

**Tagungsbeitrag zu:**

Jahrestagung der DBG, Kommission I

**Titel der Tagung:**

Böden – eine endliche Ressource

**Veranstalter, Termin und Ort der Tagung:**

DBG, September 2009, Bonn

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

**3-D-Rekonstruktion der  
Wurzelraumbelüftung von Eichen:  
Nachweis und Wirkung anisotroper  
Gasdiffusionskoeffizienten**

Anke Kühne<sup>1</sup>, Helmer Schack-Kirchner &  
Ernst E. Hildebrand

**Zusammenfassung**

Für eine modellhafte Rekonstruktion der Wurzelraumbelüftung mittels Gasdiffusionskoeffizienten als Kenngröße der Bodenstruktur ist ein Aspekt die Klärung anisotroper Muster, da diese eine erhebliche Relevanz auf die Gasflüsse hätten.

Bei einem Vergleich der Luftkapazität sowie der relativen Gasdiffusivitäten ( $D_s/D_0$ ) bei pF 1,8 von vertikal und horizontal entnommenen Stechzylindern weisen die Messwerte in allen Tiefenstufen eine Anisotropie des  $D_s/D_0$  um mindestens den Faktor 3 auf.

Da dieser Effekte sowohl im Oberboden als auch im Unterboden auftritt, kann dies als unabhängiges, universelles Phänomen angesehen werden.

**Schlüsselworte:** Gasdiffusionskoeffizienten, Porenanisotropie, Bodenbelüftung

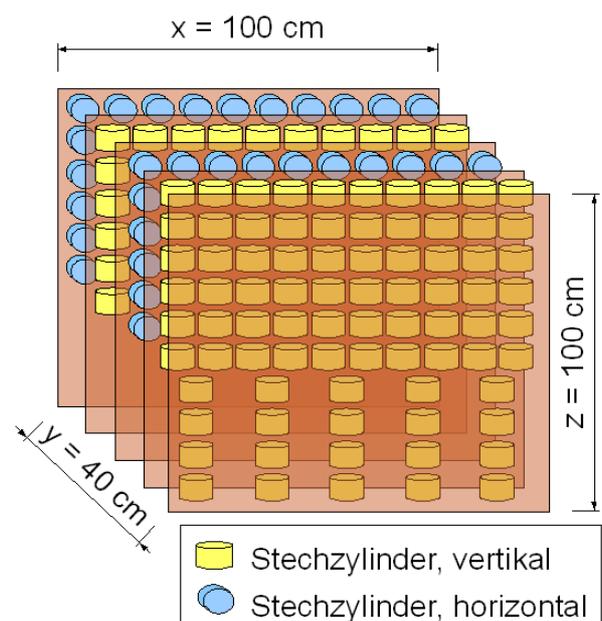
**Einleitung**

Die Sauerstoffversorgung des Bodens stellt ein mögliches ökologisches Bindeglied zwischen Bodenverdichtung und dem Gesundheitszustand von Eichenwurzeln dar. Frühere Untersuchungen geben Hinweise darauf, dass die Feinwurzelndichte in Bodenprofilen deutlich mit der Gasdurchlässigkeit des Oberbodens korreliert ist (GAERTIG et al. 2002). Da einerseits die Bodenbelüftung

nur im Zusammenhang des Bodenprofils definiert ist, andererseits bodenphysikalische Parameter und Feinwurzelhebungen destruktive Eingriffe erfordern, ist eine modellhafte Rekonstruktion des Bodengastransportes notwendig. Grundlage hierfür ist eine genaue Kenntnis der Gasdiffusivität in alle möglichen Transportrichtungen, denn anisotrope Muster hätten eine erhebliche Relevanz auf die Gasflüsse. Untersuchungen anderer bodenphysikalischer Größen wie der Wasser- oder Luftleitfähigkeit zeigen deutlich ein anisotropes Verhalten (PENG & HORN 2008, DÖRNER & HORN 2009). Die Gasdiffusionskoeffizienten als Kenngröße der Bodenstruktur stehen jedoch bisher generell nur für die vertikale Transportrichtung zur Verfügung. Dies gilt auch für Pedotransferfunktionen, die einen Zusammenhang von luftgefüllten Porenanteil  $\varepsilon$  und dem  $D_s/D_0$  beschreiben.

