

Tagungsbeitrag zu:  
Jahrestagung der DBG 2011  
Titel der Tagung:  
„Böden verstehen - Böden nutzen - Böden  
fit machen“  
Veranstalter, Termin und Ort der Tagung:  
DBG, 3. - 9. September 2011, Berlin  
Berichte der DBG (nicht begutachtete online  
Publikation)  
<http://www.dbges.de>

## Gastransport im Wurzelraum als 3-D- Phänomen: Eine Fallstudie zur Wurzelverteilung von Eichen

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

### Zusammenfassung

Es ist bekannt, dass ein durch Bodenverdichtung- und verformung gestörter Waldboden geringere Feinwurzel-dichten als ein vergleichbarer, aber ungestörter Boden aufweist (Gaertig et al., 2002). Die genauen belüftungsrelevanten Parameter und deren Zusammenspiel sind bislang jedoch nicht eingehend auf kleinräumiger Ebene untersucht worden.

Ein 3D- Modell für die Identifizierung und Bewertung der möglichen Belüftungswege zu den Wurzeln und der Zusammenhänge mit anderen Parametern wie z.B. Gasverbrauch und -produktion befindet sich noch in der Entwicklung. Eine vereinfachte 1D-Betrachtungsweise gibt jedoch schon erste Hinweise: Sowohl die lokale Trockenraum-dichte als auch der durchschnittliche vertikale Belüftungsweg sind in einer bestimmten Bodentiefe mit der Feinwurzel-dichte korreliert. Der Einfluss der Durchlässigkeit des Oberbodens allein stellt sich dagegen als geringer dar.

Schlüsselworte: Gasdiffusionskoeffizienten,  
Bodenverformung,  
Feinwurzelverteilung

### Einleitung

Ausgangspunkt für unsere Untersuchung war die Beobachtung, dass nach befahrungsbedingten Bodenverformungen im Wurzelraum von Eichen (*Quercus robur*/ *Q. petraea*) diese einen generell schlechten Gesundheitszustand aufweisen (Gaertig et al., 2002). Eine mögliche Erklärung für diesen Zusammenhang kann in der Effizienz des Austausches respiratorischer Gase gefunden werden. Ist dieser Austausch z.B. durch eine Bodenverformung im Oberboden gestört („Plastikfolieneffekt“), dann hat dies einen direkten Einfluss auf die darunter liegende Feinwurzel-dichte und -verteilung (Abbildung 1).

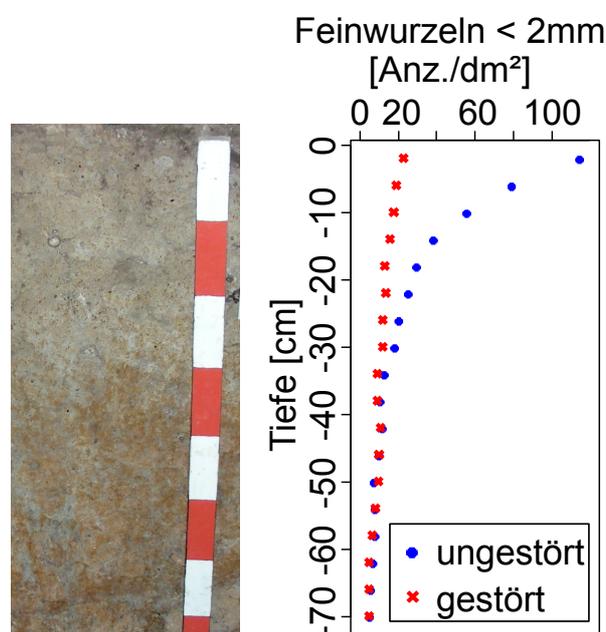


Abbildung 1: Profil der Feinwurzel-dichten von einem durch Befahrung gestörten bzw. ungestörten Standort

Ziel der Arbeit ist es, Regressoren für die Feinwurzel-dichte im Bodenvolumen von Eichen zu identifizieren. Der Fokus liegt hierbei auf den belüftungsrelevanten Bodenparametern.

