

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der  
DBG – Kom. III  
Titel der Tagung: Böden verstehen  
Böden nutzen  
Böden fit machen  
Veranstalter: DBG, September  
2011, Berlin/Potsdam  
Berichte der DBG (nicht begutachtete  
online Publikation)  
<http://www.dbges.de>

## **Bestimmung mikrobieller Aktivität in Böden mittels IR – Thermographie**

<sup>1</sup>Björn Kluge, <sup>1</sup>Andre Peters, <sup>2</sup>Maike Mai  
und <sup>1</sup>Gerd Wessolek

### **Zusammenfassung**

Die mikrobielle Aktivität in Böden wird in der Regel an abgeschlossenen Bodenproben anhand der Bodenatmung oder des Energieumsatzes erfasst (z.B. Respirometer, Kalorimeter). Diese Verfahren können jedoch nur punktuelle Aussagen zur mikrobiellen Aktivität, und damit z.B. zu Belastungen von Böden mit Umwelt-chemikalien liefern. In diesem Beitrag stellen wir ein Verfahren vor, das die Bestimmung flächenhafter mikrobieller Aktivität anhand von räumlich und zeitlich hoch aufgelöster Infrarot(IR)-Thermographie erlaubt. Erste Versuche zeigen, dass dieses Verfahren generell möglich ist. Mögliche andere Einflussgrößen für die Oberflächentemperatur, wie z.B. Evaporation, müssen ausgeschlossen oder bei der Auswertung berücksichtigt werden.

---

Institut für Ökologie, <sup>1</sup>FG Standortkunde & Bodenschutz; <sup>2</sup>FG Abfallbelastung der Landschaft

Technische Universität Berlin  
Ernst-Reuter Platz 1, 10587 Berlin  
[bjorn.kluge@tu-berlin.de](mailto:bjorn.kluge@tu-berlin.de)

### **Schlüsselwörter**

Mikrobielle Aktivität  
Thermographie,  
Substrat induzierte Respiration (SIR)

### **Einleitung**

Die Bestimmung der Aktivität von Mikroorganismen in Böden wird häufig anhand der Bodenatmung erfasst. Die Respiration der Bodenorganismen hängt vor allem von der Feuchtigkeit, der Temperatur, der Lagerungsdichte, des organischen Kohlenstoffgehaltes, aber auch von hemmenden Faktoren, wie z.B. Schadstoffkonzentrationen ab.

Zur Respirationmessung im Labor werden in der Regel gesiebte und damit stark veränderte Proben verwendet. Die Bestimmung erfolgt analytisch mit unterschiedlichen Messverfahren z.B. durch Messungen der Kohlenstoffdioxidproduktion (z.B. Bartling et al. 2009), des Sauerstoffverbrauches oder des Energieumsatzes (Crittter et al. 1994, 2001). Neben der Bestimmung der mikrobiellen Biomasse lassen sich damit unter anderem auch ökotoxikologische Wirkungen von Umweltchemikalien beurteilen (Babich und Stotzky 1985). Diese angewendeten Verfahren lassen in der Regel keine Respirationmessungen von größeren, ungestörten Bodenproben zu. Ebenfalls lassen sich keine flächenhaften Aussagen über mikrobielle Aktivitäten, bzw. über Belastungsmuster von Umweltchemikalien in Böden treffen.

In diesem Beitrag stellen wir ein Verfahren vor, das die substratinduzierte Messung mikrobieller Bodenaktivität anhand von räumlich und zeitlich hoch aufgelöster IR-Thermographie erlaubt. Dabei nutzen wir den Umstand, dass bei der Umsetzung mikrobieller Biomasse Energie und damit Wärme freigesetzt wird (Ljungholm et al. 1980)

### **Material und Methoden**

Es wurden 16 Bodensäulen mit einem humosen Oberboden befüllt. Acht dieser Säulen wurden zusätzlich mit 1 Gew.% Glucose beimpft (substratinduzierte

Respiration (SIR)). Die Temperaturverläufe der Oberflächen der Säulen wurden mit einer IR-Kamera (Infratec Variocam hr) gemessen (Abb. 1). Zur Bestimmung der Bodenatmung wurden 3 parallele Proben mit Substrat-induzierung in einem Respirometer bei 20 °C inkubiert.