**Material und Methoden**

Die Untersuchungen fanden in einem Eichenmischwald auf Schwemmlöss im ober-rheinischen Tiefland statt. An 2 Bodenprofilen mit unterschiedlicher Befahrungssituation (befahren bzw. ungestört) wurden pro Profil ca. 300 Stechzylinder mit 200 cm<sup>3</sup> Volumen nahe an der maximalen technisch machbaren Auflösung (Volumenrepräsentanz ca. 15%) jeweils abwechselnd horizontal und vertikal entnommen (Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Schema der Probenentnahme innerhalb des Bodenprofils

<sup>1</sup> Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
79085 Freiburg i. Br., Tel.: +49-(0)761-203-9143  
[anke.kuehne@bodenkunde.uni-freiburg.de](mailto:anke.kuehne@bodenkunde.uni-freiburg.de)

Der luftgefüllte Porenanteil sowie die relative Gasdiffusivität ( $D_s/D_0$ ) nach der Einkammer-Methode von FLÜHLER (1973) mit Neon als Tracergas wurden bei pF 1,8 im Labor bestimmt.

## Ergebnisse

Die Mediane der  $D_s/D_0$ -Werte für die vertikalen Stechzylinder sind sowohl für das befahrene als auch für das ungestörte Profil bis zu einer Profiltiefe von 50 cm um den Faktor 2 - 3 höher als für die horizontalen Stechzylinder (Abbildung 2). Dies gilt ebenfalls für eine Betrachtung des Unterbodens (Tiefe > 50 cm) in dem jeweiligen Bodenprofil.

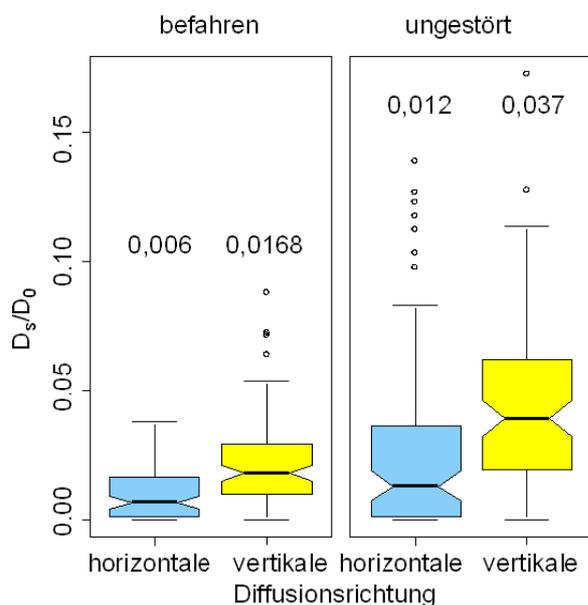


Abbildung 2: Notch-Boxplots für die Mediane von  $D_s/D_0$  (bis 50 cm Tiefe) in Bezug auf Diffusionsrichtung und Befahrungssituation; die „notches“ (Einschnürungen) zeigen den Bereich des 95%-Konfidenzintervalls, die, wenn sie nicht überlappen, signifikante Unterschiede anzeigen

Für den Zusammenhang von Gasdiffusionskoeffizienten ( $D_s/D_0$ ) und dem luftgefüllten Porenanteil ( $\epsilon$ ) sind zahlreiche Pedotransferfunktionen beschrieben worden (vgl. TROEH et al. 1982). Der exponentielle Funktionstyp

$$D_s/D_0 = a \cdot \epsilon^b \quad [1]$$

zeigt bei SCHACK-KIRCHNER et al. (2001) für die vertikale Diffusionsrichtung und für Wald

böden eine gute Anpassung an die Messwerte.

Für unsere untersuchten Stechzylinder zeigt sich für die vertikale und die horizontale Diffusionsrichtung der untersuchten Bodenprofile ein unterschiedlicher Verlauf. Die Werte für die vertikale Diffusionsrichtung haben eine hohe Variabilität. Die Kurve zeigt einen annähernd linearen Verlauf, während die horizontalen Stechzylinder eine stärkere Konvexität aufweisen (Abbildung 3).

