

## Pflanzenbauliche Nutzung von Bioporen im Unterboden

Perkons, U.<sup>1</sup>, Küpper, P. M.<sup>1</sup>, Kautz, T.<sup>1</sup>, Köpke, U.<sup>1</sup>

*Keywords: Fruchtfolge, Bioporen, Wurzellängendichte, Gaswechsel, Blattflächenindex*

### Abstract

*Biopores act as pathways for the roots of following crops to access water and nutrients stored in the subsoil. Their role for nutrient management is especially important under the conditions of Organic Agriculture. In a field trial on Haplic Luvisol, chicory (*Cichorium intybus* L., tap root system) and tall fescue (*Festuca arundinacea*, fibrous root system) were grown as precrops. Effects on biopore density, root-length density (RLD), leaf area index (LAI), biomass, transpiration and photosynthesis of following winter barley (*Hordeum vulgare* L.) were measured.*

*Biopore density and RLD declined with soil depth. In all depth levels biopore density was higher after chicory in comparison to fescue. Between 95 and 125 cm soil depth the difference was significant. From 135 – 200 cm soil depth RLD of winter barley after chicory was significantly higher compared with RLD after fescue (BBCH 92 – 93). LAI and by trend biomass of winter barley gave higher values after chicory, whereas rates of photosynthesis and transpiration did not show differences.*

### Einleitung und Zielsetzung

Biogene Poren, kriert durch Wurzeln und Regenwürmer, können die Wasserinfiltration und die räumliche Zugänglichkeit zu Wasser und Nährstoffen des Unterbodens für nachfolgende Pflanzen erhöhen (McMahon & Christy 2000). Dieser Sachverhalt kann besonders unter den nährstofflimitierten Bedingungen des Ökologischen Landbaus von Bedeutung sein.

Im Fokus der hier dargestellten Untersuchungen steht die Frage, ob auf Ackerstandorten durch Anpassungen der Fruchtfolgegestaltung die Bioporendichte im Unterboden erhöht und positive Wirkungen für Nachfrüchte erzielt werden können.

### Methoden

Der mehrfaktorielle Feldversuch wurde auf dem Campus Klein-Altendorf (50°37'9"N 6°59'29"E) angelegt. Die Lehr- und Forschungsstation der Universität Bonn liegt in der Voreifel, auf der Hauptterrasse des Rheins zwischen Meckenheim und Rheinbach. Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 625 mm und die mittlere Jahrestemperatur 9,6 °C. Die Normparabraunerde aus Löss erreicht Bodenzahlen von 85 bis 95. Mit dem Ziel der Erhöhung der Bioporendichte wurde zwei Jahre kontinuierlich Wegwarte (Ww 2) angebaut, die ein tiefgründiges Pfahlwurzelsystem besitzt. Als Referenz diente die Fruchtfolge Hafer – Rohrschwingel mit homorhizen Wurzelsystemen (Ha-Rs). Als Nachfrüchte wurden 2010 Sommerweizen (*Triticum aestivum* L.) und 2011 Wintergerste (*Hordeum vulgare* L.) angebaut. Die Parzellen maßen 6 x 10 m, es wurden vier Feldwiederholungen angelegt.

---

<sup>1</sup> Institut für Organischen Landbau, Universität Bonn, Katzenburgweg 3, 53115 Bonn, Deutschland, [iol@uni-bonn.de](mailto:iol@uni-bonn.de), <http://www.iol.uni-bonn.de>

**Tabelle 3: Variantenübersicht**

Variante	2008	2009	2010	2011
Ha-Rs	Hafer	Rohrschwengel	Sommerweizen	Wintergerste
Ww 2	Wegwarte	Wegwarte	Sommerweizen	Wintergerste

Die Erfassung der Bioporendichte wurde im Juni und Juli 2011 in den Varianten Ww 2 sowie Ha-Rs in zweifacher Feldwiederholung durchgeführt. Dazu wurde in 45 cm Bodentiefe eine ebene Fläche (0,25 m<sup>2</sup>) freigelegt, ohne den Boden zu verschmieren. Anschließend wurden mit einem Industriestaubsauger alle losen Bodenkrümel abgesaugt. Die Poren wurden auf einer durchsichtigen Folie ortstreu aufgezeichnet. Dieser Vorgang wurde in Tiefenstufen von 10 cm bis 155 cm Bodentiefe wiederholt.

Die Wurzellängendichte wurde mit der Profilwandmethode nach (Böhm 1979) quantifiziert. Dazu wurde in einer Grube (2,30 m tief) in Querrichtung zur Saatreihe mit einem Flachspaten und Maurerblechen eine glatte Wand geschaffen und alle aus der Wand herausragenden Wurzeln mit einer feinen Schere entfernt. Anschließend wurde mit einer Druckspritze 0,5 cm Erde von der Wand gewegewaschen. Ein Rahmen mit einem Innenmaß von 100 x 60 cm und einem 5 x 5 cm Gitter wurde an die vorbereitete vertikale Fläche angelegt und in jedem Quadrat die Wurzellänge über Wurzellängeneinheiten (WLE) von 0,5 cm geschätzt. Die Wurzellängendichte (WLD) wurde mit der Formel

$$WLD \left[ \text{cm} \cdot \text{cm}^{-3} \right] = \frac{WLE \cdot 0,5 \text{ cm}}{5 \text{ cm} \cdot 5 \text{ cm} \cdot 0,5 \text{ cm}}$$

berechnet. Die WLD wurde in Abhängigkeit von der Durchwurzelungstiefe bis maximal 2 m Bodentiefe bestimmt. Im Vegetationsverlauf wurde jede Parzelle fünfmal beprobt; es werden der dritte und der fünfte Untersuchungstermin dargestellt (Abbildung 1).

