

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG, Symposium Kom. I/III

Titel der Tagung: Böden – eine endliche Ressource

Veranstalter: DBG, September 2009, Bonn

Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation)

<http://www.dbges.de>

Die Bodenlösung – Monitor für den Boden oder für die Methode ihrer Gewinnung?

Dominik Schlotter¹, Ernst E. Hildebrand, Helmer Schack-Kirchner

Zusammenfassung

Die mit 5 verschiedenen Gewinnungsmethoden (Saugkerze, D-Lösung, Gleichgewichts-Bodenlösung, 1:2 Extrakt und Gleichgewichts-Bodenporenlösung) an 10 Waldstandorten in Deutschland erhaltenen Bodenlösungen zeigen in den meisten Fällen eine unterschiedliche chemische Zusammensetzung. Als Hypothesen zur Erklärung der Unterschiede werden die Zugabe von Wasser, unterschiedliche Störung der Bodenstruktur und verschiedene Wasserspannung der gewonnenen Lösung geprüft. Allerdings wirken sich diese methodischen Unterschiede auf die einzelnen Inhaltsstoffe und an den einzelnen Standorten unterschiedlich aus. In einigen Fällen können die Unterschiede nicht interpretiert werden.

Schlüsselworte: Bodenlösung, Extrakte, Bodenchemie

Einleitung

Die Bodenlösung stellt als Transportmedium gelöster Stoffe im Boden einen Schlüsselfaktor für die Pflanzenernährung oder die Bestimmung von Stoffflüssen dar. Zur Gewinnung von Bodenlösung wurden eine Reihe von Methoden zu unterschiedlichen Fragestellungen entwickelt. Allerdings ist die Frage nach der 'wahren' Bodenlösung nach wie vor

¹Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 79085 Freiburg; dominik.schlotter@bodenkunde.uni-freiburg.de

nicht geklärt.

Methoden und Standorte

Im Rahmen einer Stickstoffstudie zur Vorbereitung der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) (Evers et al. 2002) wurde im Dezember 2000 an 10 Waldstandorten in Deutschland einmalig Bodenlösung mit folgenden Methoden gewonnen:

Saugkerze:

In-situ Methode zur Unterdruck-Extraktion von Bodenlösung über keramische Saugkerze.

D-Lösung (Desorptions-Lösung):

Desorption des feldrischen Bodens in Druckkammer bei 1,7 bar (~ pF 3.2); Cellulose-Membranfilter ($d < 0.45 \mu\text{m}$) dient als kapillare Brücke zwischen Kammer und Auslass (Blattner et al. 2000).

GBL (Gleichgewichts-Bodenlösung):

Wässriger Sättigungsextrakt aus feldfrischen, homogenisierten Bodenproben; Bodenbrei wird durch Zugabe von Wasser (Massenverhältnis Wasser:Boden < 0.8) hergestellt (nach König & Fortmann 1996 /1999).

1:2 Extrakt:

Ähnlich GBL, aber Bodenprobe wird getrocknet und anschließend mit doppelter Menge Wasser versetzt (Massenverhältnis Wasser:Boden = 2) (nach König & Fortmann 1996 /1999).

GBPL (Gleichgewichts-Bodenporenlösung):

Perkolation feldfrischer Stechzylinderproben (hier nur natürlich gelagerte Proben) auf $0.45 \mu\text{m}$ Membranfilter unter Aufrechterhaltung eines Luftvolumens bis zum Erreichen eines Gleichgewichts; Massenverhältnis Wasser:Boden = 0.8-1.1 (Hildebrand 1986).

Pro Standort wurden dazu 4 konditionierte Saugkerzen beprobt, die im äußeren Drittel der Kronenprojektionsfläche in 40-50 cm Bodentiefe und mit einem Mindestabstand von 1 m zueinander positioniert waren. Anschließend wurden aus der direkten Umgebung jeder Saugkerze (+/-10 cm) Bodenproben für die Gewinnung von D-Lösung, GBL, GBPL und 1:2 Extrakt entnommen.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht der Standorte, deren Lage kann aus Abbildung 1 entnommen werden. Alle Böden sind in der beprobten Tiefe frei von Karbonat.

