

# DBG



DEUTSCHE

BODENKUNDLICHE

GESELLSCHAFT

---

# MITTEILUNGEN

DBG · Band 110 / Heft 2 · 2007 · ISSN - 0343-1071

*Schriftleitung:* P. Hugenroth, Oldenburg

**MITTEILUNGEN**  
**DER**  
**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN**  
**GESELLSCHAFT**

**Referate Kommission IV und**  
**Symposium Kommissionen IV, II und III**

Band 110

Heft 2

2007

# **MITTEILUNGEN**

der

**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN  
GESELLSCHAFT**

Band 110

2007

ISSN – 0343-1071

Schriftleitung: P. Hugenroth, Oldenburg

**MITTEILUNGEN**  
**DER**  
**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN**  
**GESELLSCHAFT**

REFERATE / POSTER

**Jahrestagung 2007 der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft**  
**02. bis 09. September 2007 in Dresden**

Band 110

Heft 2

2007

# Das Nitratproblem im Weinbau. Die Bestimmung des weinbau- bürtigen Nitrats mit Hilfe der stabilen N- und O-Isotope

Yvonne Oelmann, Kurt Emde, Jörg Grunert und  
Wolfgang Wilcke

## 1. Einleitung

Bis in die 1980er Jahre wurde im Weinbau Stickstoff (N) in erheblichem Umfang gedüngt, um die N-Versorgung der Reben und damit die Weinqualität zu optimieren. Inzwischen darf nur noch maximal 50 kg N pro Hektar und Jahr gedüngt werden (Bundesgesetzblatt 1996, Prior 2001). Aufgrund der jahrzehntelangen Düngung sind die Nitratausträge aus Weinbaugebieten dennoch weiter stark erhöht (Berthold 1991, King und Berry 2005). Infolge der EU-Wasserrahmenrichtlinie besteht Berichtspflicht über den chemischen Zustand und damit über die Nitratkonzentrationen in Fließgewässern. Diffuse Quellen und Punktquellen sollen identifiziert und Einträge bis 2017 reduziert werden (Europäisches Parlament 2000).

Im Mittelrheingebiet werden aus ökonomischen Gründen zunehmend Weinbauflächen aus der Nutzung genommen und der natürlichen Sukzession überlassen bzw. aufgeforstet. So stieg im oberen Mittelrheintal der Anteil der Weinbaubrachen an der gesamten weinbaulich genutzten Fläche von 24 Prozent (1964) auf 32 Prozent (2004) (Statistisches Landesamt Rheinland Pfalz 2005). Unter diesen Voraussetzungen erscheinen zwei Entwicklungsszenarien der Nitratausträge plausibel: Aufgrund reduzierter Einträge und erhöhter Nitratnutzung durch Pflanzen nehmen die Nitratausträge kontinuierlich ab oder wegen des kontinuierlichen atmosphärischen Stickstoffeintrags und der bereits vorliegenden Sättigung des Systems mit Stickstoff bleiben die Nitratausträge trotz Auflassung konstant. In beiden Fällen sollte jedoch der unmittelbare Anteil des Düngers am Nitrataustrag mit zunehmender Auflassungsdauer abnehmen.

Der Anteil der weinbaulichen Düngung am Nitrataustrag kann mit Hilfe von N- und O- Isotopenanalysen in Nitrat bestimmt werden (Spoelstra et al. 2001, Deutsch et al. 2005). Quellen für Nitrat im Oberflächen- und Grundwasser sind atmosphärische Einträge über Niederschlag, Düngung sowie Mineralisierung der organischen Bodensubstanz. In einem Drei-Komponenten-Mischungsmodell aus den Isotopensignaturen der Quellen können die Beiträge zur Nitrat-Konzentration im Oberflächen- und Grundwasser (Mischsignal) berechnet werden. Für den Beitrag des mineralischen Düngers kann auf Literaturwerte zurückgegriffen werden.

Ziele dieser Untersuchung waren: (1) die Bestimmung des Nitrataustragspotenzials eines aktuell weinbaulich genutzten Standorts (WB) im Vergleich zu einer 50jährigen Weinbaubrache (BR) und einem kontinuier-

lich forstlich genutzten Standort (FO) im Rheingau sowie (2) die Identifizierung der Nitratquellen in Perkolationslösungen (Inkubation) und Sickerwässern der drei Standorte mit Hilfe der stabilen N- und O-Isotope im Nitrat.

## 2. Standort und Methoden

Die Untersuchungen wurden in der Nähe des Ortes Hattenheim auf der Fläche der Domäne Steinberg (WB, RW 3429500, HW 5547770), auf einer direkt angrenzenden Brachfläche, die seit ca. 50 Jahren nicht mehr weinbaulich genutzt wird (BR) sowie auf einem forstlich genutzten Standort der Hallgarter Zange (FO, 3431680, HW 5545100) durchgeführt. Die Jahresdurchschnittstemperatur dieser Standorte beträgt 9,5°C (WB, BR) bzw. 7,5 °C (FO), die jährliche Niederschlagssumme beläuft sich auf 630 mm (WB, BR) bzw. 740 mm (FO). Die Vegetation des Standorte BR und FO besteht aus Laubbäumen (BR: *Acer pseudoplatanus* L., *Fraxinus excelsior* L., FO: *Fagus sylvatica* L.). Für die Bestimmung des Nitrataustragspotenzials wurden Nitratkonzentrationen im Niederschlag, in Oberflächenwässern sowie in Sickerwässern bestimmt. Der Niederschlag wurde in 14-tägigem Abstand mit PE-Sammlern (1 m Höhe) im Zeitraum von November 2005 bis Oktober 2006 beprobt. Wir entnahmen Proben an Wehren der Vorfluter nahe WB und BR. Mit Hilfe von Saugplatten (FO) bzw. Sickerschächten (WB) wurde in demselben Zeitraum Bodenlösung aus 30 cm Tiefe gewonnen. Auf dem Standort BR wurde wegen fehlender Installationen kein Sickerwasser beprobt. Um über die Mineralisationsraten das Nitrataustragspotenzial der einzelnen Standorte zu bestimmen, erfolgte zudem eine Probenahme mit anschließender Inkubation (Oelmann et al. 2005) der Bodenfestphase und des L-Horizontes der einzelnen Standorte (06.12.2006).

Die NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Konzentrationen in den Lösungen wurden am Continuous Flow Analyzer (CFA) der Firma Skalar bestimmt.

Für die Quellenidentifikation wurde der Standort FO als ungedüngte Kontrolle für den langjährig gedüngten Standort WB herangezogen. Nach Aufkonzentration des Nitrats aus den Lösungen zu AgNO<sub>3</sub> (Silva et al., 2000) erfolgte die N- und O-Isotopenanalyse in NO<sub>3</sub><sup>-</sup> des Niederschlags, der Bodenlösung sowie der Inkubationslösung an einer EA-IRMS Kopplung (Vario el III, Elementar und Isoprime, GVI).

## 3. Ergebnisse und Diskussion

Nitrat-Einträge über nasse Deposition waren vernachlässigbar gering (Abb. 1a). Die höchsten NO<sub>3</sub><sup>-</sup> Konzentrationen in den Oberflächenwässern traten zu Beginn der Vegetationsperiode auf (Abb. 1a). Die durchschnittlichen NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Konzentrationen waren im WB (3,3 ± Standardfehler 0,5 mg NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup>) signifikant (t-Test, p < 0,05) höher als auf dem BR-Standort (2,6 ± 0,4 mg NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup>).

Zu Beginn der Inkubation wies der Standort WB die höchste  $\text{NO}_3^-$ -Freisetzung auf (Abb. 1b; WB:  $1,2 \pm$  Standardfehler 0,1; BR:  $0,6 \pm 0,1$ ; FO:  $0,04 \pm 0,01$  mg  $\text{NO}_3\text{-N}$  (g N initial) $^{-1}$ ). Im weiteren Verlauf der Inkubation fand auf dem Standort WB nur eine geringe  $\text{NO}_3^-$  Freisetzung statt, so dass die Freisetzungsrates im WB geringer war als diejenige auf den übrigen beiden Standorten (Abb. 1b; WB: 0,03; BR: 0,5; FO: 0,1 mg  $\text{NO}_3\text{-N}$  (g N initial) $^{-1}$  Tag $^{-1}$ ). Wir vermuten als Ursache für die geringen Mineralisationsraten im WB Unterschiede in der mikrobiellen Aktivität.

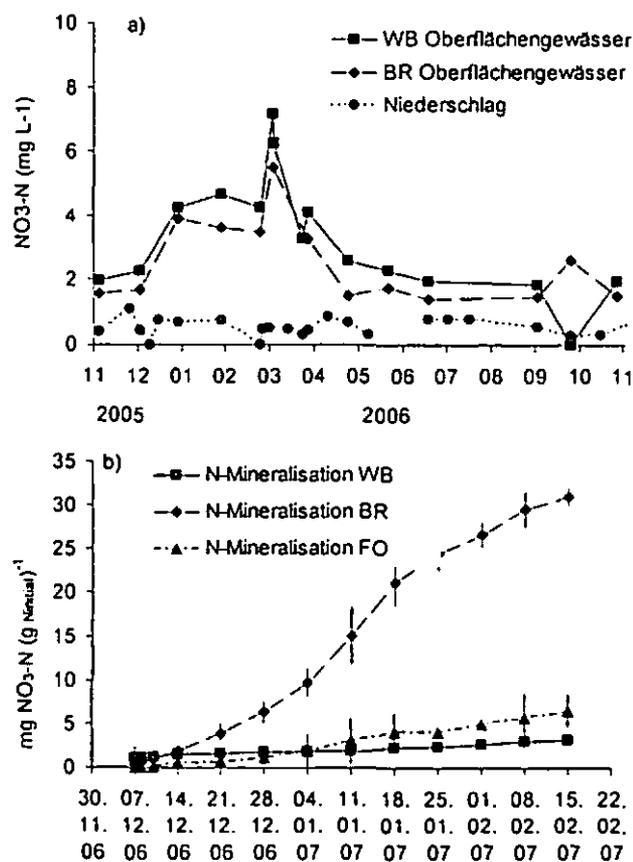


Abb. 1: (a) Nitratkonzentrationen (mg L $^{-1}$ ) im Oberflächenwasser und Niederschlag und (b) Nitratfreisetzung (mg  $\text{NO}_3\text{-N}$  [g N initial] $^{-1}$ ).

Bezogen auf den schnell mineralisierbaren N ist das  $\text{NO}_3^-$ -Austragspotenzial im Weinbau am höchsten. Beim Brachfallen von ehemals weinbaulich genutzten Flächen und der damit unterbleibenden Nachlieferung des schnell mineralisierbaren N durch die Düngung wird das Nitrat-austragspotenzial auf Brachflächen im Vergleich zur weinbaulichen Nutzung reduziert.

Die durchschnittlichen  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Sickerwasser (Mischsignal) des Standortes FO unterschieden sich signifikant (t-Test,  $p < 0,05$ ) von denen des Standortes WB (Abb. 2;  $\delta^{15}\text{N}$ : FO  $0,1 \pm$  Standardfehler 1,5 ‰, WB  $8,4 \pm 0,8$  ‰;  $\delta^{18}\text{O}$ : FO  $9,2 \pm 0,5$  ‰, WB  $5,2 \pm 0,5$  ‰). Mineralische Düngung, die im Sickerwasser durch  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte nahe 0 gekennzeichnet wäre (Kendall und McDonnell 1998), konnte auf dem Standort WB nicht nachgewiesen werden. Eine Quantifizierung der

Quellen ist daher nicht möglich. Vermutlich überprägt organische Düngung (Stallmist), die seit ca. 5-10 Jahren appliziert wird, die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im  $\text{NO}_3^-$ . Organische Düngung resultiert in höheren  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten des Boden-N (Watzka 2006).

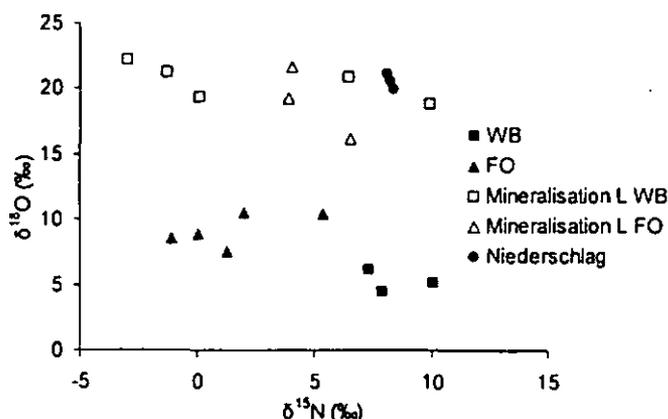


Abb. 2:  $\delta^{15}\text{N}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Nitrat aus dem Niederschlag, aus der Mineralisierung des L-Horizontes, sowie aus der Bodenlösung der Standorte WB und FO.

#### 4. Schlussfolgerungen

Weinbaulich genutzte Flächen weisen vor allem zu Beginn der Vegetationsperiode ein erhöhtes Nitrat-austragspotenzial auf. Allerdings muss einschränkend berücksichtigt werden, dass es sich dabei um schnell mineralisierbaren N handelt.

Der Beitrag des in der Vergangenheit langjährig eingesetzten Mineraldüngers lässt sich mit einem Mischungsmodell auf der Basis der N- und O-Isotope nicht bestimmen. Es fehlt eine zusätzlich zu berücksichtigende Quelle: der seit ca. 5-10 Jahren eingesetzte organische Dünger.

#### 5. Danksagung

Wir danken dem Forschungsfonds der Universität Mainz für die finanzielle Unterstützung.

#### 6. Literatur

- Bundesgesetzblatt (1996): BGBl I, S. 235
- Berthold, G. (1991): Geisenheimer Berichte, Band 7.
- Deutsch B., Liskow I., Kahle P. und Voss M. (2005): Aquatic Sciences 67, 156-165.
- Europäisches Parlament (2000): Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 327/1, 72 S.
- Kendall C. und McDonnell J. J. (1998): Isotope tracers in catchment hydrology. Elsevier.
- King A.P. und Berry A.M. (2005): Agriculture, Ecosystems & Environment 109, 262-272.
- Löhnertz O. (1988): Geisenheimer Berichte Bd. I Band I, 230 S.
- Prior, B. (2001): VEO Information 2001.
- Silva S. R., Kendall C., Wilkison D. H., Ziegler A. C., Chang C. C. Y. und Avanzino R. J. (2000): J. Hydrol. 228, 22-36.
- Spolstra J., Schiff S. L., Elgood R. J., Semkin R. G. und Jeffries D. S. (2001): Ecosystems 4, 536-544.
- Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz (2005): Statistische Monatshefte Rheinland-Pfalz. 2/2005, S. 59-73.
- Watzka, M., Buchgraber, K., Wanek, W. (2006): Soil Biology and Biochemistry 38, 1564-1576

## Pflanzliche Aminosäureaufnahme bei unterschiedlichen Aminosäurekonzentrationen im Boden

L. Sauheitl<sup>1,2</sup>, A. Weigelt<sup>3</sup>, B. Glaser<sup>1</sup>

### Einleitung:

Nachdem das pflanzliche Potential für die intakte Aufnahme von Aminosäuren in sterilen Nährlösungen nachgewiesen worden war, rückte in den letzten Jahren die Untersuchung dieser Aufnahme unter Freilandbedingungen in das Zentrum des wissenschaftlichen Interesses. Da der bodenbürtige Vorrat an freien Aminosäuren sehr kurze Umsatzzeiten aufweist, und damit eine gute Nachlieferung zu erwarten ist, könnte dieser organische N-Pool eine relevante alternative Stickstoffquelle für die pflanzliche Ernährung darstellen.

Umstritten ist dabei allerdings die tatsächliche ökologische Relevanz der pflanzlichen Aminosäureaufnahme (ASA) in den jeweiligen Ökosystemen, da von einer hohen mikrobiellen Konkurrenz im Boden ausgegangen werden muss (Bardgett, Streeter et al. 2003).

Welche Faktoren dieses Konkurrenzverhältnis dominierend steuern ist dabei weitgehend unbekannt. Da es in der Literatur Hinweise auf den Einfluss der heterogenen Verteilung organischer Substanz im Boden und der Gesamtstickstoffaufnahme der Pflanzen gibt, ist die Zielsetzung dieser Studie, den Zusammenhang zwischen Aminosäurekonzentration im Boden ( $AS_{Konz}$ ) und intakter Aminosäureaufnahme der Pflanzen zu untersuchen. Dazu wurden folgende Hypothesen formuliert:

- 1) Bei steigender  $AS_{Konz}$  nimmt der Anteil des intakt aufgenommenen N an der gesamten N-Aufnahme ab
- 2) Die Aufnahmehierarchie hängt vom CN-Verhältnis / der Abbaubarkeit der AS ab.
- 3) Die Aufnahmeeffektivität steigt mit der  $AS_{Konz}$ .

### Material und Methoden

Die Aminosäureaufnahme wurde in einer Gewächshausstudie bei unterschiedlich hohen Gaben von Aminosäuren durchgeführt. Dazu wurden *Anthoxantum odoratum* Pflanzen in mit natürlichem Boden gefüllten Töpfen (5 cm Durchmesser, 10 cm Höhe) herangezogen. Der Boden

stammte aus den obersten 30 cm eines Eutric Fluvisols aus einer Grünlandfläche nahe Jena (Roscher, Schumacher et al. 2004). In Töpfe mit ca. sechs Wochen alten Pflanzen wurden 4 ml unterschiedlich konzentrierter Aminosäuremischungen mit Hilfe einer Spritze injiziert, was zu Applikationsmengen von 2.5, 13 und 250  $\mu\text{g N}$  pro Pflanztopf führte. Dabei war jeweils eine der verwendeten Aminosäuren (Glycin, Valin, Tyrosin und Lysin) doppelt markiert ( $^{15}\text{N}$ ,  $^{13}\text{C}$ ), sodass im Pflanzenmaterial gemessene Anreicherungen eindeutig der Aufnahme einer Aminosäure zugeschrieben werden konnten. 48 Stunden nach der Applikation wurde die oberirdische Biomasse abgeerntet, die Wurzeln aus dem Boden mit VE-Wasser und 0,5 M  $\text{CaCl}_2$  extrahiert und beide Kompartimente in Flüssigstickstoff schockgefroren. Ober- und unterirdische Pflanzenteile wurden gefriergetrocknet, gemahlen und ihre isotopische N- und C-Zusammensetzung am EA-IRMS gemessen. Alle Messungen wurden mit internationalen Standards referenziert.

Die Berechnung des Anteils intakt aufgenommenen Stickstoffs an der gesamt aufgenommenen N-Menge erfolgte nach der graphischen Methode nach Näsholm et al. (1998). Alle statistischen Untersuchungen erfolgten in SPSS (Vers. 10.0.1)

### Ergebnisse

Mit steigender Tracermenge nahm der Anteil von intakt aufgenommenem N ( $N_{int,rel}$ ) am gesamt aufgenommenen N ( $N_{tot}$ ) signifikant ab (Abb. 1). Dies gilt für alle Aminosäuren, wenngleich die Abnahme unterschiedlich stark war und bei Valin am schwächsten ausfiel.

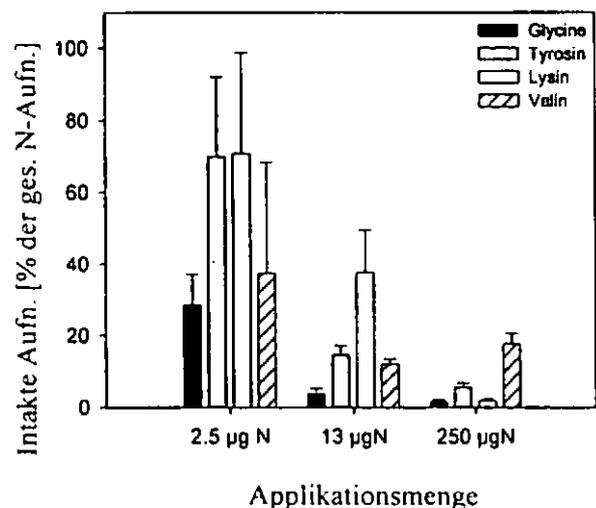


Abb. 1: Zusammenhang zwischen Applikationsmenge und rel. intakter Aminosäure-N-Aufnahme

Ein an die Daten angepasstes General Linear Model (GLM) zeigt, dass von den Einflusspara-

<sup>1</sup> Abteilung Bodenphysik, Universität Bayreuth

<sup>2</sup> e-mail: da\_poldi1@web.de

<sup>3</sup> Institut für Ökologie, Universität Jena

metern Bodenwassergehalt, Aminosäuretyp und Applikationsmenge die Applikationsmenge zusammen mit ihrer Wechselwirkung mit dem Aminosäuretyp mehr als 50.% der beobachteten Datenvarianz erklären.