<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)

## Material und Methoden

Die Untersuchungen fanden an 2 Standorten und dort an insgesamt 5 Bodenprofilen mit unterschiedlicher Befahrungssituation statt (befahren bzw. ungestört). Pro Profil wurden 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. Jeweils vor und nach (bzw. zwischen) den Stechzylinderebenen wurde die Feinwurzelichte an der Profilwand mittels eines 4x4 cm-Metallrasters erfasst (Abbildung 2).

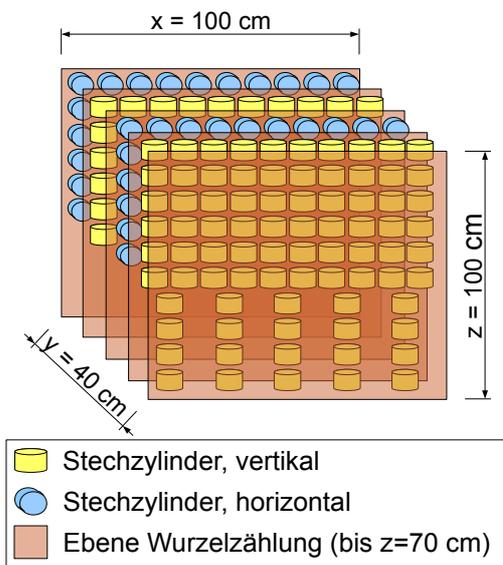


Abbildung 2: Schema der Probenentnahme innerhalb eines Bodenprofils

Die Trockenraumdichte, der Luftporenanteil ( $\epsilon$ ), der organische Kohlenstoffgehalt ( $C_{org}$ ) sowie die relative Gasdiffusivität ( $D_s/D_0$ ) bei pF 1,8 wurden im Labor bestimmt.

### 1D-Modell (vertikaler Transportweg)

Im stark vereinfachten Fall erfolgt die Belüftung eines Bodenkompartimentes über den direkten Weg, d.h. über die kürzeste Strecke zwischen Kompartiment und Atmosphäre (Abbildung 3).

Betrachtet wurden deshalb vertikale Säulen aus 1 dm<sup>3</sup>- Würfeln. Der Wert im Mittelpunkt von jedem Würfel wird als für das zugehörige Kompartiment repräsentativ angesehen. In die Auswertung gehen nur die untersuchten Ebenen mit den vertikalen Stechzylinder ein. Die Wurzelspitzenhäufigkeit wird gemittelt aus den jeweils umgebenden zwei Ebenen.

Da die Wurzelverteilung einen natürlichen Tiefengradienten aufweist, werden alle Messwerte auf die Tiefe standardisiert. Fehlende Messwerte werden durch Interpolation ermittelt.

Die vertikale Durchlässigkeit berechnet sich aus dem harmonischen Mittel aller  $D_s/D_0$ -Werte oberhalb des jeweiligen Kompartiments.

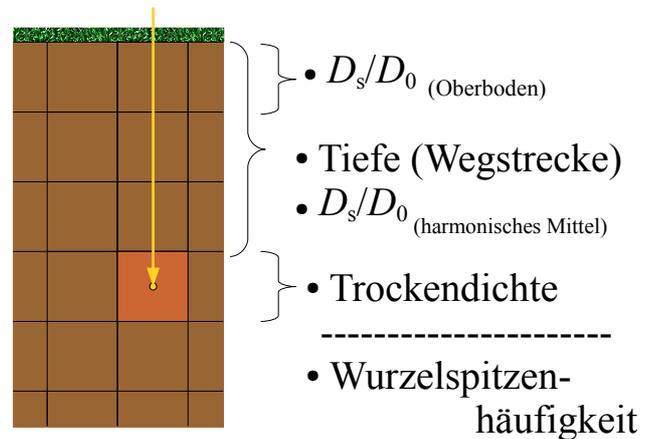


Abbildung 3: 1D-Betrachtungsweise des Zusammenhanges zwischen Wurzelspitzenhäufigkeit und belüftungsrelevanten Parametern

### 3D- Modell (alle möglichen Transportwege)

Neben der einfachen Betrachtung des direkten vertikalen Weges ist eine Berücksichtigung aller möglichen Transportwege viel realistischer. Neben der Diffusion in z-Richtung finden nun auch Transporte in den beiden horizontalen Richtungen entlang der x- und y-Achse sowie Gasverbrauch (Sauerstoff, O<sub>2</sub>)/-produktion (Kohlendioxid, CO<sub>2</sub>) Berücksichtigung (Abbildung 4).

