

Tagungsbeitrag zu:
Jahrestagung der DBG, Kommission I
Titel der Tagung:
Böden - eine endliche Ressource
Veranstalter: DBG
Termin und Ort: 05. - 13.09.2009 Bonn
Berichte der DBG (nicht begutachtete
online Publikation) <http://www.dbges.de>

Neutronenradiographische Untersuchungen der kleinräumig heterogenen Wasserbewegung in kohlehaltigen Kippböden

A. Badorreck^{1,2}, H.H. Gerke²
und P. Vontobel³

Zusammenfassung

Böden, die sich aus Abraum des Braunkohletagebaus entwickeln, weisen u.a. durch Sedimentmischungen eine starke Heterogenität auf. Die Wasserbewegung in diesen Kippböden ist komplex; sie scheint vornehmlich entlang von präferentiellen Fließbahnen statt zu finden. Um diese Fließbahnen experimentell zu erfassen und zu quantifizieren wurden Fließexperimente an ungestört entnommen Bodenproben durchgeführt, und mit Hilfe der Neutronenradiographie (PSI Villingen) visualisiert. Exemplarisch werden Infiltrationsvorgänge an vier 2D-Radiographiesequenzen bei zwei verschiedenen Wasserspannungen gezeigt. Des Weiteren wurde ein Multistep-In-Outflow-Experiment durchgeführt um 3D-Wasserverteilungen während der stationären Phasen zu visualisieren, installierte Tensiometer zeichneten den Verlauf der Wasserspannungen während der instationären Phasen auf.

Die Ergebnisse zeigen, dass unter den Versuchsbedingungen nahe Wassersättigung die Wasserbewegung vornehmlich in der Sand-Kohlestaub-Matrix stattfindet. Die

porösen kohligen Fragmente werden dabei teilweise umflossen.

Kippenboden; Neutronenradiographie; präferentieller Fluss

Einleitung

Die sich aus dem Abraum des Braunkohletagebaus entwickelnden Böden bestehen aus einem Gemisch von sandigen quartären Sedimenten mit kohligen oder tonig-schluffigen Fragmenten und Kohlestäuben. Eine zusätzliche Bodenheterogenität in Form von Schüttstrukturen und Verdichtungszone wird durch die Verkipfungstechnik hervorgerufen. Modellanalysen (Gerke et al., 2009) deuten an, dass in dem kleinräumig verteilten Gemenge der einzelnen Komponenten der Sedimente möglicherweise Porennetzwerke existieren, die als bevorzugte Fließwege dienen können. Ziel dieser Untersuchung war es, die vermuteten Fließwege experimentell zu erfassen und zu quantifizieren. Dafür wurden (zunächst auf cm-Skala) Fließexperimente (2D und 3D) an ungestört entnommen Bodenproben dreier Standorte mit Hilfe der Neutronenradiographie visualisiert.

2D-Experiment

In einem ersten Experiment wurde der 2D vertikale ungesättigte Wasserfluss durch scheibenförmige Bodenproben (13 x 13 cm², 2 cm dick) dargestellt. Dazu wurde zunächst ein stationärer vertikaler Fluss mit Deuteriumoxid (D₂O) bei -5 bzw. -30 hPa eingestellt, und danach die Infiltration auf Wasser (H₂O) umgestellt, und zeit aufgelöst Neutronenradiographien (NEUTRA, Paul Scherrer Institut, Villingen, CH) aufgenommen.

Die Radiographieserien bei -5 hPa (Abb. 1) zeigen unterschiedliches Infiltrationsverhalten der drei untersuchten Böden.

