

**Tagungsbeitrag zu:** Jahrestagung der DBG, Kommission I  
**Titel der Tagung:** Unsere Böden – unser Leben  
**Veranstalter:** DBG  
**Termin und Ort:** 05.-10.09.2015, München  
**Berichte der DBG** <http://www.dbges.de>

## 2-dimensionale Muster des Gasdiffusionskoeffizienten, der CH<sub>4</sub>-Konsumption und der CO<sub>2</sub> Produktion in einem Waldbodenprofil während einer niederschlagsfreien Phase

Martin Maier<sup>1</sup>, Helmer Schack-Kirchner<sup>1</sup>,  
 Friederike Lang<sup>1</sup>

### Einleitung

Diffusion stellt den dominierenden Gastransportprozess im Boden dar. Der Gasdiffusionskoeffizient im Boden ( $D_S$ ) ist ein wichtiger Parameter für die Belüftung des Bodens, und damit auch für das Wurzelwachstum und alle Gasumsatzprozesse im Boden, wie z. Bsp. die Methanoxidation und den mikrobiellen Abbau von  $C_{org}$ . Bei Studien der Bodengasflüsse mit der Gradienten-Fluss-Methode wird allgemein die horizontale Homogenität des Bodens inklusive des  $D_S$  angenommen (Maier et al. 2015). Diese Annahme trifft allerdings selbst in scheinbar homogenen Böden nicht zu. Räumliche Verteilungsmuster der Gasdiffusionskoeffizienten wurden bisher jedoch nur mit destruktiven Methoden untersucht.

Unser Ziel war es, eine neue *in situ* Methode zur Bestimmung des scheinbare Diffusionskoeffizienten im Boden zu entwickeln und damit ein Bodenprofil auf 2-dimensionalen  $D_S$ -Muster hin zu untersuchen und gleichzeitig die 2 D Bodenprofile der Bodenrespiration (CO<sub>2</sub> Produktion) und der Methanoxidation (CH<sub>4</sub> Konsumption) abzuleiten. Ein weiteres Ziel war es, die Entwicklung dieser bodenphysikalischen und-biologischen Kennwerte während des Abtrocknens eines Boden über mehrere Tage hinweg zu untersuchen.

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Bodenökologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 79085 Freiburg;  
[martin.maier@bodenkunde.uni-freiburg.de](mailto:martin.maier@bodenkunde.uni-freiburg.de)

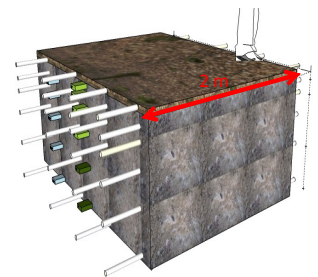
## Material und Methoden

Als Standort wurde die Forstmeteorologische Messstation Hartheim bei Freiburg gewählt. Der Boden ist ein Haplic Regosol (calcaric) (FAO 2006) in der ehemaligen Aue des Rheins. Eine schluffdominierte Deckschicht liegt hier über stratifizierten Lagen aus Sanden und Kiesen; der Boden ist sehr gut belüftet (Maier et al., 2010). Der ca 50 jährige lichte Kiefernbestand ist mattwüchsig und eine strukturreiche Strauch- und Krautschicht ist vorhanden. Die Humusform ist Mull mit einer 1 cm starken F-Schicht. Das Klima ist gemäßigt warm mit 10,3°C Jahresmitteltemperatur und mit 640 mm -niederschlag recht trocken für Südwestdeutschland.

In Hartheim wurde vor 5 Jahren ein „Closed-Loop-System“ (Abb.1) für das Monitoring der Bodengaskonzentrationen und Bodengasflüssen installiert (Parent et al., 2013), das für die Entwicklung der Methode modifiziert wurde.



