

## Charakterisierung des Wurzelwachstums in Bioporen mit *in situ* Endoskopie

Athmann, M.<sup>1</sup>, Kautz, T.<sup>1</sup> und Köpke, U.<sup>1</sup>

*Keywords: Bioporen, Wurzel-Boden-Kontakt, Wurzelmorphologie, Endoskopie*

### Abstract

*More information on root growth in biopores is needed for quantifying nutrient acquisition from the subsoil. The article presents an approach for using in situ endoscopy in biopores that allowed to quantify root-soil contact and detect differences in root morphology and orientation between mallow (*Malva sylvestris* L.) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.). While 85 % of all wheat roots entered the biopores laterally from the bulk soil, mallow roots in biopores grew predominantly (69 %) with vertical orientation and established contact to the pore wall predominantly via lateral roots. The current status and future perspectives of the method are discussed.*

### Einleitung und Zielsetzung

Strategien der Nährstoffakquisition aus der Festphase des Bodens sind Bestandteil des Nährstoffmanagements im ökologischen Landbau. Durch Pfahlwurzeln generierte und von Regenwürmern genutzte Bioporen stellen nährstoffangereicherte Zugangswege in den Unterboden (Drilosphäre). Wurzeln im Unterboden spielen für die Wasser- und Nährstofferschließung der Pflanzen eine zentrale Rolle, sind aber aufgrund der erschwerten Zugänglichkeit im Vergleich zu den oberirdischen Pflanzenteilen vergleichsweise wenig erforscht. Trotz begrenzter Möglichkeiten der pflanzenbaulichen Beeinflussung kann der Anteil der aus dem Unterboden aufgenommenen Nährstoffe vergleichsweise hoch sein, z. B. bei Sommerweizen für Phosphor unter günstigen Umständen bis zu 85 % (Kuhlmann & Baumgärtel 1991).

Im Unterboden ist die Drilosphäre im Vergleich zum umgebenden *bulk*-Boden durch höhere Nährstoffdichte sowie höhere mikrobielle Aktivität gekennzeichnet (u. a. Graff 1967, Pankhurst *et al.* 2002). Bei fehlendem Wurzel-Boden-Kontakt kommen diese positiven Effekte auf die Nährstoffakquisition nicht zum Tragen. Der vermutlich maßgeblich durch die Wurzelarchitektur beeinflusste Wurzel-Boden-Kontakt in Bioporen ist demnach eine wichtige Einflussgröße für eine möglichst exakte Quantifizierung der aus der Drilosphäre aufgenommenen Nährstoffe. Mit den derzeit verfügbaren Methoden wie Profilwand, Dünnschliffen und Minirhizotronen ist die Beobachtung der Wurzeln im ungestörten Boden nicht möglich. Minimalinvasive Techniken wie Röntgencomputertomographie sind auf der Feldskala nicht einsetzbar (Methodenüberblick bei Kautz *et al.* im Druck).

Eine praktikable und hinreichend präzise Methode zur Quantifizierung des Wurzel-Boden-Kontakts in Bioporen kann der Einsatz angepasster Endoskopie bieten. Mit diesem originär von uns entwickelten *in situ*-Ansatz kann die räumliche Verteilung und Orientierung der Wurzeln in Bioporen weitgehend frei von mechanischer Beeinflussung und zudem vollständig für eine repräsentative Fläche erfasst werden.

---

<sup>1</sup> Institut für Organischen Landbau, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Katzenburgweg 3, 53115 Bonn, mathmann@uni-bonn.de, www.iol.uni-bonn.de, www.for1320.uni-bonn.de

## Methoden

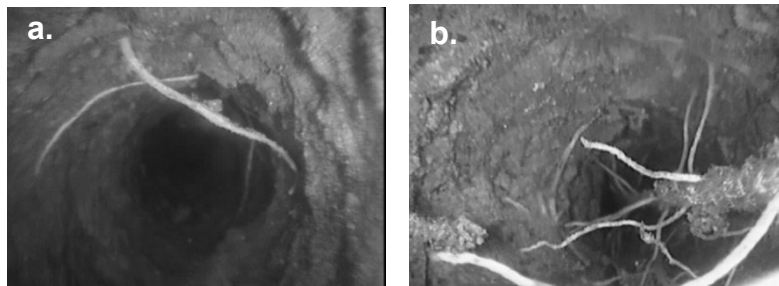
Die Untersuchungen wurden im Juli und August 2010 in einem Feldversuch auf einer Parabraunerde aus Löss in Klein-Altendorf bei Bonn (50°37'9"N 6°59'29"E, mittlere Jahrestemperatur 9,6 °C, Jahresniederschlag 625 mm) durchgeführt. Mit einem flexiblen Videoskop (Karl Storz GmbH, Tuttlingen, Außendurchmesser 3.8 mm, belichtet mittels eines 150-W-Kaltlichtprojektors), wurden Wurzeln von Futtermalve (*Malva sylvestris* L.) und Sommerweizen (*Triticum aestivum* L.) in Bioporen in 45-105 cm Tiefe untersucht.