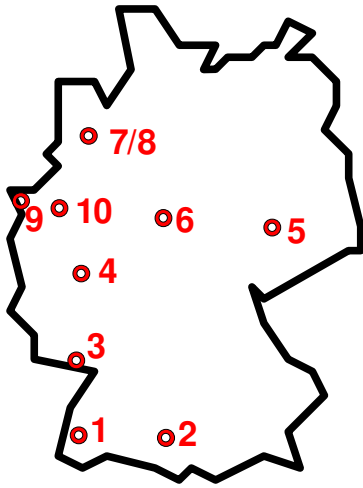


Abbildung 1: Lage der Standorte

Tabelle 1: Standorte

Nr	Standort	Bodentyp	Ausgangsmaterial	Vegetation
1	Conventwald	Braunerde	Hangschutt, Gneise	Fichte, Buche, Tanne
2	Ochsenhausen	Parabraunerde	karbonathaltige Moräne	Lärche, Fichte, Buche
3	Merzalben	Braunerde	Buntsandst.	Eiche, Buche
4	Höhn	Pseudogley	Basaltverw.-lehm	Fichte
5	Pausitz	Braunerde	Porphy	Kiefer, Eiche
6	Harste	Parabraunerde	Mergel, Kalk	Buche
7	Augustendorf Ki	Podsol	Geschiebedecksand	Kiefer, Birke
8	Augustendorf Fi	Podsol	Geschiebedecksand	Fichte
9	Tannenbusch	Pseudogley-Braunerde	Löss über Schmelzw.-ablagerung	Eiche, Buche
10	Haard	Braunerde-Podsol	Schmelzw.-ablagerung	Buche

Ergebnisse

Um Konzentrationen verschiedener Stoffe von unterschiedlichen Standorten direkt im Hinblick auf die Differenzen zwischen den Gewinnungsverfahren analysieren zu können, wurde eine Normierung der Konzentrationen für die einzelnen Stoffe und Standorte auf den Mittelwert 0 und die Standardabweichung 1 durchgeführt (z-Transformation). Dazu wur-

den die für einen Stoff an einem Standort gemessenen Konzentrationen (4 Messstellen x 5 Methoden = 20 Werte) zusammengefasst, Mittelwert und Standardabweichung berechnet, und anschließend von jedem Wert der Mittelwert subtrahiert und das Ergebnis durch die Standardabweichung dividiert. Dies ermöglicht das Zusammenfassen verschiedener Stoffe und Standorte, wie in Abbildung 2. Hier sind die z-transformierten Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe nach Gewinnungsverfahren getrennt dargestellt. Trotz der unterschiedlichen Eigenschaften der zusammengefassten Stoffe und Standorte treten signifikante Unterschiede auf (durch Farben gekennzeichnet). Die D-Lösung führt insgesamt zu den höchsten Konzentrationen, während Saugkerze und GBL einen ähnlichen Bereich abdecken. GBPL und 1:2 Extrakt zeigen die niedrigsten Konzentrationen.

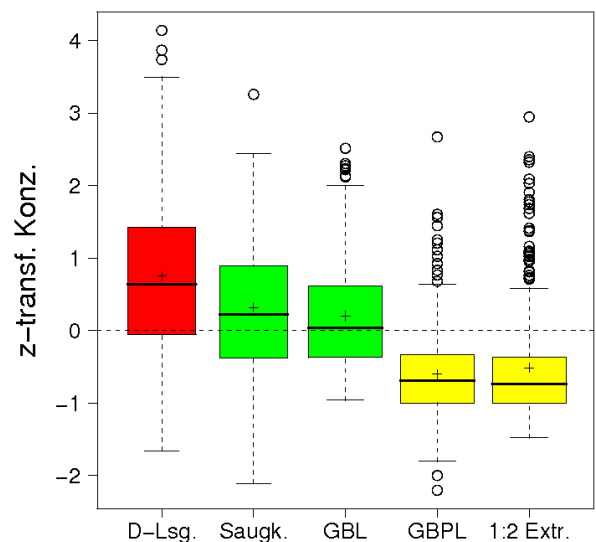


Abbildung 2: z-transformierte Ca-, Mg-, Na-, K-, Al-, Cl-, N-NO₃⁻, S-SO₄⁻ Konzentrationen für alle 10 Standorte. Farbliche Differenzen zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen an (Dunn-Test).

Allerdings zeigen nicht alle hier zusammengefassten Stoffe und Standorte dieses Muster. So ist beispielsweise die Ca-Konzentration in der D-Lösung immer höher als in den anderen Lösungen, mit Ausnahme von zwei GBPL-Werten am Standort Tannenbusch. Am Standort Merzalben zeigen die Bodenlösungen ein gegenüber des in Abbildung 2 dargestellten Musters deutlich abweichendes

Verhältnis.