(Fotos aus Hesse (F), gleicher Aufbau in Hartheim)



*Abbildung 1: Experimentelles Set-Up. Das Closed Loop System ermöglicht es Bodengasproben an verschiedenen Positionen im Bodenprofil zu nehmen. Tracer-Gase werden an den unteren äußeren Membranschläuchen kontinuierlich injiziert. Die resultierende Gleichgewichtskonzentrationsverteilung wird in den anderen Gassammelschläuchen erfasst.*

In einem ähnlichen Ansatz wie von van Bochove et al. (1998) werden Tracer-Gase (SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub>) an verschiedenen Positionen im Boden kontinuierlich eingespeist, so dass sich eine (Quasi-) Gleichgewichts-Konzentrationsverteilung des Tracer-Gases im Boden ergibt. Durch die Erfassung der räumlichen Verteilung der Tracer-Gas-Konzentrationen an den Messpositionen des Closed-Loop-Systems lässt sich die räumliche  $D_S$  Verteilung ableiten. Das 2-D Muster des  $D_S$  zwischen den Messpunkten wurde durch inverse Modellierung mit einem Finite-Elemente-Programm (COMSOL) berechnen. Durch die simultane Messung der natürlichen CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub> Kon-

zentration an den Messstellen war es in einem weiteren Schritt möglich, die  $\text{CH}_4$  Oxidation und Bodenrespiration räumlich aufgelöst zu quantifizieren.

Die Messung der  $\text{SF}_6$  und  $\text{CF}_4$  Tracer gaskonzentrationen erfolgte mit einer Innova Gasmotor 1416 von Lumasense (Ballerup, Dänemark),  $\text{CH}_4$  und  $\text{CO}_2$  wurde mit einem Greenhouse Gas Analyser von Los Gatos (US) gemessen. Zur Sicherstellung der Messgenauigkeit wurden die Geräte in einem klimatisierten Schaltschrank untergebracht und der Wassergehalt der Gasprobenluft über eine Kältefalle standardisiert. Die 24 Messpositionen wurden durch Magnetventile (Matrix, Ivrea, Italien) angesteuert.

### Resultate & Diskussion

Die Bodengaskonzentrationen wurden vom 1. Okt. - 7. Okt. 2015 gemessen. Zuvor fielen ungewöhnlich viele Niederschlag so dass die Bodenfeuchte sehr hoch war ( $pF < 2.2$ ). Der Versuchszeitraum selbst war niederschlagsfrei. Während des Versuchs sanken die Konzentrationen der Tracergase ( $\text{CF}_4$ ,  $\text{SF}_6$ ) und von  $\text{CO}_2$  an den jeweiligen Messpositionen leicht bei gleichbleibender Einspeisung, die  $\text{CH}_4$  Konzentrationen hingegen stiegen an allen Messstellen (alle Konzentrationen waren deutlich unter der  $\text{CH}_4$  Atmosphärenkonzentration).

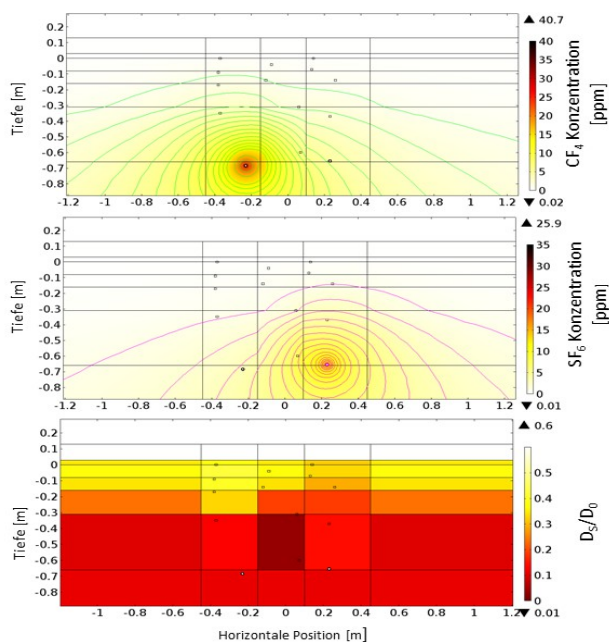


Abbildung 2: Invers modellierte Konzentrationsverteilungen im Bodenprofil von (oben)  $\text{CF}_4$  und (Mitte)  $\text{SF}_6$ . (Unten) Das dabei optimierte 2D  $D_s$  Profil zeigt horizontal klare Variabilität.