Ausgehend von horizontalen, seitlich in einer Profilwandgrube angelegten Flächen (35 cm x 120 cm) in 105 cm Tiefe wurde das Endoskop von unten in mit einem Staubsauger freigelegte Bioporen mit einem Durchmesser > 5 mm auf einer Strecke von bis zu 10 cm eingeführt. Nach Untersuchung aller Bioporen innerhalb der Beprobungsfläche in 105 cm Tiefe wurden 10 cm Boden nach oben abgetragen und auf diese Weise schrittweise sechs Tiefenstufen bis 55 cm Bodentiefe untersucht. Dabei wurden alle sichtbaren Wurzelteile in den ungestörten, noch nicht durch das Endoskop berührten Porenbereichen fotografiert und bis zur weiteren Analyse gespeichert.

Anhand der Fotos wurden die Wurzeln visuell hinsichtlich Orientierung und Kontakt mit der Porenwand klassifiziert. Für die statistische Auswertung wurde wegen nicht gegebener Normalverteilung der Daten der parameterfreie Wilcoxon-Test  $\alpha = 0,05$  verwendet. Die Tests wurden mit PROC NPAR1WAY mit SAS 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) durchgeführt.

## Ergebnisse

Es wurden charakteristische Unterschiede hinsichtlich der Orientierung und des Wurzel-Boden-Kontaktes in Bioporen festgestellt (Abb. 1). Die Wurzeln des homorhiz wachsenden Weizens wuchsen zu einem großen Teil von der Seite in die Poren ein und standen in direktem Kontakt mit der Porenwand. Demgegenüber wuchsen die Pfahlwurzeln der Malve vornehmlich vertikal ohne direkten Kontakt zur Porenwand, nahmen aber durch eine hohe Anzahl Seitenwurzeln Kontakt zur Porenwand auf, die dann horizontal in den angrenzenden *bulk*-Boden einwuchsen.



**Abbildung 1: Wurzelwachstum in Bioporen von a. Sommerweizen und b. Futtermalve**

Die quantitative Auswertung bestätigte den visuellen Eindruck. Bei Weizen war der Anteil einwachsender Wurzeln, bei der Malve der Anteil vertikal wachsender Wurzeln

signifikant höher (Tab. 1). Ein Teil der Malvenwurzeln wuchs zudem spiralförmig an der Porenwand entlang.

**Tabelle 1: Orientierung der Wurzeln in der Biopore**

Kulturart	Orientierung (% aller Wurzeln)			
	vertikal	einwachsend	spiralförmig	unklar
Sommerweizen	11,2 a	84,7 b	0,0 a	4,1
Futtermalve	69,1 b	17,7 a	8,7 b	4,5

Unterschiedliche Buchstaben: Kulturarten unterscheiden sich signifikant für  $\alpha=0,05$ , Wilcoxon-Test  
 Die bei Weizen überwiegend einwachsenden Wurzeln stehen in allen Fällen in Kontakt mit der Porenwand, ebenso die spiralförmig wachsenden Wurzeln der Malve. Die Klassifizierung „unklare Orientierung“ trat fast ausschließlich in verfüllten Poren auf, auch diese Wurzeln hatten daher meist Kontakt zur Porenwand. Für vertikal wachsende Wurzeln ergab sich demgegenüber ein differenzierteres Bild (Tab. 2): Während 55 % der vertikal wachsenden Weizenwurzeln in direktem Kontakt zur Porenwand standen, traf dies nur für 8 % der vertikalen Malvenwurzeln zu. Der weitaus größte Teil der Malvenwurzeln (83 %) nahm über Seitenwurzeln indirekt Kontakt zur Porenwand auf. Bei beiden Kulturarten wuchs nur ein kleiner Teil der vertikal wachsenden Wurzeln ohne Kontakt zur Porenwand.

