

# Vergleich von mit Lysimetern gemessenen und errechneten Wasserhaushaltsgrößen

Juliane Seeger<sup>1\*</sup>, Ralph Meißner<sup>1</sup> und Holger Rupp<sup>1</sup>

## Zusammenfassung

Es wurden berechnete und gemessene Wasserhaushaltsgrößen aus unterschiedlichen Lysimetertypen, die gleichzeitig Referenzgefäße für eine größere Gebietseinheit darstellen, sowohl untereinander als auch mit der auf der Grundlage von gewonnenen klimatischen Daten errechneten Grasreferenzverdunstung verglichen. Mit beiden Lysimetertypen ist es möglich, Wasserhaushaltsgrößen für eine größere Gebietseinheit zu ermitteln. In Perioden mit einem jährlichen Niederschlagsangebot über 600 mm stimmen die ermittelten Evapotranspirationswerte aus Lysimetern gut mit den berechneten Werten der Grasreferenzverdunstung überein. Entgegen den Erwartungen kann es bei vergleichsweise hohen Tagestemperaturen im Januar und Februar (bis zu 10 °C) zu mehrfach höheren Werten der tatsächlichen Evapotranspiration im Vergleich zur Grasreferenzverdunstung kommen.

## Summary

Both calculated and measured soil water budget parameters of different lysimeter types were compared. The lysimeters were considered as the reference for larger field areas. The results of the different lysimeter types were internally compared and faced with the grass reference evapotranspiration based on climatic data. Water budget parameter for larger entities could be identified by the results of both lysimeter types. The evapotranspiration measured by lysimeter corresponds to the calculated values of grass reference evapotranspiration if the annual precipitation exceed 600 mm. Contrary to our expectations, the actual evapotranspiration can multiple exceed the grass reference evapotranspiration if the average daytime temperatures in January and February were comparatively high (up to 10 °C).

## Einleitung

Lysimeter sind geeignete Instrumente zur Bestimmung von Wasserhaushaltsgrößen. Dabei stellt die Evapotranspiration in der Wasserhaushaltsgleichung neben dem unterirdischen Abfluss das am schwersten zu quantifizierende Glied dar und ist für Hydrogeologen und Wasserwirtschaftler wegen ihrer defizitären Wirkung für die Grundwassererneuerung von großer Bedeutung. Mit nicht wägbaren Lysimetern ist es möglich, unter zur Hilfenahme der Wasserhaushaltsgleichung langjährige Mittelwerte der Evapotranspiration zu berechnen. Dabei ist es wichtig, die Höhe der Niederschläge genau zu bestimmen. Bei der in wägbaren Lysimetern direkt messbaren tatsächlichen Evapotranspiration hängt die Genauigkeit der ermittelten Werte stark von der Präzision der Wägetechnik ab. Eine wichtige Kontrollgröße bei der Übertragung von Erkenntnissen aus Lysimeterversuchen auf größere Gebietseinheiten ist der Vergleich mit Ergebnissen aus Berechnungen der Grasreferenzverdunstung auf der Grundlage von gewonnenen klimatischen Daten. Unter den Bedingungen eines niedrigen Bewuchses und ohne Wasserstress im Boden (vorwiegend in den Wintermonaten und im zeitigen Frühjahr) gibt die Grasreferenzverdunstung annähernd die tatsächliche Evapotranspiration eines Standortes an.

Sowohl langjährig vorliegende gemessene (Niederschlag, Sickerwassermenge) als auch errechnete (Grasreferenzverdunstung) Wasserhaushaltsgrößen bieten die Möglichkeit, Erkenntnisse über Entwicklungstrends zu erlangen, die

im Rahmen der Diskussionen über die Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die ober- und unterirdische Abflussbildung einer größeren Gebietseinheit relevant sind. Dabei liegen bisher kaum eindeutige Informationen über sich daraus ergebende Änderungen der Wasserhaushaltskomponenten im regionalen Maßstab vor.

Zwei verschiedene Lysimetertypen auf der Lysimeterstation des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung GmbH - UFZ in Falkenberg, die gleichzeitig Referenzlysimeter für ein in unmittelbarer Nähe befindliches Kleineinzugsgebiet darstellen, sowie eine integrierte Wetterstation, bieten gute Möglichkeiten gemessene und berechnete Wasserhaushaltsgrößen auf zwei Skalenebenen zu vergleichen. Darüber hinaus ist es auf der Basis von Langzeitlysimeterversuchen auch möglich, Erkenntnisse über Entwicklungstrends von Wasserhaushaltsgrößen zu erlangen.

