

**Tagungsbeitrag zu:**

Jahrestagung der DBG, K I – Bildgebende Verfahren in den Bodenwissenschaften

**Titel der Tagung:**

Unsere Böden - Unser Leben

**Veranstalter:**

DBG, 05.-10. September 2015, München

Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation)

<http://www.dbges.de>

**MORPHOLOGISCHE UNTERSUCHUNG DER 3D-ARCHITEKTUR VON BIOPOREN MITTELS MIKROTOMOGRAPHIE ( $\mu$ CT)**

Marlen C. Wittig<sup>1</sup>, Daniel Uteau Puschmann<sup>1</sup>, Christoph Haas<sup>2</sup>, Dörthe Holthusen<sup>2</sup>, Rainer Horn<sup>2</sup>, Stephan Peth<sup>1</sup>

**Schlüsselwörter:** Bioporen,  $\mu$ CT, Rhizosphäre, Drilosphäre

**Einleitung**

Bioporen sind Makroporen, die durch Wurzelwachstum und Regenwurmaktivität entstehen und verändert werden. Als präferentielle Fließpfade für Wasser, Nährstoffe und Sauerstoff, erfüllen sie wichtige Transport- und Austauschfunktionen zwischen dem Ober- und Unterboden. Die Nährstoffakkumulation und -bereitstellung in den Bioporen und dem lateralen Porennetzwerk unterliegt einer andauernden Beeinflussung durch Wurzelwachstum und Re-

genwurmaktivität. Laterale Porenkanäle entstehen bspw. durch sekundäre Seitenwurzeln, die sowohl positiv auf die Nährstoffzugänglichkeit in der Rhizosphäre einwirken (*Drew and Saker, 1975*) als auch den Gasaustausch innerhalb des Porennetzwerkes fördern (*Uteau et al., 2013*). Der radiale Druck der beim Wachstum der Wurzel und der Fortbewegung des Regenwurms entsteht, verändert die Dichte und Dicke der Porenwand (*Capowiez et al., 2009; Materechera et al., 1992; Pagenkemper et al., 2015; Ruiz et al., 2015*). Bioporen werden durch Regenwurmausscheidungen „tapeziert“, wodurch sich die Zusammensetzung des organischen Bodenmaterials der Bioporenwandung sowie die Oberflächenzugänglichkeit für Mikroorganismen und laterale Austauschprozesse zwischen Rhizosphäre und Bodenmatrix ändern (*Don et al., 2008; Jégou et al., 2001; Lamandé et al., 2003*). Um den Einfluss dieser mikroskaligen Strukturveränderungen auf die Nährstoffaufnahme in Unterböden besser zu verstehen, sind Daten über Wurzel- und Regenwurm-induzierte Bioporen und deren morphologische Charakteristika insbesondere innerhalb der Rhizo-Drilosphäre, der Porenwandungen und der Topologie des Porennetzwerkes notwendig. Diese Daten stellen einen wichtigen Ausgangspunkt für die Entwicklung

<sup>1</sup>Fachgebiet Bodenkunde, Universität Kassel

<sup>2</sup>Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts Universität zu Kiel

\*Kontakt: [mcwittig@uni-kassel.de](mailto:mcwittig@uni-kassel.de)

