

Lysimeteruntersuchungen zum Bodenwasserhaushalt eines Steppenstandorts in Sibirien

Lisa Haselow^{1*}, Holger Rupp¹ und Ralph Meißner¹

Zusammenfassung

Diese Studie quantifiziert Wasserhaushaltskomponenten, die mit Hilfe von wägbaren Gravitationslysimetern in der Kulunda-Steppe im südwestlichen Sibirien (Russland) erfasst wurden. Während ein Lysimeter die natürliche Steppenvegetation (LYS 1) beibehält, wurde das zweite Lysimeter (LYS 2) während des Untersuchungszeitraums durch Weizenanbau landwirtschaftlich genutzt. Innerhalb von 68 Tagen wurden insgesamt 114,7 mm Niederschlag durch LYS 1 und 126,6 mm durch LYS 2 gemessen; die aktuelle Evapotranspiration (ET_a) betrug 154,4 mm bzw. 202,8 mm. Bei LYS 1 konnte ein durchschnittlicher Wassergehalt von 21,8% in 30 cm Tiefe gemessen werden, der mit zunehmender Tiefe abnahm. LYS 2 zeigte hingegen mit 18,3% eine geringere Bodenfeuchte im Oberboden, die zum Unterboden anstieg. Aufgrund des hohen Weizenbestandes führte Interzeption zu einer reduzierten Niederschlagsmenge, wogegen die Transpirationsregulierung der Pflanze eine geringere ET_a zur Folge hatte. Der Bodenwassergehalt nahm mit zunehmender Trockenheit ab. Die natürliche Grasdecke auf LYS 2 zeigte trotz des Wasserverlustes durch ET_a eine erhöhte Wasserspeicherkapazität des Bodens. Dieser Standort ist demnach resistenter gegenüber Wasserknappheit im Vergleich zum landwirtschaftlich genutztem.

Schlagwörter: semi-arid, Niederschlag, aktuelle Evapotranspiration, Bodenfeuchte

Summary

This study quantifies parameters of the water balance in the Kulunda steppe of southwest Siberia (Russia). The measurements were conducted by weighable gravitation lysimeters. The first lysimeter (LYS 1) was covered by wheat during the study, whereas the second lysimeter (LYS 2) was permanently characterised by pristine steppe vegetation. Within 68 days the total amounts of precipitation ranged from 114.7 mm at LYS 1 to 126.6 mm at LYS 2. The actual evapotranspiration (ET_a) was by 154.4 mm and 202.8 mm, respectively. At LYS 1 mean soil moisture of 21.8% was measured in 30 cm depth which decreased with the depth. In contrast, LYS 2 showed lower soil moisture with 18.3% at the topsoil, but the water content increased to the subsoil. Due to the large coverage of wheat at LYS 1 interception could have led to a reduction of precipitation. The lower ET_a rates are caused by the transpiration regulation of the vegetation. The soil moisture at LYS 1 was dependent on precipitation and became lower with aridity. However, the pristine steppe vegetation at LYS 2 showed high ET_a , but soil moisture pointed to a higher water-holding capacity. Therefore, the soil is more resistant to water stress.

Keywords: semi-arid, precipitation, actual evapotranspiration, soil moisture

Einleitung

In semi-ariden Regionen ist Wasser eine lebenswichtige Ressource, die durch den voranschreitenden Klimawandel immer mehr reduziert wird. Da sich die resultierende Wasserknappheit auf die Vegetation auswirkt, gewinnt das Management von regionalen Wasserressourcen immer mehr an Priorität. Insbesondere die Landwirtschaft ist dazu gezwungen sich den Folgen des Klimawandels entsprechend anzupassen. Mit einem Blick in die Zukunft wiesen Studien auf Regionen, die eine äußerst hohe Anfälligkeit demgegenüber zeigen (Fraser et al. 2013, Degefie et al. 2014). Als ein Hotspot gilt Sibirien. Eine nachhaltige und angepasste Landwirtschaft ist hier von besonderer Bedeutung, da die Region aufgrund ihrer Größe und ihres Ertragspotentials zu den „Brotkörben“ der Welt zählt (Swinnen et al. 2017). Für eine entsprechende Anpassung müssen jedoch Informationen über den regionalen Wasserhaushalt vorliegen.

In den letzten Jahren erwies sich die Lysimetrie als eine geeignete Methode zur Bestimmung von Wasserhaushaltsgrößen (Meißner et al. 2010, Schrader et al. 2013). Neben bodenhydrologischen und bodenchemischen Prozessen sind wägbare Lysimeter dazu in der Lage den Austausch von Wasser zwischen Pedosphäre und Atmosphäre zu ermitteln. Jedoch blieben derartige Untersuchungen in den semi-ariden Regionen Sibiriens bislang aus.

