

## **Benetzungshemmung von Flugasche und Waldbodenhumusauflagen**

Hartmann, P., Fleige, H., Horn, R.

### **1. Einleitung**

Flugascheemissionen aus der Braunkohleverbrennung prägen industrielle Regionen Sachsens und Sachsen-Anhalts über Jahrzehnte (NEUMEISTER et al., 1991). Flugaschen bestehen überwiegend aus sphärischen, mineralischen Flugaschepartikeln mit geringer Lagerungsdichte und hohen Anteilen an Poren. Der Anteil an aromatischen Braunkohleresten kann je nach Verbrennungsgrad stark schwanken. Die Anreicherung von Flugaschen verursacht sowohl chemische als auch physikalische Veränderungen insbesondere in den Humusauflagen betroffener Waldböden. Emittentennah zeigten sich durch die mineralische Asche verringerte Humusgehalte und erhöhte Festsubstanzdichten. Des Weiteren sind die Luftkapazitäten und die gesättigten Wasserleitfähigkeiten signifikant erhöht, wohingegen die nutzbaren Feldkapazitäten verringerte Werte aufweisen (HARTMANN et al., 2009a,b). Durch die Dominanz mineralischer und somit hydrophiler Flugaschepartikel sollte sich deren Anreicherung positiv auf die Benetzbarkeit von Waldboden-humusauflagen auswirken.

Schwerpunkt der im Folgenden vorgestellten Untersuchungen ist die Benetzungshemmung von

Waldbodenhumusauflagen mit und ohne Flugascheanreicherung sowie einer reinen Flugasche als Referenzsubstrat in Abhängigkeit (1) von der Austrocknung sowie (2) von der Vorbehandlung (Struktureffekt: gestört – ungestört).

### **2. Material und Methoden**

#### **2.1 Standorte**

Bei den untersuchten Standorten handelt es sich zum einen um einen Normregosol aus reiner Flugasche am Bitterfelder Berg („BB“), zum anderen um Waldbodenhumusauflagen mit („1-1“, „1-2“) und ohne („2-1“, „2-2“) Flugascheanreicherung in der Oberlausitz auf Pseudogley-Braunerden und Parabraunerde-Pseudogleyen aus (Flugasche über) Lößlehm (Tabelle 1) (detaillierte Standortbeschreibung in HARTMANN et al., 2009c). Die reine Flugaschedeposition wird als anthropogenes, lockeres Substrat mit lithogenem Kohlenstoff in Form von Braunkohleresten (yloC) angesprochen. In den Humusauflagen fand eine Wechsellagerung und Durchmischung von zersetzter Streu und der Flugasche statt, wobei der Anteil an lithogenen Braunkohleresten nicht so deutlich ausgeprägt war wie bei der reinen Flugasche (Of-Oh+ylo(o)C).

#### **2.2 Bestimmung der Benetzungshemmung**

Die Kontaktwinkel  $\theta_{wpm}$  wurden an gestörtem und <0,63mm gesiebttem Material nach der Wilhelmy-Platten-Methode (BACHMANN et al., 2003) bestimmt. Material mit Kontaktwinkeln >90° spricht man als hydrophob an, Kontaktwinkel >150° als extrem hydrophob („super hydrophobic“ (MCHALE et al., 2005)). Der Kontaktwinkel ist ein Kennwert für initiale Benetzungseigenschaften eines Bodens.

Eine Charakterisierung der Benetzungseigenschaften von ungestörtem Material fand durch die Messung der Sorptivitätseigenschaften von Ethanol  $S_e$  im Vergleich zu Wasser  $S_w$  statt (HALLETT und YOUNG, 1999), aus deren Verhältnis der Infiltrationskontaktwinkel  $\theta_R$  berechnet werden kann. Ein nicht benetzungsgehemmter Boden weist für  $\theta_R$  Werte von  $0^\circ$ ; bei Werten  $\theta_R > 59^\circ$  wird von subkritischer Benetzungshemmung ausgegangen (TILLMAN et al., 1989). Die Infiltration von Wasser tendiert für stark benetzungsgehemmte Böden gegen Null, bzw. wird unmessbar klein. In solchen Fällen geht R gegen unendlich,  $\theta_R$  gegen  $90^\circ$ .

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Kontaktwinkel

Die Kontaktwinkel  $\theta_{wpm}$  der reinen Flugasche liegen knapp über  $90^\circ$ , wobei zwischen dem Oberboden und dem darunterliegenden Horizont keine Unterschiede festgestellt wurden (Abb.1). Die Humusauflagen mit Flugascheanreicherung weisen Kontaktwinkel im deutlich hydrophilen Bereich auf, wohingegen die reinen Humusauflagen ohne Flugasche als extrem benetzungsgehemmt eingestuft werden.