Die gesamte N-Aufnahme aus dem Tracer relativ zur tatsächlich applizierten Tracer-N-Menge ( $N_{\text{tot,rel,appl}}$ ) stieg dagegen bei allen Aminosäuren mit höheren Applikationsmengen (Abb 2a). Für die intakte N-Aufnahme rel. zur applizierten Tracer-N-Menge ( $N_{\text{int,rel,appl}}$ ) war dieser Trend für alle Aminosäuren, abgesehen von Valin, durchgehend umgekehrt und zeigt vor allem zwischen 2,5 und 13  $\mu\text{g N}$  Applikationsmenge einen deutlichen Abfall (Abb. 2b). Während bei  $N_{\text{tot,rel,appl}}$  der Aminosäuretyp den größten Teil der Varianz erklärte, waren dies bei  $N_{\text{int,rel,appl}}$  erneut die Applikationsmenge und ihre Wechselwirkung mit dem Aminosäuretyp.

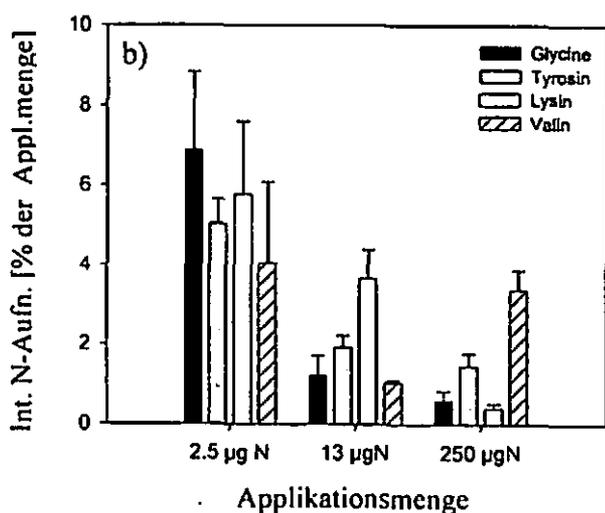
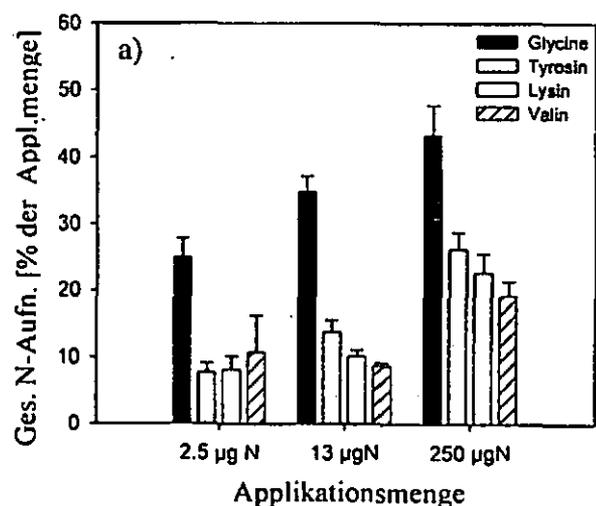


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Applikationsmenge und rel. zur applizierten N-Menge a) gesamt aufgenommenem Stickstoff und b) intakt aufgenommenem Stickstoff

### Interpretation

Die negative Korrelation zwischen Applikationsmenge und  $N_{\text{int,rel}}$  kann sowohl auf pflanzen-

interne Regulationsmechanismen, als auch auf eine größere Konkurrenzstärke von Mikroben bei hohen  $AS_{\text{konz}}$  hinweisen. Die negative transkriptionale und post-transkriptionale Regulierung von Aminosäuretransportproteinen bei hohen  $N_{\text{min}}$ -Gehalten wurde bereits von Grenson (1992) gezeigt. Da bei höheren Applikationsmengen durch die mikrobielle Mineralisation immer auch höhere absolute  $N_{\text{min}}$ -Werte im Boden zu erwarten sind, wird die Aufnahme der AS entsprechend minimiert. Der negative Zusammenhang zwischen höherer  $N_{\text{min}}$ -Konzentration nach Düngung und der intakten Aminosäureaufnahme wurde auch von Persson et al. (2003) beobachtet. Sollte hingegen die mikrobielle Konkurrenz eine dominierende Rolle spielen, so müssten schlechte Nährsubstrate, wie Glycin und Tyrosin bevorzugt durch die Pflanze aufgenommen werden. Da diese Einteilung nicht für alle Konzentrationen konsistent ist, muss davon ausgegangen werden, dass die interne pflanzliche Regulation die rel. Bedeutung der Aminosäureaufnahme für die N-Ernährung maßgeblich steuert.

Da  $N_{\text{tot,rel,appl}}$  mit steigender Applikationsmenge zunimmt, und die Gesamtaufnahme von  $N_{\text{min}}$  dominiert wird, ist davon auszugehen, dass ein stärkerer Transport von  $N_{\text{min}}$  bei höheren Applikationsmengen zur Wurzeloberfläche zu einer höheren Aufnahmeeffektivität führt. Der gegenläufige Trend bei  $N_{\text{int,rel,appl}}$  zeigt, dass dieser Transportprozess hier nicht dominant ist, sondern weiterhin die pflanzeninterne Regulation die größte Rolle spielt.

Bardgett, R. D., T. C. Streeter and R. Bol (2003). "Soil microbes compete effectively with plants for organic-nitrogen inputs to temperate grasslands." *Ecology* 84(5): 1277-1287.

Grenson, M. (1992). "Amino acid transporters in yeast: structure, function and regulation." *Molecular Aspects of Transport Proteins*: 219-245.

Nasholm, T., A. Ekblad, A. Nordin, R. Giesler, M. Hogberg and P. Hogberg (1998). "Boreal forest plants take up organic nitrogen." *Nature* 392(6679): 914-916.

Persson, J., P. Hogberg, A. Ekblad, M. N. Hogberg, A. Nordgren and T. Nasholm (2003). "Nitrogen acquisition from inorganic and organic sources by boreal forest plants in the field." *Oecologia* 137(2): 252-257.

Roscher, C., J. Schumacher, J. Baade, W. Wilcke, G. Gleixner, W. W. Weisser, B. Schmid and E. D. Schulze (2004). "The role of biodiversity for element cycling and trophic interactions: an experimental approach in a grassland community." *Basic and Applied Ecology* 5(2): 107-121.

# N<sub>2</sub>O im oberflächennahen Grundwasser: räumliche Variabilität unter Berücksichtigung ökochemischer Einflussfaktoren in dem System Boden/ Grundwasser

Carolin von der Heide<sup>1\*</sup>, Jürgen Böttcher<sup>1</sup>,  
Wilhelmus H.M. Duijnsveld<sup>2</sup>, Markus Deurer<sup>3</sup>,  
Daniel Weymann<sup>4</sup>

## Einleitung

Unser Untersuchungsgebiet ist der Fuhrberger Feld Aquifer (FFA), ein etwa 30 km nordöstlich von Hannover gelegenes Wassereinzugsgebiet mit einer Größe von etwa 300 km<sup>2</sup>. Es besteht aus 20-40 m mächtigen Sanden bis kiesigen Sanden und ist typisch für die quartär geprägten Gebiete Nord- und Mitteleuropas. Unsere Untersuchungen konzentrierten sich auf einen repräsentativen Anströmungstreifen entlang einer Grundwasserfließrichtung (Abb. 1), in dem die Grundwasserspiegellhöhe in Süd-Nord Richtung abnimmt. Frühere Untersuchungen im FFA identifizierten intensive Denitrifikation im Grundwasser. Die autotrophe Denitrifikation mit Sulfiden als Elektronendonator dominiert hinsichtlich der denitrifizierten Nitratmenge und gewinnt ab 2-3 m unter der Grundwasseroberfläche zunehmend an Bedeutung (Böttcher et al. 1992). Es gibt Hinweise, dass heterotrophe Denitrifikation mit organischem Kohlenstoff als Elektronendonator nahe der Grundwasseroberfläche vorkommt (Kölle, 1983). Diese Arbeit ist Teil eines größeren Projekts über die N<sub>2</sub>O Produktion durch Denitrifikation und dessen Verbleib im Grundwasser. Wir analysieren hier die räumliche Variabilität von N<sub>2</sub>O Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser (OGW) und deren Bedeutung für Probenahmen. Ein weiteres Ziel ist herauszufinden, welche Denitrifikationsreaktionen (autotroph und/ oder heterotroph) im oberflächennahen Grundwasser wichtig für die N<sub>2</sub>O Produktion waren und welche Bedeutung dabei die Einflussfaktoren DOC, CO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, Redoxpotenzial und der pH-Wert auf die Verteilung von N<sub>2</sub>O Konzentrationen hatten.

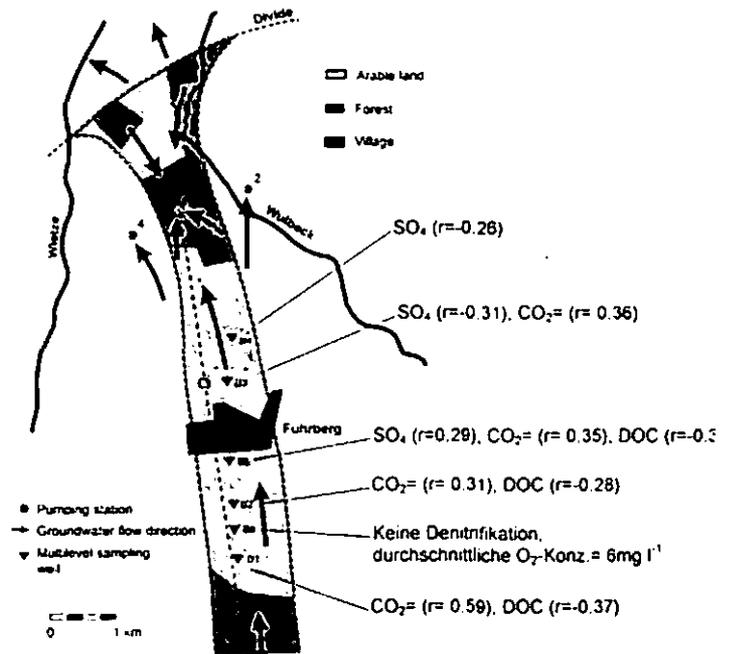


Abb.1: Anströmungstreifen des Wasserwerkbrunnens I mit Landnutzungen, den Multilevel Brunnen B1-B6 und partiellen Korrelationskoeffizienten von SO<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> und DOC mit N<sub>2</sub>O.

## Material und Methoden

Zur Untersuchung der räumlichen Variabilität haben wir im März 2005 über eine Periode von 3 Wochen das oberflächennahe Grundwasser beprobt. Dazu wurden 79 Flächen (ca. 200 x 200 m), die zumeist in dem Anströmungstreifen lagen (Abb. 1), nach den Kriterien Landnutzung (Ackerland oder Wald/Wiese), Grundwasserspiegellhöhe (0.2 m bis 3.4 m), und Bodentypen (Podsol, Gley, Pseudogley und Niedermoor) ausgewählt. Pro Fläche wurden 3 Wasserproben 50 cm unter dem Grundwasserspiegel genommen und diese auf N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, DOC, SO<sub>4</sub> und NO<sub>3</sub> untersucht. Die Probenahmepunkte waren diagonal in gleichmäßigen Abständen über die Flächen verteilt. Zur Untersuchung der kleinräumigen Variabilität haben wir im September 2006 und im März 2007 das Grundwasser von drei 12 m langen Transekten im Süden des Anströmungstreifens beprobt. Deren Entfernung voneinander betrug 250 bis 750 m. Die Grundwasserproben wurden jede 0.2 m genommen. Die Probenahmetiefe war 0.5 m unter der Grundwasseroberfläche. Es wurden N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, DOC, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> und der pH-Wert untersucht. Die räumliche Gesamtvarianz (Dispersionsvarianz) wurde in die Varianz zwischen Flächen bzw. Transekten und in die Varianz innerhalb von Flächen bzw. Transekten unterteilt (Webster & Oliver 2001).

Als nächsten Schritt haben wir in dem Anströmungstreifen (Abb. 1) 6 Multilevel Brunnen installiert. Die obersten 2 m des Grundwassers wurden über 1 Jahr monatlich in 0.2 m Intervallen beprobt und auf N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, DOC, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, O<sub>2</sub>, Redoxpotenzial und den pH-Wert untersucht. Für jeden Brunnen wurden mit den über 1 Jahr gepoolten Daten (=12 Probenahmezeitpunkte, 11 Tiefen pro Brunnen, N= 132) partielle Korrelationsanalysen von N<sub>2</sub>O mit CO<sub>2</sub>, DOC, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, O<sub>2</sub>, dem

<sup>1</sup>Institut für Bodenkunde, Universität Hannover, Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover

\*email: cvdh@ifbk.uni-hannover.de

<sup>2</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, 30655 Hannover

<sup>3</sup>Hort Research, Sustainable Land Use Team, Tennent Drive, Palmerston North 4474, New Zealand

<sup>4</sup>Institut für Bodenkunde und Waldernährung, Universität Göttingen, Büsgenweg 2, 37077 Göttingen

Redoxpotenzial und dem pH-Wert und eine multiple lineare Regressionsanalyse gerechnet. Ausschließlich Variablen, die einen linearen Zusammenhang mit N<sub>2</sub>O zeigten und nicht interkorrelierten wurden in die Regressionsanalyse einbezogen.

## Ergebnisse und Diskussion

### 1. Räumliche Variabilität von N<sub>2</sub>O im OGW

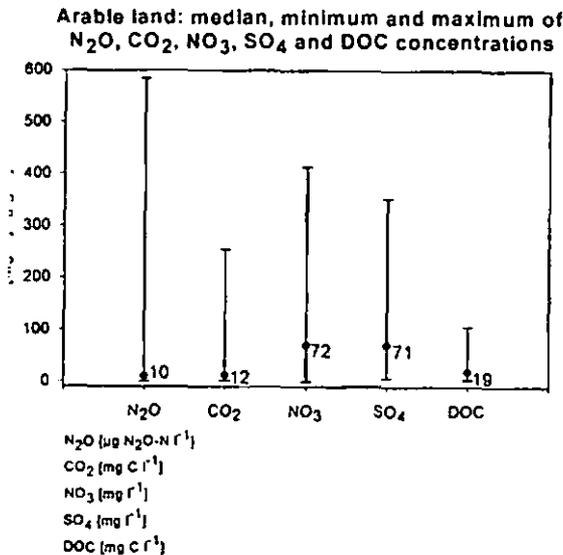


Abb.2: Median, Minimum und Maximum von N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> und DOC Konzentrationen im OGW im März 2005, N= 239

Im März 2005 war die Variabilität von N<sub>2</sub>O im OGW extrem hoch (Variationskoeffizient = 207%). Auch die Variabilität der anderen untersuchten Variablen war hoch (Abb.2). Zur Aufklärung der Variabilitätsursachen unterteilten wir die Daten im nächsten Schritt gemäß der Nutzung. Im Folgenden wird ausschließlich auf die Daten und Ackernutzung eingegangen. Die 3 Beprobungspunkte innerhalb jeder Fläche hatten exakt die gleichen Kriterien hinsichtlich Landnutzung, Grundwasserstand und Bodentyp. Wenn die Auswahlkriterien signifikant für die Verteilung von N<sub>2</sub>O Konzentrationen im OGW wären, hätten wir ähnliche N<sub>2</sub>O Konzentrationen innerhalb der Flächen gefunden. Die Zerlegung der Gesamtvarianz in die Varianz zwischen den Flächen und innerhalb von Flächen zeigte jedoch, dass die Variabilität von N<sub>2</sub>O innerhalb der Flächen mit einem Anteil von 60% an der Gesamtvarianz größer war als die Variabilität zwischen den Flächen. Die anderen Variablen, bis auf CO<sub>2</sub> welches jedoch über die heterotrophe Denitrifikation direkt mit der N<sub>2</sub>O Produktion zusammenhängt, zeigten eine höhere Varianz zwischen den Flächen. Sie waren besser vorhersagbar durch die Auswahlkriterien.

Die Beprobung der drei Transekte im September 2006 und März 2007 zeigte ein ähnliches Ergebnis: Im September 2006 betrug der Varianzanteil von N<sub>2</sub>O innerhalb der Transekte 86%, im März 2007 sogar 87% der Gesamtvarianz. Die Varianz aller anderen Variablen, bis auf SO<sub>4</sub>, war innerhalb der Transekte

deutlich geringer als zwischen den Transekten. Die hohe kleinräumige Variabilität bedeutet, dass für die Charakterisierung von Einzelflächen hinsichtlich ihres Potenzials für indirekte Emissionen ein sehr hoher Probeaufwand nötig ist. Die drei Auswahlkriterien waren nur bedingt geeignet für die Abschätzung von N<sub>2</sub>O Konzentrationen im OGW.

### 2. Einflussfaktoren von N<sub>2</sub>O im OGW

An den Multilevel Brunnen interpretierten wir eine negative Korrelation von N<sub>2</sub>O mit DOC und eine positive Korrelation von N<sub>2</sub>O mit CO<sub>2</sub> als N<sub>2</sub>O Produktion durch heterotrophe Denitrifikation. Eine positive Korrelation von N<sub>2</sub>O mit SO<sub>4</sub> als N<sub>2</sub>O Produktion durch autotrophe Denitrifikation.

Das N<sub>2</sub>O im OGW wurde wahrscheinlich durch beide Reaktionen produziert (Abb.1). Die Dominanz der jeweiligen Reaktion war abhängig von der Grundwasserspiegelhöhe. Je höher das Grundwasser in Nord-Süd Richtung des Anströmungstreifens anstand, desto größer wurde die Bedeutung der heterotrophen Denitrifikation und desto geringer die der autotrophen Denitrifikation (Abb.1). DOC beeinflusste die N<sub>2</sub>O Produktion bei der heterotrophen Denitrifikation. Jedoch sind weitere Untersuchungen zur Validierung von DOC als Elektronendonator bei der heterotrophen Denitrifikation nötig.

Bei tiefem Grundwasserspiegel standen wahrscheinlich noch ausreichend Sulfide für die autotrophe Denitrifikation zu Verfügung. Bei höher anstehendem Grundwasser könnte der Sulfidvorrat limitierend gewesen sein (Böttcher et al. 1992) und die heterotrophe Denitrifikation durch mikrobiell leicht abbaubaren organischen Kohlenstoff (C<sub>org</sub>) begünstigt. Die Verfügbarkeit des C<sub>org</sub> aus dem Oberboden ist eine Funktion der Mächtigkeit der ungesättigten Zone. Je geringmächtiger diese ist, desto mehr mikrobiell gut verfügbarer C<sub>org</sub> gelangt ins OGW.

Durch die multiple Regressionsanalyse konnte 27- 72 % der Variabilität von N<sub>2</sub>O an den 6 Multilevel Brunnen erklärt werden. Signifikante Einflussfaktoren waren, je nach Brunnen, DOC, SO<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> und das Redoxpotenzial. Diese Ergebnisse zeigen, dass die untersuchten Variablen die Variabilität von N<sub>2</sub>O z.T. erklären, dass es aber noch andere wichtige Einflussfaktoren gibt, die in dieser Studie nicht berücksichtigt wurden.

### Danksagung:

Vielen Dank an R. Well, H. Geistlinger, D. Eisenmann, K. Schäfer und H. Flessa für viele hilfreiche Diskussionen und G. Klump, M. Wiwiorra, A. Keitel und G. Höfer für die Unterstützung bei der Feld- und Laborarbeit. Danke an die DFG für die finanzielle Unterstützung.

### Literatur:

- Böttcher, J., O. Strelow, et al. (1992). Redox conditions and microbial sulfur reactions in the Fuhrberger Feld sandy aquifer. *Progress in Hydrogeochemistry*. F.-H.-F. G. Matthes, P. Hirsch, H.D. Schulz and E. Usdowski (Eds.). Berlin, Springer-Verlag: 219-226.
- Kölle, W., P. Werner, et al. (1983). "Denitrifikation in einem reduzierenden Grundwasserleiter." *Vom Wasser* 61: 125-147.
- Webster, R. and M. A. Oliver (2001). *Geostatistics for environmental scientists*. Chichester.

