

# Auswertung von Lysimeterdaten über sieben Jahre zur Bestimmung von Evapotranspiration, Wassernutzungseffizienz und Pflanzenkoeffizienten

Simone Oberholzer<sup>1</sup>, Andreas Hund<sup>1</sup> und Volker Prasuhn<sup>2\*</sup>

## Zusammenfassung

Die Daten von 12 wägbaren Lysimetern der Lysimeteranlage Zürich-Reckenholz der Vegetationsperioden 2009 bis 2015 wurden bezüglich Evapotranspiration, Pflanzenkoeffizienten ( $K_c$ -Werte) und Wassernutzungseffizienz ausgewertet. Die Daten von sieben verschiedenen Kulturen flossen in die Untersuchungen ein. Dadurch konnten 71 Kultur x Jahr-Kombinationen analysiert werden. Die mittlere Evapotranspiration war bei Raps mit 4,3 mm/Tag am höchsten, bei Klee gras-Ansaatwiese mit 3,0 mm/Tag am geringsten. Die mittleren  $K_c$ -Werte der Kulturen unterschieden sich signifikant. In den Trockenjahren 2011 und 2015 waren die  $K_c$ -Werte von Raps und Mais geringer als in feuchteren Jahren. Jedoch wurde in keinem Jahr das leicht pflanzenverfügbare Wasser aus dem gesamten Bodenprofil aufgebraucht. Maximale  $K_c$ - und Evapotranspirationswerte wurden zur Blütezeit der Kulturen erreicht. Bei allen Kulturen gab es eine deutliche Korrelation zwischen Wassernutzungseffizienz und Biomasseproduktion bzw. Korntrag. Die Resultate zeigen, dass der Wasservorrat der untersuchten Böden in der Regel ausreichend ist; in Trockenjahren kann Trockenstress aber zu Ertragseinbußen führen.

*Schlagwörter:* Lysimeter, Wasserbilanz, Wassernutzungseffizienz, Evapotranspiration, Pflanzenkoeffizienten

## Summary

For the vegetation periods from 2009 to 2015 data from 12 weighing lysimeters of the lysimeter facility Zürich-Reckenholz were evaluated with regard to evapotranspiration, crop coefficients and water use efficiency. Data from seven different crops were included in this study. Thus, 71 crop-by-year combinations could be analyzed. The mean evapotranspiration was highest in rapeseed with 4.3 mm/day and lowest in grass clover ley with 3.0 mm/day. Mean  $K_c$  values of the crops differed significantly. In the dry years 2011 and 2015,  $K_c$  values of rapeseed and maize were lower than in the other years. However, the readily available water from the entire soil profile was never depleted. Maximum  $K_c$  values and evapotranspiration were achieved at the flowering time of the crops. In all crops, there was a clear correlation between water use efficiency and biomass production or grain yield. The results show that overall current water supply of the soil under investigation is generally sufficient; in dry years, however, drought can lead to losses in yield.

*Keywords:* lysimeter, water balance, water use efficiency, evapotranspiration, crop coefficients

## Einleitung

Moderne wägbare Präzisionslysimeter erlauben die exakte Erfassung der Wasserbilanz, da neben dem Sickerwasserausfluss über die Gewichtsveränderung der Lysimeterniedererschlag, die Evapotranspiration und die Bodenspeicheränderung berechnet werden können. Liegen zusätzlich Daten von Messsonden wie FDR oder Tensiometer aus verschiedenen Bodentiefen vor, können auch Aussagen über den räumlichen und zeitlichen Wassertransport gemacht werden. Dadurch können kulturspezifische Informationen zum Wasserbedarf und zur Grundwasserneubildung gewonnen werden. Um Anpassungsstrategien im Pflanzenbau für den prognostizierten Klimawandel entwickeln zu können, sind detaillierte, lokalspezifische Kenntnisse über Pflanzenkoeffizienten der Evapotranspiration ( $K_c$ -Werte), Wassernutzungseffizienz, Wasserbedarf und Wasserextraktionstiefen verschiedener Kulturen notwendig.

## Material und Methoden

Im Jahr 2009 haben verschiedene agronomische Versuche auf der neuen Lysimeteranlage in Zürich-Reckenholz begonnen. Die Anlage umfasst 72 Gravitationslysimeter mit einer Oberfläche von 1 m<sup>2</sup> und einer nutzbaren Tiefe von 1,35 m und drei verschiedenen, monolithisch gewonnenen, typischen Ackerböden der Schweiz. Über eine Sickerwasserhilfe von 15 cm aus Quarzsand am Lysimeterboden entwässern die Lysimeter frei dränend in Kippwaagen von 100 ml. 12 Lysimeter sind wägbare und mit verschiedenen Messsonden (FDR, Tensiometer, Saugkerzen, Temperatur) in vier verschiedenen Tiefen (10, 30, 60, 90 cm) in zweifacher Wiederholung ausgestattet. Alle Messdaten werden alle fünf Minuten aufgezeichnet (Prasuhn et al. 2016).