Vor diesem Hintergrund bot das Forschungsprojekt KULUNDA (Balikyn et al. 2016) mit einem komplett ausgestatteten Monitoring-Netzwerk die Möglichkeit, den Wasserhaushalt in der Kulunda-Steppe im südwestlichen Sibirien zu bestimmen. Ziel dieser Studie ist es die Wasserhaushaltskomponenten Niederschlag, aktuelle Evapotranspiration und Bodenwasser anhand von zwei wägbaren Lysimetern zu quantifizieren. Angesichts der unterschiedlichen Lysimeterbedeckung erfolgt zusätzlich

¹ Department Bodensystemforschung, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Falkenberg 55, D-39615 ALTMÄRKISCHE WISCHE

* Ansprechpartner: Lisa Haselow, lisa.haselow@ufz.de



die Bewertung des Bodenwasserhaushalts in Abhängigkeit von der Vegetation.

Material und Methoden

Untersuchungsgebiet

Das zentral kontinentale Klima in der Kulunda-Steppe ist durch kurze, heiße Sommer und lange, kalte Winter gekennzeichnet. Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 0 °C. Der Niederschlag schwankt jährlich zwischen 250 und 450 mm. Die Landschaftsverdunstung ist zwei- bis dreimal höher als der zu verdunstende Anteil des Niederschlags. Den klimatischen Verhältnissen entsprechend, entwickelten sich die Bodentypen Tschernosem, Kastanozem, Solonetz und Solonchak. Die landwirtschaftlichen Flächen werden hauptsächlich zum Anbau von Weizen, Raps, Sonnenblumen, Erbsen und Mais verwendet. Die weitestgehend natürlichen Steppenböden wurden in den 1950er Jahren im Zuge der Neulandaktion einmal umgebrochen, jedoch nicht weiter bearbeitet. Demnach dominieren natürliche Steppengräser die Landschaft.

Messnetzwerk

Der Aufbau der Lysimeterstation (Hersteller „UGT-Müncheberg“, Deutschland) erfolgte im Jahr 2013 auf der Testfarm in Poluyamki (ca. 700 km südwestlich von Novosibirsk). Hierfür wurden insgesamt zwei Bodensäulen von einem landwirtschaftlich bewirtschafteten (Lysimeter 1 – LYS 1) und einem natürlichen Steppenstandort (Lysimeter 2 – LYS 2) monolithisch extrahiert (Balikyn et al. 2016). Jedes Lysimeter hat einen Durchmesser von 1 m², eine Tiefe von 2 m, und eine Masse von ca. 4000 kg. Die Gefäße stehen innerhalb der Containerstation jeweils auf drei Wägezellen, die mit einer Präzision von ± 20 g messen (Xiao et al. 2009). Beide Lysimeter sind mit FDR- und Watermark-Sensoren sowie Saugkerzen in den Tiefen 30, 50 und 120 cm ausgestattet. Des Weiteren wird das Sicker- und Oberflächenwasser mit Hilfe von Kippwaagen quantifiziert. Alle Daten werden mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde in einem Datenlogger gespeichert. Eine detaillierte Beschreibung der Lysimeterstation ist in Meißner et al. (2017) zu finden.

Die unterschiedliche Lysimeterbedeckung erlaubte Vergleichsanalysen hinsichtlich des Wasserhaushalts von landwirtschaftlich bewirtschafteten und natürlichen Steppenböden. Während LYS 2 durchgehend mit Federgras (*Stipa pennata*) bedeckt war, wurde LYS 1 mit einer festgelegten Fruchtfolge bewirtschaftet: Weizen (2013), Erbsen (2014), Weizen (2015) und Brache (2016).

Datenverfügbarkeit

Mit der Inbetriebnahme der Lysimeterstation wurden Messungen von 2013 bis 2016 durchgeführt. Die Lysimetermessungen erwiesen sich im Winter aufgrund von Minustemperaturen bis -47°C und hohen Schneedecken als unplausibel. Dementsprechend waren die Daten zwischen Oktober und April für die Auswertung unbrauchbar. Des Weiteren wurde der Zugriff auf die Daten durch russische Behörden erschwert. Zusammenhängende Zeitreihen ohne Datenlücken waren daher selten. Aufgrund dessen

beschränkt sich der hier verwendete Datensatz auf den Zeitraum 25.06. - 31.08.2015.

