

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG, Kommission I

Titel der Tagung: Böden verstehen, Böden nutzen, Böden fit machen

Veranstalter: DBG

Termin und Ort: 03.-09.09.2011, Berlin

Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation), <http://www.dbges.de>

Turbulenz-induzierter Gastransport in Oberböden

Martin Maier^{1*}, Helmer Schack-Kirchner¹, Ernst E. Hildebrand¹

Einleitung

Gastransport in Böden lässt sich durch Konvektion und Diffusion beschreiben, wobei der Prozess der Konvektion nur in Ausnahmen eine Rolle spielt, z.B. im Falle von Grundwasserschwankungen und Durchgang von Wetterfronten. Oberflächennahe Turbulenzen führen zwar auch zu Druckschwankungen in der Bodenluft, sie induzieren jedoch selbst über relativ kurze Integrationszeiträume keine Nettoflüsse in/aus dem Boden. Dennoch zeigen verschiedene Feldstudien (Hirsch et al., 2004; Seok et al., 2009; Maier et al., 2010), dass Turbulenzen den Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre signifikant beschleunigen, womit dieser Effekt allgemein für das Verständnis des Gastransports in Böden und insbesondere für die Quantifizierung von Gasflüssen mit der Gradienten-Fluss-Methode relevant wird. Ziel des Vortrags war es, durch die Vorstellung eines konzeptionellen Modells und des experimentellen Nachweises den Turbulenz-induzierten Gastransport stärker in das Bewusstsein zu rücken, und gleichzeitig einen Ansatz aufzuzeigen, wie er bei Feldstudien berücksichtigt werden könnte.

Konzeptionelles Modell

„Pressure-Pumping“

Die Turbulenz-induzierten Druckschwankungen an der Bodenoberfläche pflanzen sich im luftgefüllten Porensystem des Bodens fort

und verursachen so eine oszillierende Schwingung der Bodenluftsäule. Die Fortpflanzung der Druckfluktuationen lässt sich mit einer Differentialgleichung des Diffusionstyps beschreiben, wobei der Druckdiffusionskoeffizient zum einen von den Eigenschaften des Fluids (also des Luftdrucks und der Viskosität der Luft) und zum anderen von den Eigenschaften des Porensystems (dem Quotienten aus Luftleitfähigkeit k_i und luftgefülltem Porenvolumen ϵ ; $[k_i/\epsilon]$) abhängt (siehe z.Bsp. Massman, 2006). Da die Amplitude der Druckfluktuationen im Pascal-Bereich liegen, liegt die zu erwartende Amplitude der Schwingung der Luftsäule auch im (Sub-) Millimeterbereich. Die Amplitude der Bewegung der Luftsäule ist zwar gering, pflanzt sich jedoch auch in tiefere Bodenschichten fort, und kann somit auch dort den Gastransport beeinflussen. Aber worauf beruht die Modifikation des Gastransports durch die oszillierende Luftsäule?

Bei ausschließlich molekularer Diffusion erfolgt der Gasaustausch hauptsächlich durch die Hauptpore (Abb.1 links) während die Blindpore und die Bypass-Pore nichts bzw. wenig dazu beitragen. Oszilliert nun die Luftsäule im Porensystem (Abb.1 Mitte, rechts), so diffundiert zeitweilig CO_2 (oder andere Gase) in die Blindpore und aus der Blindpore heraus. Das CO_2 (hier exemplarisch für jedes beliebige Spurengas) „nutzt die Blindpore als Trittstein“ auf dem Weg entgegen des Konzentrationsgradienten; die Blindpore modifiziert also den Gastransport bei einer schwingenden Luftsäule. Ebenso ergeben sich an den Porenverzweigungen eine irreversible „mechanische“ Vermischung von Porenluft, was ebenfalls zu einer Modifikation gegenüber rein-molekularer Diffusion führt. Selbst innerhalb der einzelnen Poren führt die unterschiedliche Fließgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Abstand zur Porenwand zu einer Krümmung der ansonsten geraden Iso-Konzentrationslinien (also Linien gleicher CO_2 -Konzentration; Abb.1 unten). Dadurch diffundieren die Moleküle zeitweilig an den Porenrand und zeitweilig zur Porenmittle hin. Dabei nutzen sie ähnlich wie bei der Blindpore vornehmlich die Aufwärtsbewegung der schwingenden Luftsäule.

