

Tagungsbeitrag zu:

Jahrestagung der DBG, Kommission I

Titel der Tagung:

Unsere Böden – Unser Leben

Veranstalter: DBG

Termin und Ort der Tagung: 5. – 10.

September 2015, München

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

Kleinskalige Analyse von Rhizo- und Drilosphäreneigenschaften (O_2 -Diffusivität, Eindringwiderstand und Benetzbarkeit) im Vergleich zum Gesamtboden

C. Haas¹, D. Holthusen¹, R. Horn¹

Zusammenfassung

Aufgrund einer verstärkten Aggregatentwicklung und -bildung, sowie durch die Anreicherung organischer Substanzen, lassen sich im Einflussbereich von biogenen Grobporen (GP) Unterschiede im Vergleich zum Gesamtboden vermuten, welche sich in unterschiedlichen Charakteristika für Parameter äußern, die Gas- (O_2 -Diffusivität) sowie Wassertransportprozesse (Benetzbarkeit) und das Wurzelwachstum (Eindringwiderstand) beeinflussen. In Abhängigkeit der Genese der GP wurden unterschiedliche Ausprägungen der Veränderungen der genannten Parameter gefunden, die teilweise deutliche Unterschiede zum Gesamtboden aufweisen. Wurzelinduzierte Porenwandungen waren, sowohl im Vergleich zum Gesamtboden als auch zu regenwurm- sowie zu wurzelinduzierten und anschließend regenwurmkolonisierten Grobporen, hydrophiler. Zusätzlich wurde bei wurzelinduzierten GP die höchste O_2 -Diffusivität bestimmt. Dieser

Gegensatz lässt sich durch Unterschiede in der Porenmorphologie erklären, welche auf der Zersetzung von Feinwurzeln (wurzelninduzierte GP) und der Bildung von Plattengefügen (regenwurminduzierte/-kolonisierte GP) beruhen.

Stichworte: Bioporen, biogene Grobporen, Gas- und Wassertransport in der Rhizosphäre, Drilosphäre, Rhizodrilosphäre

Einleitung

Die Rhizo- und Drilosphäre sind „hot-spots“ in Bezug auf die biologische Aktivität von Böden. Als Folge dieser verstärkten mikrobiellen Aktivität werden vermehrt Mikroaggregate gebildet. In der Rhizosphäre wird zudem sowohl durch den wurzelbedingten Wasserentzug als auch durch eine Wasserumverteilung (hydraulic lift) die Aggregatbildung und -entwicklung gefördert. Bioporenauskleidungen, z.B. durch Regenwurmlösung (Regenwurm-tapete), weisen nicht nur einen erhöhten Gehalt an organischer Substanz auf, sondern können auch von Regenwürmern gebildetes $CaCO_3$ enthalten. Als Folge der bodenverdichtenden Wirkung der Regenwürmer können kleinere Seitenporen verfüllt werden, wodurch Transportprozesse von der Biopore in den umliegenden Gesamtboden vermindert werden. Die Transportfunktion der Grobporen tritt nicht nur in Bezug auf den Gashaushalt, sondern auch in Bezug auf den Wasserhaushalt in Erscheinung, beispielsweise, wenn es zu präferenziellem Fließen als Folge von Starkregenereignissen kommt. Auch Feldfrüchte machen sich diese präferenziellen Pfade zu Nutze, um den Unterboden zu erschließen. Die Porenwand ist dabei vom Wurzelsystem der Pflanze zu überwinden, um ein größeres Bodenvolumen zu erschließen.

¹ Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Hermann-Rodewald-Str. 2, D-24118 Kiel

Material und Methoden

Wandungen von biogenen Grobporen (GP) mit drei unterschiedlichen Genesen (wurzel-, regenwurminduziert; wurzelinduziert und regenwurmkolonisiert) sowie deren unmittelbare Umgebung („Sphäre“: Rhizo-; Drilo-; oder Rhizodrilosphäre) und der umgebene Gesamtboden einer Parabraunerde wurden untersucht. Dafür wurden Bodenkerne aus 45-65 cm Tiefe, vom Versuchsgut Klein-Altendorf/Uni Bonn entnommen. Die Bodenproben wurden auf ein Matrixpotenzial (Ψ_m) von -30 kPa vorentwässert. Anschließend erfolgte die kleinskalige Bestimmung der

