

Tagungsbeitrag zu: DBG-Jahrestagung
Titel der Tagung: Böden - Lebensgrundlage und Verantwortung, 7.-12. September 2013, Rostock
Berichte der DBG (nicht begutachtete Online-Publikation)
<http://www.dbges.de>

Quantitative Analyse von Wasseraufnahme- und Aggregatzerfallsraten als Funktion der Grenzflächeneigenschaften

Marc-O. Göbel*, Susanne K. Woche*, Jörg Bachmann*

Zusammenfassung

Es ist bekannt, dass die Stabilität von Bodenaggregaten (AS) gegenüber hydraulischer Beanspruchung durch hydrophobe Oberflächeneigenschaften (Kontaktwinkel, $KW > 90^\circ$) erhöht wird. Über den Einfluss geringerer Benetzungshemmungen ($KW < 90^\circ$) ist dagegen nur wenig bekannt. Das Ziel dieser Arbeit ist daher, die spezifischen Effekte der Grenzflächeneigenschaften von fester (KW) und flüssiger Phase (Oberflächenspannung, OFS) auf die AS zu untersuchen. Das Überstauen luftgetrockneter Aggregate mit Wasser-Ethanol-Lösungen ermöglicht eine Differenzierung der AS und die Erfassung der Zerfallsdynamik. Die Benetzungseigenschaften werden durch Bestimmung des KW an intakten Aggregaten charakterisiert. Allgemein zeigen die Waldböden im Vergleich zu den landwirtschaftlich genutzten Böden eine höhere AS, wobei Aggregate aus dem Oberboden generell stabiler sind. Darüber hinaus ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen AS und Benetzbarkeit erkennbar, d.h. die AS erhöht sich mit zunehmendem KW . Weniger als 10% der benetzungsgehemmten Aggregate ($KW > 40^\circ$, Wasseraufnahmerate $< 0.2 \text{ mm}^3 \text{ s}^{-0.5}$) sind nach einer Überstaudauer von 30 s zerstört, während nach dieser Zeit bereits

80% der benetzbaren Aggregate ($KW < 10^\circ$, Wasseraufnahmerate $> 0.25 \text{ mm}^3 \text{ s}^{-0.5}$) zerstört sind. Obwohl auch der Gehalt an organischer Substanz eine stabilisierende Rolle für die untersuchten Aggregate spielt ($R^2 = 0.38$), erweist sich der Einfluss der Benetzbarkeit als weitaus bedeutender ($R^2 = 0.79$). Die Berechnung der Penetrativität als Maß für die Kraft der in das Aggregat eindringenden Flüssigkeit demonstriert die Bedeutung der Grenzflächeneigenschaften der festen und flüssigen Phase für die Stabilität von Aggregaten gegenüber hydraulischer Beanspruchung.

Schlüsselworte: Aggregatstabilität, Benetzbarkeit, Infiltration, Kontaktwinkel

1. Einleitung

Die Stabilität von Bodenaggregaten gegenüber dem Zerfall durch Luftporensprengung (Slaking) ist ein wichtiger Faktor für eine Vielzahl von Prozessen im Boden (z.B. Infiltration, Oberflächenabfluss, Erosion, Durchlüftung, Pflanzenwachstum, Stabilität von organischer Substanz). In diesem Zusammenhang konnte gezeigt werden, dass hydrophobe Oberflächeneigenschaften von Aggregaten ($KW > 90^\circ$) die Stabilität gegenüber hydraulischer Beanspruchung erhöhen (Fox et al., 2007; Varela et al., 2010; Jordán et al., 2011). Über den Einfluss subkritischer Benetzungshemmungen ($0^\circ < KW < 90^\circ$) auf die AS liegen dagegen nur wenige Informationen vor. Das Ziel dieser Arbeit ist daher, die spezifischen Effekte der Grenzflächeneigenschaften von fester (KW) und flüssiger Phase (OFS) auf die Stabilität benetzungsgehemmter Aggregate aus Böden unterschiedlicher Nutzung zu untersuchen.

2. Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an Aggregaten von Acker-, Grünland- und Waldbodenstandorten durchgeführt. Die Aggregate wurden durch Siebung fraktioniert (4-6.3 mm) und anschließend für 3 Wochen bei 20°C und 65% relativer Luftfeuchte getrocknet.

Die AS wurde durch Überstauen mit Flüssigkeiten (Wasser-Ethanol-Lösungen) unterschiedlicher OFS bestimmt. Der Aggregatzerfall wurde durch Digitalfotos doku-

*Institut für Bodenkunde, Leibniz Universität Hannover, Herrenhäuser Str. 2, D-30419 Hannover, Germany
e-mail: goebel@ifbk.uni-hannover.de

mentiert, auf deren Basis der Anteil intakter Aggregate als Funktion der Zeit bestimmt wurde. Auf Basis dieser Informationen wurden zwei Stabilitätsparameter abgeleitet: (i) die Stabilität nach 30 min Überstaudauer (AS_t) als ein Maß für die langfristige Stabilität der Aggregate und (ii) die Geschwindigkeit des initialen Aggregatzerfalls (κ) (Goebel et al., 2012).

Die Benetzbarkeit der Aggregate wurde durch Messung des KW an intakten Aggregaten bestimmt. Dafür wurden Infiltrationsmessungen mit Wasser und Ethanol (Referenzflüssigkeit mit geringer OFS) durchgeführt, auf deren Basis die Infiltrationsraten, der Repellency Index und schließlich der Kontaktwinkel bestimmt wurden (Goebel et al., 2012).

3. Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang zwischen der Aggregatstabilität (AS_t) und der Geschwindigkeit des initialen Aggregatzerfalls (κ). Es zeigt sich, dass die AS mit zunehmender Zerfallsgeschwindigkeit abnimmt. Dies deutet darauf hin, dass der Aggregatzerfall vom Prozess der Luftsprengung dominiert wird und andere Prozesse wie physikochemische Dispersion oder Quellung eine untergeordnete Rolle spielen.

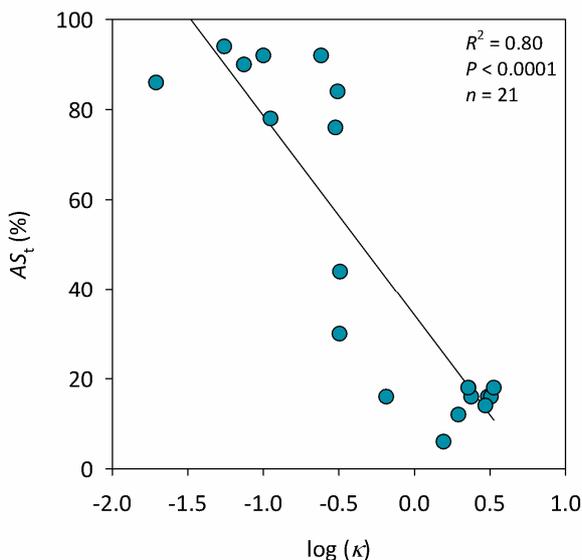


Abb. 1. Aggregatstabilität (AS_t) vs. Zerfallsrate (κ).

Die Ergebnisse zeigen, dass die AS der Waldbodenstandorte deutlich größer ist als

auf den Ackerstandorten, wobei der Grünlandstandort eine Mittelstellung einnimmt. Darüber hinaus zeigt sich, dass die Stabilität der Oberbodenaggregate generell größer ist als die der Aggregate aus tieferen Horizonten (Abb. 2).

