

Hydrologische Eigenschaften und Einfluss von Wurzeln auf die Infiltration vernässter Waldböden

B. Lange^{1,2}, P. Lüscher¹, P.F. Germann²,

¹Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf, ²Geographisches Institut, Universität Bern, CH-3012 Bern
benjamin.lange@wsl.ch

Einleitung

Bodenhydrologische Parameter werden oft mittels bodenmorphologischer Merkmale abgeschätzt. Zudem wird davon ausgegangen, dass Wurzeln durch die Bildung hydrologisch aktiver Poren die Infiltration entscheidend beeinflussen können. Im Rahmen dieser Studie wurden Horizonte hydromorpher Waldböden anhand ihres Vernäsungsgrades gruppiert und die Infiltrationseigenschaften sowie der Einfluss der Wurzeln auf das Porensystem und damit auf den Wasserfluss bei unterschiedlichen Ausgangswassergehalten untersucht.



Merkmal	Horizontgruppe (HG)				
	1	2	3	4	5
Oberboden, nicht vernässt	■				
Verbraunt		■	■		
Mangankonkretionen			■	■	
Rostflecken			■	■	
Reduktionsfarben			■	■	

Beispiel eines Horizontes: Ah B BGo Go Gr

■ Nötiges Merkmal
■ Mindestens eines der zwei Merkmale ist nötig
■ Optionales Attribut

Tabelle 1: Gruppierungskriterien der Horizonte

Methoden

- **Untersuchungsgebiet:** Unter Scheidwald, 30 km südlich von Bern in den Voralpen (1000 m ü. M.). **Gley- bzw. Pseudogleyböden.**
- **Waldstandortstyp 46** (Heidelbeer - Tannen - Fichtenwald) und **49** (Schachtelhalm - Tannen - Fichtenwald).

- **Beregnungsexperimente** (1 m²) während einer Stunde mit einer Intensität von 70 mm/h. **Dreimalige Wiederholung** der Beregnung im Abstand von rund 23 h. Ziel: unterschiedliche Ausgangswassergehalte.
- Horizontweises Aufzeichnen des volumetrischen Wassergehaltes mittels **TDR-Sonden** in 60 s Intervallen.
- **Gruppierung** der untersuchten Horizonte anhand des Grades der Vernäsung (Tabelle 1). **Horizontgruppen (HG) 1:** nicht-vernässte Oberböden (n = 13), **HG 2:** nicht-vernässte Unterböden (n = 10), **HG 3:** schwach vernässte Unterböden (n = 20), **HG 4:** vernässte Unterböden (n = 31), **HG 5:** reduzierte Unterböden (n = 6).
- Entnahme von Bohrkernen, Auswaschen von Wurzeln und horizontweises digitales Vermessen der Wurzellängen RL (cm) pro cm³ Boden.
- Berechnen hydrologischer Parameter sowie Evaluation des Einflusses der Wurzeln auf die Infiltration für die fünf Horizontgruppen.

Wassergehaltswelle

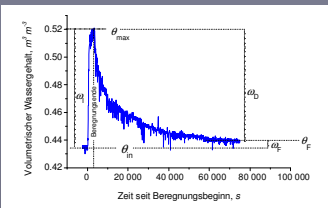


Abbildung 1: Beispiel einer aufgezzeichneten Wassergehaltswelle. θ_0 : Wassergehalt vor der Beregnung; θ_{max} : maximaler Wassergehalt während der Beregnung; θ_{75000} : Wassergehalt nach 75000 s; ω_i : Wassergehalt der Infiltration; ω_d : Wassergehalt welcher im Zeitraum der Datenaufzeichnung nicht drainiert; ω_n : Wassergehalt welcher im Zeitraum der Datenaufzeichnung nicht drainiert.

Abbildung 1 zeigt eine Wassergehaltswelle mit Beregnungsbeginn bei $t = 0$ s und einer Beregnungsdauer von 3600 s. Die Differenzen zwischen initialem Wassergehalt θ_0 , maximalem Wassergehalt θ_{max} und Endwassergehalt nach 75000 s θ_{75000} definieren die Wassergehalte der Infiltration ω_i , der Drainage ω_d sowie den Wassergehalt welcher innerhalb der Dauer der Datenaufzeichnung nicht drainiert (ω_n).