## Denitrifikation in der gesättigten Zone: Bestimmung von „excess N<sub>2</sub>“ und Ableitung potenzieller indirekter N<sub>2</sub>O Emissionen

D. Weymann\*, R. Well, C. v.d. Heide, H. Flessa, C. Konrad & W. Walther

### 1 Einleitung

Die Bedeutung von N<sub>2</sub>O Emissionen, die in Verbindung mit Auswaschung von Stickstoffverbindungen in das Grundwasser stehen, ist derzeit noch nicht sicher geklärt. Diesen indirekten Emissionen wurde für die Aufstellung nationaler Klimabilanzen der Emissionsfaktor EF5-g zugeordnet, der durch das Verhältnis von N<sub>2</sub>O Konzentrationen im Grundwasser zu den eingetragenen N spezies - die überwiegend in Form von Nitrat auftreten - charakterisiert ist (IPCC 2006). Beide Komponenten können bei entsprechenden Voraussetzungen Umwandlungsprozessen unterliegen, wie beispielsweise in Aquiferen, in denen Denitrifikation auftritt. Der fortschreitende Nitratabbau führt hier dazu, dass gemessene „Augenblickskonzentrationen“ nicht den ursprünglichen N-Eintrag widerspiegeln und somit bei der Berechnung des EF5-g Unsicherheiten auftreten. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Nitratkonzentrationen bei der Grundwasserneubildung (NO<sub>3</sub>t<sub>0</sub>) zu rekonstruieren. Um dies zu realisieren, kann der auf der Grundwasserfließstrecke stattfindende denitrifikative Nitratabbau abgeleitet werden, indem der durch Denitrifikation gebildete Stickstoff (excess N<sub>2</sub>) in Grundwasserproben mit Hilfe des N<sub>2</sub> / Ar - Verhältnisses bestimmt wird (Clough et al. 2005, Blicher-Mathiesen et al. 1998). Dabei fungiert das Edelgas Argon als inerter Tracer, der im Grundwasser keiner An- bzw. Abreicherung im Vergleich zur Gleichgewichtskonzentration mit der Atmosphäre unterliegt.

### 2 Material und Methoden

Die Bestimmung von N<sub>2</sub>O Konzentrationen und excess N<sub>2</sub> erfolgte gaschromatographisch an Grundwasserproben aus 5 niedersächsischen quartären Lockergesteinsaquiferen (Tab. 1), für die die Bedeutung der Denitrifikation für die Grundwasserqualität vor dem Hintergrund der Trinkwassergewinnung in vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten bereits beschrieben wurde (Böttcher et al. 1990, Konrad 2007). Die Proben wurden mittels Tauch- bzw. Schlauchpumpe gefördert. Dabei wurde Grundwasser luftblasenfrei in Injektionsflaschen (V = 118 ml) überführt, so dass das Flaschenvolumen mindestens

einmal ausgetauscht wurde. Die Flaschen wurden anschließend mit Butylgummisepten verschlossen und mit Bördelkappen versehen. Im Labor wurde durch die Injektion von jeweils 8 ml Helium und das Verdrängen einer volumengleichen Probenmenge ein *headspace* kreiert, aus dessen Gas nach Gleichgewichtseinstellung zwischen Gas- und Wasserphase die Gelöst-Konzentrationen von N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, Ar und excess N<sub>2</sub> bestimmt wurden (Kampbell et al. 1988). Als Grundwassertemperatur wurden 10 °C angenommen, was fast exakt der Jahresmitteltemperatur der letzten 10 Jahre in den Untersuchungsgebieten entspricht.

Tab. 1: Durchschnittliche Mächtigkeit, hydraulisch aktives Sediment und Tiefenbereich der Probeentnahmen (< GOF: unter Grundwasseroberfläche) der untersuchten Aquifere.

Aquifer (n Proben / n Brunnen)	Aquifer-mächtigkeit [m]	hydr. aktives Sediment	Entnahmetiefe [m], < GOF
Fuhrberg (189/7)	20-35	Sand	0.1 - 27.0
Wehnsen (21/14)	30-50	Sand, Kies	7.0 - 62.0
Sulingen (42/2)	20-30	Sand, Kies	8.5 - 63.0
Thülsfelde (38/23)	150	Sand	1.7 - 35.4
Göttingen (30/6)	5-10	Kies	4.0 - 23.5

Da excess N<sub>2</sub> mit dem auf der Fließstrecke abgebauten NO<sub>3</sub>-N bei vollständiger Denitrifikation gleichzusetzen ist, ergibt sich NO<sub>3</sub>t<sub>0</sub> aus der Addition von gemessenem NO<sub>3</sub>-N und excess N<sub>2</sub>. Eine weitere Größe, die von excess N<sub>2</sub> ableitbar ist, ist der Reaktionsfortschritt der Denitrifikation (RP). RP kann aus dem Verhältnis der Konzentrationen der Produkte und Edukte der Denitrifikationsreaktion berechnet werden:

$$RP = \frac{\text{excess N}_2 + (cN_2O) - N}{(cNO_3) - N_{10}} \quad (1)$$

Der Emissionsfaktor für indirekte N<sub>2</sub>O Emissionen aus dem Grundwasser wurde für jede Probe aus dem Verhältnis der N<sub>2</sub>O Konzentrationen zum ermittelten NO<sub>3</sub>t<sub>0</sub> berechnet, da es somit möglich ist, potenzielle N<sub>2</sub>O Emissionen auf den N-Eintrag zu beziehen:

$$EF(1) = \frac{(cN_2O) - N}{(cNO_3) - N_{10}} \quad (2)$$

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Die N<sub>2</sub>O Konzentrationen im Grundwasser lagen zwischen 0 – 950 µg N L<sup>-1</sup> (Abb. 1). Die höchsten Konzentrationen wurden im oberflächennahen Grundwasser des Fuhrberger Aquifers gemessen. Generell wurde eine sehr heterogene räumliche Verteilung der N<sub>2</sub>O Konzentrationen in allen Untersuchungsgebieten festgestellt.

\*Institut für Bodenkunde und Waldernährung, Universität Göttingen  
e-mail: daniel.weymann@forst.uni-göttingen.de

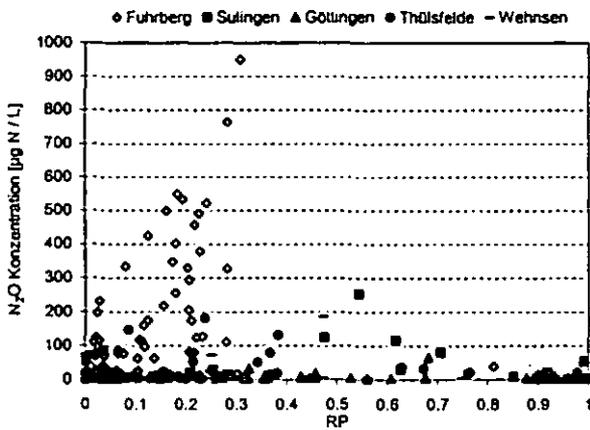


Abb. 1: Gelöst-N<sub>2</sub>O Konzentrationen der untersuchten Aquifere in Abhängigkeit vom Reaktionsfortschritt der Denitrifikation (RP).

Dennoch lässt sich aus der Beziehung zwischen N<sub>2</sub>O Konzentrationen und RP ableiten, dass die höchsten N<sub>2</sub>O Konzentrationen jeweils in einem RP-Bereich von 0.1 – 0.5 auftreten, während zu Beginn und vor allem am Ende der Denitrifikationsreaktion niedrigere N<sub>2</sub>O Konzentrationen zu beobachten sind (Abb. 1). Dies verdeutlicht, dass die Abschätzung von RP auf der Grundlage von excess N<sub>2</sub> bei der Identifizierung emissionsgefährdeter Aquiferareale und für weiterführende Untersuchungen zum Reaktions- und Transportverhalten von N<sub>2</sub>O nützlich sein kann.

Die Bedeutung der Denitrifikation für die Grundwasserqualität und die Abschätzung potentieller indirekter N<sub>2</sub>O Emissionen geht aus Tabelle 2 hervor:

Tab. 2: Mediane von excess N<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>t<sub>0</sub> und RP in den untersuchten Aquiferen.

Aquifer	excess N <sub>2</sub> [mg N/L]	NO <sub>3</sub> [mg N/L]	NO <sub>3</sub> t <sub>0</sub> [mg N/L]	RP
Fuhrberg	5.97	11.59	17.38	0.46
Wehnsen	11.35	13.94	25.30	0.47
Sulingen	1.15	11.29	17.16	0.26
Thülsfelde	8.77	1.31	12.64	0.92
Göttingen	3.61	4.51	7.44	0.46

Es wird deutlich, dass zwischen NO<sub>3</sub>- und NO<sub>3</sub>t<sub>0</sub>-Konzentrationen signifikante Unterschiede in allen Aquiferen bestehen. Dies zeigt auch, dass bei der Ableitung von Emissionsfaktoren NO<sub>3</sub>t<sub>0</sub>-Konzentrationen zu berücksichtigen sind (Gl. 2), da NO<sub>3</sub>-„Augenblickskonzentrationen“ in Aquiferen mit Denitrifikation zu einer Überschätzung von potenziellen indirekten N<sub>2</sub>O Emissionen führen können (EF2), da der Nitratabbau hier vernachlässigt wird. Die Unterschiede zwischen den berechneten Emissionsfaktoren für die untersuchten Aquifere sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Mediane von EF(1) sind deutlich niedriger als die von EF(2), für dessen Berechnung oftmals NO<sub>3</sub>-Augenblickskonzentrationen verwendet wurden (Mosier et al. 1998). Der

IPCC Referenzwert beträgt für den EF5-g 0.0025 (IPCC 2006).

Tab. 3: Abgeleitete Grundwasser-Emissionsfaktoren für die untersuchten Aquifere unter Berücksichtigung von NO<sub>3</sub>t<sub>0</sub> (EF1) und NO<sub>3</sub>-Augenblickskonzentrationen (EF2).

	EF(1) Min	EF(2) Max	EF(1) Median	EF(2) Median
Fuhrberg	0.00004	0.02103	0.00080	0.00222
Wehnsen	0.00005	0.00736	0.00025	0.00095
Sulingen	0.00003	0.03733	0.00061	0.00103
Thülsfelde	0.000006	0.00765	0.00054	0.00263
Göttingen	0.00001	0.01547	0.00044	0.00095

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass der in den untersuchten Aquiferen ermittelte EF(1) den IPCC Referenzwert um ein Vielfaches unterschreitet. Da in dieser Studie die Ableitung des EF(1) erstmalig unter Berücksichtigung von NO<sub>3</sub>t<sub>0</sub> erfolgte, kann vermutet werden, dass besonders in Aquiferen mit intensiver Prozessdynamik der Denitrifikation und dem damit verbundenen Nitratabbau die Bedeutung indirekter N<sub>2</sub>O Emissionen aus dem Grundwasser geringer ist, als es der IPCC Referenzwert beschreibt.

#### Literatur

- Blicher-Mathiesen, G., G.W. McCarty, and C.P. Nielsen. 1998. Denitrification and degassing in groundwater estimated from dissolved nitrogen and argon. *Journal of Hydrology* 208:16-24.
- Böttcher, J., O. Strelbe, S. Voerkelius, and H.-L. Schmidt. 1990. Using isotope fractionation of nitrate-nitrogen and nitrate-oxygen for evaluation of microbial denitrification in a sandy aquifer. *J. Hydrol.* 114:413-424.
- Clough, T.J., R.R. Sherlock, and D.E. Rolston. 2005. A review of the movement and fate of N<sub>2</sub>O in the subsoil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 72:3-11.
- IPCC 2006. N<sub>2</sub>O emissions from managed soils, and CO<sub>2</sub> emissions from Lime and urea application. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 4: Agriculture, forestry and other land use.
- Kampbell, D.H., J.T. Wilson, and S.A. Vandegrift. 1988. Dissolved oxygen and methane in water by a GC headspace equilibration technique. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 36:249-257.
- Konrad, C. 2007. Methoden zur Bestimmung des Umsatzes von Stickstoff, dargestellt für drei pleistozäne Grundwasserleiter Norddeutschlands. PhD thesis, Dresden Univ. of Technology.
- Mosier, A., C. Kroeze, C. Nevison, O. Oenema, S. Seitzinger, and O. van Cleemput. 1998. Closing the global N<sub>2</sub>O budget: Nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *OECD/IPCC/IEA Phase II: development of IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory methodology. Nutr. Cycl. Agroecosys.* 52:225-248.

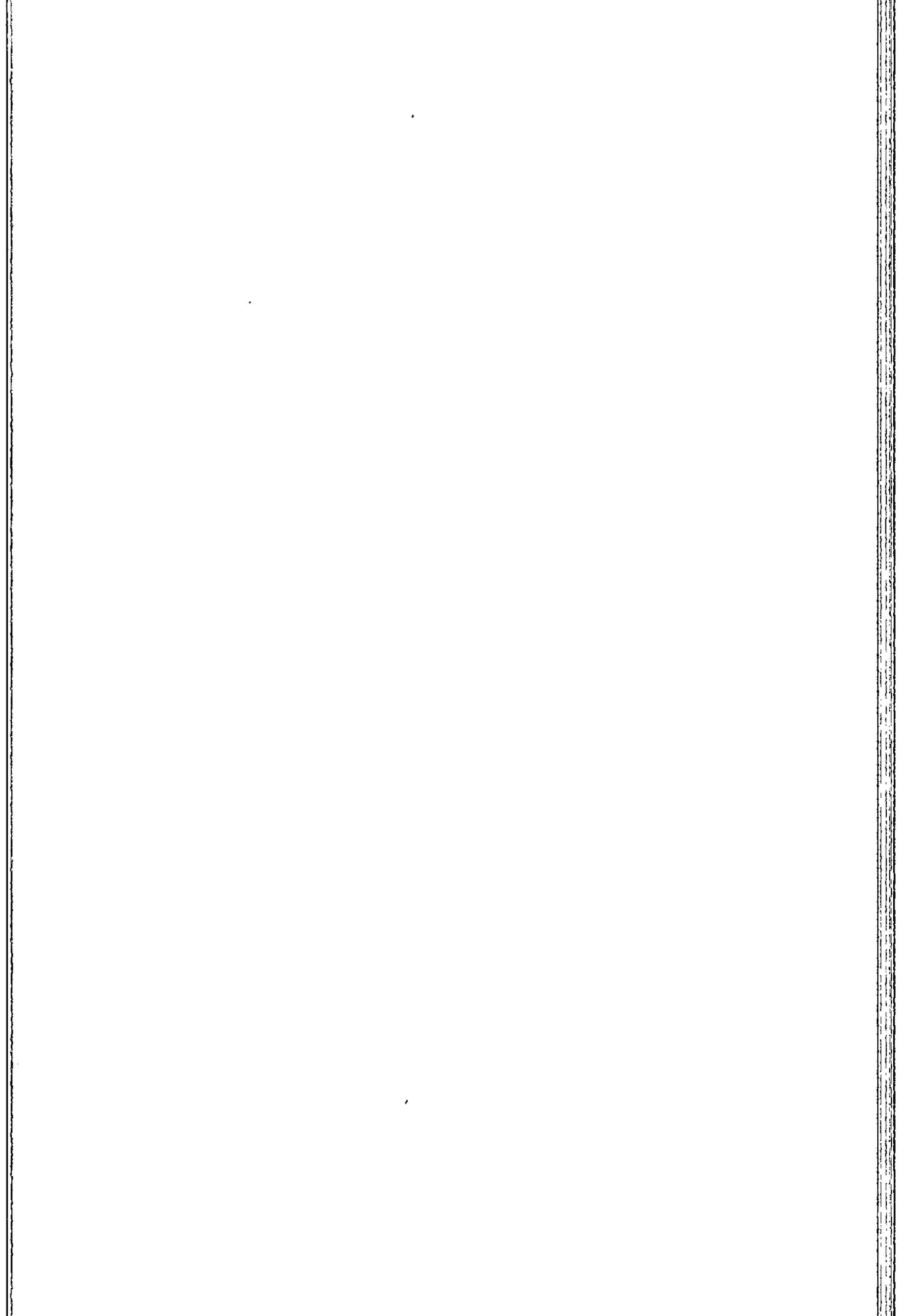
**MITTEILUNGEN**  
**DER**  
**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN**  
**GESELLSCHAFT**

**Referate Symposium Kommissionen IV, II und III**

Band 110

Heft 2

2007



## **Böden dokumentieren die Waldausbreitung im Grasland-Araukarienwald-Mosaik des südbrasilianischen Hochlandes**

Alexander Dümig\*, Peter Schad\*, Cornelia Rumpel<sup>†</sup>, Marie-France Dignac<sup>†</sup>, Ingrid Kögel-Knabner\*

### **Einleitung**

Im südbrasilianischen Hochland des Bundesstaates Rio Grande do Sul besteht ein Mosaik aus Araukarienwald (C<sub>3</sub>) und Grasland (C<sub>4</sub>). Von den ehemals großflächig vorhandenen Araukarienwäldern (*Araucaria angustifolia*) sind heute nur noch geringe Reste übrig. Seit dem Eintreffen der europäischen Kolonisatoren vor etwa 300 Jahren werden die Grasländer als Weideland genutzt und häufig gebrannt um die Futterqualität zu erhöhen. Deshalb war es unklar, ob die gegenwärtigen Graslandflächen natürliche Relikte aus einer Zeit trockeneren Klimas sind oder erst seit den Brandrodungen der Kolonisatoren existieren.

Auf einen Vegetationswechsel von Grasland zu Wald weisen Pollenanalysen von einem Bohrkern in der Nähe unseres Untersuchungsgebietes hin, wonach sich vor etwa 1000 Jahren bei Feuchterwerden des Klimas eine Ausbreitung von Wald auf den Grasländern vollzog<sup>[1]</sup>.

Als Arbeitsgebiet wurde das seit 1992 bestehende Waldschutzgebiet „Pró-Mata“ ausgewählt, da sich durch den Ausschluss von Beweidung und Feuer auf Grasland eine vielgestaltige Sukzession von Sträuchern und Pionierbaumarten entwickelt hat.