**Tabelle 2: Kontakt der Wurzeln zur Porenwand**

Kulturart	Kontakt vertikal wachsender Wurzeln (%)			
	Direkter Kontakt	Direkter Kontakt und Kontakt über Seitenwurzeln	Kontakt ausschließlich über Seitenwurzeln	Kein Kontakt
Sommerweizen	54,5	27,3	0,0	18,2
Futtermalve	7,7	28,4	54,1	9,8

## Diskussion

Der in diesem Beitrag durchgeführte Vergleich des Wurzelwachstums in Bioporen verschiedener Kulturarten knüpft an die von Kautz & Köpke (2010) eingeführte Methodik an. Für die Auswertung der Bilder wurden die dort vorgestellten, für die Kontaktfläche Wurzel-Boden entscheidenden Kategorien angepasst und erweitert. Die auf diese Weise durchgeführte Quantifizierung des Wurzel-Boden-Kontakts zeigt, dass bei beiden hier untersuchten Kulturarten der weitaus größte Teil der Wurzeln Kontakt zur Porenwand aufnimmt. Beide Arten nutzen somit die im Vergleich zum umgebenden *bulk*-Boden nährstoffreiche Porenwandung.

Darüber hinaus ermöglichten die endoskopischen Untersuchungen auch eine Charakterisierung unterschiedlicher, durch die unterschiedliche Morphologie der beiden Wurzelsysteme bedingte Strategien der Nährstoffakquisition in Bioporen verschiedener Kulturpflanzen mit homorhizem und allorhizem Wurzelsystem. Die Frage, inwieweit die hier detektierten Unterschiede für homorhize und allorhize Wurzelsysteme verallgemeinert werden können, wird Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein. Eine an demselben Standort durchgeführte Auswertung von Orientierung und Wurzel-Boden-Kontakt für Gerste und Raps zeigt Unterschiede in ähnlicher Richtung.

Neben der Untersuchung des Wurzelwachstums ist mit *in situ* Endoskopie auch eine Klassifizierung der Porenauskleidung (mit oder ohne frische Regenwurmlosung) mög-

lich. Auf diese Weise soll, in Kombination mit den entsprechenden chemischen Analysen, zudem auf den Nährstoffgehalt der Porenwandung rückgeschlossen werden.

In Ergänzung zu Nährstoffanalysen, Daten zum Bodengefüge und zum Wasserhaushalt sowie zu an der Profilwand und mit Bodenmonolithen erfassten Wurzelparametern können die hier vorgestellten endoskopischen Beobachtungen Eingangsparemeter für ein Systemmodell zur Quantifizierung der Nährstoffakquisition aus dem Unterboden liefern, das im Rahmen der o. g. Forschergruppe erstellt wird.

### Schlussfolgerungen

*In situ* Endoskopie ermöglicht die Quantifizierung des Wurzel-Boden-Kontaktes in Bioporen sowie die Charakterisierung verschiedener, durch die Wurzelarchitektur bedingter Strategien der Kontaktaufnahme zur Porenwand. In Kombination mit detaillierten Untersuchungen von chemischen und physikalischen Parametern des porenbeeinflussten Bodenraums können die endoskopischen Untersuchungen somit präzise Informationen zur Nährstoffakquisition im Unterboden liefern.

### Danksagung

Die Untersuchungen wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen der Forschergruppe DFG FOR 1320 finanziert.

### Literatur

- Graff O. (1967): Über die Verlagerung von Nährelementen in den Unterboden durch Regenwurm-tätigkeit. *Landwirt Forsch* 20: 117-127.
- Kautz T., Köpke U. (2010): In situ endoscopy: New insights to root growth in biopores. *Plant Bio-systems* 144 (2): 440-442.
- Kautz T., Amelung W., Ewert F. *et al.* (2012): Nutrient acquisition from arable subsoils in temperate climates: a review. *Soil Biol Biochem*, im Druck. DOI: 10.1016/j.soilbio.2012.09.014
- Kuhlmann H. Baumgärtel G. (1991): Potential importance of the subsoil for the P and Mg nutrition of wheat. *Plant Soil* 137: 259-266.
- Pankhurst C. E., Pierret A., Hawke B. G., Kirby J. M. (2002): Microbiological and chemical properties of soil associated with macropores at different depths in a red-duplex soil in NSW Australia. *Plant Soil* 238: 11-20.