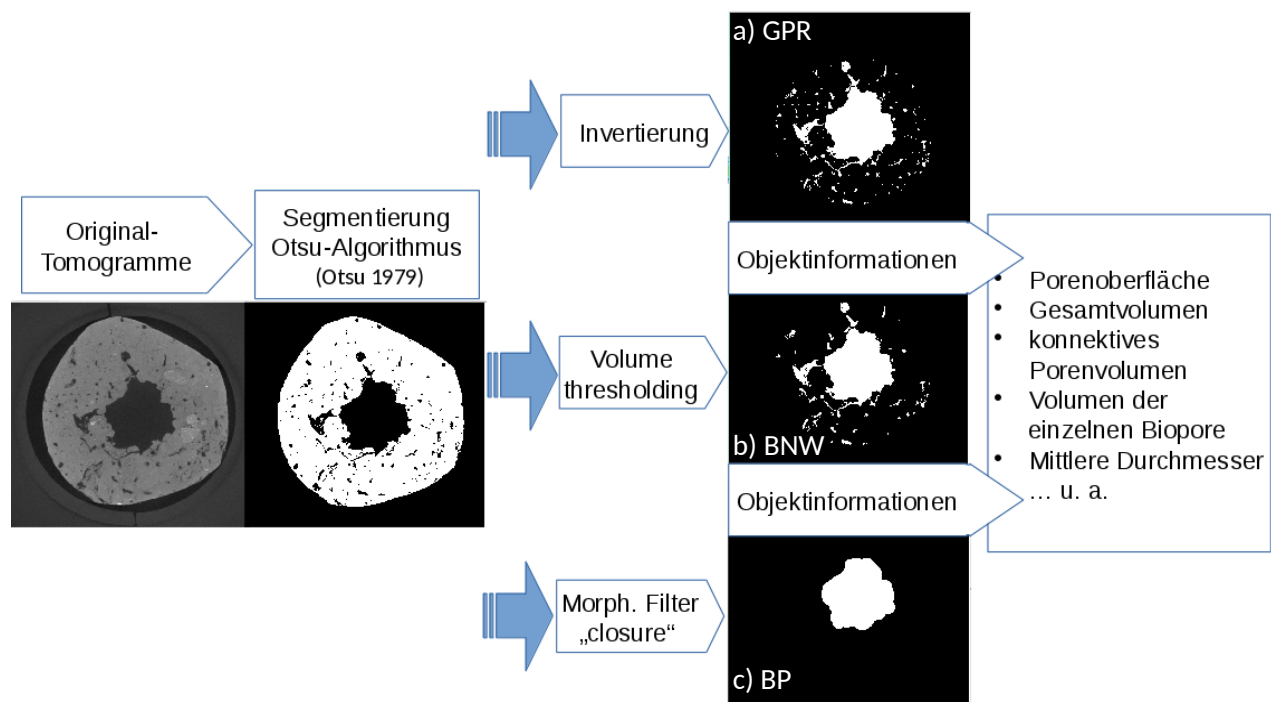


Abbildung 1: Bildverarbeitungsschritte in ToolIP. Die segmentierten Tomogramme wurden in drei Datensätze differenziert. a) Gesamtporenraum (GPR), b) Biopore mit konnektivem Netzwerk (BNW) und c) isolierte Biopore (BP).

und Parametrisierung von porenskaligen Modellansätzen dar, mit deren Hilfe sich die Nährstoffdynamik in Unterböden prozessorientiert beschreiben ließe.

Ein erster Ansatzpunkt, den Verlust an Konnektivität und zugänglicher Oberfläche innerhalb des Porennetzwerkes durch eine Abtrennung lateraler Porenkanäle, wie sie etwa durch Regenwurmaktivität verursacht werden kann, basiert auf einer morphologischen Bildbearbeitung bei der wurzelgenerierte Seitenporen „virtuell“ von der Biopore abgetrennt werden. Daraus lassen sich auch Rückschlüsse auf den Lebensraum von Mikroorganismen (z.B. Sauerstoffversorgung) und der damit verbundenen potenziellen Mobilisierung von Nährstoffen in der Rhizosphäre ziehen.

## Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurden gezielt einzelne Bioporen durch ungestörte Bodenkerne aus dem Unterboden (45 bis 65 cm Tiefe) einer Parabraunerde aus Löss, nach dreijährigen Anbau von Zichorie (*Cichorium intybus* L.), auf dem Versuchsgut Klein-Altendorf der Universität Bonn entnommen. Die Bodensäulen (90 Stück, 3 cm Durchmesser x 10 cm Höhe) mit den Bioporen wurden in jeder Parzelle aus Subplots mit 4-5 Replikaten pro Variante der Bioporengese heraus präpariert: 1) reine Wurzelbioporen, 2) reine Regenwurmbioporen und 3) Wurzelbioporen, die durch kontrollierte Inkubation von einem Regenwurm (*Lumbricus terrestris*) modifiziert wurden. Anschließend wurden  $\mu$ CT-Scans mit einem Nanotom 180 (GE Sen-