- O_2 -Diffusivität und des Eindringwiderstandes (Abb. 1) sowie der
- Benetzungseigenschaften (Abb. 2)

Die Bestimmung der O_2 -Diffusivität erfolgte nach Rappoldt (1995). Durch periodische Alternierung der O_2 -Konzentration an der Probenoberfläche wird ein eindimensionaler O_2 -Konzentrationsgradient innerhalb der Bodenprobe gebildet. Durch zeitgleiche Messung (Ox-100, Unisense A/S, Aarhus, Denmark) der O_2 -Konzentration an der Oberfläche (Elektrode 1, Abb. 1) sowie in der Tiefe x ($0 \mu m < x < 3500 \mu m$, Elektrode 2) lässt sich mit Hilfe der schnellen Fourier-Transformation (FFT) die Phasenverschiebung (φ) und somit die O_2 -Diffusivität D^* , berechnen. Der Eindringwiderstand wurde mit Hilfe eines Kraftsensors an Elektrode 2 gemessen.

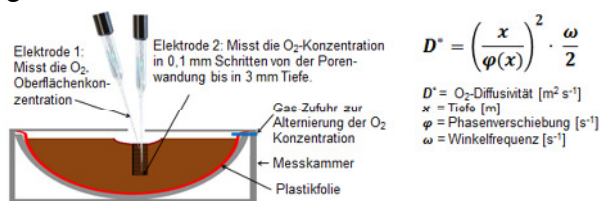


Abb. 1: Messung der O_2 -Diffusivität nach Rappoldt (1995)

Zur Bestimmung des Repellency Indexes (RI) wurde die Infiltrationsrate (Q , Abb. 2) von Ethanol und Wasser bei einem Gradienten von 2 cm gemessen. Anschließend wurde der RI berechnet (Abb. 2).

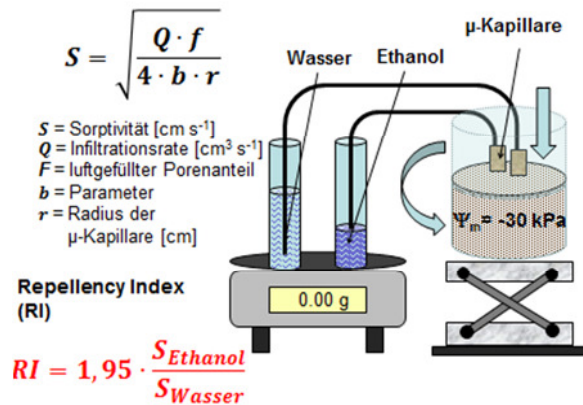


Abb. 2: Sorptivitätsmessung nach Hallet et al. (2003)

Ergebnisse

Allgemeine Bodenparameter können Tab. 1 entnommen werden.

Tab. 1: Physiko-chemische Parameter. Mittelwerte mit Standardabweichung (*kursiv*).

Sand	Schluff [Masse-%]	Ton	C_{org}	d_B [$Mg m^{-3}$]	pH [-]
4	69	27	0,42	1,42	7,01
0,2	1,3	0,9	0,18	0,12	0,05

In Bezug auf die O_2 -Diffusivität lassen sich im radialen Abstand zur Porenwandung zwei Bereiche ausmachen (Abbildung 3):

1. In 0-1000 μm Tiefe zeigen sich gegenüber dem Gesamtboden erhöhte O_2 -Diffusivitäten. Dieses gilt für alle Genesen, wobei deutliche Unterschiede in Abhängigkeit der Genese beobachtet wurden. Verglichen mit dem Gesamtboden zeigen wurzelinduzierte Bioporen (W) eine bis zu 30-fach höhere O_2 -Diffusivität in 0-1000 μm als der Gesamtboden. Bei den übrigen Bioporen beträgt dieser Wert das sechs- (RW) bis acht-fache (RWW).