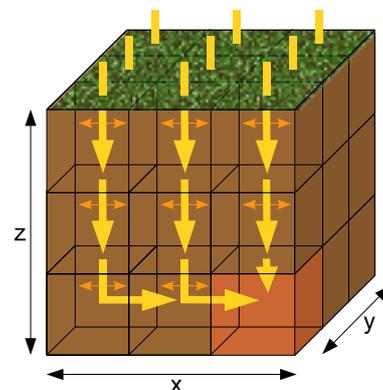


Abbildung 4: Schematische Darstellung des 3D-Bodenbelüftungsmodell für Sauerstoff (Transportwege: gelbe Pfeile; lokaler Verbrauch: orangefarbene Pfeile)

Vertikale und horizontale Durchlässigkeiten können sich unterscheiden (Kühne et al., *in press*) und müssen deshalb getrennt von einander in ein solches Modell eingehen.

Modellgrundlage [1] ist eine dreidimensionale Version der Gasdiffusionsgleichung:

$$\varepsilon \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \cdot D_x \cdot \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \cdot D_y \cdot \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \cdot D_z \cdot \frac{\partial C}{\partial z} + S \quad [1]$$

wobei

- $\varepsilon$ : luftgefüllte Porosität
- $C$ : Konzentration
- $t$ : Zeit
- $D$ : Diffusionskoeffizient
- $x, y, z$ : Richtung
- $S$ : Quellen- und Senkenterm

Diese Gleichung wird mittels finiten Differenzen diskretisiert und mittels des numerischen ADIP-Verfahren (alternating direction implicate procedure) nach Douglas-Rachford (Marsal, 1976) gelöst.

Als Parameter gehen in das Modell interpolierte  $D_s/D_0$ -Werte ein, da aufgrund der Probenentnahme an einigen Positionen Werte fehlen oder die gemessenen Werte teilweise von den geplanten Gitterpositionen abweichen. Der Quellen-Senkenterm  $S$  wird mittels einer Transferfunktion z.B. über  $C_{org}$  oder die Wurzelichte bestimmt.

## Ergebnisse

### 1D-Modell (vertikaler Transportweg)

In Abbildung 5 ist beispielhaft die relative Wurzelspitzenhäufigkeit in einer Tiefe von  $z = -35$  cm in Abhängigkeit von den untersuchten belüftungsrelevanten Parametern dargestellt. Für die mittlere Durchlässigkeit des Transportweges (rel.  $D_s/D_{(harmonisches\ Mittel)}$ ) zeigt sich ein deutlicher positiver Zusammenhang ( $r_{Pearson} = 0.51$ ), d.h. je durchlässiger der Boden über dem beobachteten Bodenkompartment ist, desto höher ist die dortige Feinwurzelichte. Ebenso verhält es sich mit der Durchlässigkeit der obersten Bodenschicht ( $D_s/D_{0(Oberboden)}$ ,  $r_{Pearson} = 0.40$ ).

Je dichter der Boden, d.h. je größer die relative Trockenraumdichte in dem jeweiligen Kompartiment ist, desto weniger Feinwurzeln sind dort zu beobachten ( $r_{Pearson} = -0.74$ ).

### 3D- Modell (alle möglichen Transportwege)

Leider befindet sich das Modell noch in der Entwicklungsphase, so dass auch keine vorläufigen Ergebnisse präsentiert werden können.