Theorie

Germann *et al.* (2007) beschreiben die Infiltration auf Basis einer kinematischen Welle, welche mit dem Gesetz von Stokes in Verbindung gebracht wurde ("Rivulet Approach"). Der Ansatz geht davon aus, dass die Gravitation (g) das Wasser beschleunigt und die Viskosität (η) bremsend wirkt. Aus der Ankunftszeit der Feuchtfreont sowie der Zunahme des Wassergehaltes einer Wassergehaltswelle (ω , Abb. 1) lässt sich die Filmdicke F des mobilen Wassers und die Kontaktlänge L zwischen dem Wasserfilm und den Porenwänden in der horizontalen Ebene berechnen (Abb. 2). L ist ein Mass für die Porosität, welche am Wasserfluss beteiligt ist. Für die Auswertung einer Wassergehaltswelle wurde der Median aller Filmdicken (10^{-6} m) sowie die Summe aller Kontaktlängen pro Flächeneinheit verwendet (m^2).



Abbildung 2: Modellvorstellung des Wasserflusses in Form von Wasserfilmen

Resultate: Amplituden der Wassergehaltswellen, Filmdicken und Kontaktlängen, Infiltration und Wurzellängen

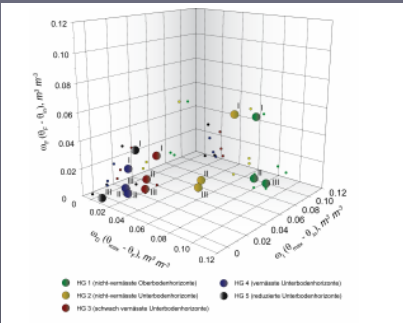


Abbildung 3: Amplituden der Wassergehaltswelle für die Horizontgruppen 1 - 5 (Tab. 1). θ_0 : Wassergehalt vor der Beregnung; θ_{max} : maximaler Wassergehalt während der Beregnung; θ_{75000} : Wassergehalt nach 75000 s; ω_i : Wassergehalt der Infiltration; ω_d : Wassergehalt welcher im Zeitraum der Datenaufzeichnung nicht drainiert. I, II, III: erste, zweite und dritte Beregnung.

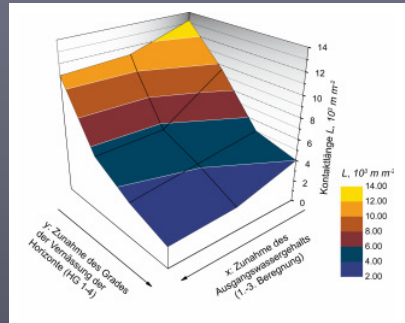


Abbildung 4: Mittelwert der Kontaktlänge L pro m² mit Zunahme des Ausgangswassergehaltes und Grad der Vernäsung der Horizonte. Die schwarzen Linien bezeichnen die erste, zweite und dritte Beregnung (x-Achse) und die Horizontgruppen HG 1 bis 4 (y-Achse, Tab. 1). HG 5 ist nicht dargestellt, da nur zwei Horizonte eine Reaktion auf die Beregnung zeigten.

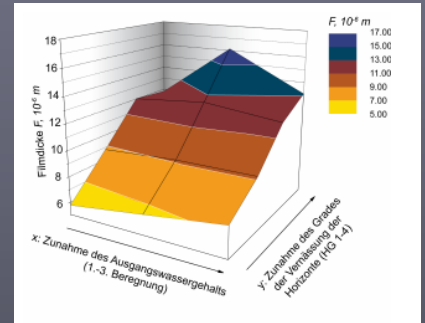


Abbildung 5: Mittelwert der Filmdicke F mit Zunahme des Ausgangswassergehaltes und Grad der Vernäsung der Horizonte. Die schwarzen Linien bezeichnen die erste, zweite und dritte Beregnung (x-Achse) und die Horizontgruppen HG 1 bis 4 (y-Achse, Tab. 1). HG 5 ist nicht dargestellt, da nur zwei Horizonte eine Reaktion auf die Beregnung zeigten.