### **Material und Methoden**

- **Untersuchungsgebiet „Pró-Mata“:**
  - 29° 28' - 29' S, 50° 10' - 13' W
  - 900 bis 950 m über NN
  - mittlere Jahresniederschläge: 2500 mm
  - Ausgangsgestein: Rhyodazit
  - Böden: nonallophanic (aluandic) Andosole und Umbrisole
- **Beprobung von dominanten Pflanzenarten und 13 Profilen:**
  - 2 x Grasland mit und 2 x ohne Sträucher

- 2 x Araukarien-Waldinseln im Grasland
- 4 x Araukarienwald (1 x am Waldrand und 3 x im Waldinneren)
- 1 x Buschland
- 2 x Kiefernplantage (Pflanzung auf Grasland vor 15 Jahren)

#### • **Analysen:**

- Dichtefraktionierung mit Na-Polywolframat ( $\rho = 1,6$ ) um das freie und leichte organische Material (fPOM) von der schweren organisch-mineralischen Fraktion abzutrennen
- <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C-Isotopensignatur:
  - organische Auflagen, leichte und organisch-mineralische Fraktionen, Pflanzenproben
- Radiokohlenstoffalter von ausgewählten organisch-mineralischen Fraktionen

### **Ergebnisse**

#### • **$\delta^{13}$ C-Isotopenverhältnisse**

##### - **Pflanzenproben:**

- Gräser (5): -13,8 bis -11,7 ‰ (Halm/Wurzel)
- Sträucher (6): -29,4 bis -28,2 ‰ (Blatt/Holz)
- Laubbäume (17): -34,4 bis -28,2 ‰ (Blatt/Holz)
- Araucaria angustifolia*: -26,5 bis -24,1 ‰ (Nadel, Rinde, Holz)

##### - **organische Auflagen:**

- Grasland mit Sträucher: -23,0 bis -17,0 ‰
- Araukarienwald, Waldinseln: -29,5 bis -27,0 ‰

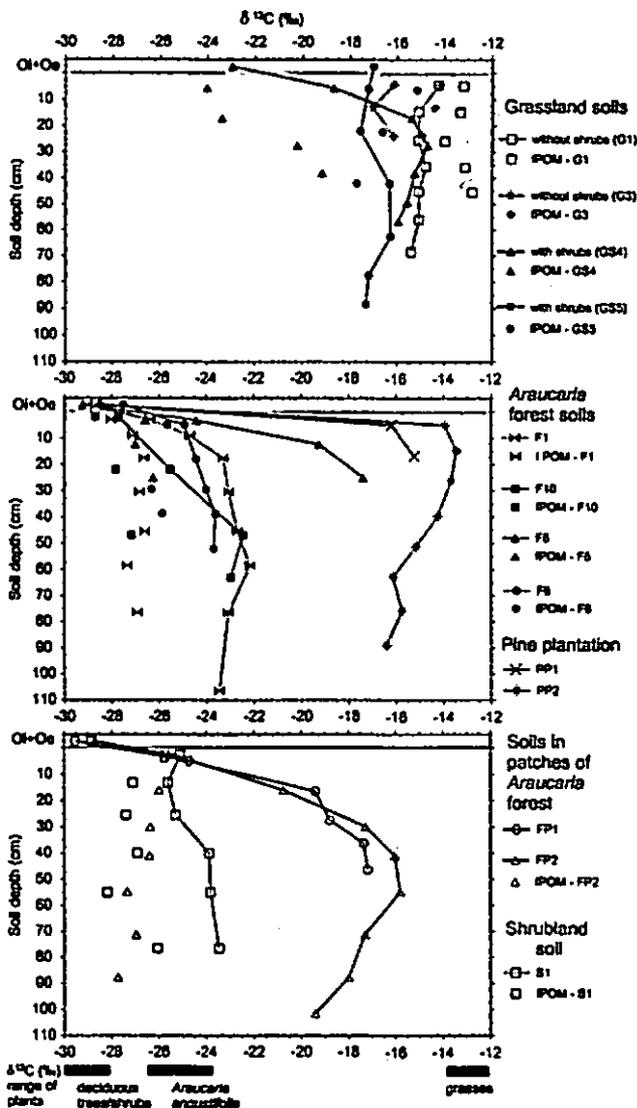
##### - **schwere organisch-mineralische und leichte Fraktionen (fPOM):**

Die  $\delta^{13}$ C-Isotopenverhältnisse der Profile unter Araukarienwald und Buschland liegen mit -26,4 bis -22,2 ‰ deutlich niedriger als die der Graslandprofile mit -18,7 bis -14,3 ‰. Weiterhin belegen die großen Unterschiede zwischen dem „jungen“ freien und leichten organischen Material (fPOM) und der schweren organisch-mineralischen Fraktion das inselartige Entstehen von Wald auf Grasland und das Verbuschen von Graslandflächen. Beide Böden unter Kiefer haben hohe  $\delta^{13}$ C-Werte wie die Graslandböden. Der Vegetationswechsel von C<sub>4</sub>-Grasland zu C<sub>3</sub>-Kiefernwald vor 15 Jahren hat sich somit noch nicht auf die <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C-Isotopensignatur der organischen Bodensubstanz ausgewirkt.

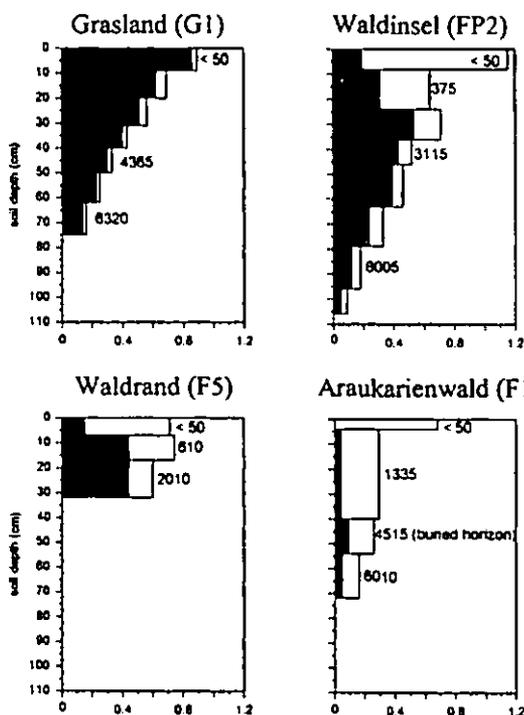
Die hohen Anteile an C<sub>4</sub>-bürtigen C-Vorräten von Graslandprofilen (81 – 92 %) weisen auf die Dominanz von C<sub>4</sub>-Gräsern seit 6300 Jahren hin. In der Waldinsel und am Waldrand haben die Böden innerhalb der ersten 20 cm deutlich

\* Lehrstuhl für Bodenkunde, Department für Ökologie, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan, [duemig@wzw.tum.de](mailto:duemig@wzw.tum.de)

<sup>†</sup> CNRS-INRA, Laboratoire de Biogéochimie et Ecologie des Milieux Continentaux, Thiverval-Grignon, France



- C<sub>4</sub>-(schwarz) und C<sub>3</sub>-(weiß) Kohlenstoffvorräte (kg m<sup>-2</sup> cm<sup>-1</sup>) in Kombination mit dem <sup>14</sup>C-Alter:



jüngere <sup>14</sup>C-Alter (etwa 400 – 600 J.) als im Grasland in vergleichbarer Tiefe (etwa 1000 J.). In größerer Tiefe deuten die hohen Anteile an C<sub>4</sub>-bürtigen C-Vorräten (73 und 83 %) das Vorherrschen von C<sub>4</sub>-Gräsern vor 2100 und 3100 Jahren an. Die älteste organische Substanz mit überwiegend C<sub>4</sub>-bürtigen Kohlenstoff (8005 J.) zeigt der Boden in der Waldinsel in 82 – 100 cm Tiefe.

Der Boden im Inneren des Araukarienwaldes zeigt die Dominanz von C<sub>3</sub>-bürtigen C-Vorräten verbunden mit hohen <sup>14</sup>C-Alter. Daraus läßt sich auf eine weit zurückliegende Waldausbreitung auf Grasland schließen. Allerdings deuten 36 % an C<sub>4</sub>-bürtigen Kohlenstoff im begrabenen Horizont auf die Entstehung unter Grasland hin.

### Schlussfolgerungen

Die Kombination von δ<sup>13</sup>C-Werten und <sup>14</sup>C-Alter zeigt, dass die aktuellen Graslandflächen nicht durch Abholzungen in der jüngeren Vergangenheit entstanden sind, sondern Relikte aus dem frühen und mittleren Holozän (6000 – 8000 J.) darstellen. In dieser Periode wurden sie vermutlich durch ein trockenes, für Grasland günstiges Klima stabilisiert, worauf auch Pollenanalysen hinweisen<sup>[1]</sup>. Während der letzten 300 Jahre wirkte der Mensch durch Weide und Feuer der Ausbreitung von Wald auf Grasland entgegen. Die C<sub>3</sub>- und C<sub>4</sub>-bürtigen Kohlenstoffvorräte spiegeln eine zeitliche Abfolge der Waldausbreitung seit etwa 1300 Jahren wieder. Waldinseln und Wald an der Grenze zu Grasland sind deutlich jünger als Standorte im Waldinneren. Das außergewöhnlich hohe Alter der organischen Bodensubstanz ist charakteristisch für die Böden dieser Region, welche in der Regel „andic properties“ aufweisen und als Andosole und Umbrisole klassifiziert sind.

### Literatur

[1] Behling, H., Bauermann, S. G., Neves, P. C. (2001): Holocene environmental changes in the São Francisco de Paula region, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 14, 631-639.

### Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung (Ko1035/24-1). Ferner danken wir der Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) und der Universität Tübingen für die Möglichkeit unser Projekt im Centro de Pesquisas e Conservação da Natureza Pró-Mata (CPCN) durchzuführen. Zudem gilt unser Dank dem Department of Ecology der Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) für die gute Kooperation.

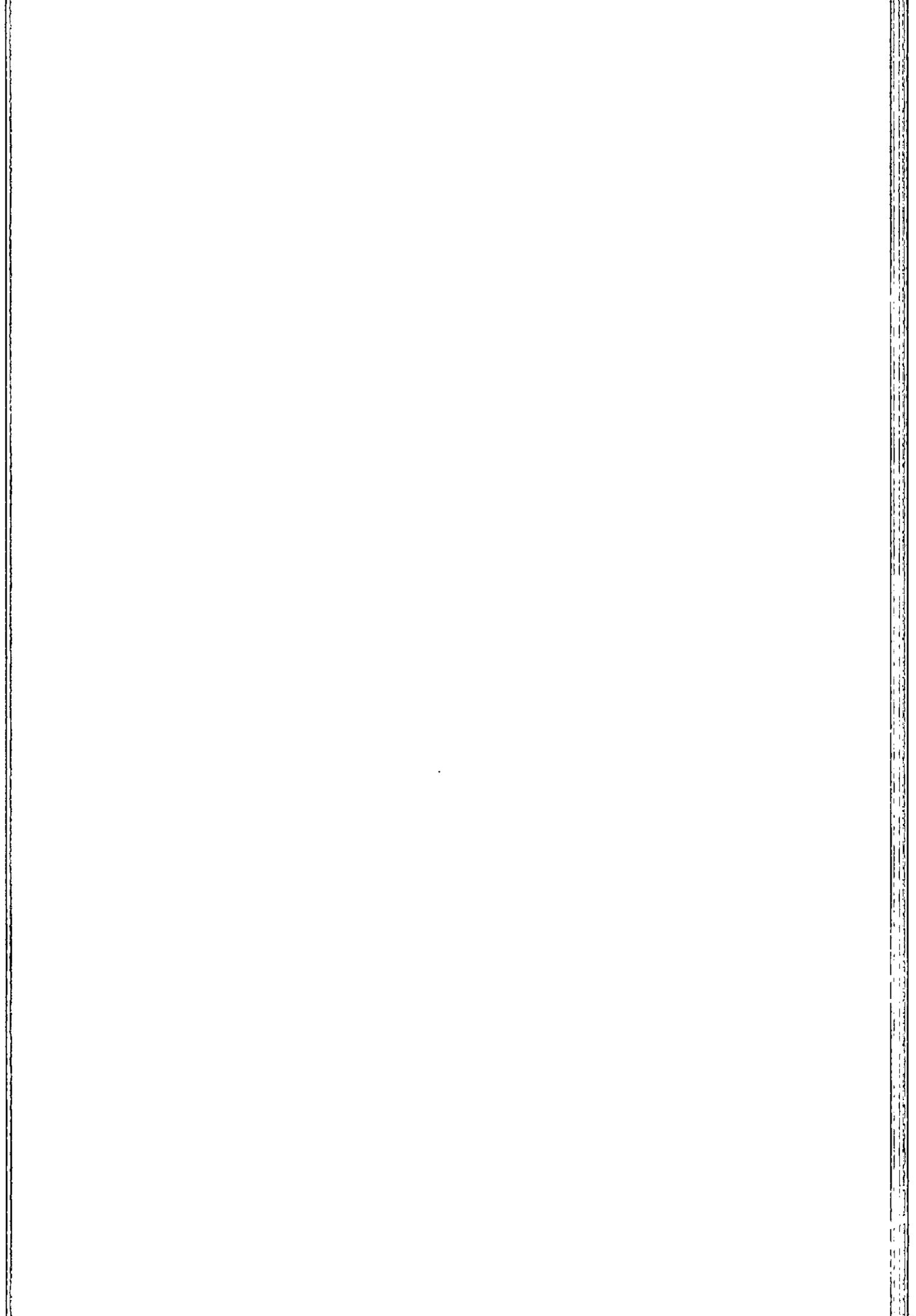
**MITTEILUNGEN**  
**DER**  
**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN**  
**GESELLSCHAFT**

**Referate, Poster Kommission V**

Band 110

Heft 2

2007



## EU-Bodenrahmenrichtlinie. Die Rolle nationaler und europäischer Bodennetzwerke

Adler, G. H., Eckelmann, W., Düwel, O., Baritz, R.\*

Mit der Veröffentlichung des Entwurfs einer EU Bodenschutzstrategie am 22.09.2007 mit einem Strategiepapier, einem Richtlinienentwurf und einer Folgenabschätzung (Kommission der EG 2006) haben die Initiativen der Europäischen Umweltagentur EEA und der Kommission der EU ihren vorläufigen Höhepunkt gefunden. Diesem Erfolg vorausgegangen war ein aufwändiger Konsultationsprozess, der im Jahr 2003 mit einer Stakeholderanhörung begann. Begleitet durch ein Advisory Forum wurde eine fachliche Statusfeststellung in fünf technischen Arbeitsgruppen erarbeitet. In einem anschließenden Forschungsworkshop in Wien wurden Wissenslücken diskutiert. Der Konsultationsprozess endete schließlich mit einer Internetkonsultation im Jahr 2005.

### Arbeiten in europäischen Netzwerken

Im Vorfeld dieser Initiative waren zahlreiche Netzwerke aktiv, um Probleme von Bodennutzung und Bodenschutz in der EU darzustellen und Datensammlungen in Angriff zu nehmen, die zur Lösung dieser Probleme beitragen könnten. Derartige Initiativen waren beispielhaft

- **ESBN** (European Soil Bureau Network): Fachliches Netzwerk europäischer bodenkundlicher Dienste zur Erarbeitung und Qualitätssicherung von bodenkundlichen Datengrundlagen. Aktionen: Entwicklung der EU Bodenkarte 1:1.000.000 mit Datenbank, Kampagnen zur Datenverbesserung (SPADE), Entwicklung einer Kartieranleitung 1:250.000 und einer Bodenregionenkarte 1:5.000.000 u. a.;
- **EEA** (European Environment Agency): Institutionelles Netzwerk für die Statusdarstellung in Europa und zur umweltpolitischen Beratung mit National Focal Points und Topic Centres; Aktionen: Aufbau des EIONET (European Environment Information and Observation Network); Berichte über existierende Monitoringsysteme;
- **PESERA** (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment): Forschungsnetzwerk eines EU Verbundprojekts. Aktionen: Studien zu Bodenerosion im Europäischen Maßstab;

- **EGS** (EuroGeoSurveys); Institutionelles Netzwerk der Geologischen Dienste in Europa mit Büro in Brüssel. Aktionen: Geologische und hydrogeologische sowie geochemische Datenbanken, Karten und Auswertungen.

### Einheitliche Kriterien zur Erfassung von Risikogebieten für eine EU-Rahmenrichtlinie – eine ESBN-Studie

Ein wesentlicher Beitrag eines dieser Netzwerke war die Erstellung eines fachlichen Berichts im Vorfeld des Entwurfs einer Bodenrichtlinie; er wurde von einer Arbeitsgruppe des ESBN im Auftrage der GD Umwelt der EU erarbeitet. In dem Bericht „Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats“ (Eckelmann et al. 2006) werden für die Bodenbelastungen Erosion, Verlust an organischer Substanz, Verdichtung, Versalzung und Hangrutschungen Kriterien für die Ausweisung dieser Risikogebiete abgeleitet. Vereinbarungsgemäß war Bezug auf zeitnah verfügbare Daten in Europa zu nehmen.

Der Bericht stellt für alle Gefährdungstypen die folgenden Arbeitsschritte dar:

- Definition und Beschreibung des Typs der Bodenbelastung
- Identifizierung natürlicher und anthropogener Faktoren mit Einfluss auf den jeweiligen Typ der Bodenbelastung
- Charakterisierung typischer Bodeneigenschaften, soweit sie Einfluss auf die Bodenbelastung haben (*receptor soil*)
- Erarbeitung von Vorschlägen für die jeweiligen Kriterien und deren Umsetzung bei unterschiedlicher Datenvoraussetzung (qualitativ, quantitativ, Modelle)

Die in dem Bericht vorgeschlagenen Kriterien sind wesentlich in den Entwurf der EU Richtlinie übernommen worden.

### Nationale Situation

Zur Koordinierung bodenkundlicher Fragestellungen sind in Deutschland verschiedene institutionelle Netzwerke aktiv, beispielhaft zu nennen die Ad-hoc-AG Boden der im Bund/Länderausschuss Bodenforschung (BLA-GEO) zusammengefassten Geologischen Dienste Deutschlands oder der Ständige Ausschuss 2 „Vorsorgender Bodenschutz“ der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz.

Beispiel Ad-hoc-AG Boden: Mit dem Ziel der Zusammenführung der deutschen Nomenklatur der KA 5 (Ad-hoc-AG Boden 2005) mit der in der EU vereinbarten World Reference Base for Soil Resources (WRB; FAO 2006) haben BGR und Ad-

\* Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover  
Gert.Adler@bgr.de

Ad-hoc-AG Boden schon frühzeitig begonnen, Übersetzungsalgorithmen zu entwickeln. Derzeit wird der bereits bestehende Übersetzungsschlüssel (Adler et al. 2004) aufgrund zwischenzeitlich gesammelter Erfahrungen und unter Berücksichtigung der aktuellen Version von KA 5 und WRB in zwei Teilversionen in Kooperation mit Fachkollegen weiterentwickelt. Eine deutsche Version der WRB und die neuen Übersetzungsschlüssel sollen zum Jahreswechsel 2007/2008 verfügbar sein.

Auch bei der Entwicklung bundesweiter Kartenwerke verfolgt die BGR zusammen mit der Ad-hoc-AG Boden das Ziel, europäische Anforderungen frühzeitig aufzugreifen: Bei der mit den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) gemeinsam entwickelten Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) wird die digitale Ausgabe als blattschnittfreie Version konzipiert. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass die BÜK 200 mit relativ geringem Aufwand in eine europäische BÜK 250 WRB weiterentwickelt werden kann. Die bodenkundliche Gliederung des Kartenkonzepts baut wesentlich auf der Karte der Bodenregionen auf (Hartwich et al. 2006).

#### Entwicklung und Anwendung von Methoden

Neben raumbezogenen bodenkundlichen Informationsgrundlagen sind abgestimmte Methoden für thematische Auswertungen insbesondere für die Politikberatung unverzichtbar. Dem Methodenhandbuch der Ad-hoc-AG Boden (2000) ging ein umfangreicher Abstimmungsprozess voraus. Einzelne Methoden werden dabei ständig überprüft und erweitert.

Ein aktuelles Beispiel für verbesserte Auswertungsmöglichkeiten bildet die erst nach umfangreicher Datenbereitstellung durch Mitglieder der Ad-hoc-AG Boden möglich gewordene BGR-Studie zur organischen Substanz der Böden Deutschlands (Düwel et al. 2007). Im Forschungsprojekt ENVASSO wird derzeit wiederum mit Forschungspartnern das Modell PESERA zur Abschätzung der Erosion durch Wasser getestet. Mit diesem Projekt wird das methodische Spektrum in Verbindung mit dem Zielmaßstab 1:200.000 bzw. 1:250.000 erstmals auf dynamische Modellierung ausgeweitet.

#### Fazit

Die genannten Beispiele bodenkundlich aktiver Kooperationsstrukturen sind durch die Novellierung des BBodSchG sowie die bodenschutzpolitischen Aktivitäten auf europäischer Ebene gefordert. Die hohen inhaltlichen Anforderungen können nur in engerer Verbindung mit den ebenfalls existierenden Forschungsnetzwerken erfüllt werden. Dies drückt sich u. a. auch darin aus, dass die in früheren EU-

Forschungsrahmenprogrammen verfügbare Forschungsförderung für politikbegleitende Forschung (*Science in Support of the Policies*) im 7. Rahmenprogramm zwar entfällt, bei den entsprechend ausgeschriebenen Forschungsprojekten nunmehr der Vermerk „Policy relevant topic“ sowie der „Expected Impact“ auf diese enge Verbindung hinweisen. Für die Politikberatung unmittelbar nutzbare Forschungsergebnisse finden somit bei aktuellen Ausschreibungen immer mehr Gewicht.