## Material und Methoden

Zur Bestimmung der langjährigen mittleren tatsächlichen Evapotranspiration (Eta) werden seit 1986 zwei nicht wägbare Grünlandlysimeter Lys 3 und 4 (Kastenlysimeter, 1m<sup>2</sup> Oberfläche, 125 cm nutzbare Tiefe, Bodenart SL, mittleres Düngungsniveau, unbewässert) genutzt. Als Berechnungsbasis dient dabei die Wasserhaushaltsgleichung unter Vernachlässigung der Wasservorratsänderung:

$$\begin{aligned} \text{Eta} &= \text{Po} - \text{SW} && \text{Gl. 1} \\ \text{Po} & - \text{korrigierter Niederschlag} \\ \text{SW} & - \text{Lysimetersickerwasser} \end{aligned}$$

<sup>1</sup> Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Department Bodenphysik, Lysimeterstation Falkenberg, Dorfstraße 55, D-39615 FALKENBERG

\* Ansprechpartner: juliane.seeger@ufz.de

Die Niederschlagsmenge wird in einem Hellmann-Regenmesser in einer Aufstellhöhe von 1 m gemessen. Der auf der Station direkt ermittelte Korrekturfaktor zwischen der Aufstellhöhe von 1 m und Erdbodenniveau beträgt 9%.

Seit 2002 werden mit wägbaren monolithisch befüllten Lysimetern Wasserhaushaltsgrößen direkt ermittelt. Dabei werden die Ergebnisse aus zwei Grünlandlysimetern Lys 211 und 212 (1 m<sup>2</sup> Oberfläche, 200 cm nutzbare Tiefe, Bodenart S, mittleres Düngungsniveau wie Lys 3 und 4) mit integrierter innovativer Wägetechnik (Wägegenauigkeit 20 g) und einer online Sickerwassermengenmessung dazu genutzt, um nach Gl. 2 die ETa auch für kurze Zeitabschnitte direkt zu bestimmen.

$$E_{ta} = \frac{P_o - SW - \Delta W}{\Delta t} \quad \text{Gl. 2}$$

$\Delta W$  - Änderung des Wasservorrates

$\Delta t$  - beliebiger Zeitabschnitt

Alle vier in diese Auswertung einbezogenen Lysimeter stellen aufgrund der darin enthaltenen vergleichbaren Bo-

denarten Referenzlysimeter für ein 24 km<sup>2</sup> großes Kleineinzugsgebiet „Schaugraben“ dar. Dabei wird durch die räumliche Nähe von 15 km zur Lysimeterstation auch von ähnlichen klimatologischen und hydrologischen Bedingungen ausgegangen. Die Bewirtschaftungsweise der Lysimeter ähnelt der im Kleineinzugsgebiet.

Komplettiert wird die Ermittlung von Wasserhaushaltsgrößen seit 1994 durch die Berechnung der täglichen Grasreferenzverdunstung auf der Grundlage stationseigener meteorologischer Daten.

### Ergebnisse

Ein für den Versuchszeitraum von 2004 bis 2007 durchgeführter Vergleich jährlicher Sickerwassermengen der integrierten vier Lysimeter zeigt in *Abbildung 1* erwartungsgemäß Unterschiede zwischen den jeweiligen Parallellysimetern und in Abhängigkeit vom Niederschlagsdargebot auch in den einzelnen Versuchsjahren. Die Differenzen zwischen den Lysimetertypen können durch die voneinander abweichende Bodenart (2 Lysimeter SL, 2 Lysimeter S) erklärt werden. Trotz dieser Unterschiede lagen die mittleren