sing & Inspection Technologies GmbH, Wunstorf) durchgeführt. Die Tomogramme wurden nach Otsu (1979) segmentiert und einer 3D-Bildanalyse in ToolIP (Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern) unterzogen. Dabei wurde der Porenraum in drei Klassen differenziert (Abbildung 1): 1) Gesamtporenraum (GPR), 2) Biopore mit konnektivem Netzwerk (BNW) und 3) die isolierte Biopore (BP). Die Auftrennung erfolgte über ein Volumethresholding, mit dem nicht mit der Biopore verknüpfte Poren herausgefiltert wurden und ein morphologischer Filter (closing), mit dem die konnektiven Seitenporen von der Hauptbiopore abgetrennt wurden. Letzteres hatte zum Ziel, die Modifikation durch Regenwürmer „virtuell“ nachzustellen. An den drei Bilddatensätzen wurden die Porenkonnektivität, -porosität, -oberflächen und -volumina jeweils für eine Wurzelbiopore und eine Regenwurm beeinflusste Wurzelbiopore bildanalytisch bestimmt.

### Erste Ergebnisse

Der Vergleich der Porosität der drei Porenraumklassen einer exemplarischen Wurzelbiopore (W-Porenraum) und einer exemplarischen Regenwurm veränderten Wurzelbiopore (RWW-Porenraum) zeigt, dass der RWW-Porenraum insgesamt höhere Porositäten aufweist (Abbildung 2, oben). Die höheren Porositäten bedeuten jedoch keine höhere Konnektivität. Denn aus der „virtuellen“ Abtrennung des konnektiven Porenraums von der Biopore resultiert eine

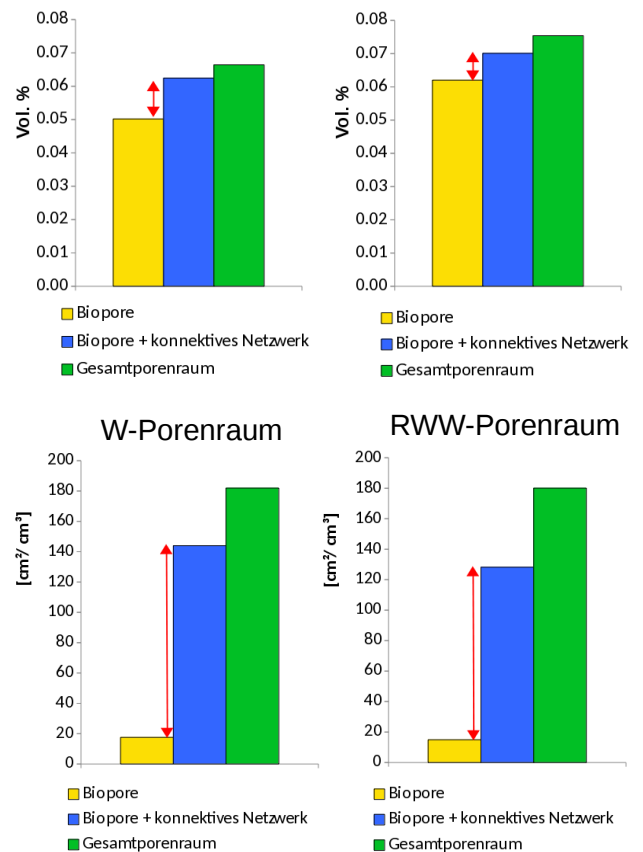


Abbildung 2: Porosität (oben) und Oberflächen-Volumen-Verhältnis (unten) einer Wurzelbiopore (links) und einer Regenwurm beeinflussten Wurzelbiopore (rechts) für die drei Porenraumklassen.