#### Literatur

- Ad-hoc-AG Boden: <http://www.infogeo.de/infogeo/bla-geo/ad-hoc-ags/boden>
- Ad-hoc-AG Boden (2000): Methodendokumentation Bodenkunde. – Geol. Jahrbuch SG 1; Hannover.
- Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage (KA 5). – 438 S.; Hannover.
- Adler, G., Behrens, J., Eckelmann, W., Feinhals, J., Hartwich, R., & Krug, D. (2004): Übersetzungsschlüssel zum Transfer von Bodendaten von KA3 nach KA4 und von KA4 in die internationalen Klassifikationen WRB und FAO. Arbeitsanleitung. - Arbeitshefte Boden, Heft 2004/1; 49 Seiten (incl. 5 Anlagen), mit CD-ROM; Hannover.
- Düwel, O., Siebner, C.S., Utermann, J. & Krone, F. (2007): Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands - Bericht über länderübergreifende Auswertungen von Punktinformationen im FISBo BGR – Hannover (Archiv Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 0126616; Kurzfassung in den Mitt. DBG zur Jahrestagung 2007).
- Eckelmann, W., Baritz, R., Bialousz, S., Bielek, P., Carré, F., Houscova, B., Jones, R.J.A., Kibblewhite, M., Kozak, J., Le Bas, Ch., Toth, G., Toth, T., Varallyay, G., Yli Halla, M. & Zupan, M. (2006): Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats. – European Soil Bureau Research Report 20; Luxembourg (Off. f. Official Publ. of the EC EUR 22185 EN).
- EGS: <http://www.eurogeosurveys.org/>
- EEA: <http://local.de.eea.europa.eu/>
- ESBN: [http://eussoils.jrc.it/esbn/Esbn\\_overview.html](http://eussoils.jrc.it/esbn/Esbn_overview.html)
- Food and Agriculture Organization (FAO, 2006): World Reference Base for Soil Resources 2006. – World Soil Resources Report 103; Rome.
- Hartwich, R., Baritz, R., Eckelmann, W. & Stefanie Thiele (2006): Soil Regions of the European Union and Adjacent Countries 1 : 5 000 000 (Version 2.0). - International Union of Soil Science (IUSS), Tagung 09.- 16.07.2006; Philadelphia (USA).
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2006): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für den Bodenschutz und zur Änderung der Richtlinie 2004/35/EG. – KOM(2006) 232 endgültig; Brüssel (22.9.2006)
- PESERA: [http://eussoils.jrc.it/ESDB\\_Archive/pesera/pesera\\_download.html](http://eussoils.jrc.it/ESDB_Archive/pesera/pesera_download.html)

# Kopplung dynamischer Modelle für die flächenhafte Abschätzung der Stoffdeposition im Wald

B. Ahrends\*, C. Döring\*, M. Jansen\*, H. Meesenburg\*\* & F. Beese\*

\*Institut f. Bodenkunde und Waldernährung, Universität Göttingen,  
\*\* Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen

## 1 Einleitung und Problemstellung

Während die Sulfatdepositionen in den letzten Jahrzehnten stark zurückgegangen sind, befinden sich die Stickstoffdepositionen nach wie vor auf einem beträchtlichen Niveau. Hohe atmosphärische Stickstoffeinträge haben in vielen Regionen Europas zu einem Anstieg der Nitratausträge mit dem Sickerwasser aus Waldböden geführt (Dise et al. 1998). Ein solcher Anstieg der Nitratausträge steht im Widerspruch zum Verschlechterungsverbot (Art. 4, Abs. 1) der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL). Daher ist es sinnvoll, mit geeigneten forstlichen Maßnahmen (Baumart, Altersaufbau, Nutzungsintensität usw.) dieser Entwicklung entgegenzuwirken.

Ein Problem bei der planerischen Umsetzung der Anforderungen der EG-WRRL stellt die mangelnde räumliche Differenzierung der Maßnahmenebenen dar. Für das Berichtswesen wird ein Maßstab von 1:500.000 vorgegeben (LAWA 2003). Demgegenüber greifen und wirken waldbauliche Maßnahmen auf Bestandesebene. In diesem Maßstab sind bisher Informationen zur Stoffdeposition weder in analoger, noch in digitaler Form flächendeckend verfügbar. Daher ist es Ziel unserer Arbeiten, im GIS räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Depositionsdaten für Wälder bereitzustellen.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Untersuchungsgebiete

Die dynamischen Berechnungen der hier vorgestellten Stickstoffdepositionen wurden für Teileinzugsgebiete der Großen Bramke im Westharz durchgeführt. Die 50-60 j. Fichten in der Langen Bramke wurden nach einem Kahlschlag (1947) gepflanzt. Die beiden benachbarten Einzugsgebiete Steile und Dicke Bramke sind ebenfalls mit Fichten bestockt, die jedoch überwiegend deutlich älter (z.T. über 100 a) sind. Als Bodentypen überwiegen Vergesellschaftungen von Podsolen und Braunerden.

### 2.2 Geodatenbasis

Die einzigen flächendeckend verfügbaren Daten über atmosphärische Stickstoffeinträge in Deutschland sind die Daten des Umweltbundesamtes (Gauger et al. 2002). Diese Daten liegen in einer räumlichen Auflösung von 1x1 km für 6 Landnutzungsklassen vor. Informationen zur Bestockung und Bestandeshöhe wurden aus den Forsteinrichtungsdaten (Stichjahr: 1997) entnommen. Die Höhenentwicklung wurde mit Hilfe von Ertragstafeln (Schober 1995) bis in das Jahr 1955 rekonstruiert.

## 3 Modellansatz DEPOSILVA

Der gekoppelte Modellansatz DEPOSILVA besteht zunächst aus dem Modell MAKEDEP (Alveteg et al. 1998), mit dem die Depositionsdaten (Gauger et al. 2002) in die Vergangenheit und in die Zukunft extrapoliert werden. Zur Skalierung werden die Zeitreihen von Schöpp et al. (2003) für den Harz verwendet. Anschließend werden die Daten mit Hilfe der vorliegenden Bestandesinformationen (Baumart, Baumhöhe (vgl. Abb. 1 u. 2) disaggregiert.

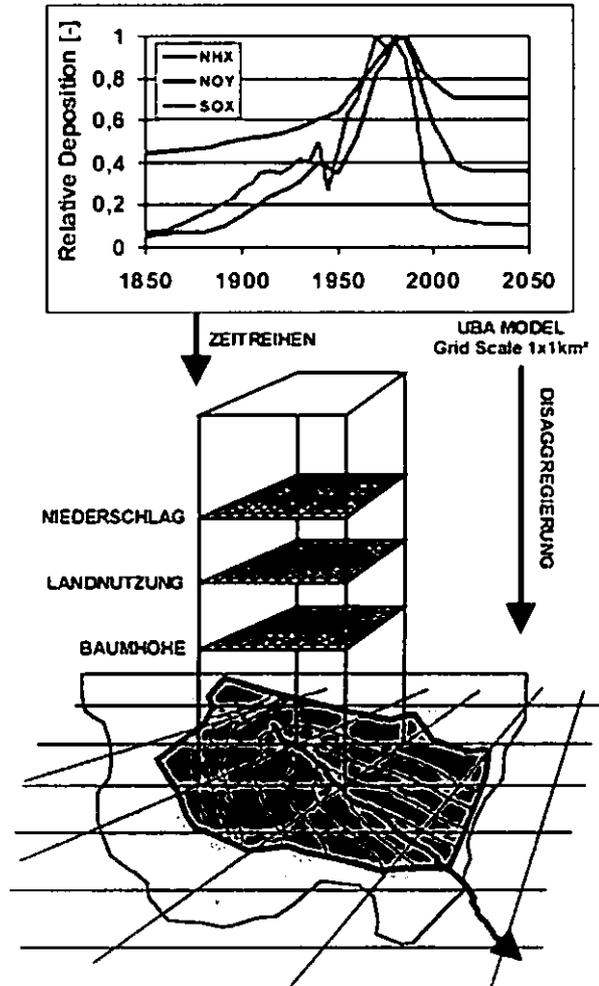


Abb. 1: Konzeption der Disaggregation der Deposition (in Anlehnung an Hostettler 1994).

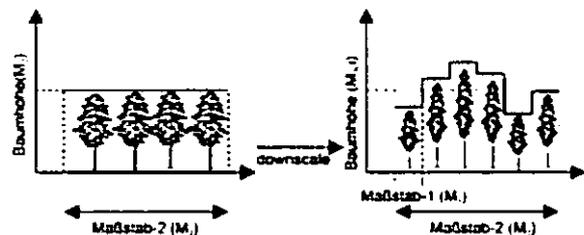


Abb. 2: Disaggregation der Trockendeposition über die Baumhöhe (verändert nach Bierkens et al. 2000).

Die Bestandeshöhe hat sich in zahlreichen Untersuchungen als geeigneter Parameter zur Regionalisierung der Deposition erwiesen (Erisman 1992, Mohr et al. 2005). Die für die Disaggregation notwendigen Parameter wurden über eine einfache Regressions-

analyse (Trockendeposition in Abhängigkeit von der Baumhöhe) aus dem Originaldatensatz abgeleitet („Datensprünge“ der Trockendeposition an den Grenzen der Bundesländer aufgrund bundesweit unterschiedlicher mittlerer Baumhöhen). Die Plausibilität der abgeleiteten Parameter wurde anhand der Depositionswerte von Mohr et al. (2005) überprüft.

Für die Dynamisierung der Bestandesdaten (Baumart, Baumhöhe) können beliebige Waldwachstumsmodelle eingesetzt werden. Bei den hier durchgeführten Simulationen wird unterstellt, dass der Verlauf der Höhenentwicklung hinreichend genau mit Hilfe der Ertragstafeln nach Schober (1995) beschrieben werden kann.

#### 4 Ergebnisse

Mit DEPOSILVA wurde für den Zeitraum von 1955-1999 die durchschnittliche jährliche Stickstoffdeposition auf Bestandesebene regionalisiert (Abb. 3).

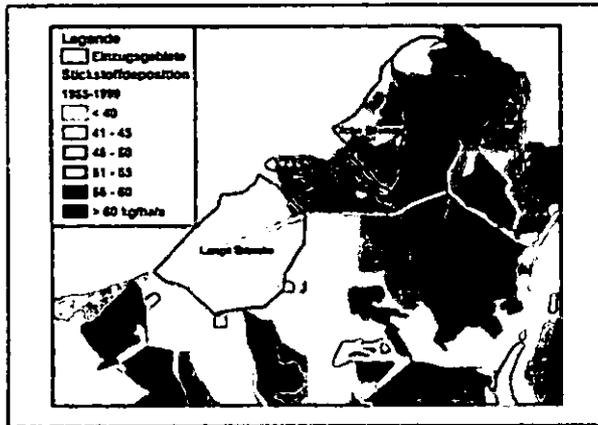


Abb. 3: Mit Deposilva regionalisierte Stickstoffdeposition im Gebiet der Großen Bramke, Westharz.

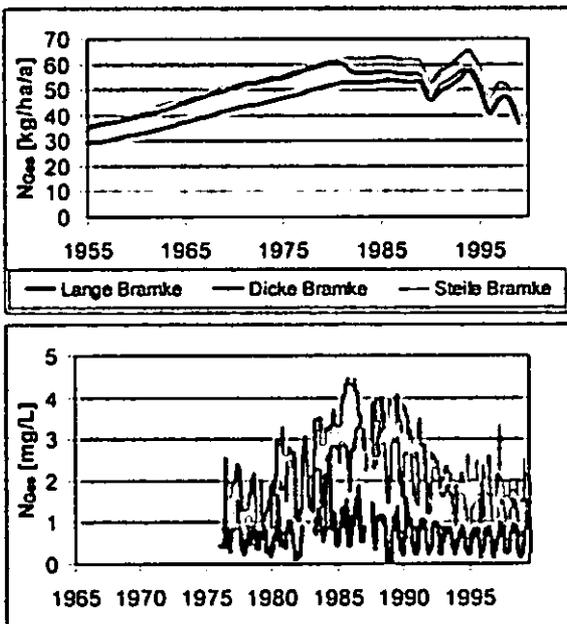


Abb. 4: Modellerte N-Gesamtdeposition (oben) und gemessene N-Gesamtkonzentrationen (unten) im Abfluss der Langen, Dicken und Steilen Bramke.

Die in der Abb. 3 erkennbare bestandesspezifische Differenzierung unterstreicht das planerische Potential

für die räumliche Optimierung von waldbaulichen Maßnahmen. Nach den Simulationen unterscheiden sich die drei Einzugsgebiete der Langen, Dicken und Steilen Bramke hinsichtlich der Eintragsituation. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde für die einzelnen Einzugsgebiete der flächengewichtete jährliche Mittelwert über den Zeitraum von 1955 bis 1999 berechnet (Abb. 4-oben).

In allen drei Teileinzugsgebieten werden seit Jahrzehnten Messungen der Stickstoffkonzentration im Gebietsabfluss durchgeführt. Unter der Annahme vergleichbarer flächenbezogener Abflussmengen (Liebscher 1977, Hauhs 1989) bestätigen die im Abfluss gemessenen Nitratkonzentrationen sowohl die modellierten Unterschiede zwischen den Einzugsgebieten, als auch den rekonstruierten zeitlichen Verlauf der Stickstoffeinträge innerhalb der Gebiete.

#### 5 Schlussfolgerung

Die Simulationen zeigen, dass der Modellierungsansatz geeignet ist, Stickstoffeinträge auf Bestandesebene dynamisch zu berechnen. Dies ist eine wichtige Grundlage, um forstliche Planungen Maßnahmen wie z.B. Baumartenwahl, Nutzungsintensität oder Kalkung hinsichtlich des N-Haushaltes räumlich zu optimieren.

#### 6 Literatur

- Alveteg, M., C. Walse & P. Warfvinge (1998): Reconstructing historic atmospheric deposition and nutrient uptake from present day values using MAKEDEP. *Water, Air, and Soil Pollution*, 104, 269-283.
- Bierkens, M. F. P., P. A. Finke & P. Dewilligen (2000): Upscaling and downscaling methods for environmental research. *Development in Plant and Soil Sciences*, 88. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 190 S.
- Dise, N., E. Matzner & P. Gundersen (1998): Synthesis of nitrogen pools and fluxes from European forest ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution*, 105, 143-154.
- Erismann, J. W. (1992): Atmospheric deposition of acidifying compounds in the Netherlands. 155 S.
- Gauger, T., F. Anshelm, H. Schuster, G. P. J. Draaijers, A. Blecker, J. W. Erismann, A. T. Vermeulen & H.-D. Nagel (2002): Kartierung ökosystembezogener Langzeittrends atmosphärischer Stoffeinträge und Luftschadstoffkonzentrationen in Deutschland und deren Vergleich mit Critical Loads und Critical Levels. *Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA*, FE-Nr. 299 42 210., Stuttgart. 207 S.
- Hostetler, S. W. (1994): Hydrologic and atmospheric models: the (continuing) problem of discordant scales. *Climatic Change*, 27, 345-350.
- LAWA (2003): Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. 135 S.
- Liebscher, H.-J. (1977): Water balance studies in the experimental basins of the upper harz mountains. *Hydrological Sciences - Bulletin des Sciences Hydrologiques*, XXII, (2): 283-296.
- Mohr, K., H. Meesenburg, B. Horvath, K. J. Meiwes, S. Schaaf & U. Dämmgen (2005): Bestimmung von Ammoniak-Einträgen aus der Luft und deren Wirkungen auf Waldökosysteme (ANSWER-Projekt). *Landbauforschung Völkenrode Sonderh.*, 279. 113 S.
- Schober, R. (1995): Ertragstafeln wichtiger Baumarten bei verschied. Durchforstung. 166 S.
- Schopp, W., M. Posch, S. Mylona & M. Johansson (2003): Long-term development of acid deposition (1880-2030) in sensitive freshwater regions in Europe. *Hydrology and Earth System Science*, 7, (4): 436-446.

Die Autoren danken dem Niedersächsischen Umweltministerium für die finanzielle Förderung des Projektes.

## Georadaruntersuchungen repräsentativer Transekte im Einzugsgebiet der Nidda (Hessen)

Christian Albrecht <sup>a)</sup>, Karsten Schmidt <sup>b)</sup>, Rolf Gerber <sup>a)</sup>, Thorsten Behrens <sup>b)</sup>, Peter Felix-Henningsen <sup>a)</sup> & Thomas Scholten <sup>b)</sup>

### Einleitung

Im Rahmen der SFB 299 „Landnutzung für periphere Regionen“ ist es das Ziel des Teilprojekts B1 hochauflösende Bodeneigenschaftskarten für das Nidda-Einzugsgebiet (1619 km<sup>2</sup>) (Abb.1) auf Basis von Bodenprofilaufnahmen und Georadarmessungen (GPR) zu erstellen. Die Erfassung der stabilen Bodeneigenschaften entlang repräsentativer Transekte (1.8 - 4.7 km) in sechs homogenen und gegeneinander abgrenzbaren Landschaftseinheiten hat im Frühjahr 2007 begonnen.

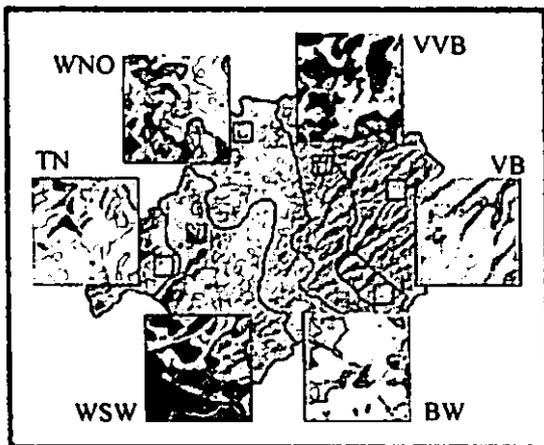


Abb.1: Lage der repräsentativen Teilgebiete und Transekte. (WNO: Wetterau Nord Ost, WSO: Wetterau Süd West, BW: Büdinger Wald, VB: Hoher Vogelsberg, VVB: Vorderer Vogelsberg, TN: Taunus)

<sup>a)</sup>Justus-Liebig-Universität Gießen

Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung

Heinrich-Buff-Ring 26

35392 Gießen

E-Mail: christian.albrecht@agr.uni-giessen.de

<sup>b)</sup>Eberhard Karls Universität Tübingen

Geographisches Institut

Rümelinstraße 19-23

72070 Tübingen

### Methoden

Die GPR-Aufnahme der Transekte erfolgt mit 200 Mhz und 400 Mhz Antennen (GSSI SIR-2) und wird von einer bodenkundliche Aufnahme in Form von Bohrstockkartierung im 50 m Abständen sowie durch die Anlage von Leitprofilen zur Validierung der GPR-Messungen, begleitet.

Die Laufzeitbestimmung der elektromagnetischen Wellen  $v_r$  in den jeweiligen Substraten wird durch Hyperbeladaption an Stahlreflektoren lagenbezogen bestimmt (Layer-based velocity adaption: Gerber et al., 2007). Der aktuelle volumetrische Wassergehalt wird mit Time Domain Reflectometry (TDR) Sonden gemessen. Die bodenphysikalische und -chemische Analyse erfolgt im Labor.

Die hochauflösend vorliegenden bodenkundlichen Informationen werden fortgesetzt zur Regionalisierung in die entsprechende Landschaftseinheit verwendet (Schmidt et al. 2007). Eine Validierung der Bodeneigenschaftskarten erfolgt auf Basis einer stichprobenhaften Untersuchung ausgewählter Standorte.

### Erste Ergebnisse

Die Feldarbeiten in den Landschaftseinheiten Hoher Vogelsberg, Vorderer Vogelsberg und Taunus sind abgeschlossen, die Georadarinterpretation und Laboranalysen werden zurzeit detailliert untersucht.

Zur Verbesserung der Interpretation der homogenen und stark tonhaltigen Lössböden der Wetterau ist ein 300m langes Testfeld eingerichtet worden, um Schwankungen der Bodenfeuchte tiefenabhängig für ein Jahr zu bestimmen.

Mit GPR-Messungen im zweiwöchentlichen Rhythmus über festinstallierten Stahlreflektoren soll die Dielektrizitätszahl mit natürlichen Wassergehalten ungestörter Parabraunerden auf Löss und Lösslehm korreliert werden. Die Wassergehalte werden fortgesetzt durch TDR-Sonden in vier Tiefen (25, 45, 90 110 cm) bestimmt.

## **Ausblick**

Während die GPR-Aufnahmen auf den periglaziär geprägten Mittelgebirgsböden des Untersuchungsgebiets andauern und deren GPR-Interpretation bereits gut dokumentiert ist (Gerber et al., 2007, Behrens et al., 2005), stehen die Feldaufnahmen für die drei Landschaftssegmente NW Wetterau, SE Wetterau und Büdinger Wald noch aus.