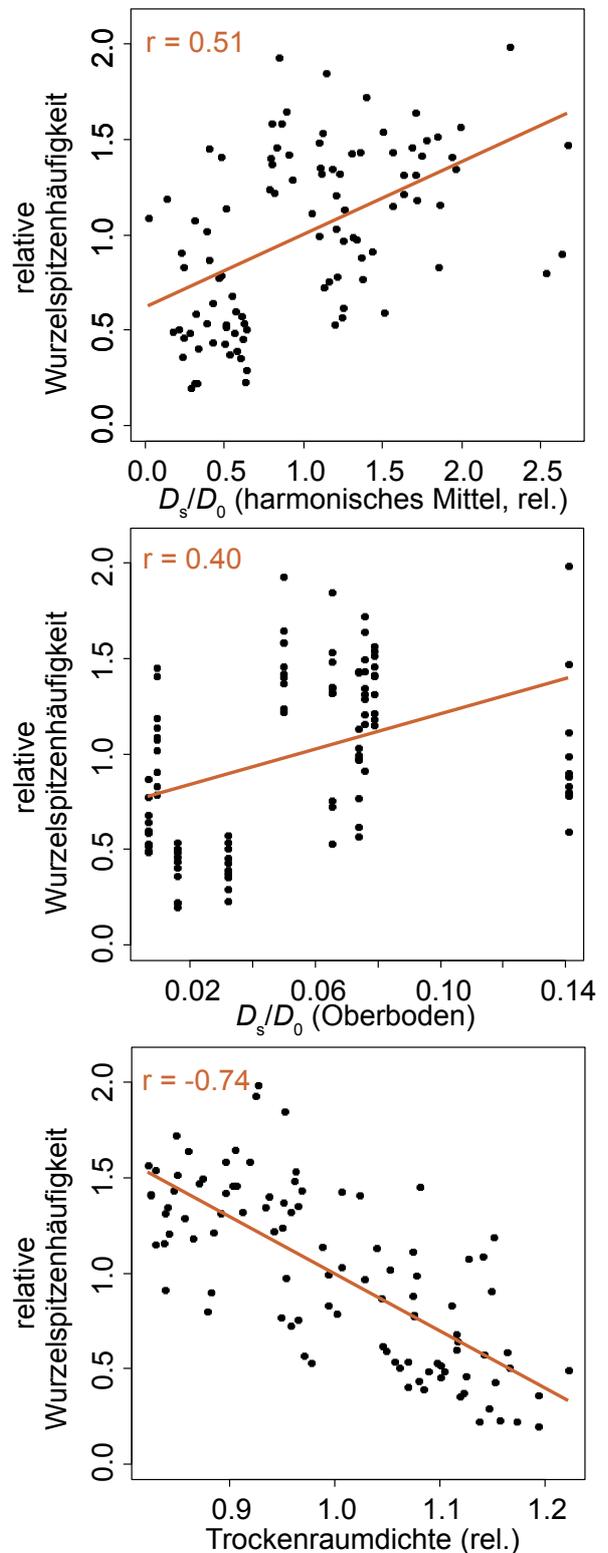


Abbildung 5: relative Wurzelspitzenhäufigkeit (in 35 cm Tiefe) in Abhängigkeit von unterschiedlichen belüftungsrelevanten Parametern

## Fazit

Kleinräumige laterale Unterschiede der Feinwurzelhäufigkeit können am gesamten Probenkollektiv mit dem über den Weg zur Oberfläche gewichteten Diffusionskoeffizienten ( $D_s/D_0$ (harmonisches Mittel)) erklärt werden, während die Gasdiffusivität an der Oberfläche von deutlich geringerer Bedeutung ist. Den größten Erklärungsbeitrag liefert die lokale Trockenraumdichte.

Zwar liefert die Betrachtung des direkten vertikalen Transportweges deutliche Hinweise auf die belüftungsrelevanten Regressoren für die Feinwurzel-dichte, die teils nicht sehr hohen Korrelationskoeffizienten spiegeln jedoch auch die zu beobachtende starke Streuung der Werte wieder. Mögliche Zusammenhänge zwischen den Parametern oder auch Effekte wie horizontale Bypass-Diffusion können nur durch komplexere Betrachtungsmodelle identifiziert werden.

Ein solches Modell stellt das hier theoretisch vorgestellte 3D- Bodenbelüftungsmodell dar, welches alle möglichen Transportwege mit unterschiedlichen Durchlässigkeiten in vertikaler und horizontaler Transportrichtung sowie Gasverbräuche- bzw. produktionen berücksichtigt.

## Literatur

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

Kühne, A., Schack-Kirchner, H., Hildebrand, E.E. (in press): Gas diffusivity in soils compared to ideal isotropic porous media, *J. Plant Nutr. Soil Sci.*

Marsal, D. (1976): Die numerische Lösung partieller Differentialgleichungen, B.I.-Wissenschaftsverlag, Mannheim, 574 S.