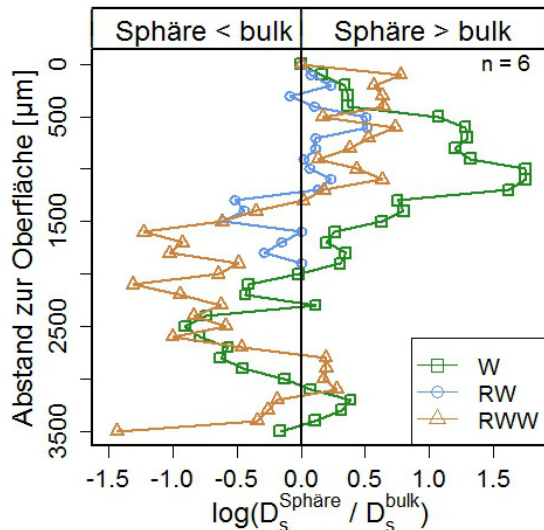


Abb. 3: Logarithmus des Verhältnisses der O_2 -Diffusivität (D_s) in der entsprechenden Sphäre (Rhizosphäre (W), Drillosphäre (RW) oder Rhizodrillosphäre (RWW)) und dem Gesamtboden (bulk) in Abhängigkeit des Abstandes zur Oberfläche (Porenwandung). Proben bei $\Psi_m = -30 \text{ kPa}$ entwässert.

2. In dahinterliegenden Bereichen ($> 1000 \mu\text{m}$) zeigen sich gegenüber dem Gesamtboden verringerte O_2 -Diffusivitäten. Dabei gibt es keine Unterschiede in Abhängigkeit der Genese der einzelnen Bioporen.

In Abbildung 4 sind die dazugehörigen Eindringwiderstände dargestellt. In den ersten $500 \mu\text{m}$ sind diese in den einzelnen Sphären bei allen Bioporentypen geringer als im Gesamtboden. Bei der Rhizosphäre (W) setzt sich dieses im kompletten Messbereich fort. In der Rhizodrillosphäre (RWW) wurden, sowohl im Vergleich zum Gesamtboden, als auch zu den übrigen Bioporentypen deutlich erhöhte Eindringwiderstände gemessen.

Anhand des sorptivitätsbasierten Repellency Indexes (Abb. 5) wird deutlich, dass die Benetzbarkeit durch die Aktivität der Pflanzenwurzel, sowohl gegenüber dem Gesamtboden, als auch im Vergleich zu den übrigen Bioporentypen, erhöht ist. Als Folge der Besiedlung wurzelinduzierter Grobporen durch Regenwürmer

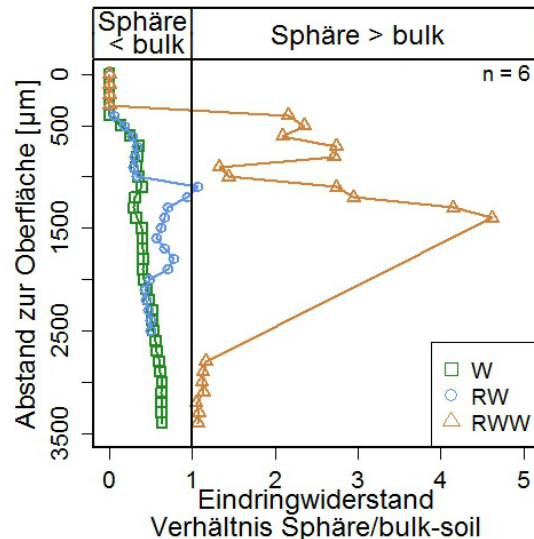


Abb. 4: Verhältnis des Eindringwiderstandes in der entsprechenden Sphäre (Rhizosphäre (W), Drillosphäre (RW) oder Rhizodrillosphäre (RWW)) zum Gesamtboden (bulk) in Abhängigkeit des Abstandes zur Oberfläche (Porenwandung). Proben bei $\Psi_m = -30 \text{ kPa}$ entwässert.

(RWW) wird dieser Effekt aufgehoben. Hier liegen keine Unterschiede zum Gesamtboden vor. Im Gegensatz dazu kann in der Drillosphäre (RW) eine deutliche Benetzungshemmung ausgemacht werden.

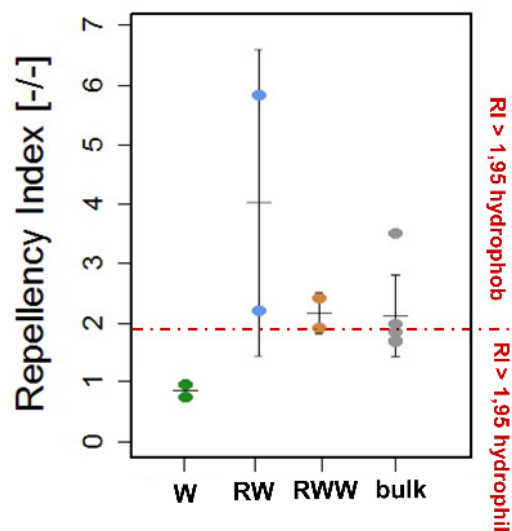


Abb. 5: Sorptivitätsbasierter Repellency Index (RI) für die Rhizosphäre (W), Drillosphäre (RW) bzw. Rhizodrillosphäre (RWW) und dem dazugehörigen Gesamtboden (bulk). Proben bei $\Psi_m = -30 \text{ kPa}$ entwässert. Rote Linie bei $RI = 1,95$.