Die Transpirations- und Photosyntheseraten der Gerste wurden mit einem Porometer (CIRAS 2, PP Systems) erfasst. Dazu wurden zu fünf Terminen zehn gesunde Fahnenblätter je Parzelle ausgewählt und in der Küvette unter konstanten Bedingungen (Beleuchtung/Photonenflussdichte: 1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; Gasvolumenstrom: 200 mL  $\text{Min}^{-1}$ ; CO<sub>2</sub>-Konzentration: 400 ppm) eingespannt. Nach ca. 1 – 3 Minuten stellten sich stabile Gaswechselraten ein, deren Werte gespeichert wurden. Die Messungen umfassten den Zeitraum 18. April bis 27. Juni 2011.

Die Bestandesparameter Blattflächenindex (BFI) und oberirdische Biomasse wurden zu fünf bzw. vier Terminen ab dem 17. Februar bzw. 18. April bis zum 1. Juni erhoben. Dazu wurden je Parzelle und Termin zwei Sprossernteflächen zu je 0,25 m<sup>2</sup> destruktiv beprobt.

### Ergebnisse

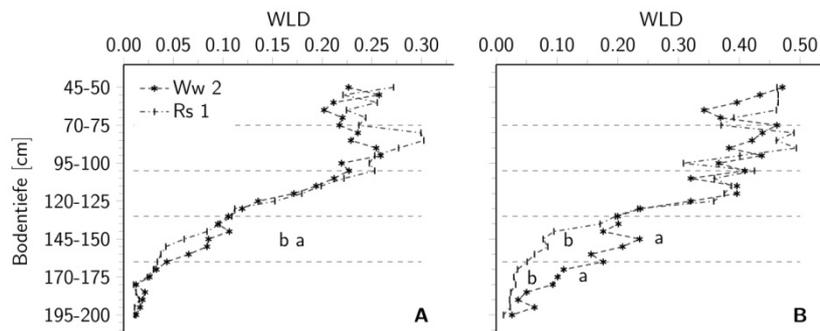
Nach beiden Vor-Vorfrüchten nahmen die Bioporendichten mit zunehmender Bodentiefe ab (Tabelle 2). Im Vergleich der Kulturarten wurde nach der allorhizen Vorfrucht Wegwarte in allen Tiefenstufen eine höhere Bioporendichte ermittelt als nach dem homorhizen Rohrschwengel. In 95 bis 125 cm Bodentiefe war dieser Unterschied signifikant.

**Tabelle 4: Anzahl Bioporen ( $\varnothing > 2$  mm)  $m^{-2}$  in Abhängigkeit von der Bodentiefe und der Vorfruchtvariante**

Bodentiefe [cm]	Ww 2	Ha-Rs	Signifikanz
45-65	731	559	n.s.
65-95	451	400	n.s.
95-125	345	209	*
125-145	165	155	n.s.

n.s.: nicht signifikant; \* signifikant für  $P < 0,05$ ; Mann-Whitney-U-Test

Die Wurzellängendichte (WLD) der Wintergerste nahm zu beiden Terminen mit zunehmender Bodentiefe ebenfalls ab (Abbildung 1). Zu BBCH 59 – 62 war die WLD der Gerste nach Ha-Rs zwischen 45 und 125 cm tendenziell erhöht, während sich hier zum Ende der Vegetationsperiode keine Unterschiede mehr zeigten. Unterhalb von 120 cm Bodentiefe sank die WLD deutlich. Zwischen 135 und 165 cm war die WLD nach Ww 2 bereits zu BBCH 59 – 62 signifikant erhöht. Zur Totreife der Wintergerste (BBCH 92 – 93) nahm die WLD nach Ha-Rs ab 120 cm Tiefe deutlicher ab als nach Ww 2; sie war in 135 bis 165 cm und 165 bis 200 cm Bodentiefe nach Ww 2 signifikant erhöht.



**Abbildung 4: Wurzellängendichte (WLD) von Wintergerste in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodentiefe; A: BBCH 59 – 62, 16. – 26. Mai 2011; B: BBCH 92 – 93, 01. – 08. Juli 2011; Varianten mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb einer Tiefenklasse unterscheiden sich signifikant;  $P < 0,05$ ; Mann-Whitney-U-Test**

Die Messungen der nachfolgenden Spross-Parameter wurden vom 17. – 19. Mai zu BBCH 59 – 62 erhoben. Die Gerste bildete nach Ww 2 vs. Ha-Rs mehr Blattfläche (BFI 4,8 vs. 3,9; signifikant) und mehr Sprossmasse (14,1 vs. 12,6 t TM  $ha^{-1}$ ; nicht signifikant). Die Vor-Vorfruchtvarianten Ww 2 und Ha-Rs unterschieden sich in ihrem Einfluss auf die Transpirationsraten (2,47 bzw. 2,31  $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ) und Photosyntheseraten (10,82 bzw. 10,45  $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ) der Gerste nicht.