Datenverarbeitung

Die Aufbereitung der Lysimeterdaten wurde nach dem Prinzip des „Adaptive window and adaptive threshold“ (AWAT) Filters von Peters et al. (2014) durchgeführt. Der Niederschlag (P) und die aktuelle Evapotranspiration (ET_a) wurden von der Lysimetermasse abgeleitet, denn die absolute Masse des Systems (M) ist die Summe aus der Lysimetermasse (M_{LYS}) und dem Abfluss (M_Q). Es ist anzunehmen, dass ein Massenanstieg mit P und eine Massenabnahme mit ET_a einhergehen. Mit der Annahme, dass P und ET_a nicht parallel auftreten, nimmt dementsprechend der inaktive Prozess den Wert 0 an (Schrader et al. 2013):

$$M = M_{LYS} + M_Q$$

$$P = \begin{cases} \Delta M & \text{für } \Delta M > 0 \\ 0 & \text{für } \Delta M \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$ET_a = \begin{cases} \Delta M & \text{für } \Delta M < 0 \\ 0 & \text{für } \Delta M \geq 0 \end{cases}$$

M_{LYS} ist die Lysimetermasse [kg], M_Q ist die Menge an Sickerwasser [kg] und ΔM ist die Massenänderung des Lysimeters [kg] im vorgegebenen Zeitintervall [Δ]. Aufgrund der Geometrie des Lysimeters entspricht eine Massenänderung gleich einer Änderung im Wasservorrat in Millimeter (1 kg ≈ 1 l/m² = 1 mm). Daher werden alle Massenänderungen im Folgenden in Millimeter angegeben.

Ergebnisse und Diskussion

Niederschlag

Innerhalb von 68 Tagen wurden 114,7 mm Niederschlag durch LYS 1 und 126,6 mm durch LYS 2 registriert. Die Differenz von 9,3% ist größtenteils in der unterschiedlichen Bedeckung begründet. Durch den Weizenbestand auf LYS 1 nahm die Interzeption einen nicht vernachlässigbaren Anteil an. Aufgrund der größeren Blattoberfläche erreichte ein Teil der Niederschlagsmenge die Erdoberfläche nicht, da dieser abgefangen wurde und sofort zur Evaporation bereit stand. Daher wird von einem Interzeptionsverlust gesprochen, der sich wahrscheinlich in der geringeren Niederschlagsmenge von LYS 1 widerspiegelte. Frühere Studien haben nachgewiesen, dass auch die Taumenge mit Hilfe von wägbaren Lysimetern gemessen werden kann (Meißner et al. 2007, Xiao et al. 2009). Da Tau mit einem Massenanstieg einhergeht, wird dieser nach Gl. 1 als Niederschlag erfasst. Die Taubildung ist unter anderem von der Blattform abhängig und bei Gräsern besonders prädestiniert. Daher kann davon ausgegangen werden, dass eine höhere Taumenge zu der Niederschlagsmenge von LYS 2 beigetragen hat.

Aktuelle Evapotranspiration (ET_a)

Mit einer ET_a von 154,4 mm bei LYS 1 und 202,8 mm bei LYS 2 (Differenz 23,8%) wurden jeweils 34,6 und 60,2% mehr Wasser verdunstet als vom Niederschlag zur Verfügung gestellt wurde. Die durchschnittliche ET_a lag jeweils

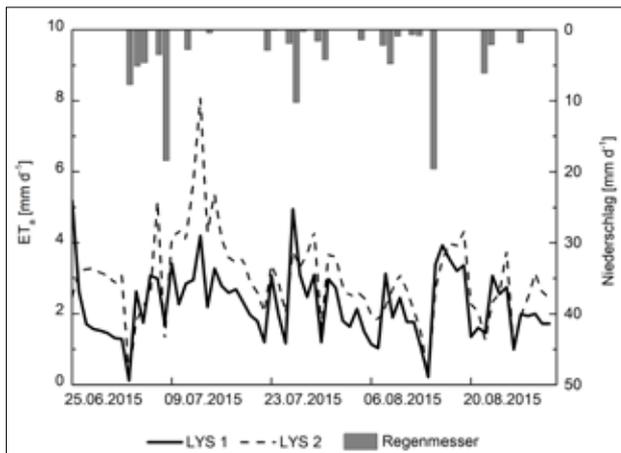


Abbildung 1: Die täglichen ET_a - und Niederschlagsraten zwischen dem 25.06. und 30.08.2015. Der Niederschlag wurde mit Hilfe einer angrenzenden Kippwaage gemessen.