¹Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 79085 Freiburg;

* martin.maier@bodenkunde.uni-freiburg.de

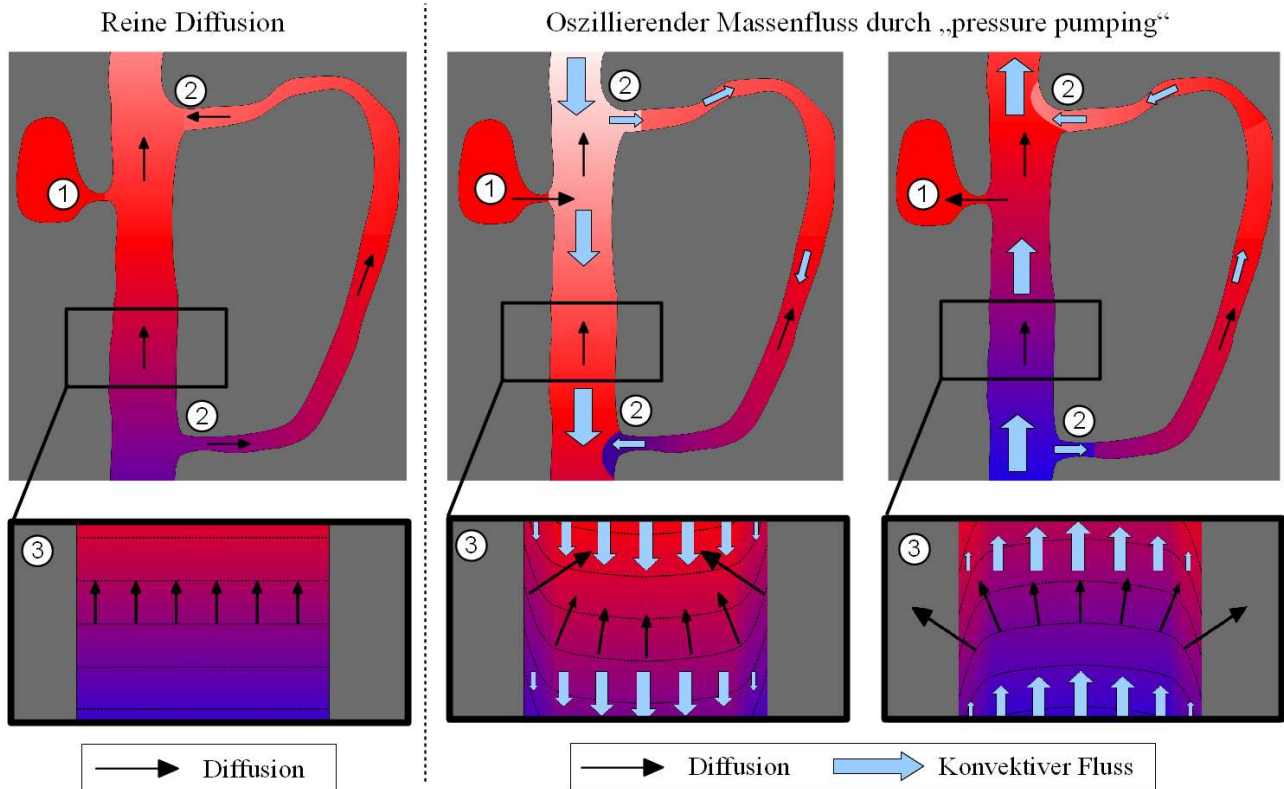


Abbildung 1: Gastransport in Bodenporen durch molekulare Diffusion (links), und modifiziert durch eine oszillierende Luftsäule infolge von Turbulenz induzierter Druckschwankungen an der Oberfläche (Mitte, rechts)

Der Turbulenzeffekt hängt von der Stärke der Schwingung ab und lässt sich also dispersiver Beitrag (D_{disp} , $m^2 s^{-1}$) zum scheinbaren Diffusionskoeffizienten D_S ($m^2 s^{-1}$) hinzuaddieren (Gl. 1).

$$D_{res} = D_S + D_{disp} = D_S + \alpha v \quad (1)$$

D_{disp} hängt zum einem von der mittleren absoluten Fließgeschwindigkeit der Porenluft v ($m s^{-1}$) und der Dispersität α (m), einer Größe, die von der Porenstruktur abhängt, ab. Verwendet man den resultierenden Diffusionskoeffizienten (D_{res} , $m^2 s^{-1}$) anstelle des D_S bei der Gradientenmethode, so ist somit der Turbulenzeffekt berücksichtigt, und der Gastransport lässt sich mit den bekannten Diffusionsgesetzen beschreiben.

