

**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>

## Ein neues Probenahmesystem für Bodengasproben bei gleichzeitiger in-situ Bestimmung des scheinbaren Gasdiffusionskoeffizienten im Boden

Thomas Laemmel\*, Martin Maier, Sinikka Paulus, Helmer Schack-Kirchner, Friederike Lang

Professur für Bodenökologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 79085 Freiburg im Breisgau  
\* [thomas.laemmel@bodenkunde.uni-freiburg.de](mailto:thomas.laemmel@bodenkunde.uni-freiburg.de)

### 1. Einleitung

Die Bodenbelüftung ist eine zentrale Einflussgröße für wichtige physikochemische Bodeneigenschaften (Sauerstoffverfügbarkeit, Redoxpotential, pH) und damit auch für die biologische Aktivität im Boden. Oft wird angenommen, dass der Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre durch reine Diffusion erfolgt und durch das Fick'sche Gesetz beschrieben werden kann. Der scheinbare Gasdiffusionskoeffizient des Bodens ( $D_S$ ) beschreibt als Proportionalitätsfaktor die Relation zwischen diffusivem Gasfluss und Gaskonzentrationsgradienten in der porösen Struktur des Bodens. Damit beschreibt er, wie „gut“ ein Gas „passiv“ durch die Bodenstruktur transportiert wird (= diffundiert).

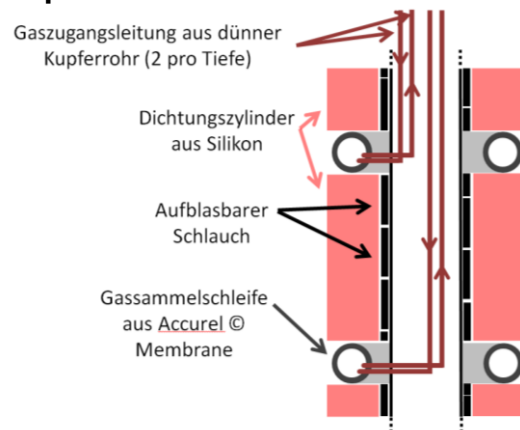
Eine häufig verwendete Methode zur Bestimmung des  $D_S$  basiert auf Laboruntersuchungen von ungestörten Bodenproben. Allerdings ist diese Methode destruktiv, weshalb nachfolgende oder andauernde Messungen nicht möglich sind. Zudem kann die Labormethode nur Informationen mit räumlich begrenzter

Auflösung geben. Daraus ergeben sich erhebliche Unsicherheiten über die wahre Belüftungssituation im Profil.

Ziel unserer Arbeit war die Entwicklung und der Test eines neuen Gasprobenahmesystems, das sich einfach und schnell installieren lässt, und mit dem Tracer-Gas kontinuierlich in den Boden eingespeist werden kann. Aus dem resultierenden Steady-State Profil des Tracer Gases entlang des Entnahmesystems soll als zweiter Schritt das  $D_S$  Profil mittels inverser Modellierung abgeleitet werden.

### 2. Material und Methoden

#### Set-up



*Abbildung 1: Aufbau des Multi-Level Gas-Samplers. Die Gasprobenahme erfolgte aus den Accurel® Membranen, die mit der umgebenden Bodenluft im Gleichgewicht stehen. Durch den aufblasbaren Schlauch lassen sich die verschiedenen Probenametiefen einfach gegeneinander abdichten.*

Das neue Gasprobenahmesystem besteht aus sieben Accurel® Membranen, die gasdurchlässig und wasserundurchlässig sind, und die als Gasnahmestellen verwendet werden können. Die Messstellen/tiefen sind durch aufblasbare Schlauchabschnitte getrennt, die durch weiche Silikonzylinder geschützt werden (Abb. 1). Als erster Installationsschritt wird ein vertikales Loch mit einem Murach-Bohrerstock gebohrt, das leicht größer als der Gassampler ist. (Abb. 2); nach vorsichtigem Einführen werden die

silikongeschützten Trennelemente des Gassamplers aufgeblasen um einen Bypass zwischen den Messtiefen entlang des Bohrlochs zu verhindern.