Der Einfluss der Benetzbarkeit auf die Wasseraufnahme von Aggregaten aus den Oberböden ist in Abb. 3 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die eher labilen Aggregate der Ackerböden die höchsten Infiltrationsraten und die geringsten Kontaktwinkel aufweisen, wohingegen die stabilen Waldbodenaggregate die geringsten Infil-

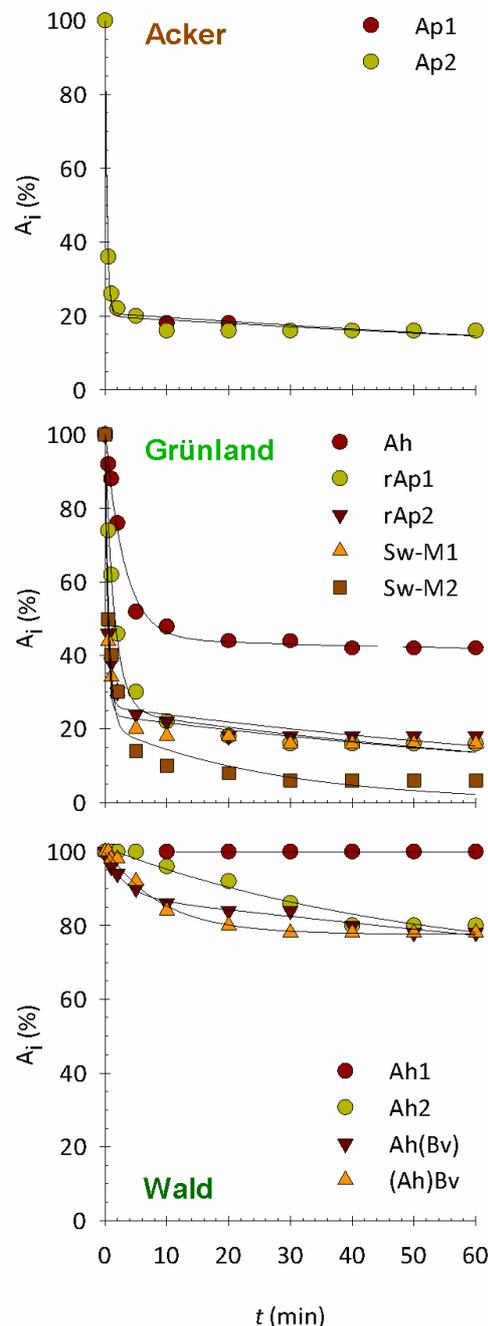


Abb. 2. Aggregatzerfall als Funktion der Zeit.

trationsraten und die höchsten Kontaktwinkel zeigen.

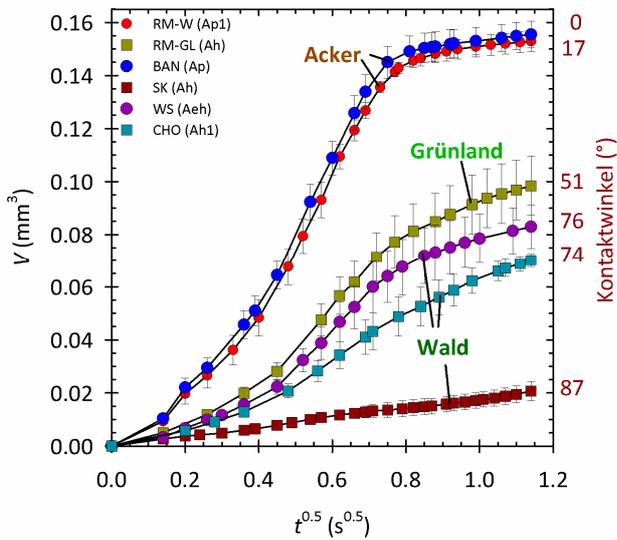


Abb. 3. Infiltrationskurven.