¹ Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung, Brandenburgische Technische Universität, Cottbus (badorreck@tu-cottbus.de); (2) Institut für Bodenlandschaftsforschung, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg (hgerke@zalf.de); (3) Spallation Source Division, Paul-Scherrer-Institut (PSI), Villingen, Schweiz (peter.vontobel@psi.ch)

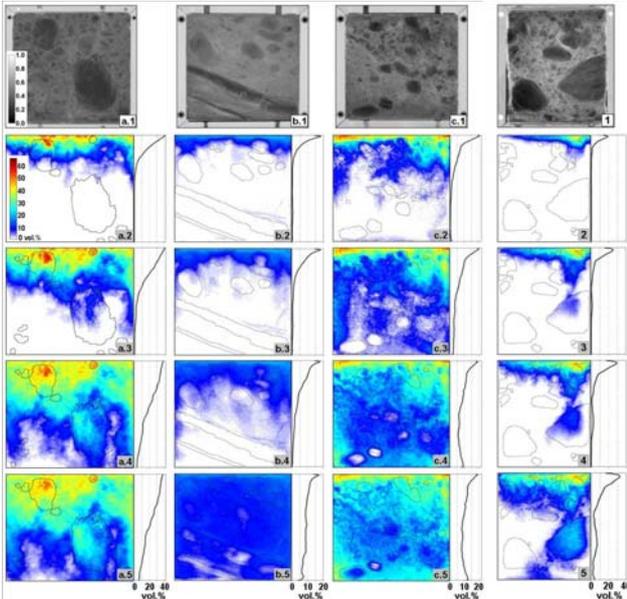


Abb.1. Wasserfreie Radiographien (1. Reihe oben) von den drei Proben (a-c) bei -5 hPa und der Probe bei -30 hPa (rechte Spalte) sowie Verteilungen der H₂O-Gehalte (2. -5. Reihe darunter) während des stationären Flusses nach 15 (Reihe 2), 30 (Reihe 3) und 60 min (Reihe 4) und bei Versuchende (Reihe 5); die rechte Spalte für die Probe bei -30 hPa zeigt H₂O-Gehalte nach 150 (2), 285 (3), 390 (4) und 840 min (5).

Die Fließwege in der Probe mit relativ jungen kohligen Fragmenten (Abb. 1, links) sind auf wenige Bereiche in Matrix und Kohlefragment begrenzt. Bei der Probe aus einem älteren Kippboden werden die kohligen Fragmente hingegen meist umflossen (Abb. 1, Spalte c). Die Fließbahnen werden an schräg gestellten Sedimentschichten seitlich abgelenkt (Abb. 1, Spalte b). Ein Einfluss von eingeschlossenen Fragmenten und Strukturen war an allen Proben erkennbar. Ein Vergleich des Infiltrationsverlaufs bei -5 hPa und -30 hPa an Proben des gleichen Bodens (1. und 4. Spalte) zeigt zudem, dass sich die Wasserbewegung bei höherer Saugspannung noch stärker auf die Umgebung der Kohlefragmente konzentriert.

3D-Experiment

In einem zweiten Experiment wurde die 3-D Wassergehaltsverteilung während stationärer Phasen eines Multistep-Experimentes (mit den Bewässerungsstufen -120, -30, -15, -3 hPa und Entwässerungsstufen -15 und -30 hPa) untersucht. In eine ungestört entnommene zylindrische Bodenprobe (61 cm³), wurden Miniatur-

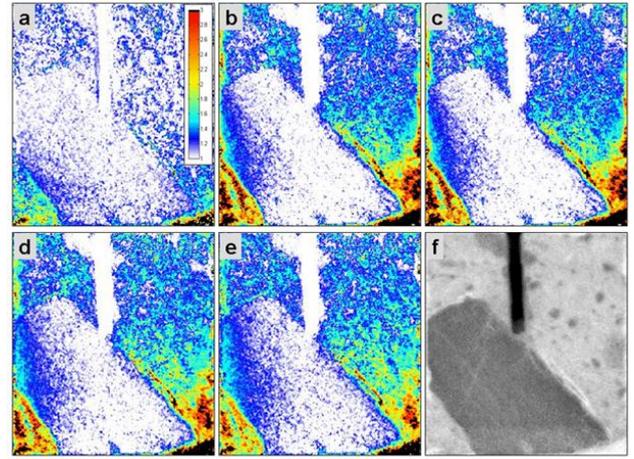


Abb. 2. Matrixpotentiale der Tensiometer T1 (in der Nähe eines Kohlefragmentes installiert) und T2 (in der Bodenmatrix installiert) sowie In/Outflow (aus Bildanalyse) im zeitlichen Verlauf; Buchstaben kennzeichnen stationäre Phasen in denen Tomographien erstellt wurden

Tensiometer in die Bodenmatrix und an einem Kohlefragment installiert. Während der dynamischen Phasen wurden 2D-Radiographieserien aufgenommen, um Wassergehaltsänderungen zusätzlich zu Massenbilanzen mit einer Waage zu quantifizieren.

