

Charakterisierung von Fließwegen auf drei verschiedenen Böden in einem Kleinlysimeterversuch

F. LIEMEN, S. KNOBLAUCH, R. MEISSNER und S. BERNSDORF

Abstract

In this study the flow paths in three different soils are analysed in small lysimeters with the use of two tracers: potassium bromide for determination the breakthrough curve and the dye Brilliant Blue FCF (Color Index 42090) for visualizing the flow paths in soil. For the silty calcareous cambisol the breakthrough curve indicates the existence of preferential flow due to a residence volume for bromide of 48 % in comparison to the water amount in the case of full field capacity. As a result of dye marking the upper layers of the two silty soils show a homogenous matrix flow. In the clay soil shrinking cracks and fingering flow were observed on the textural borders. But under the plough horizon Brilliant Blue was not to be found a suitable tracer for visualizing the water flow, because of its strong adsorption to the soil components. Therefore in all lysimeters a strong edge effect occurred up to a depth of 30 cm. Furthermore the ionic situation (C_{org} , P_{ox} , Al_{ox} , Fe_{ox} and Ca), in- and outside of the flow paths was compared without finding significant differences. But the tendency shows that in the tillage horizon the most dyed areas had a lower ionic content in contrast to the not-flow paths. Below the plough zone the contrary phenomenon was observed.

Einleitung

Leicht auswaschbare Stoffe, aber auch solche, die eine hohe Sorptionsaffinität aufweisen, können kurze Zeit nach ihrer oberflächigen Aufbringung im Grundwasser auftreten. Als Grund hierfür wird präferentieller Fluss angenommen, bei dem ein signifikantes Volumen der Matrix umflossen wird. Ziel der Untersuchungen war es, das Abflussregime von drei verschiedenen Böden, die sich in der Körnung und Horizontabfolge vonein-

ander unterscheiden zu charakterisieren. Dafür war es vorgesehen, mit Hilfe des konservativen Salztracers Kaliumbromid das Verweilzeitvolumen zu bestimmen und mit Hilfe des Farbstofftracers Brilliant Blue FCF Fließwege zu visualisieren für eine Quantifizierung des durchflossenen Porenvolumens und eine räumlich differenzierte Probenahme für die Bestimmung von P und möglichen Bindungspartnern in und außerhalb von Fließwegen (LIEMEN, 2006).

Material und Methoden

Für die Versuchsdurchführung wurden 16 mit drei verschiedenen Bodenformen

- Braunerde aus dem lößbeeinflussten Nordthüringer Buntsandstein (4 Kleinlysimeter/ KL): Ap (Lu), Bv (Lu), Bv-Cv (Lu), ICv (Uls)
- Braunerde-Tschernosem aus Löss im Thüringer Keuperbecken (8 KL): Ap (Lu), Ah (Lu), Ah-Bv (Tu3), Ck1 (Ut4)
- Rendzina aus Verwitterungssubstraten des unteren Keupers im Thüringer Keuperbecken (4 KL): eAp (Lt3), eAh-Cv (Ls4), IeCv (Lt2), IieCv (Lt3)

monolithisch befüllte KL mit einer Oberfläche von jeweils 0,126 m² und einer Tiefe von 1,35 m genutzt. Der Versuchstandort ist durch eine mittlere Jahresdurchschnittstemperatur von 8,2 °C und eine mittlere Jahresniederschlagssumme von 552 mm gekennzeichnet.

Für die Erstellung einer Durchbruchskurve wurde am 18.01.2005 auf 16 KL jeweils eine Menge von 3,14 g KBr in 4 mm Wasser gelöst und aufgetragen. Bei sechs von diesen KL wurde zusätzlich BB FCF (69,76 g 0,1M BB in 7 mm Wasser) aufgegeben. Am Folgetag wurde mit der Bewässerung der KL mit einer Intensität von 7 mm/d begonnen, die sich später auf 14 mm/d erhöhte. Die Böden wiesen zu Beginn des Experi-

ments einen trockenen Zustand auf. Die gesamte Bewässerungsmenge wies 404 mm auf. Dazu ist im Untersuchungszeitraum eine Niederschlagsmenge von 359 mm hinzuzurechnen.

Nach 176 Tagen wurden die Böden, der mit BB gefärbten KL, in 3-Zentimeter-Schritten, schichtweise abgetragen. Die Bodenoberfläche wurde mit einer Digitalkamera Canon E 350D fotografiert und diente der Quantifizierung der Fließwege je Oberflächenschicht. Die Auswertung der digitalen Photoaufnahmen erfolgte mit dem Programm Lucia GF on METEORII. Dieses Programm ermöglichte es, die durch BB gefärbte Oberfläche der Böden der Kleinlysimeter pixelweise zu quantifizieren.