Abbildung 2: In-situ Installation des Gassamplers in drei Stritten; links: vorgebohrtes Loch und Gassampler; Mitte: Einführen des Gassamplers in den Boden; rechts: Gassampler bereit zur Bodengasbeprobung.

Als Tracer-Gas wurde Helium aufgrund der hohen Diffusionsgeschwindigkeit ( $D_0$  in Luft  $0.604 \text{ cm}^2/\text{s}$ ) ausgewählt. Das Tracer-Gas kann an jeder Messtiefe oder unterhalb der untersten Tiefe eingespeist werden. Gasproben können durch ein dünnes Kupferrohr angesaugt werden und durch ein weiteres Kupferrohr zurück in die Accurel-Membrane gespeist werden, so dass die Probennahme druckfrei erfolgt. Die verschiedenen Messpositionen können durch ein totvolumenarmes Ventil (8 position dead-end selector, VICI® AG International, Schenkon, Schweiz) angesteuert werden. Die Gasanalytik erfolgte mit einem Micro GC (3000 Micro GC Gas Analyzer, 2 Kanäle, Trägergas: Argon, Molsieve and Plot-Q (Varian), Inficon GmbH, Köln, Deutschland), wobei das Probengas zurück in die Messschleife gespült wurde um Druckdifferenzen im Messaufbau zu vermeiden.

### Gastransportmodellierung

Die Verteilung des eingespeisten Tracer-Gases im Boden wurde mittels der Finiten-Elementen Software COMSOL Multiphysics modelliert. Dafür wurde die Geometrie des Gassamplers in seiner Umgebung abgebildet und die Einspeisungsrate und das Steady-State Konzentrationsprofil des

Tracer-Gas als Modellierungsgrundlage genommen. Diffusion wurde als ausschließlicher Transportprozess für das Tracer-Gas angenommen. Durch inverse Modellierung konnte so das Vertikalprofil des  $D_S$  berechnet werden.

### Tests

Die neue Methode wurde durch Messungen im Labor mit homogenen Substraten und im Feld getestet und validiert.

Im Labor wurde eine Tonne (Volumen 510 L) mit drei verschiedenen Substraten (Sand / Splitt / Mischung Sand-Splitt) gefüllt und als homogenes Testsubstrat genutzt. Es wurden zwei Einspeisungspositionen getestet: einmal in ca. -20cm Tiefe unter der Sandoberfläche, (Mitte des Samplers) und einmal an der untersten Position des Gassamplers.

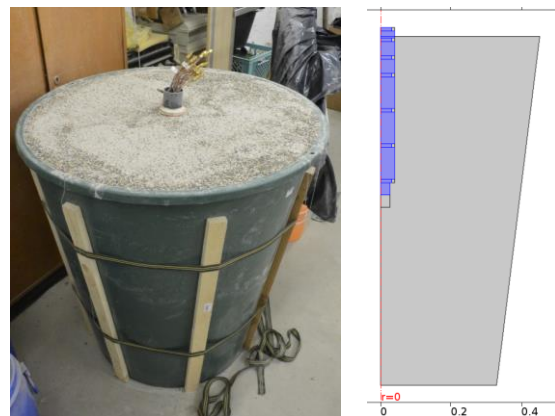


Abbildung 3: links: Labor-Tonne gefüllt mit einer Mischung aus Sand und Splitt und mittig installiertem Gassampler; rechts: das 2-D zentralachsenymetrische Modell des Gassamplers in der Tonne.

Der Feldversuch wurde auf einer podzolierten Braunerde mit einer sehr homogenen Textur (mittlerer bis grober Sand) in Beerenbusch (75 km nord/nordwestlich von Berlin) durchgeführt. Hier wurden zwei Gassampler installiert. Das Tracer-Gas wurde an der untersten Position des Samplers eingespeist. Als Tracer-Gas wurde hierfür  $\text{SF}_6$  verwendet, für die Gasanalyse ein Innova Gasmonitor (Lumasense, Ballerup, Dänemark).

Als Referenz für den Labor- und Feldversuche wurden intakte Boden- (bzw.

Substrate-) Proben in fünffacher Replikation genommen und im Labor nach der Methode von Kühne *et al.* (2012) gemessen (in der Folge Kammer-Methode genannt).