Abbildung 4 zeigt die Zusammenhänge zwischen der Aggregatstabilität (AS_t) und der Benetzbarkeit (KW, θ) bzw. dem Gehalt an organischer Substanz (SOC). Es ist erkennbar, dass die Benetzbarkeit durch ihren Einfluss auf die Infiltrationsrate einen deutlichen Einfluss auf die AS hat. Im Gegensatz dazu zeigt sich, dass der SOC-Gehalt nur einen geringen Einfluss auf die AS hat. Zwar zeigen Aggregate mit hohem SOC-Gehalten generell auch eine hohe Stabilität, bei geringen SOC-Gehalten ist jedoch eine große Variabilität bezüglich der AS erkennbar. In diesem Zusammenhang zeigt sich, dass die stabileren Aggregate generell höhere KW aufweisen (40-62°) als die labilen Aggregate (0-27°).

Die Bedeutung des KW (θ) und der OFS (γ_v) für den Aggregatzerfall durch Luftsprennung wird aus Abb. 5 ersichtlich. Dargestellt ist die Penetrativität:

$$\frac{\gamma_{iv}}{\eta} \times \frac{\cos \theta}{2} \quad (\text{mit } \eta = \text{Viskosität}),$$

als ein Maß für die Kraft der in das Kapillarsystem eindringenden Flüssigkeit, als Funktion der OFS für verschiedene Böden, bei denen der KW mit Flüssigkeiten unterschiedlicher OFS bestimmt wurde. Im Falle benetzbarer Böden mit geringen KW gibt es einen großen Einfluss der OFS auf die

Penetrativität: Bei einer Verringerung der OFS reduziert sich die antreibende Kraft und es kommt zu einer deutlichen Verringerung der Penetrativität. Im Falle hydrophober Böden ($KW > 90^\circ$) zeigt sich dagegen nur ein geringer Einfluss der OFS auf die Penetrativität. Dies lässt sich durch zwei sich überlagernde Effekte erklären. Zum einen verringert sich mit abnehmender OFS der Kontaktwinkel. Damit verbunden ist eine erhöhte Benetzbarkeit der Bodenpartikel. Zum anderen verringert sich mit abnehmender OFS die antreibende Kraft. Die Überlagerung dieser gegensätzlich wirkenden Effekte resultiert in einer nur geringen Abhängigkeit der Penetrativität von der OFS.

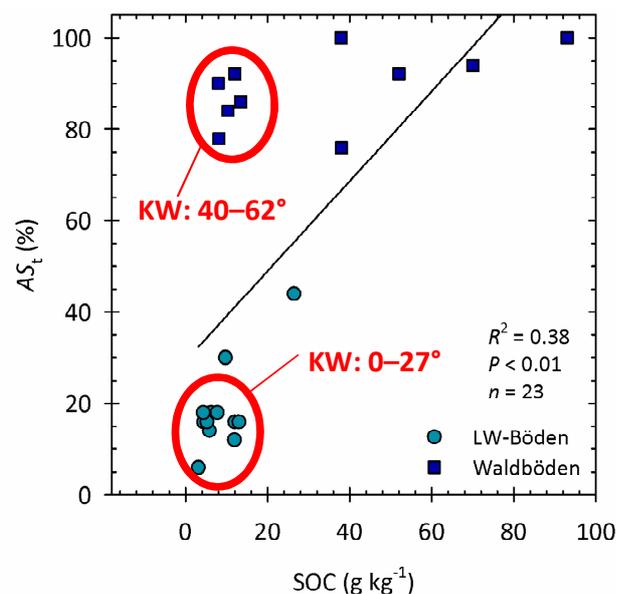
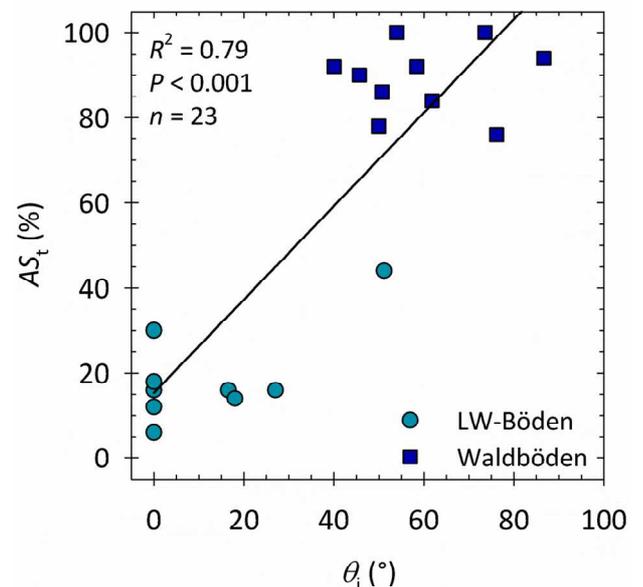