Experimenteller Nachweis

Um den Turbulenzeffekt experimentell zu quantifizieren, wurde ein einfacher Laborversuch mit ungestörten Bodenproben von 3 Standorten durchgeführt, die sich stark hinsichtlich der Belüftungssituationen (Porenvolumen, Porengrößenverteilung, Diffusionskoeffizienten, Luftleitfähigkeit) unterschieden.

Hierzu wurde „Steady-State“ 1-Kammer Versuchsaufbau zur Bestimmung des Diffusionskoeffizienten verschiedenen Stufen von Turbulenz ausgesetzt. Dabei wurde die zu messende Stechzylinderbodenprobe auf einer Kammer platziert, die von einem definierten Gasgemisch mit 1000 ppm Neon durchflossen wurde, so dass der Gasaustausch mit der Atmosphäre auf die Diffusion durch die Bodenprobe beschränkt war. Entsprechend des Diffusionskoeffizienten stellte sich eine Gleichgewichtskonzentration ein, die mittels eines Micro-Gas-Chromatographen erfasst wurde. Der Versuchsaufbau wurde nun 2 verschiedenen Stufe von Turbulenz ausgesetzt, die mit einem Ultraschallanemometer gemessen wurde. Manche Proben zeigten eine starke Abnahme der Gleichgewichtskonzentration (turbulenz-induzierte Zunahme des Austauschkoeffizienten $\Rightarrow D_{disp}$), während andere Proben hingegen keinen bzw. nur eine sehr schwache Reaktion zeigten. Als geeigneter Parameter zur Erklärung von D_{disp} bei einer gegebenen Turbulenzstufe stellte sich der Quotient aus Luftleitfähigkeit und

Luftgefüllten Porenvolumen k_i/ϵ heraus, also jene Parameter Kombination, die auch die Fortpflanzung von Druckfluktuationen im Boden bestimmt. Somit eignet sich k_i/ϵ dazu die Empfindlichkeit eines Bodens für die Turbulenz induzierte Modifikation des Gastransport einzuschätzen.

Ausblick

Da aber weiterhin die exakte Bestimmung der Umsetzung der Turbulenz in Druckfluktuation an der Bodenoberfläche und auch die Bestimmung des Dispersivität sehr standortspezifisch und komplex sind, ist die exakte Quantifizierung des Turbulenzeffekts nicht trivial. Eine Möglichkeit bestünde in der Echtzeit-Erfassung des D_{res} *in situ* durch die Einspeisung eines Tracergases analog zur Radon Methode (Davidson et Trumbore, 1995).

Literatur

- Davidson, E.A. and Trumbore, S.E. 1995. Gas diffusivity and production of CO₂ in deep soils of the eastern Amazon. *Tellus, Ser. B* 47:550–565.
- Hirsch, A., Trumbore, S., and Goulden, M. 2004. The surface CO₂ gradient and pore-space storage flux in a high-porosity litter layer. *Tellus, Ser. B* 56:312–321.
- Maier, M., Schack-Kirchner, H., Hildebrand, E.E., and Holst, J., 2010. Pore-space CO₂ dynamics in a deep, well-aerated soil. *Eur. J. Soil Sci.* 61:877–887.
- Massman, W. J. (2006), Advective transport of CO₂ in permeable media induced by atmospheric pressure fluctuations: 1. An analytical model. *J. Geophys. Res., [Biogeosci.]* 111:G03004.
- Seok, B., Helmig, D., Williams, M.W., Liptzin, D., Chowanski, K., and Hueber, J., 2009. An automated system for continuous measurements of trace gas fluxes through snow: an evaluation of the gas diffusion method at a subalpine forest site, Niwot Ridge, Colorado. *Bio geochemistry* 95:95–113.