Weiterhin wurde die Fläche der KL mithilfe eines Rasters in 49 Quadranten eingeteilt und nach der Intensität der Blaufärbung durch BB beprobt. Dadurch konnte eine differenzierte Bestimmung der Ionenverhältnisse in und außerhalb der Fließwege vorgenommen werden. Als Parameter wurden organischer Kohlenstoff, austauschbares Calcium, Nitrat, oxalatlöslicher Phosphor, Aluminium und Eisen untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Durchbruchskurve

Die KL mit der Braunerde aus Buntsandstein wiesen wie erwartet die höchsten Sickerwassermengen mit einem maximalen Austrag von 68 % des aufgetragenen Bromids auf. Bei den zwei näher untersuchten KL mit dieser Bodenform war ein deutlicher Peak der Bromidkonzentration nach einem Sickerwasseraustrag von nur 56 bis 80 mm zu verzeichnen. Das entspricht einem Verweilzeitvolumen von 37 beziehungsweise 47 % des Porenvolumens bei Feldkapazität und deutet daraufhin, dass der Boden zu Beginn des Experiments nicht vollstän-

Autoren: Dipl.Agr.-Ing. Franziska LIEMEN, Prof. Dr. Ralph MEISSNER, Dr. Sabine BERNSDORF, Institut für Agrartechnik und Landeskultur der MLU Halle-Wittenberg, Ludwig-Wucherer Str. 81, D-06108 HALLE/SAALE, Dr. Steffi KNOBLAUCH, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Lysimeterstation Buttelstedt, Naumburger Str. 98, D-07743 JENA, s.knoblauch@lysimeter.tll.de

dig gesättigt war und präferentieller Fluss stattgefunden hat. Bei den anderen untersuchten Bodenformen war das Sickerwasseraufkommen und der Austrag des Bromids mit maximal 11% zu gering, um Aussagen über das Verweilzeitvolumen treffen zu können.

Bildauswertung

Die Auswertung der Markierung der Fließwege durch BB mithilfe der Photoaufnahmen wies auf ein differenziertes Abflussregime in den oberen Bodenschichten der untersuchten Böden hin. Während auf der Braunerde aus Buntsandstein und dem Braunerde-Tschernosem aus Löss ein gleichmäßig über die Fläche verteilter Wasserfluss zu beobachten war, folgt der Wasserfluss in der Rendzina bevorzugt den Schrumpfrissen. Das zeigte sich in 6 und 9 cm Tiefe an einer intensiveren Färbung der Schrumpfrisse und einem Flächenanteil der gefärbten Areale von 36 und 16 %.

Es zeigte sich für alle Böden, dass die Konzentration von BB bis in eine Tiefe von 30 bis 40 cm zunimmt. In allen untersuchten Böden trat ab einer Tiefe von 20 bis 30 cm ein starker Randeffect auf, häufig im Übergangsbereich vom Bearbeitungshorizont zum Unterboden. Auf der Braunerde aus Buntsandstein ging die durch BB markierte Fläche im Kernbereich von 71 % in 23 cm Tiefe auf 35 % in 26 cm Tiefe zurück. Der Randbereich wurde noch bis in 77 cm Tiefe markiert. Ein ähnliches Verhalten zeigte sich bei dem Braunerde-Tschernosem aus Löss. Im Ap-Horizont verringerte sich der Fließquerschnitt in der Kernfläche zwischen 21 und 28 cm von 88 auf 38 %, noch deutlicher aber am Horizontwechsel zum Ah in 31 cm Tiefe auf nur 5 %. Im Randbereich zeichnete BB bis in 69 cm Tiefe. Auf beiden Böden wurden im Kernbereich nur noch vereinzelt Makroporen bis in eine maximale Tiefe von 50 cm markiert. Auch auf der Rendzina nahm der durch BB markierte Kernbereich beim Übergang vom Ap- zum eAh-Cv-Horizont in einer Tiefe von 25 cm auf 18 % ab. Es kam zur Ausbildung von fingering flow beim Übergang vom Ap- zum sand- und skelettreicheren eAh-Cv-Horizont und zur lateralen Ausbreitung des durch BB markierten Wasserflusses auf dem darunter folgenden gering durchlässigen IeCv-Horizont aus

Keuperton mit einem Flächenanteil von 51%.