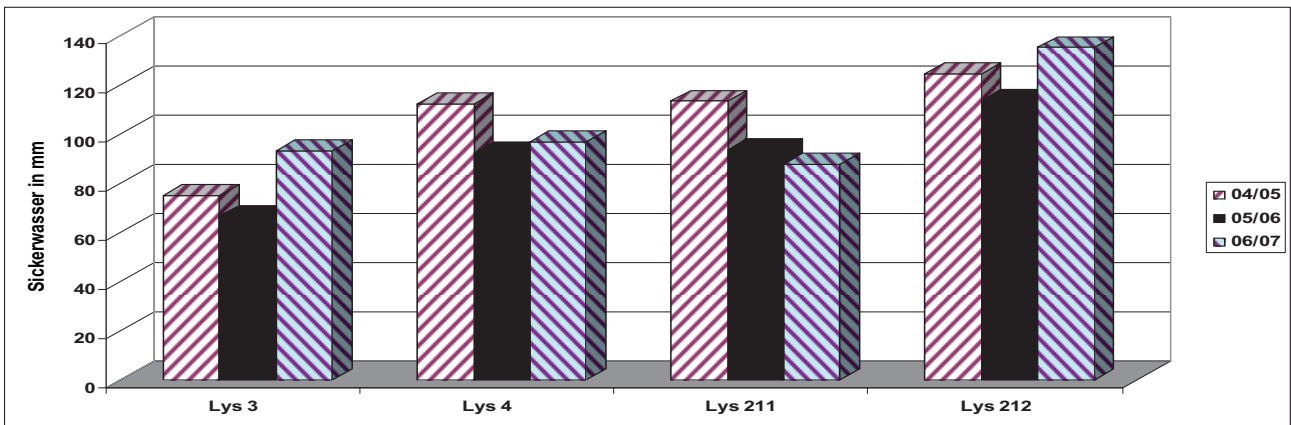


Abbildung 1: Vergleich jährlicher Lysimetersickerwassermengen im Zeitraum von 2004 bis 2007

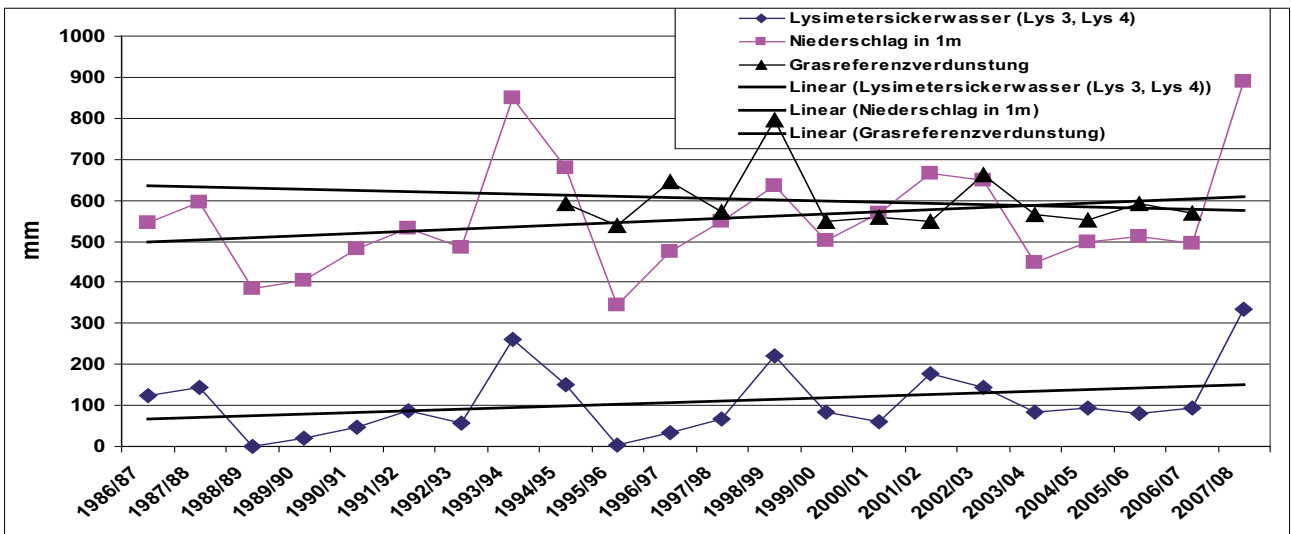


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf von Jahreswerten der Grasreferenzverdunstung und der Lysimetersickerwassermengen in Abhängigkeit vom Niederschlagsdargebot im Zeitraum von 1986 bis 2008