## Diskussion

Durch die verschiedenen Wurzelsysteme der Vorfrüchte wurden unterschiedlich hohe Bioporendichten generiert. Der Unterschied war allerdings nur in der Bodentiefe von 95 bis 125 cm signifikant. Auch McCallum et al. (2004) zeigten in einem Feldversuch signifikant erhöhte Bioporendichten  $\varnothing > 2$  mm nach mehrjährigem Anbau von Luzerne (allorhiz) im Vergleich zu Glanzgrasanbau (homorhiz).

Die WLD zeigte im tiefen Unterboden eine Reaktion der Gerste auf die verschiedenen Vor-Vorfrüchte. Daraus lässt sich die Vermutung ableiten, dass Bioporen von Wurzeln zur Erschließung des Unterbodens genutzt werden konnten, wie schon von Ehlers et al. (1983) beschrieben. Auffällig ist allerdings, dass die WLD in der Bodentiefe mit der stärksten Differenzierung der Bioporendichte (95 bis 125 cm) keine signifikanten Unterschiede aufweist. Diese treten erst unterhalb von 135 cm in einer Bodentiefe auf, in der die Bioporendichten nach beiden Kulturen bereits deutlich abnehmen. Vermutlich können Wurzeln beim Übergang vom vergleichsweise dichten Bt- zum C-Horizont (ab etwa 130 cm Bodentiefe) aus Bioporen auswachsen und das Kohärentgefüge des *bulk*-Bodens umfangreich erschließen (Athmann et al. 2012). Der höhere BFI der Wintergerste nach Ww 2 deutet auf einen positiven Zusammenhang zur höheren WLD hin. Nachdem die Unterschiede der WLD schon relativ früh in der Vegetationsperiode vorhanden waren (BBCH 59-62), reagierte die Gerste mit phänotypischer Differenzierung. Demgegenüber zeigten Untersuchungen der Vorfrucht Sommerweizen 2010 am gleichen Standort, dass die Pflanzen nach Ww 2 vs. Ha-Rs sich zwar hinsichtlich ihrer BFI nicht unterschieden, aber nach Ww 2 während einer Trockenperiode höhere Gaswechselraten aufwiesen (Küpfer et al. 2012). Vermutlich sind die Wirkungen von Bioporen auf das Pflanzenwachstum in erheblichem Maße von Umweltbedingungen (insbesondere der Verteilung der Bodenfeuchte) abhängig, aber auch von der zeitlichen Dynamik des Wurzelwachstums (Sommer- vs. Wintergetreide).

### Schlussfolgerungen

Es ist anzunehmen, dass die größere WLD im Unterboden einen Beitrag zur höheren Versorgung des Getreides mit Wasser und ggf. mit Nährstoffen beigetragen hat. Die Vorfrucht Ww 2 führte im Vergleich zu Ha-Rs bei Sommerweizen (2010) zu höheren Gaswechselraten, wohingegen Wintergerste (2011) höhere BFI ausbildete. In weiteren Untersuchungen mit gesteuerten Bodenwassergehalten (*rain shelter*) und Nährstoffgehalten im Oberboden soll der Einfluss von Bioporen im Unterboden weiter erforscht werden.

### Danksagung

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung im Rahmen der DFG FOR 1320 *Crop Sequence and the Nutrient Acquisition from the Subsoil*.

### Literatur

- Athmann, M., Kautz, T. & Köpke, U. (2012) Charakterisierung des Wurzelwachstums in Bioporen mit *in situ* Endoskopie. Tagungsband 12. WiTa Ökolog. Landbau, Bonn, 5.-8. März 2013.
- Böhm, W. (1979) *Methods of Studying Root Systems*. Springer-Verlag, Berlin.
- Ehlers, W., Köpke, U., Hesse, F. & Böhm, W. (1983) Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Till. Res.*, 3: 261–275
- Küpfer, P.M., Antar, P.M., Kautz, T. & Köpke, U. (2012) Photosynthese- und Transpirationsraten von Sommerweizen und Futtermalve in Abhängigkeit von Feldfutter-Vorfrüchten und deren Anbaudauer. *Mitt. Ges.Pflanzenbauwiss.*, 24: 140–141.
- McCallum, M.H., Kirkegaard, J.A., Green, T.W., Cresswell, H.P., Davies, S.L., Angus, J.F. & Peoples, M.B. (2004) Improved subsoil macroporosity following perennial pastures. *Aust. J. Exp. Agr.*, 44: 299–307.
- McMahon, M.J. & Christy, A.D. (2000) Root growth, calcite precipitation, and gas and water movement in fractures and macropores: A review with field observations. *Ohio J. Sci.*, 100: 88–93.