Die Ableitung der Bodeneigenschaften aus den GPR-Aufnahmen auf den lössreichen homogenen Böden der Wetterau können durch die Testfeldergebnisse verbessert werden.

Die Validierung der ersten Extrapolationen für den Hohen Vogelsberg beginnt 2008.

## **Literatur:**

Behrens, T., Förster, H. Scholten, T., Steinrücken, U., Spies, E.-D., Goldschmitt, M. (2005): Digital Soil Mapping using Artificial Neural Networks. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2005, 168, 21-33.

Gerber, R., Salat, C., Junge, A., Felix-Henningsen, P. (2007): GPR-based detection of Pleistocene periglacial slope deposits at a shallow-depth test site. - *Geoderma* 139, p.346-356.

Schmidt, K., Behrens, T. Scholten, T. (2007): Landschaftssegmentierung, Repräsentanz und Data Mining. Konzepte der digitalen bodenhydrologischen Kartierung, *Mittlg.Dt.Bodenkd. Ges.*Bd.110 . 2007.

## Optimierung des Wasserhaushaltes im Straßenraum zur Verbesserung des Klimas - Konzept

Katharina Appel<sup>1</sup>, Thomas Nehls<sup>1</sup>, Gerd Wessolek<sup>1</sup>

### 1 Einleitung

Städte zeichnen sich gegenüber dem Offenland durch ihre hohen Versiegelungsgrade aus. Die Versiegelung der Böden führt zur Änderung der Größen der Wasserhaushaltsgleichung.

Gegenüber dem Offenland ist die Infiltration auf versiegelten Flächen stark eingeschränkt, was zu einem Rückgang der Grundwasserneubildung führt. Ein Großteil des Regenwassers fließt oberflächlich ab und gelangt über die Mischkanalisation in die Kläranlage bzw. über die Regenwasserkanalisation direkt in den Vorfluter. Bei Extremereignissen können im Falle der Mischkanalisation die Rückhaltebecken tlw. sogar die Kläranlagen überlaufen und ungeklärtes Abwasser gelangt direkt in den Vorfluter.

Aber auch bei der Evaporation bzw. Evapotranspiration sind niedriger als im Offenland. Bei der Verdunstung von Wasser wird langwellige Strahlung in latente Wärme überführt. Durch die geringere Verdunstung wird mehr langwellige Strahlung in fühlbare Wärme überführt und trägt, neben anderen Faktoren, zur Ausbildung der städtischen Wärmeinsel (Abb. 1). Durch Entsiegelung und Bepflanzung könnte man zum einen die Spitzen des Oberflächenabflusses mindern und den Vorfluter entlasten. Zum anderen würde die erhöhte Verdunstung zur Kühlung der Stadt beitragen, was besonders in Hinblick auf die zu erwartenden Klimaänderungen wichtig ist.

In dieser Arbeit soll zunächst der Wasserhaushalt eines Straßenquerschnitts ermittelt werden um den Ist-Zustand zu beschreiben. Daran anschließend sollen verschiedene Entwürfe alternativer Straßenquerschnitte mit höherem Anteil an offenem Boden und Vegetation modelliert werden, um zu testen, wie sich dadurch

Wasserhaushalt und Energiebilanz im Straßenraum ändern lassen.

Räumlich bezieht sich diese Arbeit auf die Kernstadt Berlins, der die höchsten Versiegelungsgrade aufweist.

Die Arbeit ist Teil der dritten Kohorte des DFG - Graduiertenkollegs Stadtökologische Perspektiven: „Optimierung urbaner Naturentwicklung - Naturfunktionen und Lebensumwelt der Stadtbewohner im dynamischen Wandel“

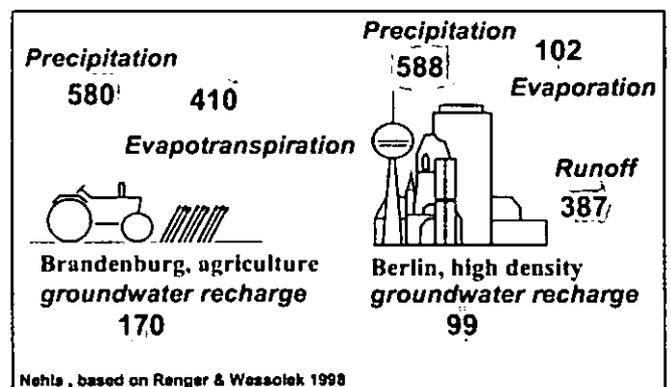


Abb. 1: Vergleich Wasserhaushalt im Offenland und in der Stadt. Nehls, 2003; basierend auf Werten für Vollversiegelung nach Wessolek & Renger, 1998.

### 2 Methoden

Methodisch lässt sich die Arbeit in 3 Teile gliedern:

- Messung
- Modellierung
- Planung

#### 2.1 Messung

Für die Ermittlung des Wasserhaushaltes auf versiegelten und teilversiegelten Flächen kann auf lange Messreihen und mehrere Berichte zurückgegriffen werden, die auf dem Teilversiegelungslysimeter der TU Berlin gewonnen wurden (Diestel & Schmidt 2001; Glugla et al. 1999). Die Anlage besteht aus 13 Flächen unterschiedlicher Beläge auf denen kontinuierlich Oberflächenabfluss und Grundwasserneubildung gemessen werden. Diese Daten werden weiterhin erhoben. Ergänzt werden sie durch Messungen der hydraulischen Leitfähigkeit mittels Haubeninfiltrometer.

5 Teilflächen, die charakteristisch für Berlin sind, nämlich Kunststeinplatten, Betonverbundpflaster, Mosaikpflaster, Rasengittersteine und wasserdurchlässiger Asphalt

<sup>1</sup> FG Standortkunde & Bodenschutz  
Technische Universität Berlin  
Salzufer 11-12  
10587 Berlin

werden detaillierter untersucht. Auf diesen Flächen soll mittels Tensions- bzw. Haubeninfiltrometer die Leitfähigkeit im nahe gesättigten Bereich gemessen werden. Der gleiche Versuch soll auf Flächen gleicher Versiegelung in der Stadt wiederholt werden.

Versuchsweise sind auf einer Fläche Labortensiometer im Fugenraum des Mosaikpflasters eingebaut worden um das Matrixpotential zu bestimmen.

Des Weiteren sollen 4 wägbare Lysimeter von je 1,50 m Höhe mit unterschiedlichen Belägen bestückt werden um die Größe der Verdunstung unter teilversiegelten Flächen nicht nur als Restgröße in der Bilanz sondern direkt bestimmen zu können.

Anhand dieser Messungen können die verschiedenen Oberflächen hydraulisch charakterisiert und im Modell dargestellt werden.

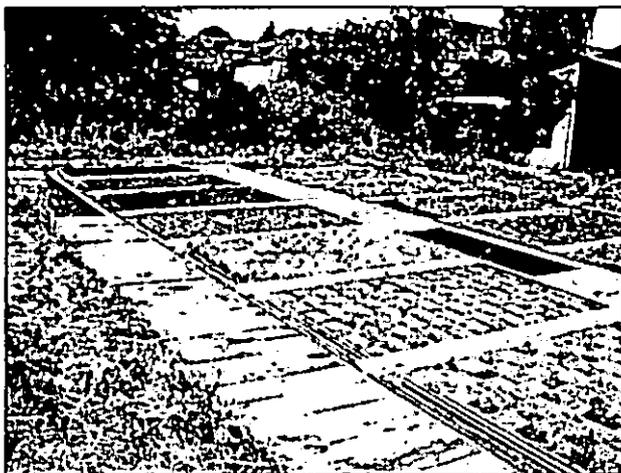


Abb. 2: Teilversiegelungslysimeter der TU Berlin

## 2.2 Modellierung

Die gemessenen Parameter des Bodenwasserhaushaltes sollen zur Parametrisierung eines Modells, das den Wasserhaushalt des Straßenquerschnittes darstellt, genutzt werden. Die Umsetzung soll zunächst mit Hydrus 2D (Šimůnek et al. 1999) erfolgen, voraussichtlich aber erweitert bzw. mit anderen Modellen gekoppelt werden.

## 2.3 Planung

Durch die Umgestaltung des Straßenquerschnittes mit höherem Anteil unversiegelter bzw. nur teilversiegelter Fläche könnte der Oberflächenabfluss verringert werden. Zusätzliche Bepflanzung würde zu höherer Evapotranspiration führen. Ein Ansatz

im Rahmen bestehender Vorschriften und Richtlinien sowie ein weiterer, innovativer Ansatz sollen im Modell dargestellt werden.

Auch der Einfluss künstlicher Substrate bzw. Substratzuschläge wie Hydroabsorber, Kohle oder Blähton sollen im Modell berücksichtigt werden.

## 3 Ausblick

Ziel der Arbeit ist es, ein hydrologisches Modell für einen Straßenquerschnitt zu modellieren um den Ist-Zustand zu beschreiben. Ausgehend davon sollen dann die oben genannten Szenarien modelliert werden um Lösungsansätze zur Verbesserung des Stadtklimas zu erarbeiten.

## 4 Danksagung

Diese Arbeit wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Graduiertenkollegs DFGGRK 780/2 gefördert.

## 5 Literatur

DIESTEL, H. & SCHMIDT, M. (2001): 2. Zwischenbericht zum Forschungsprojekt „Untersuchung an der Lysimeteranlage zur Ermittlung von Versickerungs- und Oberflächenabflusspende für unterschiedliche Gehwegbefestigung.

GLUGLA, G., M. GOEDECKE, G. WESSOLEK & G. FÜRTIG (1999): Langjährige Abflussbildung und Wasserhaushalt im urbanen Gebiet Berlin. In: Wasserwirtschaft 89, 34-42.

ŠIMŮNEK, J., ŠEJNA, M., AND M. TH. VAN GENUCHTEN (1999): The HYDRUS-2D Software Package for Simulating Two-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, Version 2.0, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California.

THALER, S. & LOHAUS J. (1997): ATV-Information Regenwasserversickerung.

WESSOLEK, G. & RENGER, M. (1998) in H. Sukopp & R. Wittig (Hrsg.): Wasserhaushalt urbaner Böden. Stadtökologie, 186-200, G. Fischer Verlag.

# Vergleichende Untersuchungen zur Belastung mit Schwermetallen von Straßenstäuben und Oberböden der Straßenbegleitgrünbeete unter semi-ariden Klimabedingungen

von

Mohammad BAHARVAND und Wolfgang BURGHARDT

## Einführung

In semi-ariden Gebieten hat die Straße als Lebensraum eine größere Bedeutung als in kühlen Klimaten. Durch hockende Haltung sind die Menschen auch näher der Gehwegoberfläche und damit Stäuben stärker ausgesetzt. In Städten stellt nicht nur die Inhalation der feinen Staubpartikel, sondern auch deren Schadstoffbelastung eine Gefahr dar.

An dieser Stelle soll dazu über Untersuchungen in Teheran berichtet werden. Teheran ist eine grüne Stadt. Fast alle Straßenränder säumen durch Kanäle bewässerte Straßenbegleitgrünbeete. Sie sind wesentlicher Teil des Bodenbestandes der Stadt.

Es stellt sich die Frage nach der Belastung der Straßenstäube im Gehweg- und Straßenbereich und der Verdünnung der Schadstoffe durch den Boden.

## Material und Methoden

Beprobt wurden Stäube der Gehwege und Strassen, und Böden der Straßenbegleitgrünbeete.

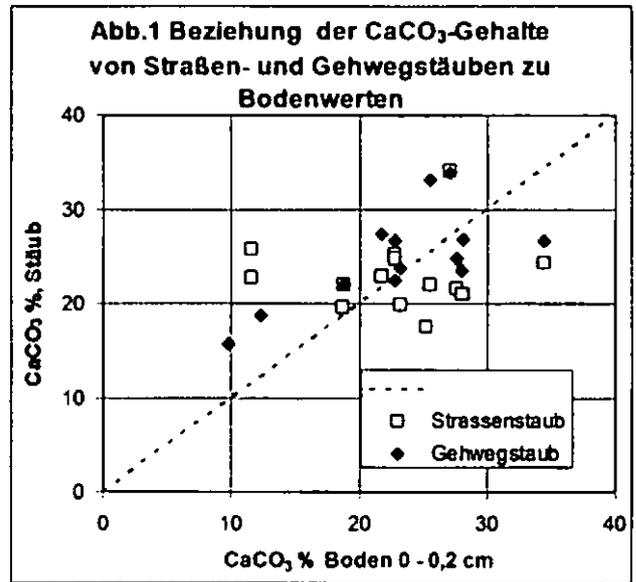
Untersucht wurden pH-Werte, Carbonat-, und Schwermetallgehalte nach DINISO. Die C- und N-Gehalte wurden mit einem C,N,S - Analyser . (Gasanalysator Euro EA, Fa. Euro Vektor), nach Verbrennung bei 1100°C bestimmt.

## Ergebnisse

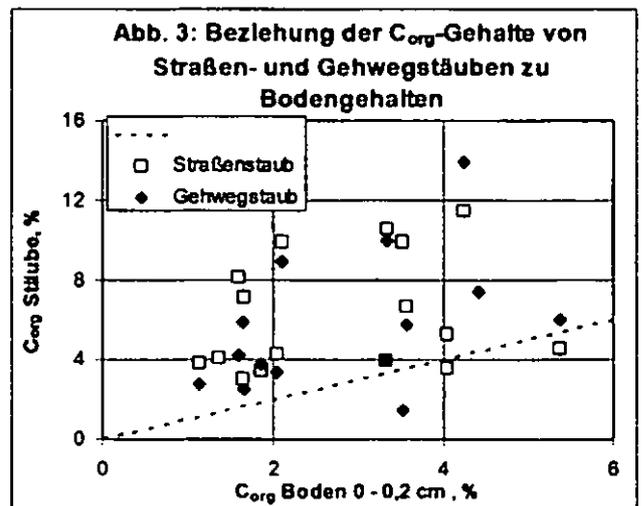
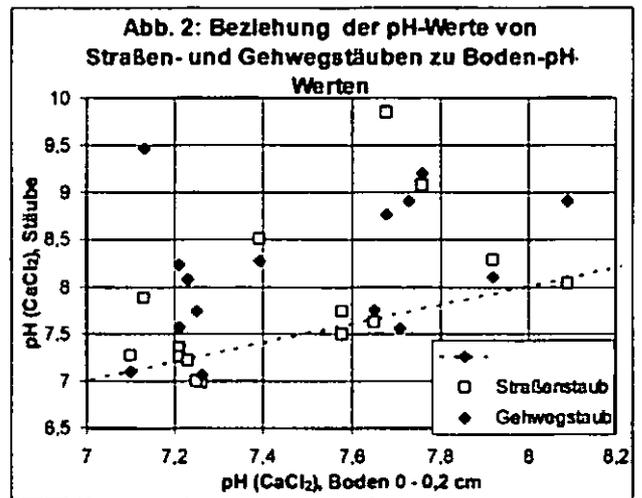
Die Tabelle 1 enthält die Mittelwerte der untersuchten Bodeneigenschaften für die oberen 0,2 cm der Straßenbegleitgrünbeete, und der Stäube der angrenzenden Straßen und Gehwege.

Eigen-schaft		Boden 0-0,2 cm	Strassen-staub	Gehweg-staub
Ca CO <sub>3</sub>	%	21,7	23,0	25,0
pH(CaCl <sub>2</sub> )		7,50	7,83	8,18
C <sub>org</sub>	%	2,83	6,28	5,69
C <sub>org</sub> /N		10,3	20,4	16,1
Fe	g/kg	17,5	15,6	17,8
Pb	mg/kg	98	245	219
Zn	mg/kg	439	694	924
Cu	mg/kg	102	222	319

In den Abbildungen 1 bis 8 werden die Eigenschaften der Straßen- und Gehwegstäube zu denen der Oberböden der Straßenbegleitgrünbeete in Beziehung gesetzt.



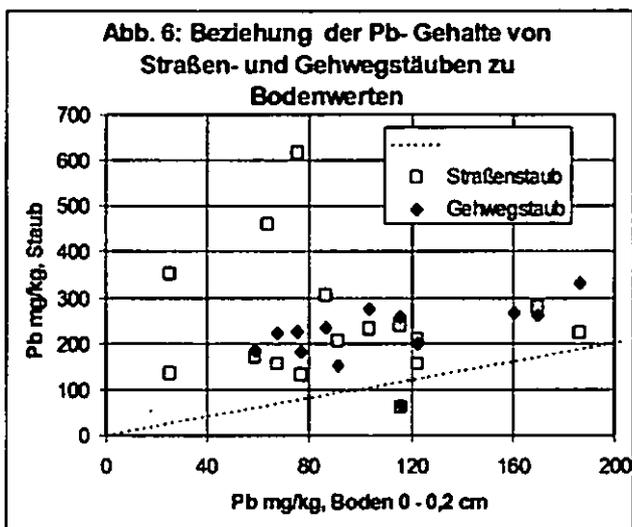
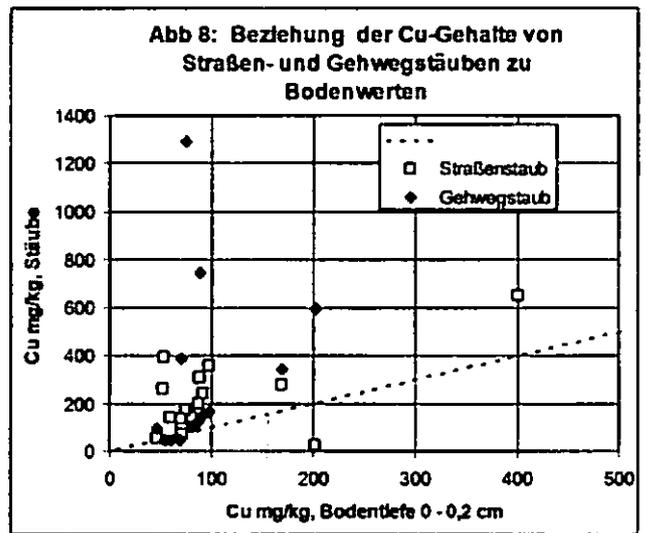
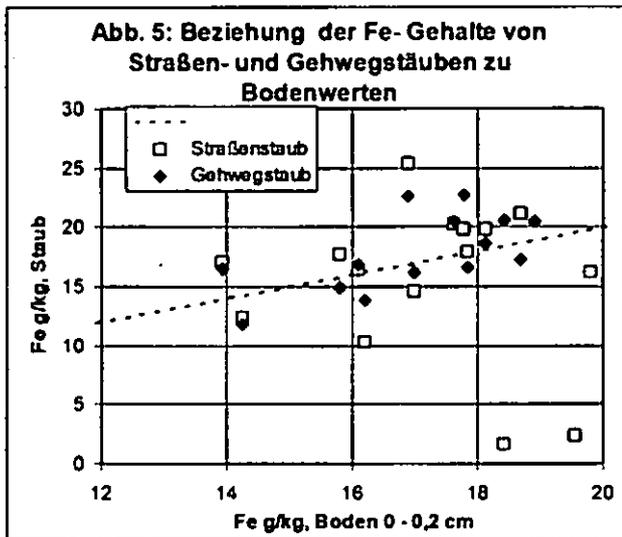
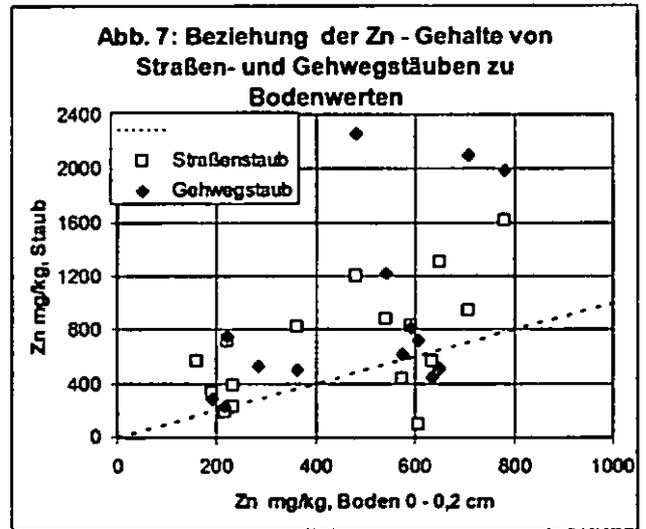
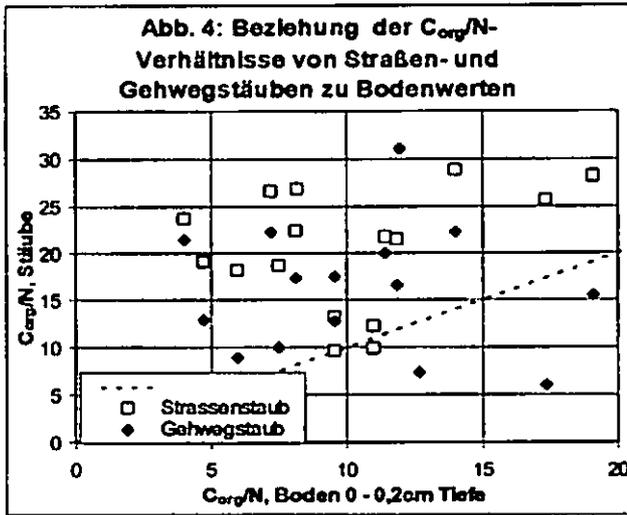
Die Straßenbeetböden haben hohe Carbonatgehalte (Abb.1), entsprechend ist der Boden alkalisch. (Ab.2). Im Vergleich dazu sind die pH-Werte und Carbonatgehalte in den Stäuben höher, wobei sie im Gehwegstaub häufig höher als im Straßenstaub sind.