bei 2,3 $mm\ d^{-1}$ bzw. 3 $mm\ d^{-1}$. Die Maxima betragen 5,2 $mm\ d^{-1}$ (LYS 1) bzw. 8,1 $mm\ d^{-1}$ (LYS 2). Die geringeren ET_a -Raten bei LYS 1 sind dem Weizenbestand geschuldet, der in der Lage ist seine Transpiration zu regulieren, um bei heißem und trockenem Wetter einer zu hohen Verdunstung vorzubeugen (Changhei et al. 2010). Ein Vergleich mit der potentiellen Evapotranspiration ($ET_0 = 373,6\ mm$) lässt daraus schließen, dass die ET_a von der Wasserverfügbarkeit des Standortes abhängig war. Dies lässt sich auch im Zusammenhang mit dem gemessenen Niederschlag erkennen (Abbildung 1). Nach Ereignissen mit hohen Niederschlagsraten wurde ein rapider Anstieg der ET_a beobachtet.

Bodenfeuchte

Mit Hilfe der FDR-Sensoren wurde der volumetrische Wassergehalt des Bodens bestimmt. Im Oberboden schwankte die Bodenfeuchte erkennbar, wobei LYS 1 eine stärkere Fluktuation in Abhängigkeit vom Niederschlag zeigte (Abbildung 2). Mit zunehmender Tiefe nahm sowohl die Fluktuation als auch die Bodenfeuchte bei LYS 1 ab. Bei einem Wassergehalt von durchschnittlich 21,8% in 30 cm Tiefe sank diese auf 12,9% in 120 cm. Bei LYS 2 konnte ein gegensätzliches Muster beobachtet werden. Im Oberboden wurde eine Feuchte von ca. 18,3% gemessen, die vergleichsweise stabil blieb. Zum Unterboden hin stieg die Bodenfeuchte auf 23,8% an. Die höhere Bodenfeuchte im Oberboden von LYS 1 wurde von der Infiltrationskapazität des Bodens bestimmt. Durch das ausgeprägte Wurzelsystem des Weizenbestandes gab es einen hohen Anteil an Makroporen, die dazu beitrugen die Infiltrationskapazität zu erhöhen. Die geringe Fluktuation und Bodenfeuchte im Oberboden von LYS 2 wies auf einen dichten und trockenen Boden mit einer niedrigen Infiltrationskapazität hin. Die Zunahme der Bodenfeuchte mit ansteigender Tiefe belegt, dass mehr Wasser gespeichert wurde und damit der Vegetation in Trockenzeiten zusätzlich zur Verfügung stand.

Schlussfolgerungen

Diese Studie untersuchte den Bodenwasserhaushalt in der Kulunda-Steppe in Südwest-Sibirien. Mit Hilfe von zwei wägbaren Gravitationslysimetern wurden die Wasserhaus-

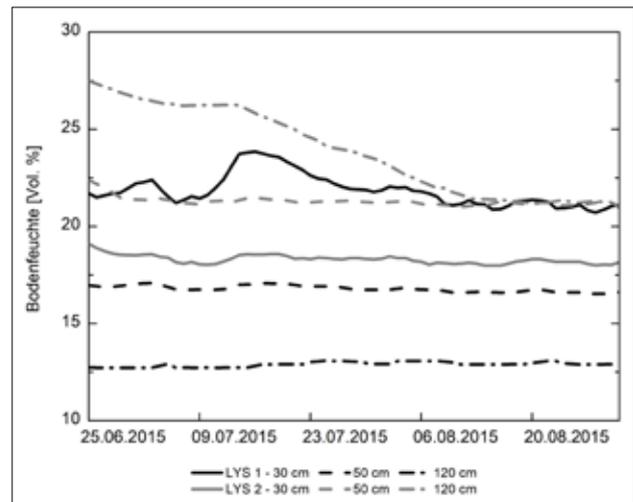


Abbildung 2: Die volumetrische Bodenfeuchte, gemessen in 30, 50 und 120 cm Tiefe.

haltskomponenten Niederschlag, ET_a und Bodenwasser während der Sommersaison 2015 quantifiziert. Die Lysimeter waren jeweils durch Weizen und natürliches Steppengras bedeckt. Die Ergebnisse wiesen auf niedrigere ET_a - und Niederschlagsraten bei LYS 1 hin. Angesichts der größeren Blattoberfläche des Weizens bestand die Möglichkeit, dass der Niederschlag aufgrund von Interzeption reduziert wurde. Obwohl der Weizen aus pflanzenphysiologischen Gründen in der Lage ist, einem hohen Wasserverlust durch ET_a vorzubeugen, sank der Bodenwassergehalt mit zunehmender Trockenheit. Trotz hoher ET_a wies der natürliche Steppenboden von LYS 2 eine verbesserte Wasserspeicherkapazität im Vergleich zum Weizenstandort auf, die ihn und dessen Vegetation resistenter gegenüber Dürren macht.