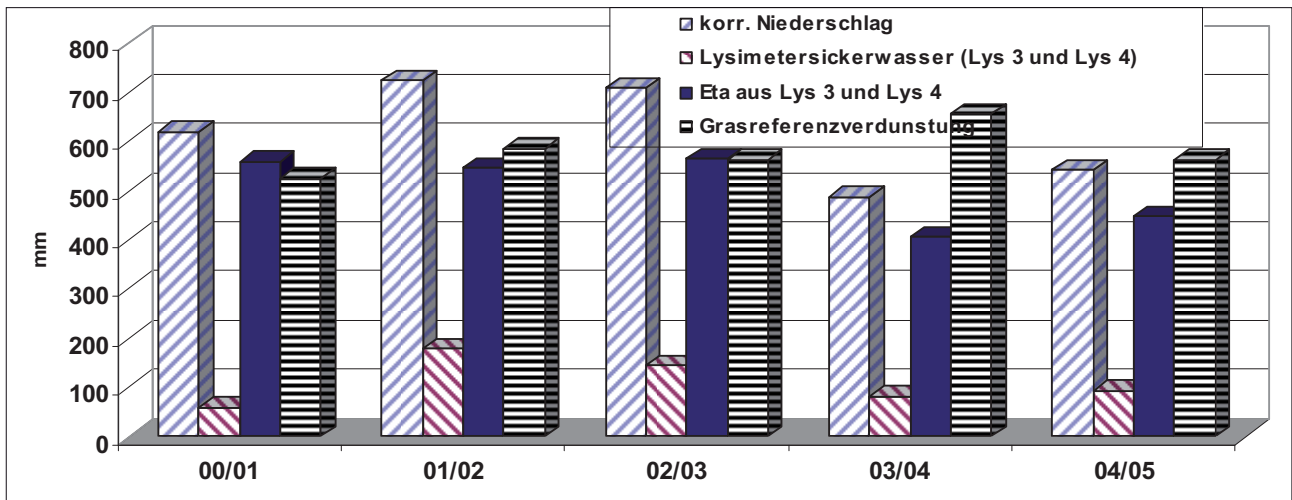


Abbildung 3: Vergleich von gemessenen und unterschiedlich errechneten Wasserhaushaltsgrößen in Abhängigkeit vom Niederschlagsdargebot im Zeitraum von 2000 bis 2005

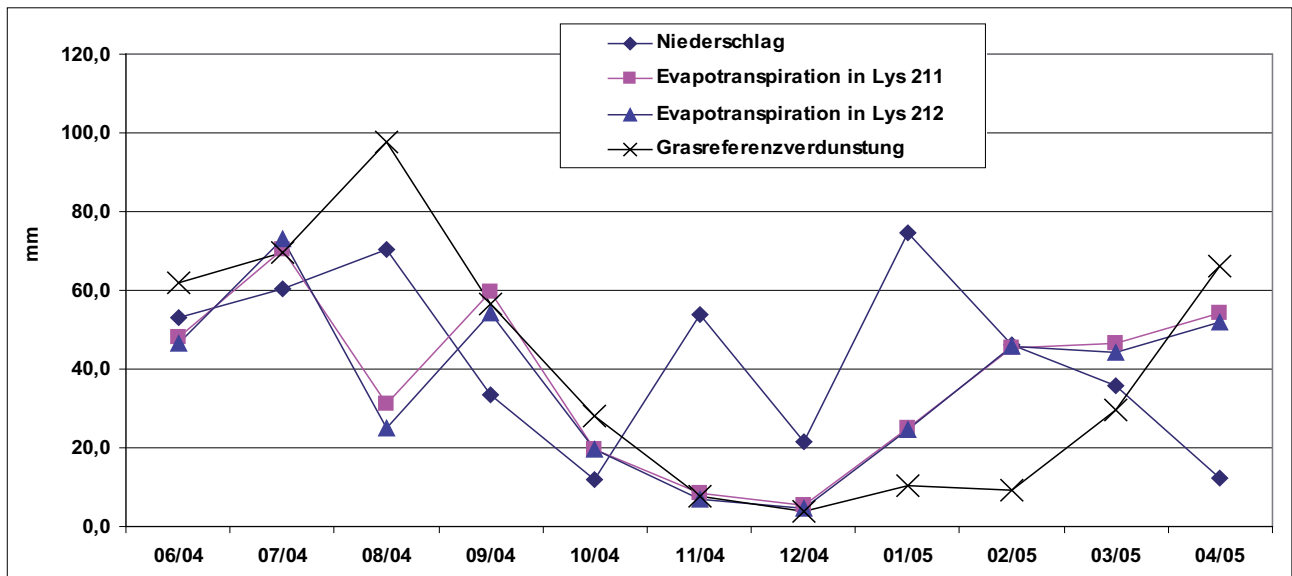


Abbildung 4: Vergleich von gemessener monatlicher ETa und errechneter Grasreferenzverdunstung in Abhängigkeit vom Niederschlagsdargebot für das Versuchsjahr 04/05

Sickerwassermengen mit Werten zwischen 78 und 124 mm alle in einem Schwankungsbereich, der sich mit eigenen Messwerten aus dem Untersuchungsgebiet „Schaugraben“ sowie mit denen aus der Literatur deckt. Das gilt auch für die zwischen 1986 und 2008 gemessene mittlere Sickerwassermenge der Lys 3 und 4 in Höhe von 108 mm. Diese Messgröße bildet wiederum die Grundlage, um gemeinsam mit der mittleren Niederschlagsmenge von 554 mm - korrigiert auf 604 mm - nach Gl. 1 einen langjährigen Mittelwert für die ETa von 496 mm zu errechnen.