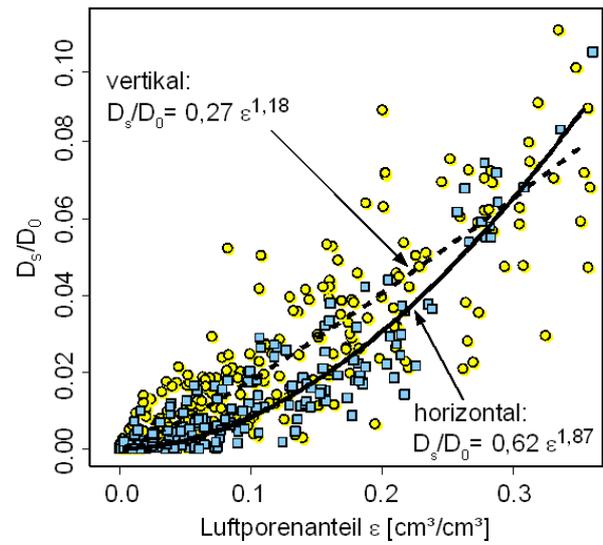


Abbildung 3: Zusammenhang von  $D_s/D_0$  und dem luftgefüllten Porenanteil (60 hPa) für die vertikale (Kreise, gestrichelte Linie) und die horizontale Diffusionsrichtung (Rechtecke, durchgezogene Linie)

## Diskussion

Die Ergebnisse zeigen ein deutliches anisotropes Verhalten von  $D_s/D_0$  in den beiden untersuchten Bodenprofilen (befahren/ungestört) sowohl im Unter- und Oberboden als auch für hohe und geringe Luftporenvolumina. In den beschriebenen Versuchsprofilen ist die Anisotropie offenbar ein universelles Phänomen, dass nicht auf bestimmte Ausprägungen der Bodenstruktur gebunden ist, wie es z.B. von DÖRNER & HORN (2006) beschrieben wurde.

Modellhaft kann man die diffusive Gasdurchlässigkeit in zwei Aspekte aufteilen: das für die Diffusion zur Verfügung stehende Gasvolumen  $\epsilon$  und die Kontinuität dieser Poren. Der nahezu lineare Verlauf der  $D_s/D_0 = f(\epsilon)$ - Funktion zeigt für die vertikalen Poren eine relativ konstante Porenkontinuität unabhängig vom luftgefüllten Porenvolumen.

Bei den horizontalen Poren zeigt die Abflachung der Kurve und damit die Abnahme der Diffusivität bei kleineren Luftvolumina z.B. das vermehrte Auftreten von unverbundenen Poren.

Anisotropie kann verursacht werden durch eine Bevorzugung der vertikalen Richtung bei Porenentstehungsprozessen und der horizontalen Richtung bei porenzerstörenden Prozessen. Gänge anözischer Regenwürmer und vertikale Schrumpfrisse könnten solche Porenentstehungsprozesse sein, die jedoch im Unterboden nur in sehr geringer Dichte auftreten dürften. In Hinblick auf die porenzerstörenden Effekte vermindern dagegen Auflast, Normalspannung oder Strömungsdruck des perkolierenden Wassers bevorzugt die Durchlässigkeit horizontaler Poren.

Für die Praxis der Gasmodellierung hätte die gezeigte generelle Anisotropie insofern große Bedeutung, als dass die übliche Beschränkung auf die eindimensionale Gastransportrichtung gerechtfertigt wäre. Finden mehrdimensionale Modelle Anwendung muss jedoch die unterschiedliche Diffusivität für die einzelnen Gastransportrichtungen berücksichtigt werden.

## Literatur

- DÖRNER, J. & HORN, R. (2009): Direction-dependent behaviour of hydraulic and mechanical properties in structured soils under conventional and conservation tillage, *Soil Tillage Res.*, 102, 225-232
- DÖRNER, J. & HORN, R. (2006): Anisotropy of pore functions in structured Stagnic Luvisols in the Weichselian moraine region in N Germany, *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 169, 213–220
- FLÜHLER, J. (1973): Sauerstoffdiffusion im Boden, *Schweizerische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen*, 250 S.
- GAERTIG, T., SCHACK-KIRCHNER, H., HILDEBRAND, E.E. & v. WILPERT, K. (2002): The impact of soil aeration on oak decline in southwestern Germany, *For. Ecol. Manage.*, 159, 15-25
- PENG, X. & HORN, R. (2008): Time-dependent, anisotropic pore structure and soil strength in a 10-year period after intensive tractor wheeling under conservation and conventional tillage, *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 171, 936-944
- SCHACK-KIRCHNER, H., GAERTIG, T., v. WILPERT, K. & HILDEBRAND, E.E. (2001): A modified McIntyre and Philip approach to measure top-soil gas diffusivity in-situ, *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 164, 253-258
- TROEH, F., JABRO, J. & KIRKHAM, D. (1982): Gaseous-diffusion equations for porous materials, *Geoderma*, 27, 239-253