Trotz hoher Konzentrationen des Farbstoffes am Übergang zwischen Bearbeitungshorizont und Unterboden fand nur eine geringe Markierung der tiefer gelegenen Fließwege statt, obwohl die KL nach Beendigung des Versuchs gleichmäßig durchfeuchtet waren. Die Kennzeichnung durch BB folgte wahrscheinlich nicht dem natürlich ablaufenden Fließregime. Durch die Neigung zur Sorption an bestimmte Bodenbestandteile, die nachgewiesene Abhängigkeit vom Tongehalt und von der Ionenstärke (KASTEEL et al., 2002, GÉRMANHEINS und FLURY, 2000) wird der Wasserfluss durch BB offenbar nicht adäquat gekennzeichnet.

Der beobachtete Rückzug aus der Fläche in die Randbereiche an der Horizontgrenze zwischen Pflugzone und Unterboden ist mit hoher Wahrscheinlichkeit durch das Auftreffen auf einen Gefüge- und Texturwechsel bei noch ungesättigter Bodenmatrix ausgelöst worden. Das mit BB versetzte Wasser breitete sich lateral aus und staute sich. Die Kontaktzeit zwischen dem Farbstoff und den Bodenbestandteilen wurde erhöht, so dass eine höhere Sorption stattfinden konnte. Die höchste Konzentration des Farbstoffes wurde an dieser Grenzfläche nachgewiesen.

Wanderungsverhalten KBr und BB

Die Unterschiede im Wanderungsverhalten von KBr und BB sind in *Abbildung 1* dargestellt. Es bestätigte sich, dass der Salztracer in eine größere Tiefe ausgewaschen worden ist, während der Farb-

stoff durch Adsorptionsmechanismen nur geringere Tiefen erreicht. In der Kernzone der Braunerde wurde BB bis in eine maximale Tiefe von 65 cm durch Makroporenfluss transportiert. Bromid lag dagegen im Bereich zwischen 60 und 110 cm gleichmäßig über den Kern- und Randbereich verteilt vor.

Ionenverhältnisse

Durch den schnellen und hohen Transport von Wasser und der darin gelösten und suspendierten Stoffe in den bevorzugten Fließwegen im Vergleich zur Matrix ist eine unterschiedliche Verteilung in den Ionenverhältnissen erwartet worden.

Mithilfe der unterschiedlichen Färbungen durch BB wurde eine Klasseneinteilung vorgenommen, die eine Betrachtung der Ionenverhältnisse (C_{org} ; oxalatlösliches Phosphor, Aluminium, Eisen; austauschbares Calcium; Nitrat) zwischen den verschiedenen Fließbereichen ermöglichte. Die gefundenen Unterschiede sind in *Tabelle 1* zusammengefasst.

Da es sich bei allen untersuchten KL im Oberboden um den Bearbeitungshorizont handelte und eine jährliche Durchmischung des Bodenmaterials stattfand, wurden keine deutlichen Unterschiede in den Ionenverhältnissen analysiert. Trotz des Vorhandenseins eines Bearbeitungshorizontes war in diesen Tiefen jedoch festzustellen, dass die stärker markierten Areale meist einen geringeren Gehalt an untersuchten Ionen aufwiesen, während unterhalb der Pflugsohle meist höhere Gehalte in den Fließwegen festgestellt wurden. Eine statistische Sicherung dieser Aussagen war durch die geringe Probenanzahl jedoch nicht möglich.

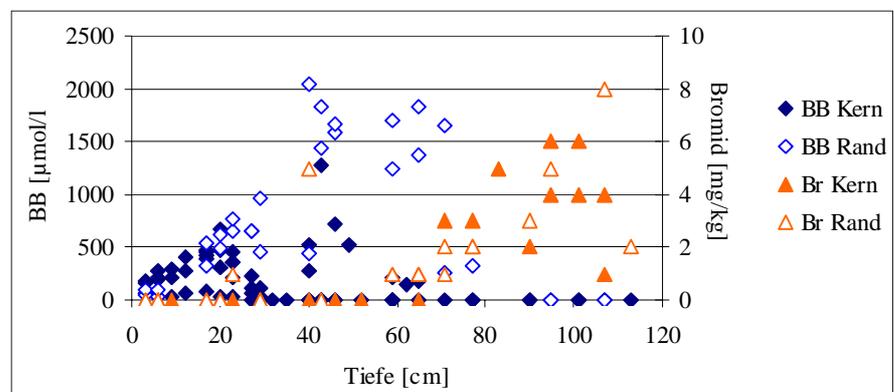


Abbildung 1: Vergleich der Verteilung von BB und Br in dem mit Braunerde gefüllten Lysimeter