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### Labor

Die inverse Modellierung der Laborversuche ergab eine gute Übereinstimmung der gemessenen und modellierten Gaskonzentrationsprofile entlang des Gassamplers (Abb. 3).

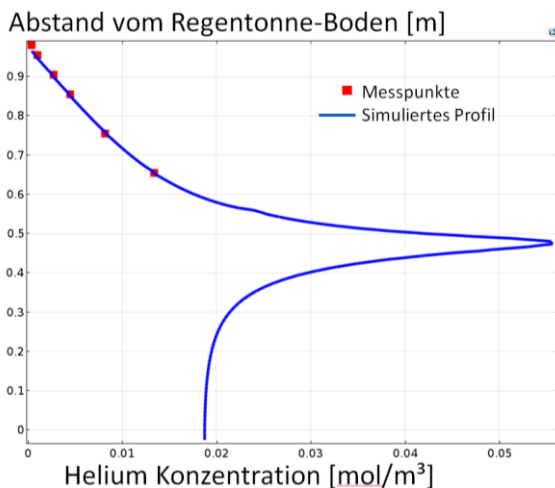
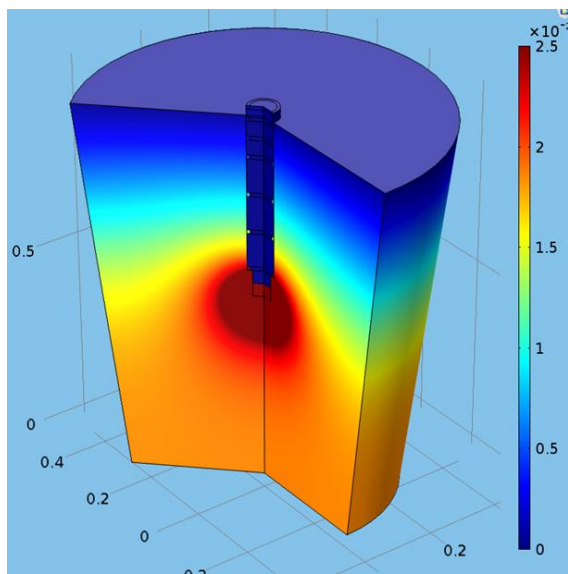


Abbildung 3: Ergebnisse des Labor-Experimentes mit der sandgefüllten Tonne bei Einspeisung unterhalb des Samplers. Oben: modellierte Verteilung des Tracer-Gases in der Tonne; unten: simuliertes vs. gemessenes Helium-Konzentrationsprofil am Gassampler.

Die dabei ermittelten  $D_S$  Werte für die Versuchssubstrate stimmen gut mit den mit der Labormethode nach Kühne *et al.* (2012) bestimmten Werte der Stechzylinderproben überein (Abb. 4). Die Werte der Referenz-Methode waren konsistent leicht höher als die Ergebnisse der neuen Methode. Die ermittelten  $D_S$  Werte der neuen Methode bei Tracergas-Einspeisung in der Mitte lagen leicht unterhalb der Werte, die für die Einspeisung in an der tiefsten Position ermittelt wurden. Der Unterschied zwischen der neuen *in-situ* Methode und der Kammer-Methode könnte an einer Überschätzung der Kammer-Methode liegen (z.B. Druckfluktuations-Effekte des Mischungslüfters in der Kammer, siehe Maier *et al.*, 2012) oder einer Unterschätzung der neuen Methode durch kleinen Undichtigkeiten im System; zusätzliche Untersuchungen sind dafür notwendig.

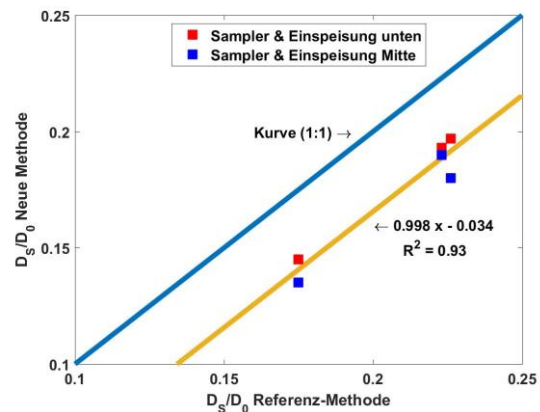


Abbildung 4: Vergleich der Ergebnisse der Ein-Kammer-Methode als Referenz-Methode mit denen der neuen Methode: ein geringes konstantes Delta (ca. 0.03) ist zwischen beide Methoden zu sehen.