Beim zweiten Versuch wurde eine Wanne (15 x 20 cm) in vier Flächenteile geteilt und mit obiger Substratmischung versetzt. Zwei Flächenteile wurden zusätzlich mit 2 g/kg Cu belastet (Abb. 2). Damit sollte getestet werden, ob mit IR-Thermographie Belastungsmuster an Bodenoberflächen erfasst werden können.

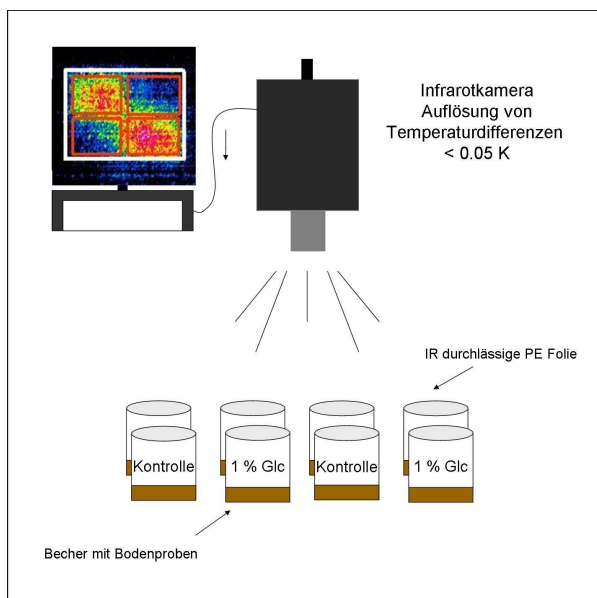


Abb. 1: Schematische Skizze der Versuchsanordnung (Glc= Glucose).

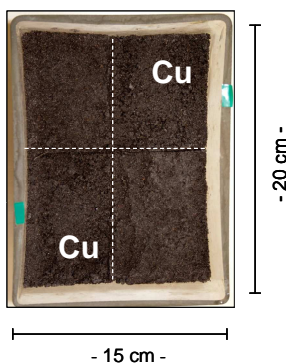


Abb. 2: Draufsicht Versuch Belastungsmuster. Cu= 0.2 Gew.% Kupferzugabe.

## Ergebnisse

### Versuch 1: Substratinduzierte Respiration (SIR)

Zu Beginn der Messungen mit der IR Kamera ( $t=0\text{h}$ ) sind die Oberflächentemperaturen aller 16 Proben praktisch gleich (Abb 3). Am Zeitpunkt  $t= 40\text{h}$  dagegen sind deutliche Unterschiede bei den Oberflächentemperaturen zu erkennen. Dabei zeigen die substratinduzierten Proben deutlich höhere Oberflächentemperaturen (Abb.3). Am Ende des Versuches ( $t=70\text{h}$ ) sind die Oberflächentemperaturen der Kontroll- und der substratinduzierten Proben wieder ähnlich.

In Abb.4 ist die mittlere Temperaturdifferenz der Oberflächentemperaturen zwischen Kontroll- und substratinduzierter Probe dargestellt. Am Peakmaximum ( $t=40\text{h}$ ) liegt die mittlere Oberflächentemperatur um etwa 0.4 K höher als die Oberflächentemperatur der Kontrollprobe. Nach 70h liegt die Differenz nahe an der Temporaufösung (0.05 K).

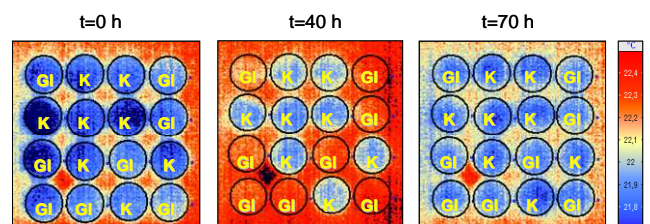


Abb. 3: Oberflächentemperaturen der 16 Bodenproben zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten. Gl mit Glucosezugabe; K: ohne Zugabe.