Die C<sub>org</sub>-Gehalte der Böden weisen auf mittlere bis hohe Humusgehalte (Abb.3) hin. Die C/N-Verhältnisse (Abb.4) der Böden sind eng. Die C<sub>org</sub>-Gehalte und die C<sub>org</sub>/N-Verhältnisse sind in den Stäuben deutlich gegenüber den Böden erhöht. In den Straßenstäuben sind beide Werte höher als in den Gehwegstäuben.

Die Eisengehalte (Abb.5) weisen auf keine starke Differenzierung der Gehalte zwischen Stäuben und Böden der Beete hin. Sie sind im Straßenstaub geringfügig höher als im Gehwegstaub. In einigen Fällen sind sie jedoch im Gehwegstaub besonders gering.

Die Belastungen mit Schwermetallen sind in den Straßenbeetböden am geringsten. In den Stäuben sind sie deutlich erhöht. Die Bleigehalte (Abb.6) sind im Straßenstaub geringfügig gegenüber dem Gehwegstaub erhöht. Hingegen sind im Gehweg die Gehalte an Zink (Abb.7) und Kupfer (Abb.8) stark erhöht, und liegen teilweise deutlich über den Straßenstäuben.



**Schlussfolgerungen**

Der Gehwegbereich erweist sich als starke Belastungszone durch Schwermetalle (Tab.1). Die noch im Bereich von normalen Böden liegenden C<sub>org</sub>/N-Verhältnisse der Stäube weisen auf eine Herkunft der Stäube auch von den Straßenrandbeeten hin. Es kann eine Verdünnung der Straßenstäube durch Böden der Straßenrandbeete angenommen werden.

## Web Soil Services (WSS)

### Beispiel für CommonGatewayInterface(CGI)-Programme zur Erfassung, Bearbeitung und Auswertung bodenkundlicher Daten im Internet

Rainer Baritz\* und Wolfgang Stolz\*

#### Hintergrund

##### Verteilte Datenbanken

Zunehmend werden bodenkundliche Fachaufgaben unter Einbeziehung dezentraler Fachdatenbanken bearbeitet. Voraussetzung für die Verarbeitung bodenkundlicher Profil- und Flächendaten sind harmonisierte Daten. Die bodenkundlichen Kartieranleitungen (Ad-hoc-AG Boden 2005) und WRB (FAO 2006) liefern die fachlichen Definitionen für horizontspezifische Profildaten. Extensible Markup Language (XML) -basierte Datenspezifikation ergänzen diese und ermöglichen internetbasiertes Hoch- und Herunterladen von Daten.

##### OGC- Normen

Auf der Basis der Internettechnologie, besonders auf dem Hypertext Transfer Protocol (HTTP), hat das **Open Geospatial Consortium** verteilte, interoperable Dienste mit Schwerpunkt GIS definiert. Hierzu zählt der Katalogdienst (CAT), der WebCatalog Service (WCS), der WebFeatureService (WFS) und der WepMapService (WMS). Als Datenstrukturen werden Extensible Markup Language (XML) für Fachdaten, Geography Markup Language (GML) für Vektordaten oder Rasterbildformate (image/png, image/tiff etc.) verwendet.

##### CGI

Die Entwicklung von internetbasierten Dienstprogrammen erfolgt oftmals als Common Gateway Interface Programm. Hierbei können Uniform Resource Locator (URL)-Parameter über globale Variablen an das aufgerufene Programm übergeben werden. Die Anfragen an einen Dienst müssen den Anforderungen von HTTP 1.1 entsprechen, damit eine dazu passende Antwort vom Service zurückgesendet werden kann. Eine dauerhafte Verbindung zwischen den Rechnern ist nicht notwendig.

## Web Soil Service

### Ziel

Durch den Einsatz verteilter WebSoilServices sollen methodisch notwendige Aufgaben z.B. der Datenerfassung, -homogenisierung, -auswertung und -visualisierung von **WebSoil-Services Portalen** aus ermöglicht werden. Für die bodenkundlich-fachlichen Anforderungen werden diese Dienste als CGI-Programme neu entwickelt (z.B. mit C++). Für die Darstellung von Graphikdaten wird der auch als CGI arbeitende UMN Mapserver verwendet.

### Programmierung (Klassen)

Zur Strukturierung der Datenspeicherungsobjekte und der dazugehörigen Methoden wurden Klassen für folgende Objekte definiert und programmiert:

- Horizonte
- Legendeneinheiten
- Bodenformen
- Karten(werke)

### Profildatenerfassung

Für die Profildatenerfassung dienen Formblattdefinitionen in einer XML Datei. Diese werden durch das WebSoilServices-Programm im Browser des Client visualisiert. Eine eingeschränkte Syntax- und Logikprüfung findet durch Javascript-Programme statt. Die Daten werden beim Client gespeichert und können jederzeit wieder hochgeladen werden.

### Profildatenharmonisierung

Eine Profildatenharmonisierung im Sinne einer Übersetzung von Datensätzen zwischen verschiedenen Nomenklaturen (KA3→KA4→KA5→WRB) wird im Rahmen des BGR-Übersetzungsschlüssels angestrebt, ist bislang aber noch nicht im WebSoilService integriert, wohl aber als Web-basiertes System in der aktuell bearbeiteten Version 2.0 konzipiert.

### Profildatenauswertung

Zur Berechnung können Punkt- und Flächendaten des FISBo BGR, aber auch eigene Profil- und Flächendaten verwendet werden. Die Aufrufmöglichkeiten werden wesentlich durch URL-Parameter gesteuert (Request und Mode). Der Request GetCapabilities erstellt eine Übersicht der möglichen Anfragen.

### Profildatenauswertung (flächenspezifisch)

Für flächenhafte Auswertungen von Profildaten muss neben der Profildatenbank eine Rasterbodenkarte (mit Legendenummern), an den WSS gesendet werden (bzw. Flächendaten des FISBo BGR verwenden).

\* Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, 30655 Hannover; rainer.baritz@bgr.de, wolfgang.stolz@bgr.de

Je nach Thema/Methode werden auch Rasterdaten zur Landnutzung (CLC-Nomenklatur), Reliefdaten oder Klimadaten benötigt. Die Bearbeitung erfolgt zeilenweise pixel-spezifisch und generiert ein Rasterbild mit Indexinformationen, das z.B. direkt an den UMN Mapserver Client oder maskiert als kaskadierender WMS-Dienst an beliebige WMS-Viewer weitergereicht werden kann.

### Aktueller Bearbeitungsstand

Die derzeit verfügbaren WMS-Dienste können über <http://www.bgr.de/service/bodenkunde/index.php> erreicht werden. Über das dort angebotene Link FISBo BGR gelangt man zudem auf den bodenkundlichen Kartenserver der BGR (Abb. 1). Darüber hinaus können auf der Basis der BÜK1000 für jeden Gebietsausschnitt in Deutschland Rasterbilder vieler bodenkundlicher Parameter (u.a. We, nFK) oder komplexer Auswertungsmethoden (u.a. standort-spezifische Erosionsgefährdung durch Wind, Sickerwasserrate nach dem TUB-BGR Verfahren) interaktiv berechnet und als Bild in WMS-Viewern wie Mapbender oder Google-Earth eingebunden werden. Diese Dienste arbeiten allerdings derzeit noch als Prototyp und sind noch nicht öffentlich zugänglich.

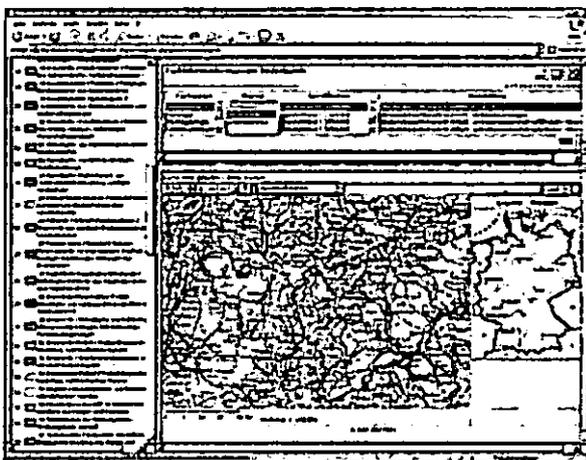


Abb. 1: Beispiel für Web Mapping Service BÜK 1000

### Web Soil Service Portal

- ermöglicht den upload und die Weiterverarbeitung von Client-Daten (Profil- und Flächendaten)
- verbindet externe Anwendungen mit den Funktionen der Datenbereitstellung, Datenverarbeitung (CGI-WebSoilServices) und Datenvisualisierung (CGI-Mapserver)
- ist dynamisch: Anfragen können standardisiert abgearbeitet werden und erzeugen Karten, die mit dem Mapserver visualisiert werden, XML oder HTML-Dokumente.

### Steuerungssystem

Aufgrund der komplexen Aufrufsyntax von CGI-Programmen wie dem Mapserver oder dem WebSoilService wurde eine datenbank-basierte Steuerung für das WSS-Portal verwendet. Hier werden die für die Lösung der Fachaufgaben benötigten CGI-Aufrufe in einer Datenbank vorgehalten. Aufeinander folgende Teilaufgaben können als Untermethoden abgelegt und automatisch in der richtigen Reihenfolge abgearbeitet werden (Abb. 2).

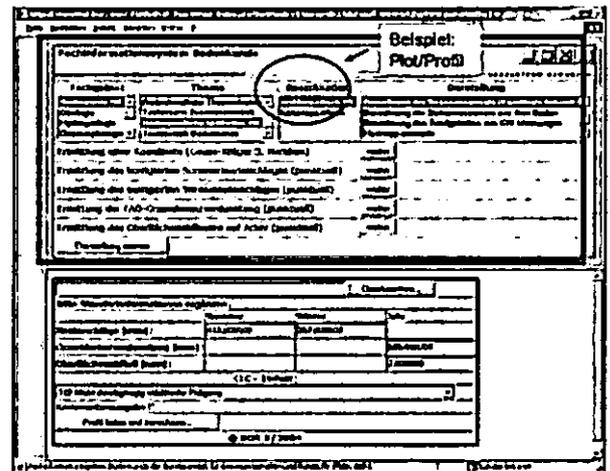


Abb. 2: Beispiel für Auswertungen von Profildaten (die Oberfläche für das Steuerungssystem ist zusätzlich eingerahmt)

### Fazit/Ausblick

Web Soil Services bilden die web-basierten Komponenten eines Fachinformationssystems, bei dem Services (Daten und Methoden) angeboten/genutzt werden. Wichtigste Eigenschaften sind:

- Erfüllung von Anforderungen zum Aufbau von Dateninfrastrukturen (→INSPIRE)
- **Dokumentation:** klare Definitionen von Datenquellen und programmierten Methoden erlauben jederzeit Wiederholungen und Ergänzungen mit verbesserten Daten, sowie **Validierung** von Methodenanwendungen und **Qualitätssicherung**.
- **Kooperationen** sowie **Berichterstattung** werden erleichtert durch die Harmonisierung von Daten und abgestimmten Methoden.

### Literatur

Stolz, W., R. Baritz, G. Adler, W. Duijnsveld, J. Feinhals and W. Eckelmann (2005). Web Soil Services for Soil and Environmental Policy Systems - Concept and Example. GI & GIS conference, Alghero, Sardinia, 29th June - 1st July 2005.

INSPIRE: Infrastructure for Spatial Information in Europe

# Stofftransport im Boden: Skalenabhängige Streuung der Messungen und Unsicherheit in der Risikoabschätzung

Wolf-Anno Bischoff\* & Andreas Schwarz\*

## Problematik

Der Stofftransport wird in einer thematischen Karte häufig aus bekannten Bodeneigenschaften abgeleitet. Dabei besteht oft das Problem, dass die Überprüfung durch Messungen zu deutlich abweichenden Ergebnissen führt.

Die Gründe dafür können sowohl in der Messung als auch in der theoretischen Ableitung für die Karte liegen. Es kann unzulässig sein, von Boden- auf Transporteigenschaften zu schließen. Oder die punktuellen Messungen zur Überprüfung sind nicht repräsentativ für das bearbeitete Gebiet. Bisher konnte im Einzelfall nur gemutmaßt werden, welcher der beiden Fehler gegebenenfalls überwiegt.

Eine Auswertung einer großen Anzahl von Stofftransportmessungen soll zur Klärung einen Beitrag liefern.

## Fragestellungen:

- Wie groß ist die Variabilität der Stoffflüsse?

- Was bedeutet das für die Gefährdungsabschätzung aus Messungen?
- Was bedeutet das für die Unsicherheit bei generalisierten Aussagen aus Karten?

## Material & Methoden

Im Zeitraum von 7 Jahren wurden insgesamt über 3.000 Halbjahresmessungen zum Nitrattransport durchgeführt. Es wurden 47 Standorte mit ca. 120 Bewirtschaftungsvarianten (Kulturen, Dünger, Bearbeitung) in 7 Regionen Deutschlands untersucht.

Der Nitrat-Transport wurde als Sickerfracht in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Halbjahr}^{-1}$  mit Selbst-Integrierenden Akkumulatoren gemessen. Bei dieser Methode wird ein Quarzsand-Quarzschluffgemisch mit Adsorbentien seitlich von der Profilwand aus in den ungestörten Boden eingebaut. Danach wird das Profil wieder geschlossen, die oberflächliche Bearbeitung wie zum Beispiel Pflügen und Säen kann dann ungehindert während der Messperiode erfolgen. Aus dem Sickerwasser wird die Zielsubstanz (hier: Nitrat) auf geeigneten Adsorbentien festgelegt, während das Wasser weiter fließt. Danach kann dann die Gesamtmenge des Nitrats von den Adsorbentien extrahiert und gemessen werden.

Die so gewonnenen Daten wurden normiert, um die Streuungsmaße auf unterschiedlichen Skalen vergleichbar auswerten zu können. Als Streuungsmaß wird der Variationskoeffizient = Standardabweichung / Mittelwert verwendet.

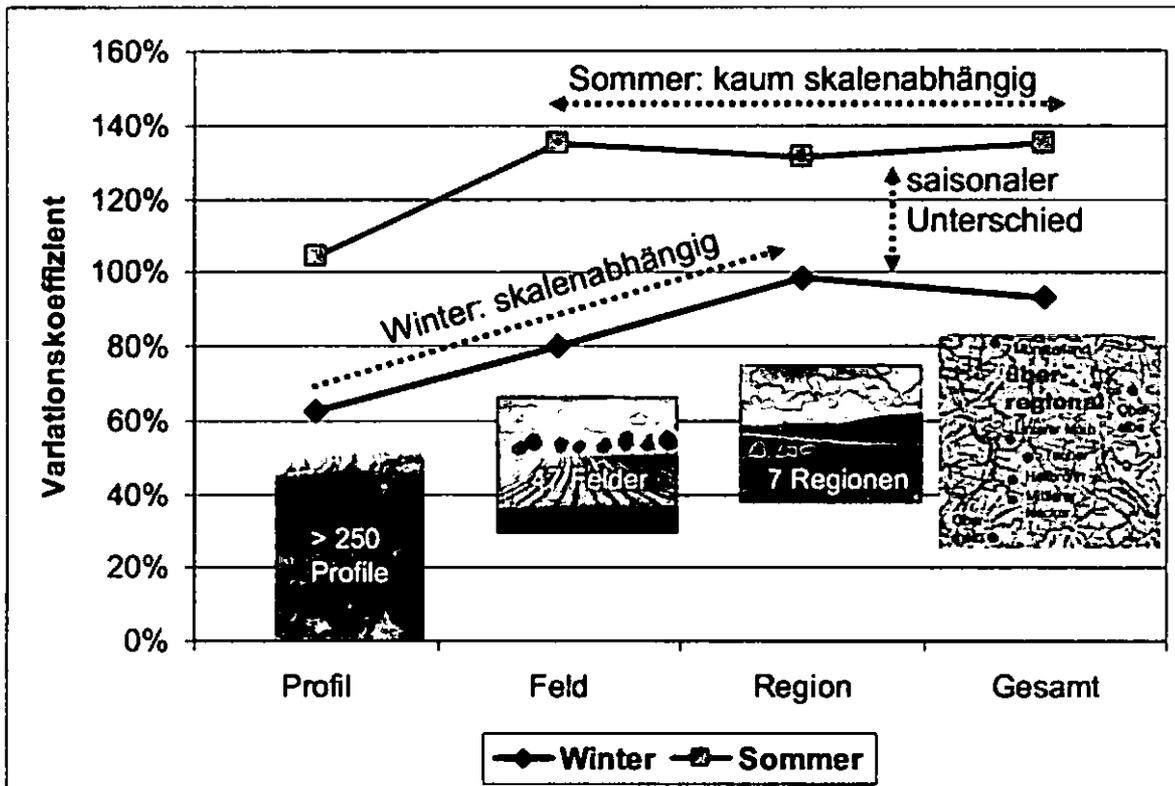


Abb. 1: Änderung des Variationskoeffizienten bei der Messung von halbjährlichen Stoffflüssen (N=3048) durch den Einfluss von Jahreszeit und Größe des untersuchten Gebiets

\*Anschrift: Gutachterbüro TerraAquat; Steckfeldstr. 36; 70599 Stuttgart; www.terraquat.com.

**Ergebnisse**

Die Variationskoeffizienten streuen zwischen 62 % und 135 % (s. Abb. 1). Die Variation der Transporteigenschaften ist dabei skalen- und saisonabhängig. Im Sommerhalbjahr (April - September) ist die Variation höher als im Winterhalbjahr (Oktober - März). Sie nimmt von der Profilskala, also Parallelmessungen im Dezimeter-Bereich, auf die Feldskala (Abstand: 10 - 100 m) schon erheblich zu. Darüber hinaus ist nur im Winterhalbjahr ein weiterer Anstieg der Heterogenität bei den Stoffflüssen zu beobachten.

Im Sommer nimmt die Heterogenität schon auf der Feldskala etwa den Maximalwert von 135 % an. Das bedeutet anschaulich, dass im Durchschnitt zwei beliebige Messungen auf der Feldskala um mehr als das 10fache voneinander abweichen.

Neben der Betrachtung der Heterogenität sind auch die Absolutwerte der Nitratverluste bei unterschiedlichen Landnutzungen interessant (Abb. 2)

Etwa 30 % der Verluste finden im Sommerhalbjahr statt. Der Gemüsebau benötigt aufgrund der Qualitätsanforderungen an die Kulturen die höchsten N-Gaben. Entsprechend sind die jährlichen N-Verluste mit 120 kg/ha höher als im Ackerbau (43 kg/ha) und im Wald (8 kg/ha) auf den untersuchten Flächen.

**Diskussion & Schlussfolgerungen**

Aus der Skalenabhängigkeit der Stoffflüsse folgt zunächst, dass die Skala bei der Regionalisierung zumindest in Form der wachsenden Streuung/ Unsicherheit berücksichtigt werden muss. Weiter benötigt man, wenn Ableitungen aus thematischen Karten mit Messungen überprüft werden sollen, viele Messwiederholungen, um die Flächenmittelwerte mit annehmbar kleinem Fehler schätzen zu können

Jedoch ergeben sich auch Anhaltspunkte, die den Schluss von Boden- auf Transporteigenschaften als problematisch erscheinen lassen. So zeigt die relative Skalenunabhängigkeit im Sommer, dass Standortunterschiede zwischen Feldern sich zwar im Absolutniveau, nicht aber in der Streuung unterscheiden.