Die Vegetationsperioden der Jahre 2009 bis 2015 wurden analysiert. Es wurden die sieben Kulturen (Körnermais, Silomais, Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Zucker-

<sup>1</sup> ETH Zürich, Institut für Agrarwissenschaften, Universitätsstraße 2, CH-8092 ZÜRICH

<sup>2</sup> Agroscope, Fachgruppe Gewässerschutz und Stoffhaushalt, Reckenholzstraße 191, CH-8046 ZÜRICH

\* Ansprechpartner: Dr. Volker Prasuhn, volker.prasuhn@agroscope.admin.ch



rüben, Klee graswiese) berücksichtigt, die mindestens in zwei verschiedenen Jahren auf einem Lysimeter angebaut wurden. Dadurch standen 71 Kultur x Jahr-Kombinationen für die Auswertung zur Verfügung.

Die Niederschlagsmenge wurde aus der Gewichtsveränderung der Lysimeter basierend auf 5-Minutendaten ermittelt. Die Rohdaten wurden zunächst manuell korrigiert (offensichtliche Fehler bei Service- oder Bodenbearbeitungsarbeiten), dann wurden über einen Grenzwertfilter Ausreißer eliminiert, anschließend wurde der „adaptive window and adaptive threshold“ Filter (AWAT) nach Peters et al. (2014) eingesetzt, um das Rauschen zu bereinigen und abschließend erfolgte eine manuelle Überprüfung durch den Quervergleich aller 12 Lysimeter sowie mit den Meteorodaten einer 20 m entfernten offiziellen Niederschlagsmessstation. Die Evapotranspiration wurde anschließend aus der klimatischen Wasserbilanz berechnet. Die Gras-Referenzverdunstung ( $ET_0$ ) wurde aus meteorologischen Daten nach Allen (1998), mit Anpassungen an die Schweizer klimatischen Bedingungen (Calanca et al. 2011), auf stündlicher Basis berechnet. Anschließend wurden Pflanzenkoeffizienten ( $K_c$ -Werte) für alle Kulturen ermittelt. Die Wassernutzungseffizienz (Biomasse geteilt durch Wasserverbrauch; reziproker Wert zum Transpirationskoeffizienten) wurde für die totale Biomasseproduktion und für den Körnerertrag berechnet (detaillierte Methodenbeschreibung siehe Oberholzer 2016).

## Ergebnisse

Für die verschiedenen Lysimeter und Kulturen wurden diverse Parametereinstellungen des AWAT-Filters getestet, um den Bestandesniederschlag auf den Lysimetern möglichst exakt zu ermitteln. Unter Mais gab es das größte Rauschen

bei den 5-Minuten-Gewichtsdaten, unter Klee graswiese das geringste. Entsprechend wurde für jede Kultur eine optimale Filtereinstellung gewählt (Tabelle 1). Für einige Jahre mussten bei einigen Lysimetern gröbere Filtereinstellungen für bestimmte Kulturen gewählt werden, da das Rauschen größer war (Tabelle 1). Der Lysimeterniederschlag war im Mittel rund 8% höher als der Meteoroniederschlag. Vor allem an Tagen mit starkem Wind kam es zu großen Abweichungen zwischen Lysimeter- und Meteoroniederschlag.

Die mittlere Evapotranspiration war bei Raps mit 4,3 mm/Tag am höchsten, bei Klee graswiese mit 3,0 mm/Tag am geringsten (Tabelle 2). Die mittleren  $K_c$ -Werte der verschiedenen Kulturen unterschieden sich signifikant (Tabelle 3). Allerdings variierten die  $K_c$ -Werte der einzelnen Kulturen in verschiedenen Jahren. In den Trockenjahren 2011 und 2015 waren die  $K_c$ -Werte von Raps und Mais signifikant geringer als in feuchteren Jahren. Jedoch wurde in keinem Jahr das leicht verfügbare Wasser aus dem gesamten Bodenprofil aufgebraucht. Nur bei Silomais im Jahr 2015 kam es aufgrund der Trockenheit zu einer leichten Ertragseinbuße. Maximale tägliche  $K_c$ - und Evapotranspirationswerte korrelierten sehr gut mit dem Blütedatum der verschiedenen Kulturen. Die gemessenen Evapotranspirationswerte und Pflanzenkoeffizienten waren vergleichsweise hoch und überstiegen die FAO-Werte (Allen 1998) deutlich. Ursachen hierfür waren die überdurchschnittlichen Erträge auf den Lysimetern und der Oaseneffekt der Lysimeter. Beides führte zu erhöhter Evapotranspiration. Bei allen Kulturen gab es eine deutliche Korrelation zwischen Wassernutzungseffizienz und Biomasseproduktion bzw. Körnerertrag, d.h. höhere Biomasse bzw. höherer Körnerertrag führten zu einer höheren Wassernutzungseffizienz.

Tabelle 1: Verwendete Parametereinstellungen ( $w_{max}$  und  $d_{max}$ ) des AWAT-Filters für verschiedene Kulturen.

