

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der
DBG – Kom. I
Titel der Tagung: Böden – eine
endliche Ressource
Veranstalter: DBG, September
2009, Bonn
Berichte der DBG (nicht begutachtete
online Publikation)
<http://www.dbges.de>

Bestimmung der Evaporationsrate von Bodenoberflächen mittels Thermographie

Andre Peters, Björn Kluge, Steffen Trinks
und Gerd Wessolek

Zusammenfassung

Die aktuellen Evaporationsraten von Bodenoberflächen lassen sich durch aufeinander folgende Wägungen bestimmen. Diese Methode hat zwei Nachteile (i) sie ist nur an kontrollierten Bodenmonolithen auf der Labor- und Lysimeterskala möglich und (ii) sie liefert nur ein über die gesamte Bodenoberfläche integriertes Signal, es gibt somit keine Information über eine räumlich variable Evaporationsrate. In diesem Beitrag stellen wir ein Verfahren vor, das die Evaporationsrate mittels Thermographie räumlich und zeitlich hochaufgelöst ermittelt. Ein erster Versuch zeigt, dass dieses Verfahren prinzipiell anwendbar ist. Allerdings spielen die Substrateigenschaften eine große Rolle, sodass eine jeweilige Kalibrierung notwendig ist.

Schlüsselwörter

Evaporationsrate
Thermographie,
Thermische Eigenschaften,
Evaporationsexperiment

Einleitung

Die genaue Evaporationsrate von Bodenoberflächen wird üblicherweise anhand von aufeinanderfolgenden Wägungen bestimmt. Dies ist aufwändig und oberhalb der Laborskala nur mittels wägbaren Lysimetern durchzuführen. Ein ungelöstes Problem ist darüber hinaus die Ermittlung der räumlichen Verteilung von Evaporationsraten bei heterogenen Bodeneigenschaften.

Bei dem Evaporationsvorgang wird Wasser vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand überführt. Dabei wird dem Boden an der Oberfläche latente Wärme entzogen, was zu einer Abkühlung führt. Je höher die Evaporationsrate ist, desto stärker ist der latente Wärmestrom, und damit die Abkühlung. Daher ist es prinzipiell möglich die Evaporation aus der Oberflächentemperatur eines Bodens abzuleiten. Allerdings hängt der Evaporationsprozess von vielen physikalischen Boden- und Atmosphäreigenschaften ab (van de Griend und Owe, 1994).

Eine räumlich und zeitlich hochaufgelöste, dazu nichtinvasive, Messung der Bodenoberflächentemperatur lässt sich mit Infrarotthermographie durchführen. In den letzten Jahren wurde eine Reihe von Arbeiten zur Ermittlung der Evaporationsrate durch Thermographie in Kombination mit meteorologischen Kenngrößen im Feldmaßstab unter natürlichen Randbedingungen (Fox, 1968; Tanner und Fux, 1968; Ben-Asher, et al., 1983), durchgeführt. Anders als Tanner und Fuchs (1968) nutzen Qui, et al. (1998) zur Ermittlung der Evaporationsrate nicht nur die Temperaturdifferenz zwischen Bodenoberfläche und Atmosphäre, sondern auch die zwischen verdunstender und trockener Bodenoberfläche.

Unter kontrollierten Laborbedingungen wurde ein Verfahren getestet, das die Verdunstungsrate anhand von zeitlich und räumlich hoch aufgelösten thermographischen Messungen erlaubt. Dabei wird die Temperaturdifferenz der trockenen zur verdunstenden Oberfläche mit der Verdunstungsrate in Beziehung gesetzt.

Material und Methoden

Zwei Säulen mit einem Durchmesser von 8.4 cm und einer Höhe von 5 cm wurden mit Sand, bzw. mit Schluff gepackt, vollständig mit Wasser aufgesättigt und auf Laborwaagen mit einer Genauigkeit von 0.01 g gestellt. Mittels Infrarotkamera (VarioCAM®, Fa. InfraTec) wurden die Temperaturverläufe an den Oberflächen von verdunstenden Bodensäulen (Sand, Schluff) und zusätzlich von nicht verdunstenden Referenzflächen gemessen (Abb. 1). Die zeitliche Auflösung beider Messungen betrug 30 Minuten. Die Versuche wurden bis zur Gewichtskonstanz durchgeführt.