#### 3.2 Sorptivität

$S_e$  weist für die reine Flugasche (BB) in beiden Horizonten vergleichbare Werte auf (Abb. 2 links).  $S_w$  unterscheidet sich deutlich zwischen dem Oberboden (0-10cm) und dem zweiten Horizont (10-20cm). Während im Unterboden  $S_w$  keine Abhängigkeit von der Austrocknung erkennbar ist, nimmt  $S_w$  im Oberboden sehr stark ab. Dies resultiert in Infiltrationskontaktwinkeln  $\theta_R$  im Oberboden, die ab  $-150$  hPa bereits im subkritisch benetzungsgehemmten Bereich  $>59^\circ$  liegen. Dahingegen ist der Unterboden durchgehend im Bereich  $<59^\circ$ .

Der Vergleich der Sorptivitätseigenschaften der Humusauflagen mit und ohne Flugascheanreicherung (Abb. 2 rechts) lässt nur geringe Unterschiede erkennen.  $S_e$  weist keine Abhängigkeit von der Austrocknung bis  $-15000$  hPa auf, erst bei weiterer Austrocknung nimmt  $S_e$  deutlich zu. Sowohl  $S_w$  und somit  $\theta_R$  weisen dahingegen eine starke Abhängigkeit von der Austrocknung auf. Die Benetzungshemmung aller Humusauflagen nimmt signifikant mit dem Betrag des Matrixpotentials zu. Im ofentrockenen Zustand ist eine tendenziell bessere Benetzbarkeit der flugascheangereicherten Horizonte erkennbar, während die reinen Humusauflagen z.T. gar nicht mehr benetzbar sind ( $\theta_R = 90^\circ$ ).

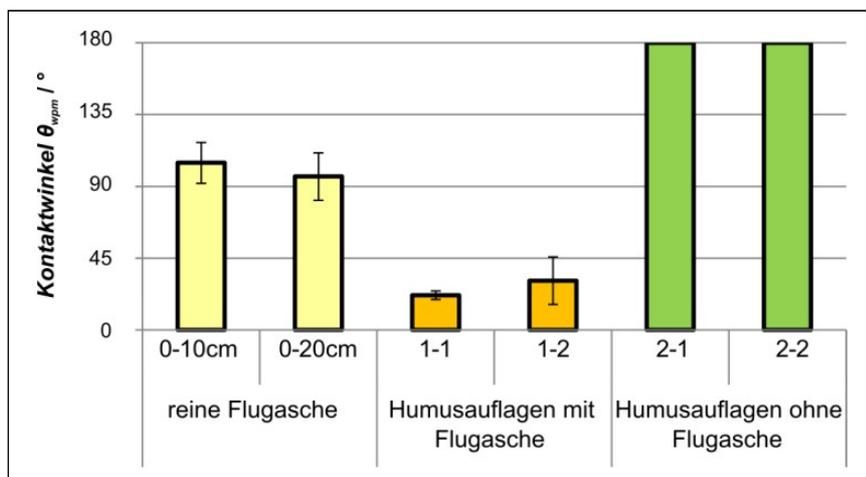


Abb.1: Wilhelmy-Platten-Methode-Kontaktwinkel  $\theta_{wpm}$  der reinen Flugasche, der Humusauflagen mit Flugasche sowie ohne Flugascheanreicherung.

