

Die Bestimmung der Wasserspannungs- /Wasserleitfähigkeits-Beziehung von Bodenaggregaten

Michael Gunzelmann, Uwe Hell und Rainer Horn

Lehrstuhl f. Bodenkunde, Abt. Bodenphysik, Universität Bayreuth, Postfach 101251, 8580 Bayreuth

Eingegangen: 7. April 1987

Angenommen: 20. Juni 1987

Zusammenfassung – Summary

Zur Bestimmung der ungesättigten Wasserleitfähigkeit von Einzelaggregaten wurde eine Methode entwickelt, die es ermöglicht, entsprechend dem von *Becher* (1970) beschriebenen Berechnungsverfahren mittels Mikrotensiometern (Material P80, KPM Berlin, Ø Spitze ca. 1 mm, Länge der keramischen Zelle 1–2 mm) die Wasserspannungsänderung über sehr kurze Fließstrecken (1–3 mm) zu erfassen. Ergebnisse von jeweils 3 Einzelaggregaten mit unterschiedlichem Entwicklungsgrad (Prismen, Polyeder) zeigen, daß je nach Art und Intensität der Aggregierung die Werte für die ungesättigte Wasserleitfähigkeit um bis zu 2 Zehnerpotenzen unter denen der entsprechenden Gesamtbodenproben liegen. Außerdem läßt sich ein aggregatspezifischer cross-over-suction Wert ermitteln.

Determination of the unsaturated hydraulic conductivity of soil aggregates by use of microtensiometers

The hydraulic properties of single aggregates were measured with the use of microtensiometers. They are small enough (tip diameter 1 mm, length 1–2 mm) that two of them can be installed inside an aggregate within a distance of 1–3 mm. The changes of water suction are measured with pressure transducers and recorded by a micro-computer. Results obtained for different aggregates show, that at the same water suction, the hydraulic conductivity of single aggregates is up to 2 orders of magnitude smaller than that of the bulk soil. The cross-over-suction value for aggregates can also be derived.

Einleitung

In der bodenkundlichen Literatur wird in zunehmendem Maße bei physikalischen als auch chemischen Fragestellungen auf die Bedeutung der Aggregierung hingewiesen. *Beven* und *Germann* (1982) errechnen z. B. den Wasserfluß im heterogenen Porensystem und weisen auf den nicht quantifizierbaren Wasserfluß im Intra-Aggregatporensystem hin. Auch *Becher* und *Vogl* (1984) beschreiben sägezahnähnliche Tensionsverläufe in Tonböden als Ergebnis des wahrscheinlich dominierenden Wasserflusses im Intra-Aggregatporensystem. Um eine Quantifizierung des Anteils des Intra-Aggregatwasserflusses am Gesamtwassertransport mittels der Darcy-Gleichung vornehmen zu können, wurde eine Methode entwickelt, die es ermöglicht, mit Mikrotensiometern die hydraulischen Eigenschaften von Einzelaggregaten unterschiedlicher Genese zu bestimmen.

einem Druckaufnehmer (Firma Natec oder Firma Keller) versehen ist. Der Aufbau der Gehäuse ist bereits von *Strebel* et al. (1970) beschrieben worden. Die Meßsignale werden über einen Vorverstärker und AD-Wandler umgeformt und anschließend registriert. Die Registrierung und Verrechnung erfolgt mit einem 64 KB Mikrorechner. Jedes Tensiometer wird vor Beginn der Messungen geeicht, da durch die manuelle Herstellung keine gleichmäßigen Wandstärken erzielbar sind. Hierzu wird der Spannungsnullpunkt für das vollständig gesättigte Tensiometer mittels Drehpotentiometern eingestellt.

Material und Methode

Aufbau der Mikrotensiometeranlage

Jede Einheit besteht aus folgenden Einzelteilen:

Die Tensiometerzelle (Ø: 1 mm, Länge = 3 mm) wird aus keramischen Bruchstücken (Material P80, Königliche Porzellanmanufaktur Berlin) vorsichtig zurechtgeschmirgelt und anschließend an einem Ende in eine dünne Glaskapillare eingeschmolzen. Diese Kapillare wird in ein Hartkunststoffgehäuse eingeklebt, das mit

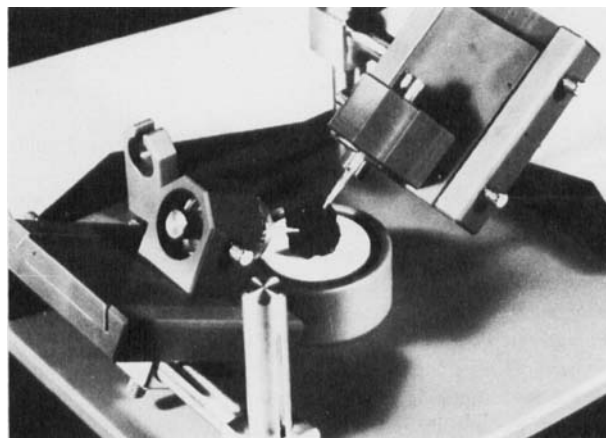


Abbildung 1: Meßapparatur zur Bestimmung des Wasserflusses in Einzelaggregaten.