Die Auswertung der Tracergase zeigte, dass die Annahme eines horizontal homogenen  $D_s$ -Bodenprofils auf dieser Größenskala ( $\sim 1\text{m}$ ) nicht zulässig ist (Abb.2).

Während des Versuchszeitraums stiegen die Diffusionskoeffizienten im Bodenprofil im Schnitt um 20% durch den abtrocknenden Boden an, wobei die räumlichen Muster im Bodenprofil erhalten blieben (nicht dargestellt).

Basierend auf dem abgeleiteten 2D  $D_s$  Modell und durch die simultane Messung der natürlichen  $\text{CH}_4$  und  $\text{CO}_2$  Konzentration wurde in einem weiteren Schritt die 2D Profile der  $\text{CH}_4$ -Konsumption und  $\text{CO}_2$  Produktion invers modelliert. Hierbei zeigte sich, dass die Aktivität der methanotropher Organismen als auch die Bodenrespiration im Oberboden am höchsten ist, jedoch auch eine starke horizontale Variabilität aufweist (Abb. 3, Abb.4).

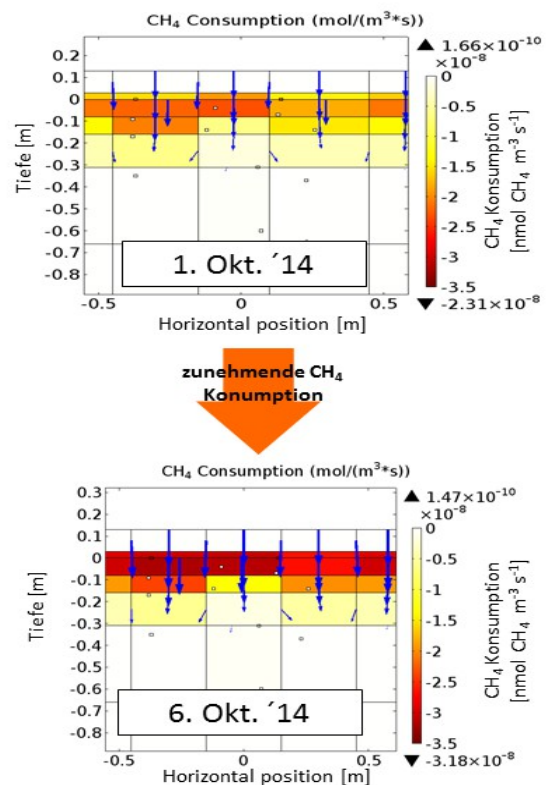


Abbildung 3: 2D Profile der  $\text{CH}_4$  Konsumtion. Durch die Abnahme der Bodenfeuchte 1.-6. Okt. 2014 nimmt  $D_s$  und die  $\text{CH}_4$  Konsumtion vom 1.10 (oben) auf 6.10 (unten) deutlich zu. Aktivste Schicht ist der Ah Horizont.

Über den Zeitraum der Untersuchung zeigte sich, dass der Gaskoeffizient und sowohl die  $\text{CH}_4$  Konzentrationen als auch

Methanoxidationsraten im Boden mit dem Absinken der Bodenfeuchte anstiegen, und auch tiefere Bodenschichten mit der Zeit zur Methankonsumption beitrugen. Das gleichzeitige Ansteigen der CH<sub>4</sub> Konzentration und der CH<sub>4</sub> Oxidationsraten lässt sich durch die starke Zunahme des D<sub>S</sub> erklären, der die Versorgung des Bodens mit CH<sub>4</sub> aus der Atmosphäre erleichtert und eine erhöhte methanotrophe Aktivität ermöglichte.

Während des Versuchszeitraum fielen die CO<sub>2</sub> Konzentrationen im Boden durch die bessere Belüftungssituation ab (Zunahme des D<sub>S</sub>). Die inverse Modellierung des CO<sub>2</sub> Produktionsprofils ergab jedoch eine klare Zunahme, insbesondere im Oberboden. Diese Beobachtung ist nur auf den ersten Blick widersprüchlich, da sie sich sehr leicht durch die Zunahme des D<sub>S</sub> erklären lässt.