Neben den ersten Ergebnissen verdeutlichte diese Studie auch die damit verbundenen Schwierigkeiten, zuverlässige Messungen in dieser Region durchzuführen. Sowohl administrative als auch technische Hemmnisse führten dazu, dass lediglich kurze zusammenhängende Datenreihen zur Verfügung standen. Um aussagekräftige Informationen zum regionalen Wasserhaushalt zu erhalten, ist eine Langzeitstudie notwendig, um plausible Messungen ganzjährig, d.h. auch über den Winter, zu gewinnen. Aus diesem Grund wurde im nachfolgenden Projekt ReKKS (Guggenberger et al. 2017) ein ähnliches Monitoring-Netzwerk in der kasachischen Steppe installiert, um die Forschung unter ähnlichen Bedingungen fortzuführen und verlässliche Wasserhaushaltsdaten für diese bisher nicht ausreichend erforschte Region zu erhalten.

Danksagung

Dieser Beitrag basiert auf Studien, die im Rahmen der Forschungsprojekte KULUNDA (FKZ 01LL0905D) und ReKKS (FKZ 01LZ1704C) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert werden. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Unser besonderer Dank gilt G. Schmidt von der Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg und A. A. Bondarovich von der Altai State Universität in Barnaul für die logistische Unterstützung.

Literatur

- Balykin D., Puzanov A., Stepahn E., Meißner R. (2016) Using the innovative lysimeter technology in the german-russian research project „KULUNDA“, in Mueller L., Sheudshen A. K. & Eulenstein F. (ed.) Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia. Springer Water, Switzerland, pp. 387-399.
- Changhai S., Baodi D., Yunzhou Q., Yuxin L., Lei S., Mengyu L., Heipei L. (2010) Physiological regulation of high transpiration efficiency in winter wheat under drought conditions. *Plant Soil Environ.* 56, 340-347.
- Degefie D.T., Fleischer E., Klemm O., Soromotin A.V., Soromotin O.V., Tolstikov A.V., Abramov N.V. (2014) Climate extremes in south western Siberia: past and future. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 28, 2161-2173.
- Fraser E.D.G., Simelton E., Termansen M., Gosling S.N., South A. (2013) „Vulnerability hotspots“: integrating socio-economic and hydrological models to identify where cereal production may decline in the future due to climate change induced drought. *Agr. Forest Meteorol.* 170, 195-205.
- Guggenberger G., Meinel T., Meißner R., Seyfarth M., Frühauf M., Schmidt G., Mikutta R., Kaiser K., Carstens J.F. (2017) Innovationen für nachhaltige landwirtschaftliche Ressourcennutzung und Klimaanpassung in Trockensteppen Kasachstans und Südwestsibiriens (ReKKS). In: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): „CLIENT II – Internationale Partnerschaften für nachhaltige Innovationen“.
- Meißner R., Seeger J., Rupp H., Seyfarth M., Borg H. (2007) Measurement of dew, fog, and rime with a high-precision gravitation lysimeter. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170, 335-344.
- Meißner R., Prasad M.N.V., Du Laing G., Rinklebe J. (2010) Lysimeter application for measuring the water and solute fluxes with high precision. *Curr. Sci. India* 99, 601-607.
- Meißner R., Rupp H., Bondarovich A.A., Rinklebe J. (2017) Soil water management in the siberian Kulunda-dry steppe. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources* 5, 87-91.
- Peters A., Nehls T., Schonsky H., Wessolek G. (2014) Separating precipitation and evapotranspiration from noise - a new filter routine for high-resolution lysimeter data. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 18, 1189-1198.
- Schrader F., Durner W., Fank J., Gebler S., Pütz T., Hannes M., Wollschläger U. (2013) Estimating precipitation and actual evapotranspiration from precision lysimeter measurements. *Procedia Environ. Sci.* 19, 543-552.
- Swinnen J., Burkitbayeva S., Schierhorn F., Prishchepov A.V., Müller D. (2017) Production potential in the „bread baskets“ of Eastern Europe and Central Asia. *Global Food Security* 14, 38-53.
- Xiao H., Meißner R., Seeger J., Rupp H., Borg H. (2009) Testing the precision of a weighable gravitation lysimeter. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172, 194-200.