Figure 1: Equipment to measure water flow in single aggregates.

Anschließend wird der maximale Spannungswert zwischen 4 und 5 V bei einer Wasserspannung von 500 hPa ermittelt. Spannungsschwankungen des Netzes und in der Regelanlage sowie geringe Hysteresiseffekte der Druckaufnehmer selbst können zu maximalen Meßfehlern von 2.5 hPa führen. Darüber hinaus werden die Wasserleitfähigkeiten und Einstellzeiten der Tensiometerspitzen bestimmt. Im Vergleich zu den durchschnittlichen K_f -Werten von Einzelaggregaten von 10^{-5} cm/sec. ist die Fließgeschwindigkeit des Wassers durch die Tensiometerspitze um 2 Zehnerpotenzen größer und auch die Einstellzeit auf eine Wasserspannung von z.B. 250 hPa innerhalb von 60 min liegt deutlich unter derjenigen für Aggregate und strukturierte Gesamtbodenproben. Ein Entwässerungsgrad von 500 hPa der Tensiometerspitzen wurde innerhalb von 18 h erreicht, während die entsprechende Gleichgewichtseinstellung im Aggregat ca. 8–10 Tage dauert.

Einbau von Tensiometern in Aggregate

In Anlehnung an das von *Becher* (1970) beschriebene Meß- und Berechnungsverfahren zur Bestimmung der ungesättigten Wasserleitfähigkeit (K/ψ) werden Matrixpotentialänderungen im Verlauf einer definierten Entwässerung im Aggregat mit zwei Tensiometern in einem definierten Abstand von ca. 1–3 mm gemessen. Hierzu wird das Aggregat auf eine keramische Platte gelegt, die wiederum auf einem Meßtisch befestigt ist. Der Kontakt zwischen Aggregat und keramischer Platte wird mit Quarzmehl hergestellt. Anschließend wird das Aggregat z.B. mit einem dünnen Zahnarztbohrer (\varnothing kleiner 1 mm) vorsichtig vorgebohrt und die Tensiometerspitzen mittels eines Präzisionsvorschubes in die Bohrungen eingeführt. Hierbei ist darauf zu achten, daß das Aggregat weder komprimiert und dadurch in seinen Eigenschaften verändert noch zerstört wird. Anhand der auf dem Bildschirm des Rechners sichtbaren Spannungsschwankungen können diese Fehler jedoch minimiert werden. Anschließend wird zur Vermeidung von Quellung und unkontrollierter Entwässerung durch Verdunstung um das Aggregat ein Silikonring gelegt und danach mit Wachs vollständig ummantelt. Nach Aufsättigung des Aggregates von unten wird während der schrittweisen Entwässerung die räumliche Wasserspannungsänderung im Aggregat registriert. Nach Beendigung der Messungen wird die vertikale Fließstrecke für Wasser zwischen den beiden Tensiometerspitzen exakt nachgemessen. Parallel hierzu werden auch die Wasserspannungs/Wassergehaltsbeziehungen von weiteren Einzelaggregaten ermittelt und daraus die Wasserspannungs/Wasserleitfähigkeitsbeziehung errechnet.

Die Ermittlung der ungesättigten Wasserleitfähigkeit an ungestörten Gesamtbodenproben

Die Bestimmungen zur Berechnung der ungesättigten Wasserleitfähigkeit von Gesamtbodenproben erfolgten entsprechend dem von *Becher* (1970) beschriebenen Meßverfahren, wobei die Fließstrecke zwischen den beiden Tensiometern 4 cm betrug. Anstelle der bei *Becher* beschriebenen Entwässerung der Stechzylinderproben mit trockenem Schluff wurde allerdings ein kontrollierter Unterdruck an die Stechzylinderproben über eine keramische Platte angelegt.

Untersucht wurden jeweils 3 Aggregate bzw. Stechzylinderproben aus dem Ah-Horizont eines Pelosol-Gleys aus Amaltheenton mit Polyederstruktur und aus dem M-Horizont eines Braunen Auenbodens aus Rotmainsedimenten mit prismatischer Struktur. Die untersuchten Polyeder wiesen einen Durchmesser von 2–3 cm auf, während die Prismen bei einem horizontalen Durchmesser von 2–3 cm 3–4 cm lang waren. In Tab. 1 sind einige weitere der allgemeinen Charakterisierung dienende Parameter aufgelistet.