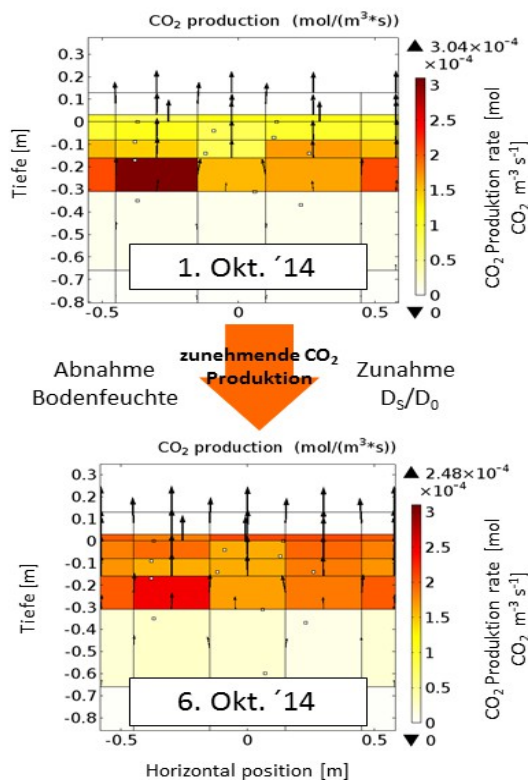


Abbildung 4: *Abbildung 3: 2D Profile der CO<sub>2</sub> Produktion (Bodenrespiration). Durch die Abnahme der Bodenfeuchte 1.-6. Okt. 2014 nimmt D<sub>S</sub> und die Bodenrespiration vom 1.10 (oben) auf 6.10 (unten) deutlich zu. Durch die sehr hohe Feuchte zu Beginn der Messungen trägt am 1.Okt. der Oberboden etwas weniger zur Gesamtrespiration bei als am 6.Okt. 95% des CO<sub>2</sub> wird in den obersten 35cm des Bodens produziert.*

Die Ergebnisse der inversen Modellierung der CH<sub>4</sub> Konsumptionsraten und der CO<sub>2</sub> Produktion ließen sich anhand von parallel ausgeführten Gashaubemessungen validieren und zeigten eine gute Übereinstimmung.

### Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorgestellte Methode zur Bestimmung von 2-dimensionalen Mustern im Boden des D<sub>S</sub> und von Gasumsätzen wie von CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> stellt somit eine Grundlage für das bessere Verständnis von räumlich variablen Gasumsatz- Prozessen im Boden dar. Die Methode kann auch von besonderem Interesse zu Untersuchung von N<sub>2</sub>O Flüssen im Boden sein, da diese einer ausgeprägten räumlichen Variabilität unterliegen und so deutlich besser untersucht werden könnten. Eine verbessertes Versuchs Set-up würde prinzipiell eine 3 D Modellierung erlauben was eine substantielle Weiterentwicklung wäre, da hiermit gezeigt werden konnte, dass die Annahme der Homogenität in der horizontalen Ausrichtung nicht gegeben ist.

### Literatur

MAIER, M., SCHACK-KIRCHNER, H., HILDEBRAND, E.E., HOLST, J. (2010): Pore-space CO<sub>2</sub> dynamics in a deep, well-aerated soil. *European Journal of Soil Science* 61, 877-887

MAIER, M., SCHACK-KIRCHNER, H. (2014): Using the gradient method to determine soil gas flux: A review. *Agricultural and Forest Meteorology*, 192-193, 78-96.

PARENT, F., PLAIN, C., EPRON, D., MAIER, M., LONGDOZ, B. (2013): A new method for continuously measuring the delta\_13C of soil CO<sub>2</sub> concentrations at different depths by laser spectrometry. *European Journal of Soil Science*, doi: 10.1111/ejss.12047

VAN BOCHOVE, E., BERTRAND, N., CARON, J. 1998. In situ estimation of the gaseous nitrous oxide diffusion coefficient in a sandy loam soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62, 1178-1184.

### Danksagung

Die Autoren danken der DFG für die Förderung der vorgestellten Forschungsarbeiten im Rahmen des Projektes: (MA 5826/2-1)