größere Differenz zwischen der Porosität der einzelnen Biopore zur Porosität des konnektiven Netzwerks im W-Porenraum (rote Pfeile) als im RWW-Porenraum. Eine mögliche Ursache hierfür kann in der Blockade von lateralen Porenkanälen durch Regenwurmausscheidungen im RWW-Porenraum liegen (Pagenkemper et al. 2015). Das bedeutet, dass trotz höherer Porosität, die Konnektivität im Vergleich zum W-Porenraum geringer ist. Dieser Aspekt zeigt sich auch durch das Oberflächen-Volumen-Verhältnis. Bei fast gleichen Verhältniswerten von ca.  $180 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$  des

Gesamtporenraums, existiert wesentlich weniger zugängliche Oberfläche pro Volumen im RWW-Porenraum als im W-Porenraum (Abbildung 2, unten).

### **Schlussfolgerungen und Ausblick**

Die Ersten Ergebnisse zeigen einen möglichen Einfluss der Genese der Biopore auf ihre morphologischen Eigenschaften. Die Blockade von lateralen Porenkanälen mindert die zugängliche Porenoberfläche und Konnektivität des Bioporennetzwerkes und hat demzufolge sehr wahrscheinlich einen Einfluss auf Austausch- und Transportprozesse zwischen der Rhizo-Drilosphäre und der Bodenmatrix sowie auf Mikrohabitate, die für Nährstoffumsatz und -mobilisierung durch Mikroorganismen von Bedeutung sind. Genauere Aussagen können erst nach der vollständigen bildanalytischen Auswertung aller gescannten Proben gemacht werden. Des Weiteren sollen aus den morphologischen Eigenschaften Transportfunktionen abgeleitet und mit gemessenen physikochemischen Eigenschaften verglichen werden.

### **Danksagung**

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung des Projektes (DFG-PAK 888). Für die Unterstützung der Feldkampagnen bedanken sich die Autoren bei PD Dr. Timo Kautz und Marcel Lüsebrink vom Institut für Ökologischen Landbau der Universität Bonn.

### **Literatur**

Capowiez, Y., Cadoux, S., Bouchand, P., Roger-Estrade, J., Richard, G., Boizard, H. (2009): Experimental evidence for the role of earthworms in compacted soil regeneration based on field observations and results from a semi-field experiment. *Soil Biol. Biochem.* 41, 711–717.

Don, A., Steinberg, B., Schöning, I., Pritsch, K., Joschko, M., Gleixner, G., Schulze, E.-D. (2008): Organic carbon sequestration in earthworm burrows. *Soil Biol. Biochem.* 40, 1803–1812.

Drew, M.C., Saker, L.R. (1975): Nutrient supply and the growth of the seminal root system in Barley II. Localized, compensatory increases in lateral root growth and rates of nitrate uptake when nitrate supply is restricted to only part of the root system. *J. Exp. Bot.* 26, 79–90.

Jégou, D., Schrader, S., Diestel, H., Cluzeau, D. (2001): Morphological, physical and biochemical characteristics of burrow walls formed by earthworms. *Appl. Soil Ecol.* 17, 165–174.

Lamandé, M., Hallaire, V., Curmi, P., Pérès, G., Cluzeau, D. (2003): Changes of pore morphology, infiltration and earthworm community in a loamy soil under different agricultural managements. *CATENA* 54, 637–649.

Materchera, S.A., Alston, A.M., Kirby, J.M., Dexter, A.R. (1992): Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. *Plant Soil* 144, 297–303.

Pagenkemper, S.K., Athmann, M., Uteau, D., Kautz, T., Peth, S., Horn, R. (2015): The effect of earthworm activity on soil bioporosity – Investigated with X-ray computed tomography and endoscopy. *Soil Tillage Res.* 146, Part A, 79–88.

Ruiz, S., Or, D., Schymanski, S.J. (2015): Soil Penetration by Earthworms and Plant Roots—Mechanical Energetics of Bioturbation of Compacted Soils. *PLOS ONE* 10, e0128914.

Uteau, D., Pagenkemper, S.K., Peth, S., Horn, R. (2013): Root and time dependent soil structure formation and its influence on gas transport in the subsoil. *Soil Tillage Res.* 132, 69–76.