Die Zusammensetzung des 1:2 Extraktes kann durch die Trocknung der Bodenprobe und die Wasserzugabe stark beeinflusst werden. Während die Trocknung zu einer Mobilisierung der organischen Substanz und der komplexierten Kationen führen kann, kommt es durch die hohe Wasserzugabe leicht zu Verdünnungseffekten (König & Fortmann 1996/1999, Ludwig et al. 1999). Trotz des Verdünnungseffektes sind auch in dem vorliegenden Datensatz die DOC-Konzentrationen im 1:2 Extrakt im Vergleich zu den anderen Methoden stark erhöht (Abb. 3).

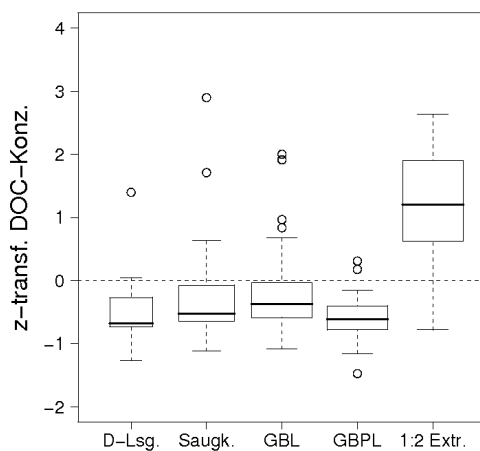


Abbildung 3: z-transformierte DOC-Konzentrationen.

Im Rahmen der Stickstoffstudie zur BZE II (Evers et al. 2002), aus der die hier untersuchten Daten stammen, wurden die N-Konzentrationen auf das Wasser:Boden Verhältnis (W:B-Verh.) der feldfrischen Proben umgerechnet, um die Vergleichbarkeit der einzelnen Methoden zu erhöhen. Die Rückrechnung des Verdünnungseffekts erfolgt hierbei durch die Multiplikation der Konzentrationen im 1:2 Extrakt mit dem Quotienten aus dem W:B-Verh. im 1:2 Extrakt (=2) und dem W:B-Verh. der zugehörigen feldfrischen Bodenprobe. Für NO_3 führt dies zu einer recht guten Übereinstimmung zwischen den (unverdünnten) Konzentrationen in den Saugkerzen-Lösungen und den umgerechneten 1:2 Extrakt Werten (Abb. 4). Für Cl kann durch die Rückrechnung des Verdünnungseffekts für Standorte mit relativ hohen Konzentrationen ebenfalls eine deutlich verbesserte Übereinstimmung

zwischen diesen beiden Bodenlösungen erzielt werden. Für SO_4 und für alle untersuchten Kationen (Ca, Mg, Na, K, Al, NH_4 , Mn) ergibt die rechnerische Korrektur der Verdünnung jedoch eine mäßige bis extreme Überschätzung gegenüber den Saugkerzenwerten.

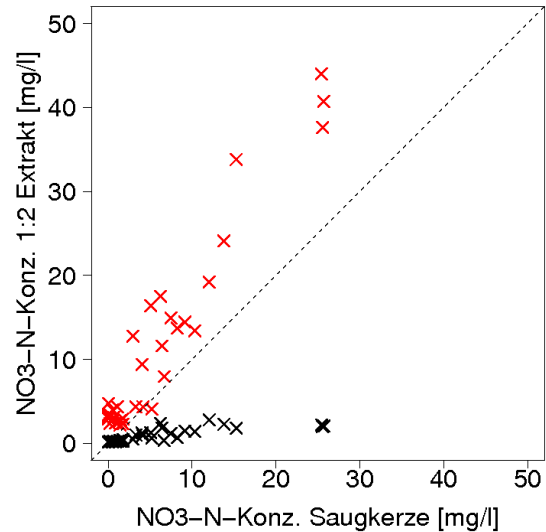


Abbildung 4: Vergleich der NO_3 -N-Konzentrationen in 1:2 Extrakt und Saugkerze (schwarz: Messwerte; rot: auf Wasser:Boden Verhältnis der feldfrischen Proben rückgerechnete 1:2 Extrakt Werte) (nach Evers et al. 2002)

Diskussion

Die Differenzen in der chemischen Zusammensetzung der mit den hier untersuchten Gewinnungsmethoden erhaltenen Bodenlösungen können oft durch die Zugabe von Wasser (z.B. Ludwig et al. 1999), unterschiedliche Störung der Bodenstruktur (z.B. Hildebrand 1994) und verschiedene Wasserspannung der gewonnenen Lösung erklärt werden. So unterscheiden sich D-Lösung und Saugkerzen-Lösung wohl vorwiegend hinsichtlich ihrer Mobilität. Während die D-Lösung das quasi-stationäre Mittelporenwasser beinhaltet, besteht die Saugkerzen-Lösung aus mobilem Bodenwasser. Da der Austausch zwischen dem stationären und dem mobilen Teil der Bodenlösung nur ein langsamer Prozess ist (Nissinen et al. 2000) sind Unterschiede zwischen diesen Lösungen zu erwarten. Die längere Kontaktzeit des quasi-stationären Wassers und die Unterschiede in der chemischen Umgebung von Inter- und In-