#### Feld

Die Ergebnisse der Feldkampagne zeigen ein wesentlich komplexeres Profil, was im Wesentlichen auf das vertikale Bodenfeuchte-profil (nicht dargestellt) und die räumliche Variabilität des  $D_S$  durch die Bodenfeuchte zurückgeht. Unter Berücksichtigung der großen räumlichen Variabilität (sichtbar in der Streuung der Messergebnisse der Referenz-Methode) ist die Übereinstimmung der Methoden gut (Abb. 5). Unterschiede lassen sich leicht

durch die räumliche Variabilität des  $D_S$  erklären. Die Ergebnisse der Kammer-Methode weisen eine starke Variabilität auf, obwohl die Bodenproben in einem Profil von ca. 1 m Breite genommen wurde, welches im Anschluss an die Messungen zwischen den 2 Gassampler-Positionen im Abstand von jeweils 2 m angelegt wurde. Da die Textur sehr homogen war, ist die räumliche Variabilität des Diffusionskoeffizienten auf die Variabilität des Wassergehalts zurückzuführen.

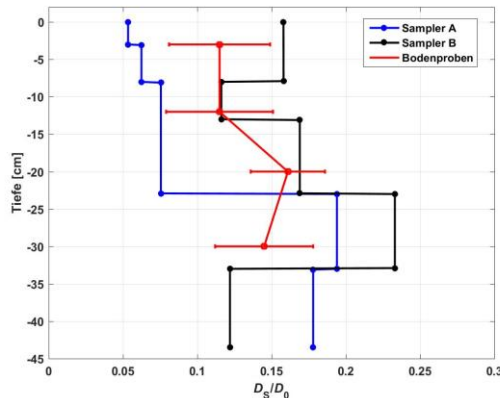


Abbildung 5: Vergleich des  $D_S/D_0$ -Profils des Bodens in Beerenbusch mit der Kammer-Methode (ungestörte Bodenproben im Labor analysiert – rote Kurve mit Standardabweichung) und der neuen Methode (zwei Samplers installiert: blaue und schwarze Kurve).

Die Variabilität des  $D_S$  kann somit auch kleinräumig (Profil und Stechzylinder) stark variieren, jedoch bleibt das Muster des gesamten Vertikal Profils gut erhalten (Abb. 5).

## Schlussfolgerungen

Die neue hier vorgestellte Methode mit dem dazugehörigen Multi Level Gas Sampler zeigt eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse mit etablierter Referenzmethode und ist daher geeignet das  $D_S$  Profil *in-situ* zu messen.

Wesentliche Vorteile der neuen Methode gegenüber Labormethoden ist das größere erfasste Volumen, und die Möglichkeit, die zeitliche Veränderung des  $D_S$  und der Bodengaskonzentrationen *in-situ* zu untersuchen. Die hier vorgestellte Methode eignet sich damit dazu, die Veränderung von  $D_S$ -Profil auch nach Regen oder bei

Wind zeitlich zu quantifizieren. Die schnelle und einfache Installation ist ein weiterer Vorteil gegenüber gängigen Systemen zur Bodengasprobenahme und insbesondere gegenüber gängiger *in-situ*  $D_S$  Methoden.

## Literatur

Kühne, A.; Schack-Kirchner, H.; Hildebrand, E. E. (2012): Gas diffusivity in soils compared to ideal isotropic porous media. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175 (1), 34-45. doi: 0.1002/jpln.201000438.

Maier, M., Schack-Kirchner, H., Aubinet, M., Goffin, S., Longdoz, B., Parent, F. (2012): Turbulence Effect on Gas Transport in Three Contrasting Forest Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 76 (5), 1518-1528. doi: 10.2136/sssaj2011.0376