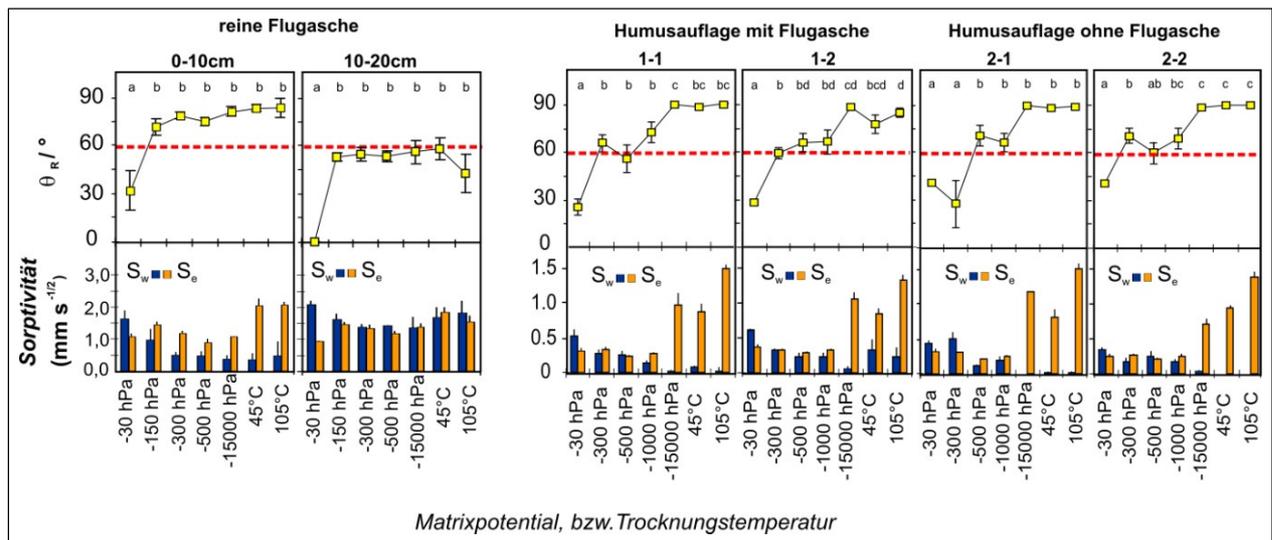


Abb.2: Sorptivität von Wasser  $S_w$  und von Ethanol  $S_e$  sowie der daraus resultierende Infiltrationskontaktwinkel  $\theta_R$  der reinen Flugasche, der Humusauflagen mit Flugasche sowie derjenigen ohne Flugascheanreicherung (Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit zunehmender Austrocknung).

#### 4. Zusammenfassende Diskussion

Die Anreicherung von Flugasche verbessert signifikant die potentielle Benetzbarkeit ( $\theta_{wpm}$ ) von gestörten Humusauflagen, im ungestörten Zustand ( $\theta_R$ ) sind nur tendenzielle Unterschiede zu erkennen. Die Verbesserung der Benetzbarkeit durch Flugasche wird auf die mineralischen, hydrophilen Flugaschepartikel zurückgeführt. Im gestörten Zustand ( $\theta_{wpm}$ ) weist die reine Flugasche in beiden untersuchten Tiefen bereits Benetzungshemmung auf, was auf den hohen Anteil an aromatischen Braunkohleresten (HARTMANN et al., 2009b) zurückgeführt werden kann. Dahingegen ist der Anteil an Kohlenstoff in den flugascheangereicherten Humusauflagen geringer, was auch in einer besseren potentiellen Benetzbarkeit resultiert. Die reinen Humusauflagen sind im Gegensatz dazu extrem benetzungsgemindert. Im ungestörten Zustand ( $\theta_R$ ) sind für den Oberboden der reinen Flugaschedeposition sowie für die Humusauflagen mit und ohne Flugasche signifikante Zunahmen der Benetzungshemmung mit fortschreitender Aus-

trocknung festgestellt worden. Nur der Unterboden der reinen Flugaschedeposition weist trotz des hohen Anteils an lithogener organischer Substanz austrocknungsunabhängig gute Benetzbarkeiten auf.

Es ist somit von einer guten Benetzbarkeit der Flugaschen bei der Deposition auszugehen (Abb. 3a). Mineralische Flugaschepartikel (hydrophil) und aromatische Braunkohlereste (hydrophob) werden in Wechsellagerung mit Streu in der Humusauflage angereichert (Abb. 3b). Die Streu wird abgebaut und verlagert, wobei davon auszugehen ist, dass sich amphiphile Bestandteile an polaren Oberflächen der mineralischen Flugaschepartikel anlagern, wodurch es insb. bei Austrocknung zu einer hydrophoben Ummantelung der Partikel kommen kann (Abb. 3c) (ELLERBROCK et al., 2005). Durch die Homogenisierung im Labor können zum einen diese hydrophoben (Aggregat-) Ummantelungen zerstört werden (URBANEK et al., 2007), zum anderen könne die porösen Flugaschepartikel aufbrechen und es nimmt somit ein vergrößerter Anteil an hydrophilen Oberflächen bei der Messung der  $\theta_{wpm}$  teil (Abb. 3d).