Tabelle 1: Vergleich der Ionengehalte in den Fließwegen und der Matrix

| | Tiefe [cm] | Braunerde aus Buntsandstein | Braunerde-Tschernosem aus Löss | Rendzina aus Keupertonmergel |
|------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| C_{org} | 0 - 10 | ▲ | ▼▲ | ▲ |
| | 11 - 20 | ▼▲ | ▼ | ▼▲ |
| | 21 - 30 | ▼▲ | ▼▲ | ▼ |
| | 31 - 40 | | ▼▲ | ▲ |
| | 41 - 49 | ▼▲ | | |
| P_{ox} | 0 - 10 | ▼▲ | ▼ | ▼ |
| | 11 - 20 | ▼ | ▼ | ▼ |
| | 21 - 30 | ▲ | ▲ | ▼ |
| | 31 - 40 | | ▼ | ▼▲ |
| | 41 - 49 | ▲ | | |
| Al_{ox} | 0 - 10 | ▼ | ▼ | ▲ |
| | 11 - 20 | ▼ | ▼ | ▼ |
| | 21 - 30 | ▼ | ▼▲ | ▼ |
| | 31 - 40 | | ▲ | ▲ |
| | 41 - 49 | ▲ | | |
| Fe_{ox} | 0 - 10 | ▼ | ▼▲ | ▼ |
| | 11 - 20 | ▼ | ▲ | ▼▲ |
| | 21 - 30 | ▼▲ | ▼▲ | ▼ |
| | 31 - 40 | | ▼ | ▲ |
| | 41 - 49 | ▲ | | |
| P-Sättigungsgrad | 0 - 10 | ▲ | ▼▲ | ▼ |
| | 11 - 20 | ▼ | ▼▲ | ▼▲ |
| | 21 - 30 | ▲ | ▼▲ | ▼ |
| | 31 - 40 | | ▼ | ▼▲ |
| | 41 - 49 | ▲ | | |
| austauschbares Calcium | 0 - 10 | ▼ | ▼ | ▲ |
| | 11 - 20 | ▼ | ▼▲ | ▼ |
| | 21 - 30 | ▼▲ | ▲ | ▼ |
| | 31 - 40 | | ▲ | ▼ |
| | 41 - 49 | ▲ | | |

- ▲ Ionengehalt in den Fließwegen höher als in umgebender Matrix
- ▼ Ionengehalt in den Fließwegen niedriger als in der umgebenden Matrix
- ▼▲ Keine Unterschiede zwischen Fließwegen und Matrix feststellbar

Zusammenfassung

Ziel der Untersuchungen war es, das Abflussregime von drei verschiedenen Böden zu kennzeichnen. Dazu wurden

Kleinlysimeter mit dem konservativen Salztracer Kaliumbromid und dem Farbstofftracer Brilliant Blue (BB) FCF versetzt. Für einen der drei Böden, die schluffig-lehmige Braunerde, ließ sich

das Verweilzeitvolumen ableiten, dass mit 42 % auf die Existenz von präferentiellem Fluss deutet. Die Markierung der Fließwege mit BB weist in den schluffig-lehmigen Oberböden der Braunerde und des Braunerde-Tschernosem auf einen weitgehend homogenen Matrixfluss. In der stark tonhaltigen Rendzina folgt der Wasserfluss bevorzugt den Schrumpfrissen. Bei allen Kleinlysimetern trat unterhalb des Bearbeitungshorizontes ein starker Randeffect auf, begünstigt durch den beobachteten Körnungs- und Gefügewechsel. Trotz hoher Konzentration des Farbstoffes am Horizontwechsel wurden unterhalb des Bearbeitungshorizontes kaum noch Fließwege gezeichnet. Der Tracer spiegelt aufgrund seiner starken Neigung zur Adsorption den Wasserfluss offenbar nicht adäquat wider. Die Markierung mittels Brilliant Blue ist deshalb kritisch zu sehen. Weiterhin wurden die Ionenverhältnisse (C_{org} , P_{ox} , Al_{ox} , Fe_{ox} und Ca) in den durch den Farbtracer unterschiedlich markierten Arealen untersucht.

Literatur

GÉRMAN-HEINS, J. and M. FLURY, 2000: Sorption of Brilliant Blue FCF in soils as affected by pH and ionic strength. *Geoderma* 97: 87 - 101.

KASTEEL, R., H.-J. VOGEL and K. ROTH, 2002: Effect of non-linear adsorption on the transport behavior of Brilliant Blue in a field soil. *European Journal of Soil Science* 53: 231 - 240.

LIEMEN, F., 2006: Charakterisierung von Fließwegen auf drei verschiedenen Böden in einem Kleinlysimeterversuch. Diplomarbeit. MLU Halle-Wittenberg.

