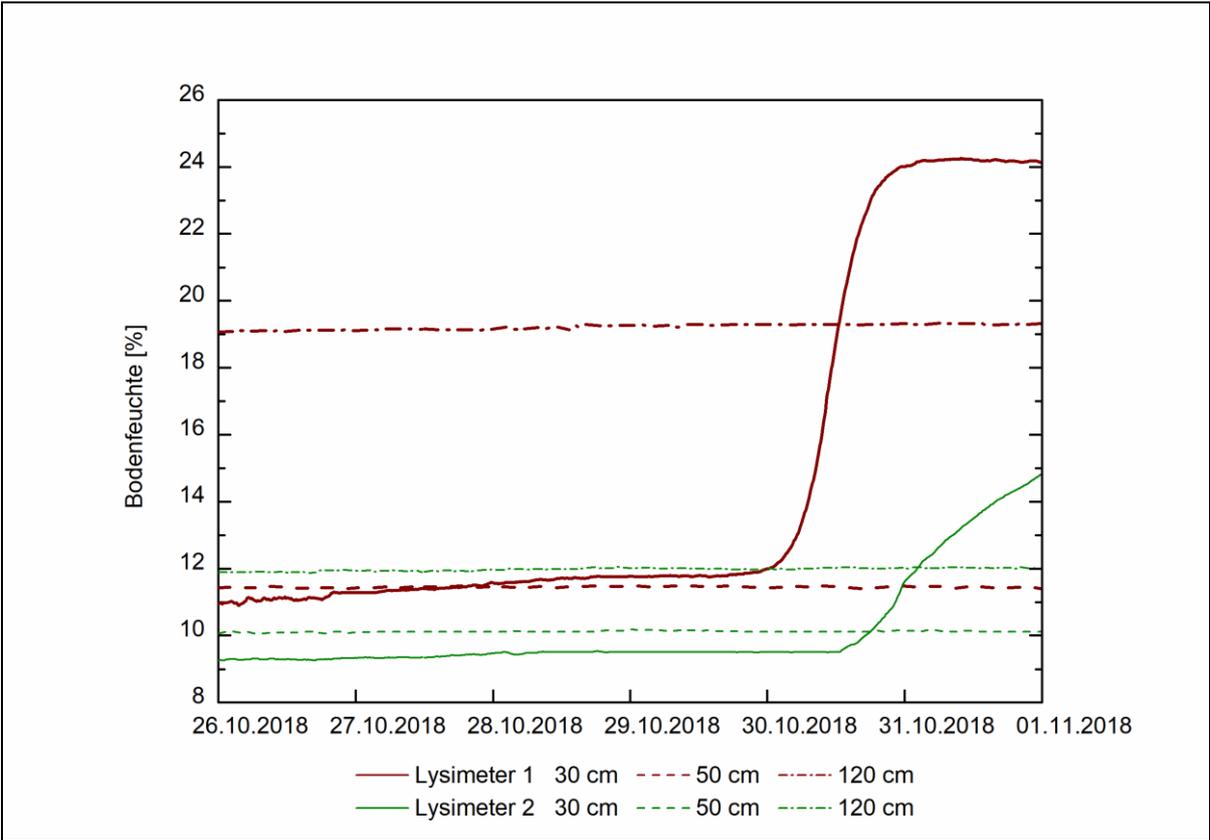


Bild 5

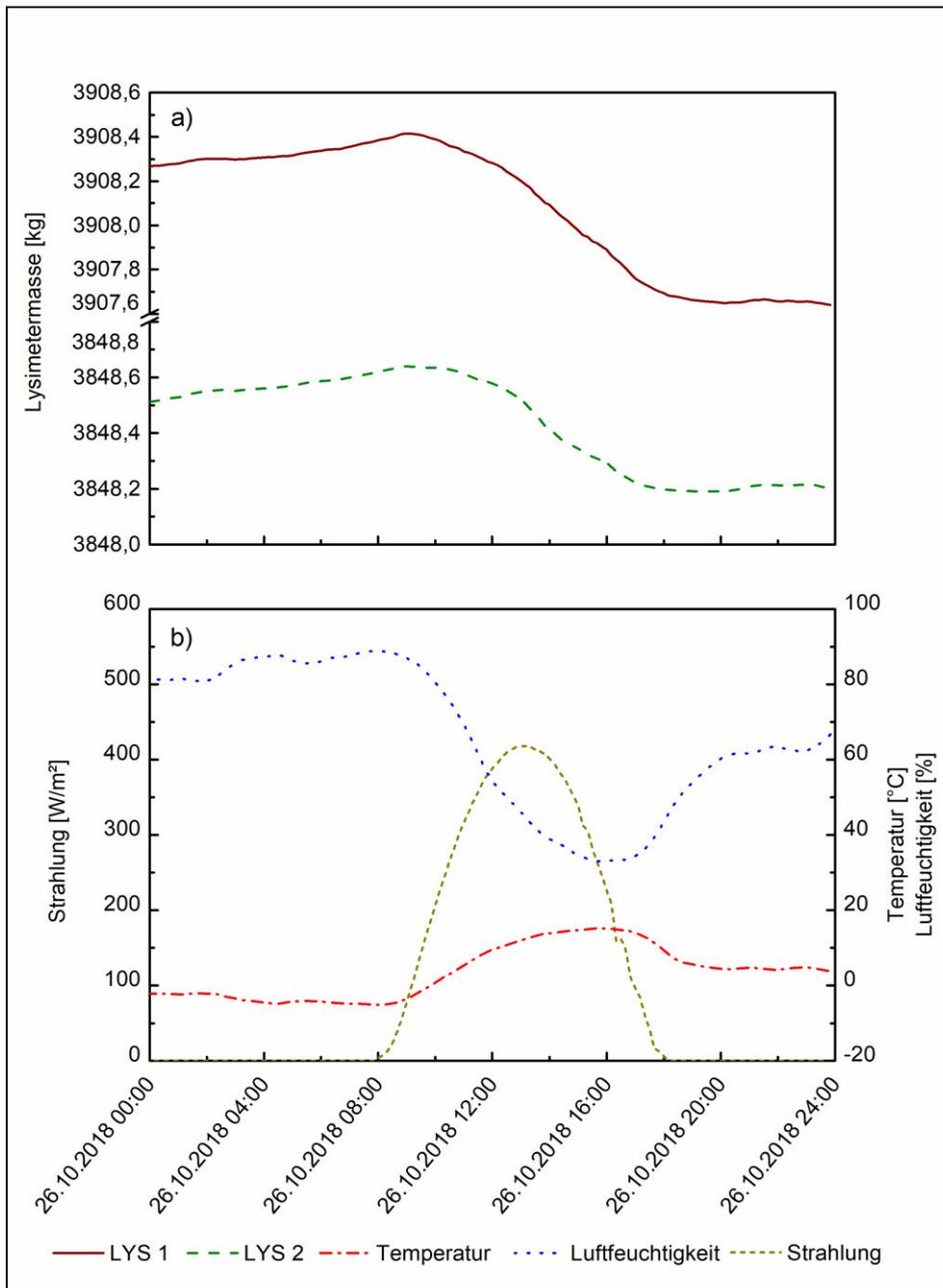


Bild 6