traaggregat-Porenraum (z.B. unterschiedliche CO₂-Partialdrücke) können die meisten Differenzen zwischen D-Lösung und Saugkerzen-Lösung erklären. Da sich Differenzen in der Wasserzugabe, der Strukturstörung und der Mobilität der Bodenlösung auf die verschiedenen Inhaltsstoffe (Austausch mit Festphase, Diffusion innerhalb der Aggregate) und Standorte (Textur, Struktur, Deposition, Transportprozesse) unterschiedlich auswirken, sind die in Abbildung 2 dargestellten Unterschiede zwischen den Lösungen nicht auf alle Stoffe und Standorte übertragbar. Die auffällig hohen Ca-Konzentrationen in der D-Lösung sind eventuell auf die für Ca stark erhöhte Verwitterungsrate bei hohen CO₂-Partialdrücken zurückzuführen (Kohler & Hildebrand 2003). Die am Standort Merzalben aufgetretenen geringen Konzentrationen in der Saugkerzen-Lösung können möglicherweise durch die niedrige Basensättigung bei einer geringen KAK und kurze Kontaktzeiten zwischen Lösung und Festphase (Textur: Su2) bedingt sein.

Der Vergleich der auf das Wasser:Boden Verhältnis des feldfrischen Bodens standardisierten 1:2 Extrakt Konzentrationen mit den Werten der Saugkerzen-Lösung lässt vermuten, dass NO₃ (und Cl an Standorten mit eintragsbedingt hohen Konzentrationen) im 1:2 Extrakt hauptsächlich durch die Verdünnung bei der Wasserzugabe beeinflusst werden, während bei SO₄ und den untersuchten Kationen der (evtl. durch die Trocknung und Strukturstörung verstärkte) Austausch mit der Festphase offenbar ein wichtiger Faktor ist.

Schlussfolgerungen

Bei dem Vergleich der Methoden können 4 Fälle unterschieden werden:

- 1.) Die Bodenlösungen verschiedener Methoden sind ähnlich bzw. konvertibel (z.B. durch Korrektur der Verdünnung)
→ die Methoden sind subsidiär.
- 2.) Die Bodenlösungen verschiedener Methoden unterscheiden sich, die Differenzen sind aber theoretisch nachvollziehbar (z.B. mobiles ↔ quasi-stationäres Wasser)
→ die Methoden sind komplementär.

3.) Die Differenzen sind nicht erklärbar
→ kein Erkenntnisgewinn.

4.) Die Ergebnisse scheinen unplausibel
→ die Methode ist ungeeignet (z.B. DOC mit 1:2 Extrakt).

Literatur

Blattner, M., Augustin, S., Schack-Kirchner, H., Hildebrand, E.E. (2000): *The desorption solution – an alternative approach to measure water soluble ions in soils*, J. Plant Nutr. Soil Sci., 163, 583-587.

Evers, J., König, N., Wolff, B., Meiwes, K.J. (2002): *Vorbereitung der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald – Untersuchungen zur Laboranalytik, Stickstoffbestimmung und zeitlichen Variabilität bodenchemischer Parameter*, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft.

Hildebrand (1986): *Ein Verfahren zur Gewinnung der Gleichgewichts-Bodenporenlösung*, Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 149, 340-346.

Kohler, M., Hildebrand, E.E. (2003): *Ion release in the C horizon of a forest soil triggered by carbonic acid*. J. Plant Nutr. Soil Sci., 166, 184-190.

Ludwig, B., Meiwes, K.J., Khanna, P., Gehlen, R., Fortmann, H., Hildebrand, E.E. (1999): *Comparison of different laboratory methods with lysimetry for soil solution composition – experimental and model results*. J. Plant Nutr. Soil Sci., 162, 343-351.

König, N., Fortmann, H. (1996): *Probenvorbereitungs-, Untersuchungs- und Elementbestimmungs-Methoden des Umweltanalytik-Labors der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Teil 4*. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, 49, Göttingen.

Nissinen, A., Kareinen, T., Tanskanen, N., Ilvesniemi, H. (2000): *Apparent cation-exchange equilibria and aluminium solubility in solutions obtained from two acidic forest soils by centrifuge drainage method and suction lysimeters*. Water, Air and Soil Pollution, 119, 23-43.