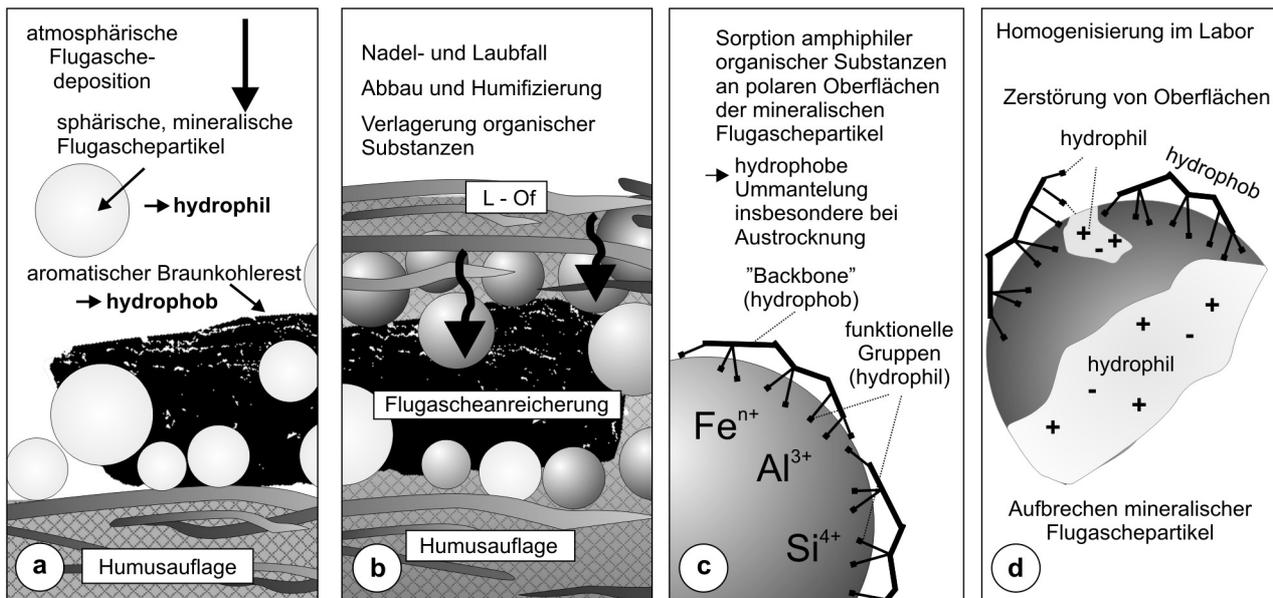


Abb.3: Modellhafte Darstellung der Flugaschedeposition, der Hydrophobierung sowie der Homogenisierung im Labor: (a) Deposition von Flugasche auf Waldböden, (b) erneute Anreicherung und Verlagerung organischer Substanzen, (c) Sorption amphiphiler Substanzen an polaren Mineraloberflächen insbesondere bei Austrocknung, (d) Homogenisierung und damit Zerstörung hydrophober Oberflächen im Labor.

## 5. Danksagung

Diese Untersuchungen fanden im Rahmen des Projektes ENFORCHANGE statt und wurden durch die finanzielle Unterstützung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und den Projektträger Jülich (PTJ) im Rahmen der Forschung für Nachhaltigkeit (FONA) ermöglicht (Förderkennzeichen: 0330634D).

## 6. Literatur

- Bachmann, J., Woche, S.K., Goebel, M.-O., Kirkham, M.B. und Horton, R. (2003): Extended methodology for determining wetting properties of porous media. *Water Resources Research*, 39(12): article no 1353.
- Ellerbrock, R.H., Gerke, H.H., Bachmann, J. und Goebel, M.-O. (2005): Composition of Organic Matter Fractions for Explaining Wettability of Three Forest Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69: 57-66.
- Hallett, P.D. und Young, I.M. (1999): Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. *European Journal of Soil Science*, 50: 35-40.
- Hartmann, P., Fleige, H. und Horn, R. (2009a): Changes in soil physical properties of forest floor horizons due to long-term deposition of lignite fly ash. *J Soils*

*Sediments*, DOI 10.1007/s11368-009-0108-7.

- Hartmann, P., Fleige, H. und Horn, R. (2009b): Physical properties of forest soils along a fly-ash deposition gradient in Northeast Germany. *Geoderma*, 150: 188-195.
- Hartmann, P., Fleige, H. und Horn, R. (2009c): Veränderung bodenphysikalischer Eigenschaften von Humusaufgaben auf ehemals flugaschebeeinflussten Waldstandorten der Oberlausitz. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz*, 8: 41-52.
- McHale, G., Newton, M.I. und Shirtcliffe, N.J. (2005): Water-repellent soil and its relationship to granularity, surface roughness and hydrophobicity: a materials science view. *European Journal of Soil Science*, 56: 445-452.
- Neumeister, H., Franke, C., Nagel, C., Peklo, G., Peklo, R. und Zierath, R. (1991): Immissionsbedingte Stoffeinträge aus der Luft als geomorphologischer Faktor - 100 Jahre atmosphärische Deposition im Raum Bitterfeld (Sachsen-Anhalt). *Geoökodynamik*, 12(1/2): 1-40.
- Tillman, R.W., Scotter, D.R., Wallis, M.G. und Clothier, B.E. (1989): Water-repellency and its measurement by using intrinsic sorptivity. *Aust. J. Soil. Res.*, 27: 637-644.
- Urbanek, E., Hallett, P., Feeney, D. und Horn, R. (2007): Water repellency and distribution of hydrophilic and hydrophobic compounds in soil aggregates from different tillage systems. *Geoderma*, 140(1-2): 147-155.