Diskussion

Wird ein Boden hydrophiler, so liegen bei jedem Matrixpotenzial höhere Wassergehalte im Zustand der

laufenden Entwässerung vor. Aufgrund des geringeren Diffusionskoeffizienten eines Gases in Wasser im Vergleich zum Diffusionskoeffizienten in Luft (Faktor 10.000) ließe sich eine deutlich geringere O₂-Diffusivität erwarten. Dass dieses hinsichtlich der wurzel-induzierten Grobporen nicht gefunden wurde kann durch eine Zunahme des luftgefüllten Porenvolumens und der Porenkonnektivität, sowie durch eine Abnahme der Tortuosität innerhalb der Rhizosphäre begründet werden. Als Folge der Bildung und anschließenden Zersetzung von Feinwurzeln tritt eine Verschiebung der Porengrößenverteilung (Zunahme von Poren mit Äquivalentdurchmessern > 10 µm) ein. Durch die Zersetzung der Wurzel entsteht eine Pore mit hoher Konnektivität und geringer Tortuosität gebildet. Bei den regenwurm-beeinflussten Bioporen kann die Bildung von vertikalen Plattengefügen erwartet werden, welche durch die bodenverdichtende Wirkung der Regenwürmer gebildet werden. Dadurch wird einerseits die Porenwandung stabilisiert, andererseits werden bei gleichzeitiger Ausscheidung von (an-) organischen Substanzen Seitenporen verfüllt, wodurch die Konnektivität der Poren sinkt und die Tortuosität zunimmt. Beides würde die O₂-Diffusivität verringern. Ursächlich für die, gegenüber dem Gesamtboden, erhöhte O₂-Diffusivität ist dahingehend in den eigenen Messungen das Aufbrechen von Plattengefügen bei wiederholter Passage durch den Regenwurm, wobei gröbere Poren gebildet werden. Vergleichbares ist von Plattengefügen in Pflugsohlen bekannt.

Fazit und Ausblick

Im Hinblick auf die untersuchten Parameter konnten deutliche Unterschiede sowohl zwischen den untersuchten Grobporen, als auch im

Vergleich zum Gesamtboden, ausgemacht werden.

Zur statistischen Absicherung der Ergebnisse werden weitere Untersuchungen durchgeführt. Dabei werden auch weitere Matrixpotenziale (-1 kPa; -3 kPa und -6kPa) berücksichtigt.

Mit Hilfe von bildgebenden Verfahren (µ-Computertomographie) werden Aussagen zur Konnektivität und Tortuosität der Poren getroffen. Durch die Verknüpfung der Ergebnisse von Wittig et al. (2015) sollen die Aussagen zur Konnektivität und Tortuosität verifiziert werden.

Literatur

Hallett, P. D., Gordon, D. C., Bengough, A. G. (2003): Plant influence on rhizosphere hydraulic properties: direct measurements using a miniaturized infiltrometer. *New Phytol.* (2003) 157: 597-603/157(3): 597-603.

Rappoldt, C. (1995): Measuring the millimetre-scale oxygen diffusivity in soil using microelectrodes. *Europ. J. Soil Sci.* 1995, 46, 169-177.

Wittig, M. C., Uteau Puschmann, D., Haas, C., Holthusen, D., Horn, R., Peth, S., (2015): *Morphologische Untersuchung der 3D-Architektur von Bioporen mittels Mikrotomographie (µCT)*. In: Unsere Böden - unser Leben (DBG Jahrestagung 2015), 05.-10.09.2015, München.

Literatur

Wir möchten der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Finanzierung dieser Arbeit danken. Einem besonderen Dank gelten auch Marcel Lüsebrink und PD Dr. Timo Kautz vom Institut für Ökologischen Landbau der Universität Bonn für die Unterstützung der Feldkampagnen.