Kultur	$w_{max}$	$d_{max}$	Ausnahmen
Silomais	31	0,4	2012 Lysimeter 4 und 9: $w_{max} = 120$ , $d_{max} = 0,8$ ; 2014 Lysimeter 10: $w_{max} = 120$ , $d_{max} = 0,8$
Körnermais	31	0,4	
Winterweizen	20	0,24	2010 Lysimeter 4 und 9: $w_{max} = 40$ , $d_{max} = 0,4$
Wintergerste	20	0,24	
Zuckerrüben	20	0,15	2011 Lysimeter 2 und 8: $w_{max} = 31$ , $d_{max} = 0,24$ ; 2014 Lysimeter 7: $w_{max} = 40$ , $d_{max} = 0,4$
Raps	15	0,15	
Klee gras	15	0,15	

Tabelle 2: Länge der Vegetationsperiode, kumulierte Evapotranspiration und Evapotranspiration pro Tag der verschiedenen Kulturen (inklusive Standardfehler). Bei den Winterkulturen begann die Vegetationsperiode am 10. März, bei den Sommerkulturen mit der Saat und endete jeweils mit der Ernte.

Kultur	Länge der Vegetationsperiode (Tage)	kumulierte Evapotranspiration (mm)	Evapotranspiration pro Tag (mm/Tag)
Raps	117 ± 3	504 ± 17	4,3 ± 0,1
Silomais	130 ± 3	513 ± 20	3,9 ± 0,1
Winterweizen	121 ± 3	481 ± 18	3,8 ± 0,1
Wintergerste	114 ± 3	408 ± 17	3,5 ± 0,1
Körnermais	157 ± 3	552 ± 19	3,5 ± 0,2
Zuckerrüben	202 ± 3	689 ± 20	3,5 ± 0,2
Klee gras	235 ± 3	717 ± 24	3,0 ± 0,2

**Tabelle 3: Mittlere Pflanzenkoeffizienten ( $K_c$ -Wert) und mittlere Wassernutzungseffizienz in Bezug auf Biomasse und Kornertrag (inklusive Standardfehler).**

Kultur	$K_c$ -Wert (Mittelwert)	Wassernutzungseffizienz Biomasse (Mittelwert) (g/mm)	Wassernutzungseffizienz Kornertrag (Mittelwert) (g/mm)
Raps	1,82 ± 0,04	-	0,70 ± 0,17
Silomais	1,40 ± 0,07	3,89 ± 0,25	-
Winterweizen	1,53 ± 0,13	2,63 ± 0,27	1,19 ± 0,13
Wintergerste	1,52 ± 0,06	2,71 ± 0,18	1,37 ± 0,14
Körnermais	1,32 ± 0,07	3,61 ± 0,19	1,45 ± 0,13
Zuckerrüben	1,37 ± 0,03	3,66 ± 0,21	-
Klee gras	1,30 ± 0,02	1,85 ± 0,21	-

## Fazit

Der von Peters et al. (2014) auf 1-Minutenbasis entwickelte AWAT-Filter zur Bestimmung von Lysimeterniederschlag und Evapotranspiration konnte erfolgreich auch mit 5-Minutendaten eingesetzt werden. Die Anwendung bei 71 Kultur x Jahr-Kombinationen zeigte aber, dass jeweils pflanzenspezifische Parametereinstellungen gemacht werden müssen. Das Blühdatum der verschiedenen Kulturen korrelierte sehr gut mit der maximalen täglichen Evapotranspiration und dem maximalen Pflanzenkoeffizienten. Die Resultate zeigen weiterhin, dass der Wasservorrat der untersuchten Böden im Schweizer Mittelland heute meist ausreichend ist. Nur im sehr trockenen Jahr 2015 und nur bei Silomais kam es aufgrund von Trockenstress zu einer Ertragseinbuße. Sollten im Rahmen vom prognostizierten Klimawandel aber Trockenphasen häufiger und länger werden, ist mit Beeinträchtigungen des Pflanzenwachstums aufgrund von Wassermangel zu rechnen.

## Literatur

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998) Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy.
- Calanca P., Smith P., Holzkämper A., Ammann C. (2011) Die Referenzverdunstung und ihre Anwendung in der Agrarmeteorologie: Agrarforschung Schweiz 2/4, 176-183.
- Oberholzer S. (2016) Crop Water Use under Swiss Pedoclimatic Conditions – Evaluation of Lysimeter Data Covering a Seven-Year Period. Masterarbeit ETH Zürich, Institut für Agrarwissenschaften, 54. S.
- Peters A., Nehls T., Schonsky H., Wessolek G. (2014) Separating precipitation and evapotranspiration from noise - a new filter routine for high-resolution lysimeter data: Hydrology and Earth System Sciences 18/3: 1189-1198.
- Prasuhn V., Humphrys C., Spiess E. (2016) Seventy-two Lysimeters for Measuring Water Flows and Nitrate Leaching under Arable Land. NAS International Workshop on Applying the Lysimeter Systems to Water and Nutrient Dynamics. Wanju, Südkorea, 124-146.