Abb. 4. Einfluss von KW (θ_1) und organischer Substanz (SOC) auf die AS.

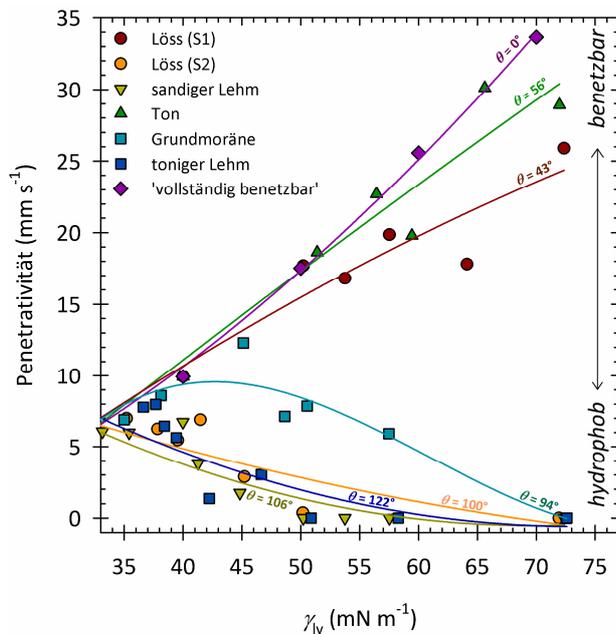


Abb. 5. Penetrativität als Funktion der OFS (γ_v) für Böden unterschiedlicher Benetzbarkeit (θ).

4. Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die Benetzbarkeit auch im Bereich subkritischer Benetzungshemmungen (d.h. bei $KW < 90^\circ$) einen deutlichen Einfluss auf die AS gegenüber Luftspregung hat. Bereits eine geringfügig reduzierte Benetzbarkeit kann die Infiltrationsrate deutlich reduzieren und damit den Druckanstieg im Aggregatinneren vermindern. Eine detaillierte Darstellung der Experimente und Ergebnisse findet sich in Goebel et al. (2012).

Danksagung

Die Arbeiten wurden mit finanzieller Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (SPP 1315 – Biogeochemische Grenzflächen in Böden) durchgeführt.

Literatur

- Fox, D.M., Darboux, F., Carrega, P., 2007. Effects of fire-induced water repellency on soil aggregate stability, splash erosion, and saturated hydraulic conductivity for different size fractions. *Hydrol. Process.* 21, 2377–2384.
- Goebel M.-O., Woche, S.K., Bachmann, J., 2012. Quantitative analysis of liquid penetration kinetics and slaking of aggregates as related to solid-liquid inter-

facial properties, *J. Hydrol.* 442–443, 63–74.

Jordán, A., Zavala, L.M., Mataix-Solera, J., Nava, A.L., Alanis, N., 2011. Effect of fire severity on water repellency and aggregate stability on Mexican volcanic soils. *Catena* 84, 136–147.

Varela, M.E., Benito, E., de Blas, E., 2005. Impact of wildfires on surface water repellency in soils of northwest Spain. *Hydrol. Process.* 19, 3649–3657.