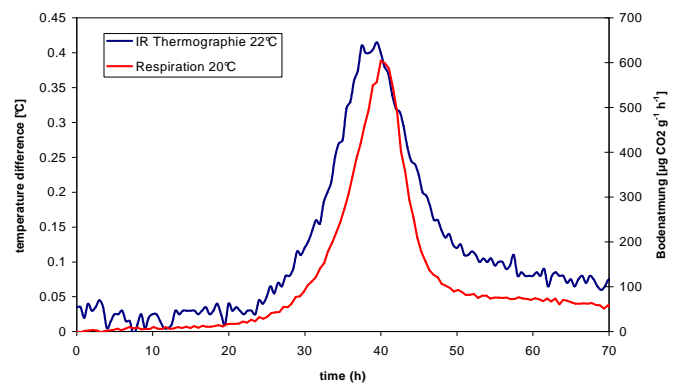


Abb. 4: CO<sub>2</sub>-Freisetzungsrates einer mit Glucose beimpften Probe und Verlauf der Temperaturdifferenz an der Oberfläche zwischen beimpften und unbeimpften Bodensäulen; n= 8.

Die Temperaturdifferenz (IR-Thermographie) verläuft sehr ähnlich wie die CO<sub>2</sub>-Freisetzungsrates bei dem Respirocond-Versuch (Abb.4). Sowohl die lag-Phase, als auch die Wachstumsrate und das Peakmaximum liegen in beiden Versuchen in gleichen Zeitintervallen. Das etwas früher einsetzende Peakmaximum der mit Thermographie gemessenen Proben gegenüber den mit dem Respirocond gemessenen lässt sich durch eine etwas höhere Umgebungstemperatur erklären (22°C zu 20°C; Abb.4).

*Versuch 2: Flächenhafte Belastungsmuster*

Am Anfang des Versuchzeitraumes (t=0h) lässt sich eine einheitliche mittlere Oberflächentemperatur auf den vier Flächen beobachten. Nach 40h (Peakmaximum) zeigt sich auf den nicht mit Kupfer belasteten Flächen eine deutliche Erhöhung der Oberflächentemperatur (Abb.5). Nach t=75h dagegen zeigt sich eine deutliche Erhöhung auf den beiden Flächen, auf die Kupfer (Cu) aufgebracht wurde. Die Oberflächentemperaturen der unbelasteten Flächen liegen wieder auf einem ähnlichen Niveau, wie am Zeitpunkt t=0h (Abb.5). Das verzögerte Peakmaximum der beiden mit Kupfer dotierten Flächen lässt sich mit einer zeitverzögerten Adaptierung der Mikroorganismen an die zugeführte Kupferbelastung erklären.

Das obere Diagramm in Abb. 6 zeigt den zeitlichen Verlauf der mittleren Oberflächentemperaturen auf den vier Flächen. Deutlich lassen sich die Unterschiede der Oberflächentemperaturen zu den verschiedenen Zeitpunkten während des Versuchzeitraumes erkennen. Das untere Diagramm in Abb.6 zeigt die mittlere Temperaturdifferenz zwischen unbelasteter und mit Kupfer belasteter Probe, während des Versuchzeitraumes.

Die Ergebnisse zeigen, dass auch Belastungsmuster von Bodenoberflächen sehr gut mittels IR-Thermographie erfasst werden können.

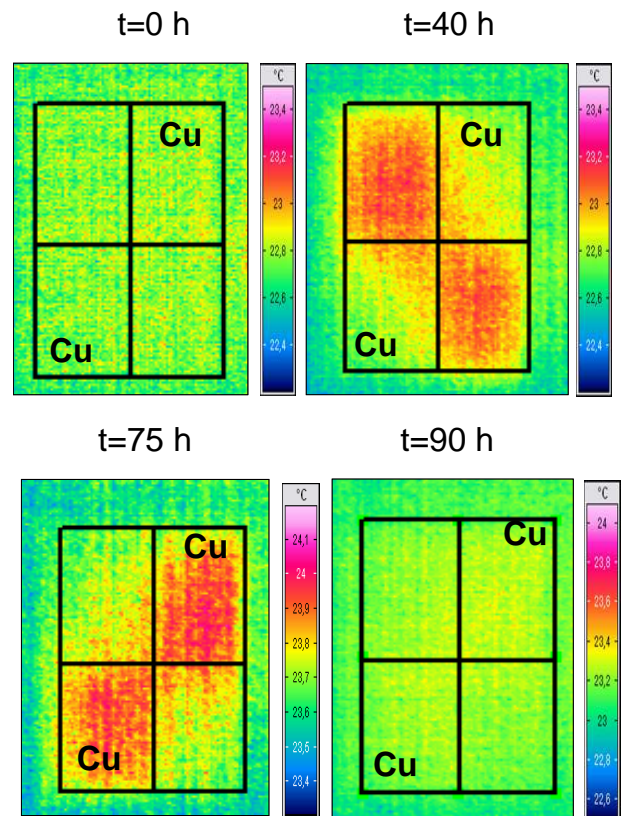


Abb. 5: Oberflächentemperaturen zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Cu: mit 0.2 Gew.% Kupfer belasteter Boden.