Dabei zeigt die graphische Darstellung der zeitlichen Entwicklung dieser Sickerwassermengen in Abhängigkeit vom Niederschlagsdargebot einen ansteigenden Trend beider Wasserhaushaltsgrößen (Abbildung 2). Das gilt sowohl für die Sommer- als auch für die Winterniederschläge, so dass die für das Gebiet prognostizierte Abnahme des sommerlichen Wasserdargebotes aufgrund der Klimaveränderung bisher nicht bestätigt werden kann. Bei der Grasrefe-

renzverdunstung ist eine leicht abnehmende Tendenz zu verzeichnen.

Eine Gegenüberstellung dieser Grasreferenzverdunstung mit berechneten Werten für die ETa aus den Versuchsgläsern Lys 3 und 4 für einen Zeitraum von 2000 bis 2005 lässt in Abbildung 3 erkennen, dass in Perioden mit einem Niederschlagsaufkommen >600 mm pro Jahr (korr. Niederschlag) beide Größen nahezu identisch sind. So betrug der gesamte Unterschied zwischen der gemessenen und der berechneten Evapotranspiration (Grasreferenzverdunstung) im Zeitraum von 2000 bis 2003 lediglich 3 mm. Während also bei fehlendem Wasserstress im Boden die Grasreferenzverdunstung der ETa eines Standortes nahe kommt, werden in Versuchsjahren mit niedrigem Niederschlagsaufkommen in den Lysimetern erheblich geringere Evapotranspirationen im Vergleich zur Höhe der Grasreferenzverdunstung gemessen. So wurde in den Versuchsjahren 2003/04 und 2004/05 mit 19 % bzw. 10 % geringerem Niederschlags-

aufkommen (gemessen am langjährigen Mittel) eine um 38 % bzw. 20 % geringere Evapotranspirationshöhe auf den Lysimetern ermittelt.

Der Jahreswert aus den mit Hilfe von Gl. 2 ermittelten täglichen Eta-Werten von Lys 211 und 212 fällt dagegen im Vergleich zu Werten der Grasreferenzverdunstung für das Versuchsjahr 2004/05 (bedingt durch einen technischen Defekt liegen für den Mai 2004 keine Werte vor) lediglich um 10 % geringer aus.

Aus *Abbildung 4* wird aber deutlich, dass auch in Versuchsjahren, die sich insgesamt durch ein geringeres Niederschlagsaufkommen auszeichnen, die Grasreferenzverdunstung und die ETa eines Standortes zumindest zum Teil in den Wintermonaten - November und Dezember - erwartungsgemäß identisch sind. Dagegen konnten die für die Monate Januar und Februar ebenfalls erwarteten vergleichbaren Größenordnungen aufgrund hoher mittlerer Tagestemperaturen (bis ca. 10 °C im Januar) nicht bestätigt

werden. Es wurden vielmehr im Januar und Februar mit ca. 25 bzw. 45 mm 2,5 bzw. 4,5fach höhere Eta-Werte im Vergleich zur Grasreferenzverdunstung ermittelt.

## Schlussfolgerungen

- Ergebnisse aus Langversuchen mit einfach konstruierten Lysimetern lassen es zu, sowohl langjährige mittlere Wasserhaushaltsgrößen als auch Entwicklungstrends für größere Gebietseinheiten zu ermitteln.
- Unter den vorliegenden Versuchsbedingungen sind in Jahren mit einem Niederschlagsangebot über 600 mm die ermittelten ETa in den Lysimetern mit den Werten der Grasreferenzverdunstung nahezu identisch.
- Auch in Jahren mit geringem Niederschlagsaufkommen (gemessen am langjährigen Mittel) können vergleichsweise hohe Temperaturen im Winter bzw. im zeitigen Frühjahr zu mehrfach erhöhten monatlichen Eta-Werten gegenüber Werten der Grasreferenzverdunstung führen.