Der Verlauf der Matrixpotentiale (Abb.2) zeigt ein schwaches Ungleichgewicht zwischen den Bewässerungsstufen -120 bis -30 hPa und nahe Sättigung.

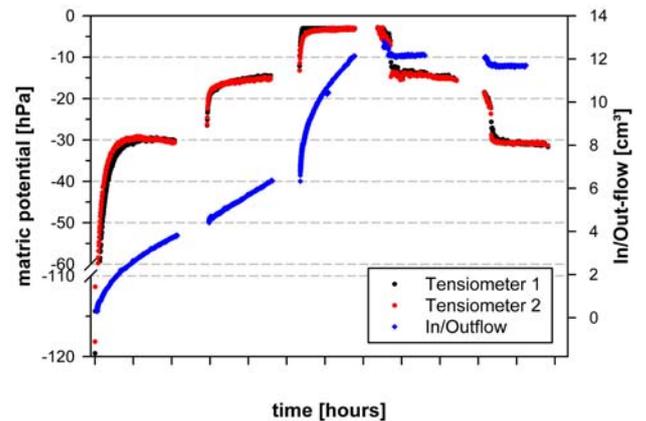


Abb.3. Relative Wassergehaltsverteilungen eines Querschnittes der Tomographien während stationärer Phasen mit den Bewässerungsstufen -30 (a), -15 (b), -3 hPa (c) und Entwässerungsstufen -15 (d) und -30 hPa (e); (f) wasserfreie Probe.

Die räumliche Verteilung der relativen Wassergehaltsänderungen der Tomographien (Abb. 3) korrespondieren mit den Daten der Tensiometer und zeigen Regionen mit höheren Wassergehalten in der Umgebung des Kohlefragmentes (Abb. 3),

die auch nach Entwässerungsstufe -30 hPa weitgehend erhalten bleiben.

Schlussfolgerung

In diesen Versuchen konnte die lokale Verteilung von Fließwegen visualisiert werden. Unter stationären Bedingungen bei -5 hPa und -30 hPa waren die Fließwege vom Alter und von der Geometrie und Verteilung der kohligen Fragmente abhängig. Auch die qualitative 3D- Verteilung der Wassergehalte in einem Multistep-Experiment weist darauf hin, dass ein Porennetzwerk in der Nähe von kohligen Fragmente existieren könnte, das bei Matrixpotenzialen über -30 hPa eine höhere Leitfähigkeit aufweist als die umgebene Matrix. Die Neutronenradiographie eignete sich zur Erfassung von Wassergehaltsverteilungen, wenn auch der Effekt der Strahlaufhärtung der Probengröße Grenzen setzt.

Danksagung

Die Finanzielle Unterstützung erfolgte durch die DFG, in den Projekten „Lokale Ungleichgewichte ...“ (SCHA 779/4-2) und „Strukturen und Prozesse der initialen Ökosystementwicklung...“ (SFB/TRR 38, A4). Wir danken der Vattenfall Europe Mining AG für die Bereitstellung der Untersuchungsflächen. Außerdem danken wir besonders dem Team des Paul Scherrer Instituts (PSI, Villigen) für die Unterstützung während der Experimente an der NEUTRA und Frau Anne Westerfeld für ihre Hilfe bei den Versuchen.

Literatur: Gerke, H. H., A. Badorreck, M. Einecke (2009). Single- and dual-porosity modeling of flow in reclaimed mine soil cores with embedded lignitic fragments. J. Cont. Hydrol. 104: 90-106.