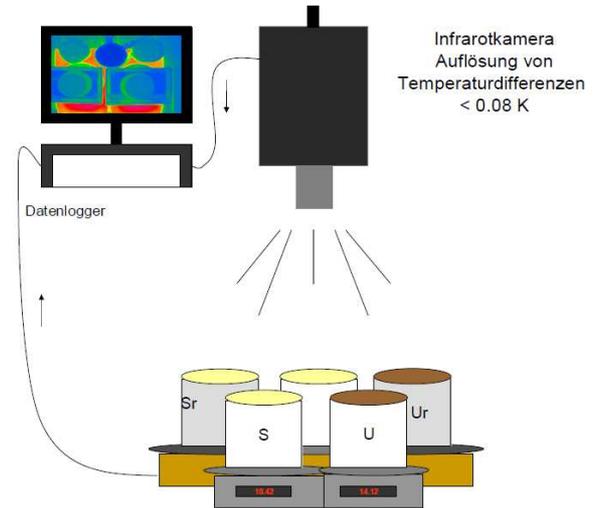


Abb. 1: Schematische Skizze der Versuchsanordnung. S= Sand; Sr= Sand Referenz; U= Schluff; Ur= Schluff Referenz.

Ergebnisse

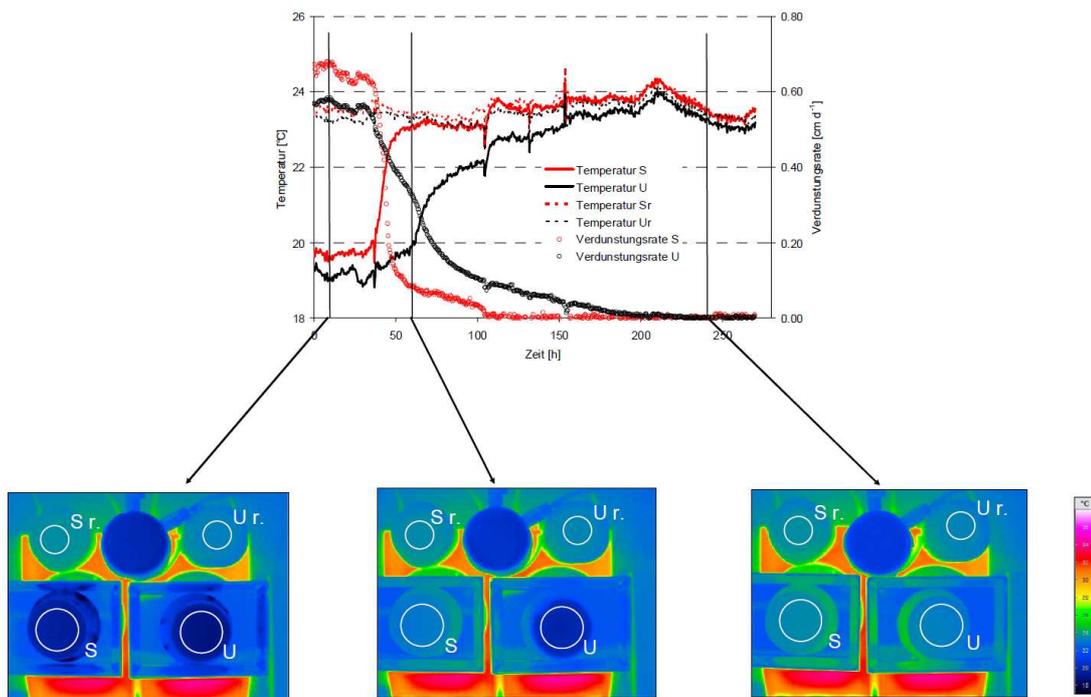


Abb. 2: Oben: Zeitlicher Verlauf der Evaporationsraten und Oberflächentemperaturen. Unten: Räumliche Verteilung der Oberflächentemperaturen an drei bestimmten Zeitpunkten. Temperaturen wurden über die jeweiligen Kreisflächen gemittelt. S: Sand, U: Schluff; Sr: Sand Referenz; Ur: Schluff Referenz.

Zu Beginn der Messung lagen die Verdunstungsraten mit ca. 0.58 cm d⁻¹ und 0.67 cm d⁻¹ für den Schluff, bzw. Sand relativ hoch (Abb. 2, oben). Diese Raten entsprechen der potenziellen Verdunstung. Mit zunehmender Austrocknung nimmt die hydraulische Leitfähigkeit im oberen Säulenbereich

schnell ab, was zur Reduktion der Verdunstungsrate führt. Diese Reduktion beginnt bei beiden Säulen nach ca. 35 Stunden nach Versuchsbeginn. Die Rate nimmt beim Sand deutlich schneller ab als beim Schluff. Nach ca. 100, bzw. 200 Stunden erreichte die Evaporationsrate einen Wert von 0.