Erste Ergebnisse und Diskussion

In Abb. 2 sind die gemittelten K/ψ Kurven von ungestörten Gesamtbodenproben bzw. den herauspräparierten Einzelaggregaten dargestellt. Bei einer mittleren Streubreite von 0.1 Zehnerpotenzen um die gerechnete mittlere Kurve sind die Unterschiede zwischen der Kurve für den Gesamtboden und für die Einzelaggregate signifikant unterschiedlich. Die für die Prismen errechnete Kurve liegt im Grobporenbereich (0–300 hPa) um 0.5–1 Zehnerpotenz unter derjenigen für den Gesamtboden. Dahingegen verläuft die entsprechende Kurve für die Polyeder über einen größeren Entwässerungsbereich unter derjenigen des Gesamtbodens. Außerdem betragen die Unterschiede zwischen den entsprechenden Wasserleitfähigkeitswerten mindestens 1 Zehnerpotenz. Folglich wird der cross-over-suction Wert (*Hillel* 1980) für die untersuchten Prismen bei größerer Wassersättigung erreicht als für Polyeder, der nur aus der Extrapolation der entsprechenden Kurvenverläufe geschätzt werden kann. Dies bedeutet, daß nicht nur der Wasserfluß im Intra-Aggregatporenraum, sondern auch die Wassernachlieferung aus diesen Poren an die Pflanzenwurzel vom Aggregierungsgrad beeinflusst wird.

Tabelle 1: Allgemeine Charakterisierung der untersuchten Bodenhorizonte
Table 1: General characterization of the investigated horizons

Hor.	Gef.	Ton	Körnung %		d_B	d_F	Wassergehalt (Vol.%) bei				K_f
			Schluff	Sand			pF				
								$-\infty$	1.8	2.5	
1. Pelosol-Gley aus Amaltheenton											
Ah	pol	49	42	9	0.89	2.5	64	56	51	30	925
2. Brauner Auenboden aus Rotmainsedimenten											
M	pris	30	28.9	41.1	1.55	2.48	38	37	31	23	20

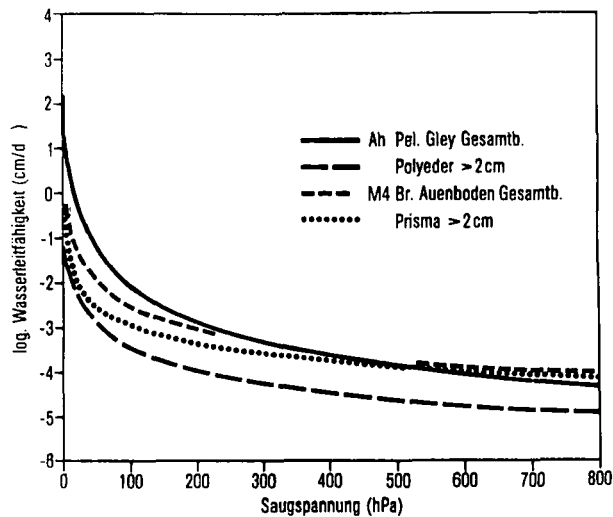


Abbildung 2: Wasserspannungs/Wasserleitfähigkeitsbeziehungen von Gesamtbodenproben und Einzelaggregaten.

Figure 2: Water suction / hydraulic conductivity curves of bulk soil samples and single aggregates.

Schlußfolgerung

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, daß mit der neukonzipierten Mikrotensiometeranlage im Vergleich zu den Eigenschaften des Gesamtbodens theoretisch ableitbare Unterschiede im Aufbau des Intra-Aggregatporensystems auch meßtechnisch quantifizierbar sind. Im Hinblick auf die Wasserflußbilanz stellt sich allerdings die Frage, inwieweit das Darcy-Gesetz überhaupt zur Berechnung der Wasserleitfähigkeiten anwendbar ist. In strukturierten Böden mit einem hohen Anteil an groben Sekundärporen kann der durch die Reynold'sche Zahl definierte maximale Porendurchmesser

durchaus überschritten werden. Damit wird definitionsgemäß der laminare in einen turbulenten Fluß überführt, für den das Darcy-Gesetz nicht mehr zutrifft. Im Gegensatz dazu ist im Aggregat selbst, bei den herrschenden Porendurchmessern, mit einem laminaren Fluß zu rechnen. Wenn allerdings im Aggregat der Salzgehalt einen subproportionalen Fluß induziert, dann dürfte das Darcy-Gesetz ebenfalls nicht mehr angewandt werden. Dies gilt aber voraussichtlich nur für Böden arider Klimate.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des von der DFG geförderten Sonderforschungsbereiches 137 im Projekt C2 durchgeführt. Für die finanzielle Unterstützung bedanken wir uns recht herzlich.

Literatur

- Becher, H.H. (1970): Eine Methode zur Messung der Wasserleitfähigkeit von Böden im ungesättigten Zustand. Diss. TU Hannover.
- Becher, H.H. und W. Vogl (1984): Rapid changes in soil water suction in clayey subsoil due to large macropores, in: Eds. J. Bouma and P.A.C. Raats; Proc. of the ISSS symposium on water and solute movement in heavy clay soils. ILRI publ. 37, Wageningen.
- Beven, K. und P. Germann (1982): Macropores and water flow in soils. Water Resources Res. 18, 1311–1325.
- Hillel, D. (1980): Fundamentals of Soil Physics. Academic Press, New York.
- Strebel, O., W. Giesel, M. Renger und S. Lorch (1970): Automatische Registrierung der Bodenwasserspannung im Gelände mit dem Druckaufnehmertensiometer. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 126, 6–15.

[P4509B]