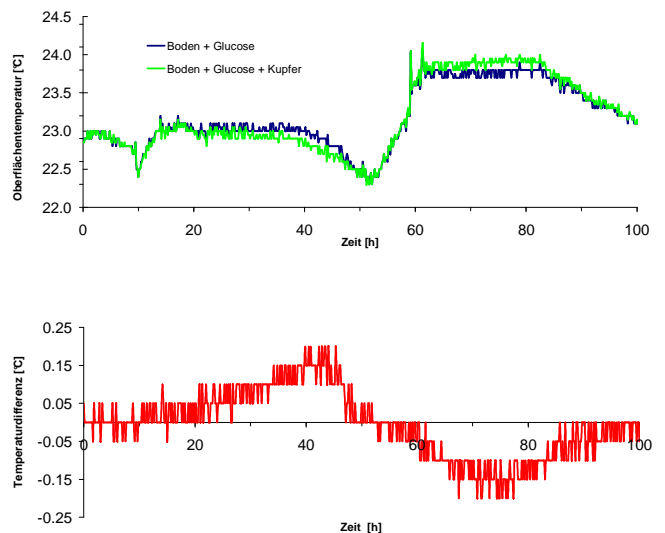


Abb. 6: Oben: Zeitlicher Verlauf der mittleren Oberflächentemperaturen auf den belasteten (Cu) und unbelasteten (U) Flächen; Unten: Temperaturdifferenzen zwischen belasteten und unbelasteten Flächen.

## Fazit und Ausblick

Die IR-Kamera lässt eine räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Messung der Oberflächentemperatur zu. Die Temperaturentwicklung bei SIR ist mit der IR Thermografie deutlich zu erkennen. Die Erhöhung der Oberflächentemperatur bei der Glucosezugabe korreliert stark mit der SIR der über Atmungsmessungen (Respirocond) gemessenen mikrobiellen Aktivität. Eine quantitative und qualitative Bestimmung der mikrobiellen Aktivität mit IR-Thermographie ist damit prinzipiell möglich.

Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass Belastungsmuster von Bodenoberflächen sehr gut mittels IR-Thermographie erfasst werden können.

Allerdings gibt es andere Einflussgrößen für die Oberflächentemperatur, wie z.B. Schwankungen der Lufttemperatur, Entzug von Wärme durch Evaporation und die laterale Wärmeableitung, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen.

In weiteren Untersuchungen soll geklärt werden, wie hoch die räumliche Auflösung im Hinblick auf die Größe der Belastungsmuster ist. Weiterhin soll untersucht werden, ob die Methode auch im Freiland unter atmosphärischen Bedingungen mit heterogenen Böden anwendbar ist.

## Literatur

Bartling, J., Kotzerke, A., Mai, M., Esperschütz, J., Buegger, F., Schloter, M., Wilke, B.-M. (2009). Microbial community structure and function during abnormal curve development of substrate-induced respiration measurements. *Chemosphere* 77: 1488-1494.

Babich H. and Stotzky G. (1985). Heavy metal toxicity to microbe-mediated ecologic processes: A review and potential application to regulatory policies. *Environmental Research*

36, 111-137. Critter, S.A.M., Simoni, J.A. and Airoldi, C., (1994). Microcalorimetric study of glucose degradation in some Brazilian soils. *Thermochim.Acta* 232, pp. 145–154.

Critter, S.A.M., Freitas, S.S. and Airoldi, C. (2001). Calorimetry versus respirometry for the monitoring of microbial activity in a tropical soil. *Applied Soil Ecology* 18, 3, 217-227.

Ljungholm, K., Noren, B. & Odahm, G. (1980). Microcalorimetric and gas chromatographic studies of microbial activity in water leached, acid leached and restored soils. *Oikos* 34, 98-102.