- Eine Zunahme des Vernäsungsgrades der Horizonte führte zu einer Verringerung des Wassergehaltes der Infiltration ω_i wie auch des Wassergehaltes der Drainage ω_d (Abb. 3). Als Mittelwert aller drei Beregnungen ausgedrückt, erreichte ω_i 72,6 % (HG 2), 32,6 % (HG 3), 17,5 % (HG 4) und 15,3 % (HG 5) des Wassergehaltes der Infiltration der nicht-vernässten Oberböden (HG 1).
- Eine Zunahme des Ausgangswassergehaltes führte zu einer Verringerung des nicht-drainierenden Wassergehaltes (ω_n , Abb. 1) sowie zu einer deutlichen Abnahme des Wassergehaltes der Infiltration in nicht-vernässten Unterbodenhorizonten (HG 2).
- Die Horizontgruppen unterschieden sich erheblich bezüglich der Geometrie des Wasserflusses. In Oberböden floss das Wasser in zahlreichen Poren, aber die Filmdicken waren gering. In vernässten Horizonten hingegen war nur eine geringe Anzahl Poren am Wasserfluss beteiligt, dafür waren die Filme mächtig (Abb. 4 und 5)
- Eine Abnahme des Wassergehaltes der Infiltration aufgrund höherer Ausgangswassergehalte (2. und 3. Beregnung) war immer mit einer Abnahme der am Wasserfluss beteiligten Porosität verbunden, d.h. die Kontaktlänge L nahm ab (Abb. 4). Teilweise konnte diese Verringerung der hydrologisch aktiven Porosität durch eine Zunahme der Filmdicke kompensiert werden (Abb. 5). Nicht-vernässte Unterböden (HG 2) wiesen eine deutliche Reduktion des Wassergehaltes der Infiltration von der ersten zur zweiten Beregnung auf. Der Grund lag darin, dass die Kontaktlänge L um rund 42 % abnahm, die Wasserfilme aber nicht mächtiger wurden.

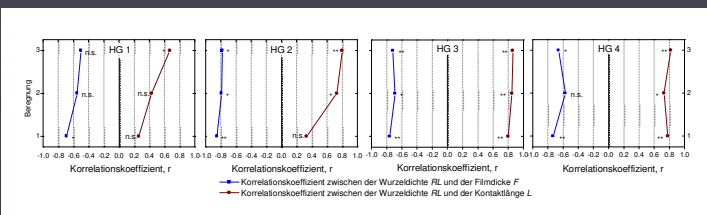


Abbildung 6: Pearson-Korrelationsanalyse zwischen der Wurzellänge RL , der Filmdicke F und der Kontaktlänge L . HG 1: nicht-vernässte Oberböden; HG 2: nicht-vernässte Unterböden; HG 3: schwach vernässte Unterböden; HG 4: vernässte Unterböden. **, * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, n.s.: nicht signifikant.

Die Wurzellänge pro Bodenvolumen, RL , korrelierte positiv mit der hydrologisch aktiven Porosität (Kontaktlänge L). In vernässten Horizonten (HG 3 und 4) war dieser Zusammenhang immer signifikant, während bei nicht-vernässten Horizonten unter trockeneren Bedingungen kein signifikanter Zusammenhang zwischen RL und L nachgewiesen werden konnte (HG 1 und 2, Abb. 6). Unter diesen Bedingungen drainierte ein relativ grosser Anteil des Wassers innerhalb von 75000 s nicht (Abb. 3), d.h. Wasser floss von den grösseren Fließspalten in kleinere Poren (unterschiedliche Kapillarpotentiale). Bei geringem Ausgangswassergehalt in nicht-vernässten Horizonten war daher der Zusammenhang zwischen RL und L statistisch nicht nachweisbar, d.h. der Wasserfluss war nicht auf Fließspalte entlang von Wurzeln limitiert. Indirekt führte die hohe Wurzelichte aber zu einer grossen Porosität und damit zu einem erhöhten Potential für den Wasseraustausch zwischen Poren unterschiedlicher Skalen.

Schlussfolgerungen

- Die Geometrie des Wasserflusses unterscheidet sich grundsätzlich in Horizonten unterschiedlicher Vernäsungsgrade. In Oberböden fliesst das Wasser in zahlreichen Poren in dünnen Wasserfilmen, in Unterböden sind die Poren weniger zahlreich, dafür die Filme dicker.
- Mit Zunahme des Ausgangswassergehaltes reduziert sich die Porosität welche am Wasserfluss beteiligt ist. Mit Ausnahme der nicht-vernässten Unterböden kann die verringerte hydrologisch aktive Porosität durch dickere Wasserfilme kompensiert werden.
- Wasserfluss entlang von durch Wurzeln gebildeten Poren scheint der dominante Prozess der Infiltration zu sein, insbesondere bei hoher Bodenfeuchte und in hydromorphen Horizonten. Zudem erhöht eine grosse Wurzelichte vermutlich den Wasseraustausch zwischen Poren unterschiedlicher Skalen.
- Horizonte ähnlicher Hydromorphiegrade weisen vergleichbaren bodenhydrologischen Charakter auf, die Streuung innerhalb einer Horizontgruppe ist aber beträchtlich. Zudem ist es zentral, bei einer Abschätzung der hydrologischen Eigenschaften der Böden nicht nur den Bodenaufbau, sondern auch die Mächtigkeiten der Horizonte zu berücksichtigen.