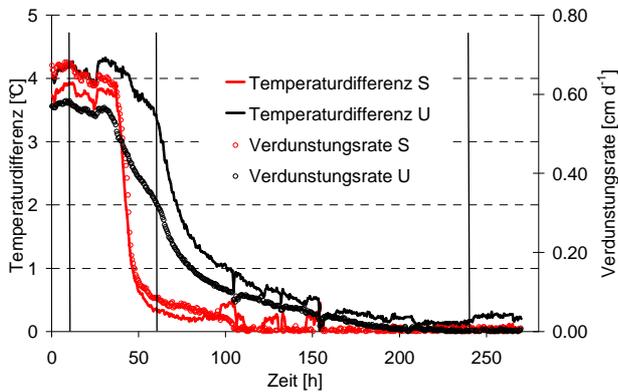


Abb. 3: Verdunstungsraten und Temperaturdifferenzen (ΔT) von Sr und S, bzw. Ur und U.

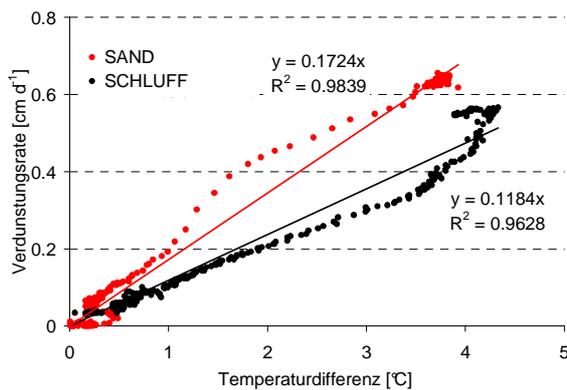


Abb. 4: Temperaturdifferenzen in Abhängigkeit von den Verdunstungsraten für die beiden Substrate.

Die Dynamik der Oberflächentemperatur ist gegenläufig, d.h. sie ist am geringsten wenn die Evaporationsrate am höchsten ist und umgekehrt (Abb.2, oben). Für 3 spezifische Zeitpunkte zeigt die Abb. 2 (unten) die Temperaturverteilung.

Dieser Zusammenhang allein ist aber nicht ausreichend, um von der Oberflächentemperatur auf die Verdunstungsrate zu schließen, da die Oberflächentemperatur auch von der i.d.R. schwankenden Umgebungstemperatur sowie den Emissionsfaktoren der Oberflächen abhängt. Daher wurden auch die Referenztemperaturen (ohne Verdunstung) derselben Substrate (Sr, bzw. Ur) gemessen. Die Temperaturdifferenzen (ΔT) sind in Abb. 3 zusammen mit den Verdunstungsraten aufgetragen. Dabei zeigt sich eine deutliche Parallelität der Temperatur- und Evaporationsverläufe. Somit lässt sich die Evaporationsrate prinzipiell aus der Oberflächentemperatur ableiten.

Allerdings ist der Zusammenhang zwischen Temperaturdifferenz und Evaporationsrate nicht linear (Abb. 4) und beim Sand stärker ausgeprägt als beim Schluff.

Fazit und Ausblick

Die Bestimmung der Verdunstungsrate mittels Thermographie ist prinzipiell möglich. Der Zusammenhang ist jedoch stark von der Temperaturdifferenz und Verdunstungsrate der Bodeneigenschaften abhängig. Deshalb muss die Methode für die jeweils zu messenden Substrate kalibriert werden.

Daher sollte die Methode an Substraten mit unterschiedlichen thermischen und hydraulischen Eigenschaften und bei unterschiedlichen Säulenhöhen getestet werden. Weiterhin kann diese Methode genutzt werden um Aussagen über die räumliche Verteilung bei heterogen verteilten Evaporationsraten (z.B. bei teilhydrophoben Böden) abzuleiten.

Literatur

- Ben-Asher, J., Matthias, A.D., Warrick, A.W., 1983. Assessment of evaporation from bare soil by infrared thermometry, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47, 185–191.
- Fox, M.J., 1968. A technique to determine evaporation from dry stream beds, *J. Appl. Meteorol.*, 7, 679–701.
- Qui, G.Y., Yano, T., Momii, A. 1998. An improved methodology to measure evaporation from bare soil based on comparison of surface temperature with a dry soil surface, *J. Hydrol.*, 210, 93-105.
- Tanner, C.B., Fuchs, M., 1968. Evaporation from unsaturated surface: a generalized combination method, *J. Geophys. Res.*, 73, 1299–1304.
- van de Griend, A.A., Owe, M., 1994. Bare soil surface resistance to evaporation by vapor diffusion under semiarid conditions, *Water Resour. Res.*, 30 (2), 181–188.