Die Unterschiede zwischen Sommer und Winter erklären sich aus den unterschiedlichen Fließregimen. Im (normalen) Winter ist über eine längere Zeit der größte Teil des Porensystems am Wasser- und Stofftransport beteiligt. Struktur- und Texturunterschiede verursachen unterschiedliche Leitfähigkeitsverteilungen. Im Sommer nehmen nach Starkregen hauptsächlich die größten Poren am Stofftransport teil. Sie haben überall grob ähnliche Leitfähigkeiten, so dass die Skala keine Rolle spielt. Die Gesamtheterogenität wächst, weil an vielen Messpunkten im Sommer überhaupt kein Stofftransport stattfindet und an anderen sehr viel.

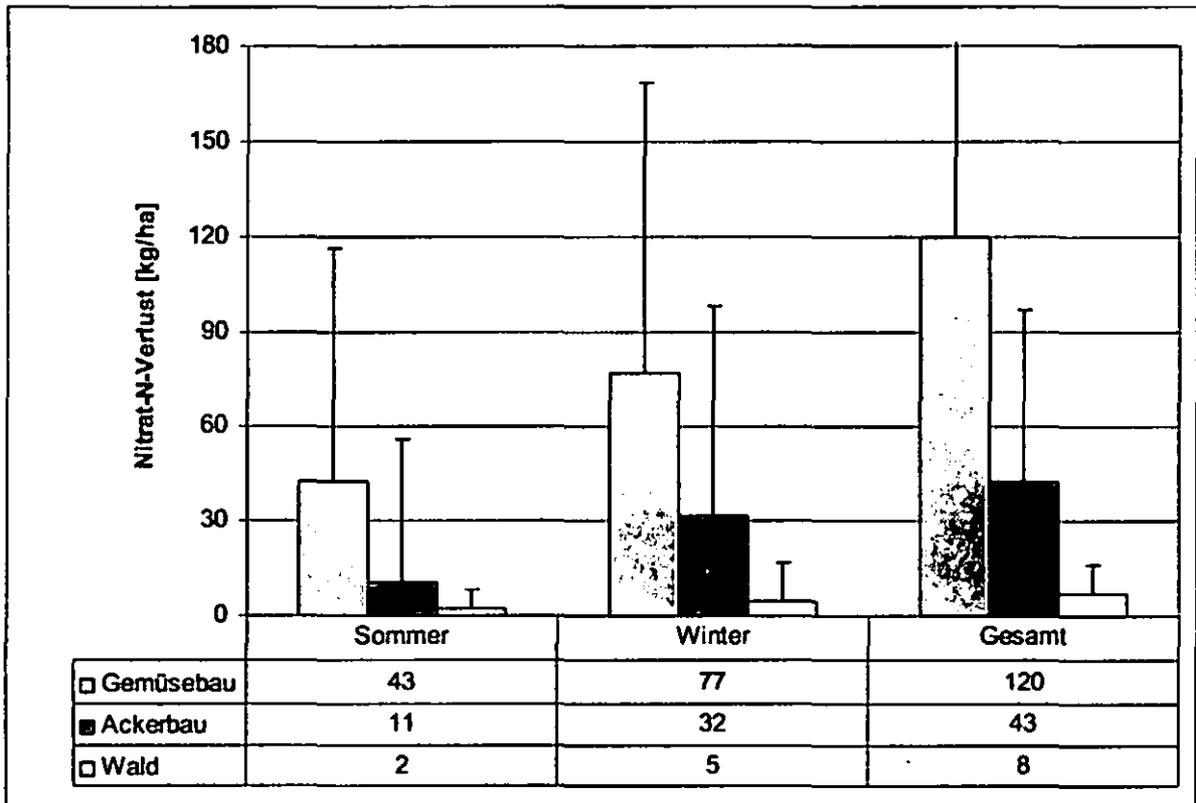


Abb. 2: Mittlere Nitrat-N-Verluste im Winter- und Sommerhalbjahr bei unterschiedlichen Landnutzungen (Fehlerbalken = Standardabweichung) von insgesamt 47 Standorten.

## Lokalisation eines ehemaligen Massengrabes aus der NS-Zeit

Berger<sup>1</sup>, J., Fiedler<sup>1</sup>, S., Stahr<sup>1</sup>, K., Lindemeier<sup>2</sup>, G., Graw<sup>2</sup>, M.

### Einleitung

Im Verlauf des Winters 1944/1945 wurden auf einem städtischen Grundstück im Bernhäuser Forst bei Stuttgart 66 jüdische Häftlinge des KZ Echterdingen in einem Massengrab verscharrt. Nach Kriegsende, im Oktober 1945, veranlassten die amerikanischen Streitkräfte die Exhumierung der sterblichen Überreste und deren ordentliche Bestattung auf einem Friedhof. Im Laufe der Zeit geriet die genaue Lage des ehemaligen Massengrabes in Vergessenheit (BACK, 2005). Im Zuge der Geschichtsbewältigung bestand jedoch ein großes Interesse, die genaue Position zu ermitteln.

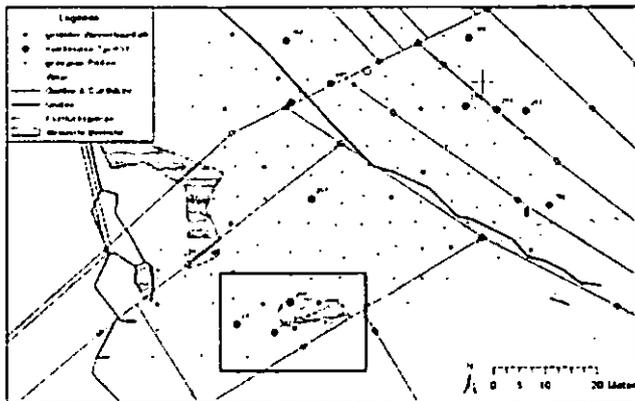


Abb. 1: Übersichtskarte der Bereiche mit gestörter Morphologie bzw. weiteren Auffälligkeiten (Rechteck vergrößert in Abb. 2).

### Material und Methoden

Das Gebiet, innerhalb dessen das ehemalige Massengrab zu suchen war, liegt am Rand der Filderebene. Die Böden, überwiegend Parabraunerden, sind hier aus Löss bzw. periglaziären Lagen über Sand- und Tonstein des Unteren Lias entwickelt. Durch die Auswertung eines Luftbildes von 1945 und der damaligen Besitzverhältnisse wurde ein rund 0,5 ha großes Suchareal eingegrenzt. Auf dieser Fläche fand eine bodenkundliche Kartierung mittels Pürckhauer-Bohrstock statt (vordefiniertes 5 x 5 m Raster, Festlegung der Beprobungspunkte mittels GPS). Dabei wurden Auffälligkeiten hinsichtlich der Morphologie, des Eindringwiderstands bis 1 m Tiefe (OWSLEY;

1995) sowie eventuelle anthropogene Artefakte festgehalten. Im durch die Bohrung eingegrenzten Bereich fand eine Schürfung (Schlitzgraben) und Beprobung der scheinbar gestörten bzw. ungestörten Bereiche statt. Durch chemische Analysen (Phosphorgehalte mittels Königswasseraufschluss (vgl. HOLLIDAY & GARTNER, 2007), org. Kohlenstoffgehalte, pH-Wert in CaCl<sub>2</sub>) sollten die morphologischen Auffälligkeiten bestätigt werden.

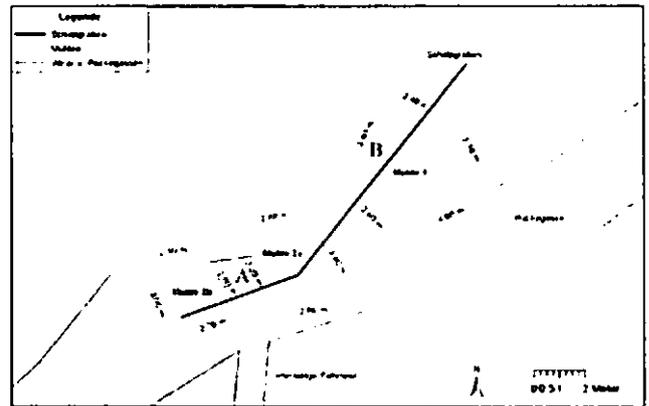


Abb. 2: Skizze der gefundenen Relief-Vertiefungen sowie Lage des gezogenen Schlitzgrabens (Punkte A u. B geben den Beprobungstransekt an).

### Ergebnisse und Diskussion

Durch die Bohrstockkartierung wurde ein Bereich mit gestörter Morphologie (aufgehobene Horizontierung), extrem geringem Eindringwiderstand und starker Vernässung ermittelt (Abb.1). Hier fanden sich im Mikrorelief 3 schwache Vertiefungen (Mulden bis max. 20 cm Tiefe, Abb.2).

Morphologisch setzten sich diese Bereiche deutlich von angrenzenden ungestörten Bereichen ab. Eine Horizontierung war nicht erkennbar, die hangparallele Einregelung des Bodenskeletts in der Basislage war aufgehoben bzw. das Skelett fehlte in diesen Bereichen vollständig (Abb. 3 u. 4). Zudem traten hydromorphe Merkmale verstärkt hervor.



Abb. 3: Ungestörter Bereich mit natürlicher Horizontierung sowie ungestörter Abfolge der periglaziären Lagen (mit hangparalleler Einregelung des Bodenskeletts).

<sup>1</sup>Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, Emil-Wolff-Str. 27, 70599 Stuttgart  
jberger@uni-hohenheim.de

<sup>2</sup>Institut für Rechtsmedizin, Universität München, Nußbaumstr. 26, 80336 München

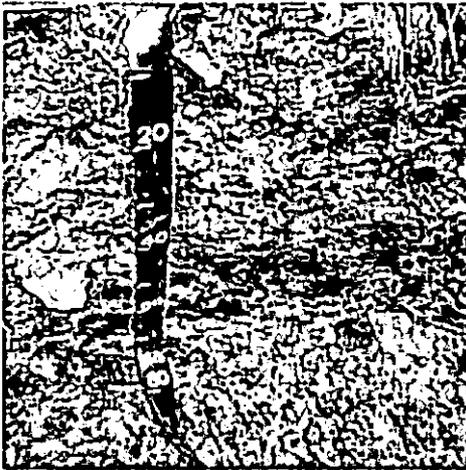


Abb. 4: gestörter Bereich mit Aufhebung der Horizontierung bzw. Deckschichtenabfolge sowie vollständiges Fehlen des Bodenskeletts.

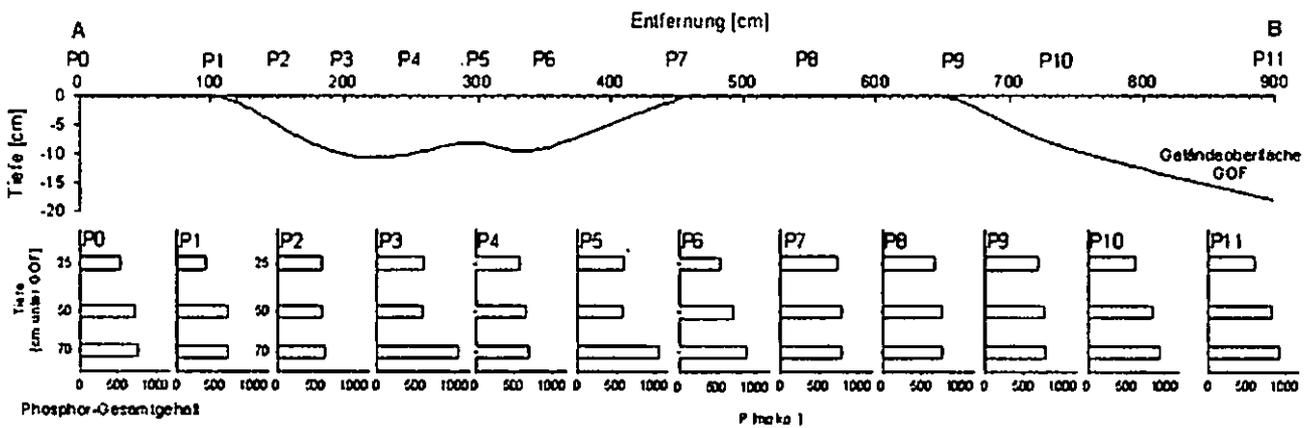


Abb. 5: Phosphor-Gehalte entlang des Schlitzgrabens.

Die Analysen ergaben in den gestörten Bereichen eine Angleichung des pH-Wertes des Oberbodens an den des Unterbodens. Eine Zunahme der Phosphor- und  $C_{org}$ -Gehalte mit der Tiefe war erkennbar. Die ermittelten Werte für den Unterboden in den Muldenbereichen waren im Vergleich zu denen der angrenzenden ungestörten Bereiche deutlich erhöht (Abb. 5).

Zusätzlich wurden mehrere anthropogene Artefakte geborgen: Metallbeschläge, bearbeitete Holzreste, eine Schuhsohle sowie ein Stiftzahn in 50 cm Tiefe (Abb. 6). Die Analyse der Legierung des Stiftzahnes ergab einen Herstellungszeitraum zwischen 1935 und 1950.



Abb. 6: Stiftzahn (in ca. 50 cm Tiefe gefunden).

### Fazit

Eine bodenkundliche Kartierung ist ein probates Mittel zur Eingrenzung bereits vor längerer Zeit gestörter Bereiche. Durch bodenkundliche Untersuchungen ist das Auffinden und Identifizieren ehemaliger Gräber, auch ohne menschliche Überreste, eindeutig möglich.

### Literatur

BACK, N. (2005): Das ehemalige Massengrab im Waldstück Bernhäuser Forst. In: Stadt Filderstadt (Hg): Filderstadt u. sein Wald. Filderstädter Schriftenreihe z. Geschichte u. Landeskunde, 18, 164-166.

HOLLIDAY, V., GARTNER, W.G. (2007): Methods of soil P analysis in archaeology. *J. Archaeol. Sci.* 34, 301-333.

OWSLEY, D.W. (1995): Techniques for locating burial sites, with emphasis of the probe. *J. Forensic Sci.* 40, 735-740

# Cryosols der kanadischen Arktis unter dem Einfluss des Klimawandels

Gabriele Broll<sup>1</sup> und Charles Tarnocai<sup>2</sup>

## Permafrostböden

Cryosole (Cryosols in der WRB und in Kanada, Gelisols in der US Soil Taxonomy) sind Böden mit einem Temperaturregime von  $\leq 0^{\circ}\text{C}$  für mehr als 2 Jahre in Folge (Permafrost). Nach der kanadischen

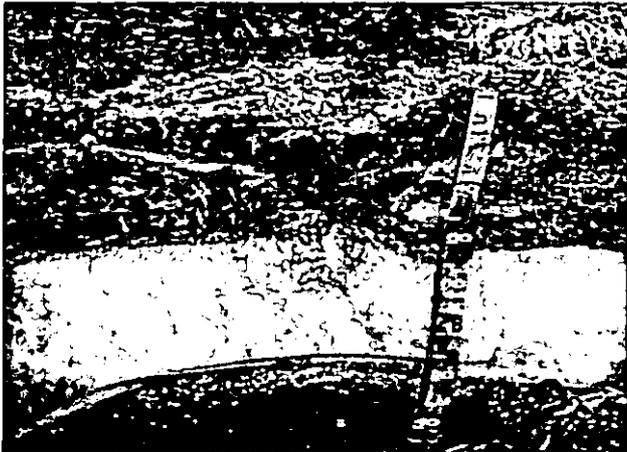


Abb. 1: Glacie Organic Cryosol

Klassifikation müssen nicht kryoturbierte Cryosole Permafrost innerhalb einer Tiefe von 1m aufweisen, wenn sie kryoturbiert sind innerhalb von 2m Tiefe. Es werden die Great Groups: Turbic Cryosols, Static Cryosols und Organic Cryosols (s. Abb. 1) unterschieden (Soil Classification Working Group 1998, Tarnocai & Campbell 2002, Kimble 2004, Tarnocai et al. 2004).

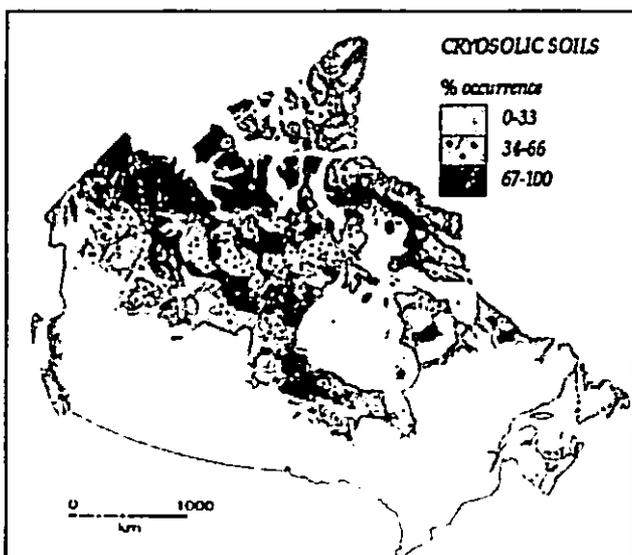


Abb. 2: Verbreitung der Cryosole in Kanada

Die weiteste Verbreitung von Cryosolen auf der Nordhemisphäre findet man in Russland und in Kanada (Tarnocai et al. 2001). Ein Großteil der Landesfläche Kanadas wird von Cryosolen eingenommen (s. Abb. 2).

## Klimaänderung in der kanadischen Arktis

Alle Klimamodelle sagen für Kanada einen weiteren Anstieg der Temperatur voraus (bis zu  $6^{\circ}\text{C}$  im Jahr 2050, National Resources Canada 2007). Der Rückgang des Meereises hat bereits eingesetzt. Die Permafrostböden beginnen zu reagieren.

## Cryosole und Kohlenstoff

In Cryosolen ist sehr viel Kohlenstoff gespeichert (s. Abb. 3, Tarnocai et al. 2006, Tarnocai & Broll submitted). Durch Kryoturbiation ist in den meisten Cryosolen besonders im Unterboden viel Kohlenstoff vorhanden. Da Gebiete mit Cryosolen stark von der Klimaänderung betroffen sind, können je nach Wasserhaushaltsbedingungen vermehrt Kohlendioxid bzw. Methan und andere klimarelevante Gase freigesetzt werden. Kryoturbiation kann unter Umständen bei zunehmender Temperatur auch zu einer stärkeren Speicherung von Kohlenstoff beitragen (Bockheim 2007).

## Ökosystemmonitoring in der kanadischen Arktis

Langzeitmonitoring von Vegetation und Böden unter anderem in den Nationalparks der kanadischen Arktis trägt dazu bei, die Auswirkungen des Klimawandels auf die Permafrostböden zu dokumentieren. Je nach Standortbedingungen sind unterschiedlich starke Reaktionen der Auftauschicht und des Wasserhaushaltes zu registrieren (Broll et al. 2003).

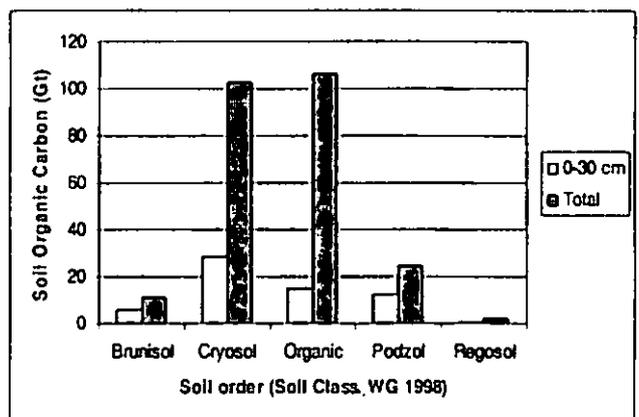


Abb. 3: Organischer Kohlenstoff in verschiedenen Bodentypen Kanadas (verändert nach Tarnocai 1998, Tarnocai et al. 2003)

## Schlussfolgerungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf Permafrost und Böden in der kanadischen Arktis

Höhere Temperaturen werden in der kanadischen Arktis in weiten Teilen zu Permafrostdegradation und damit zu Thermokarsterscheinungen führen. Die Permafrostzonen werden sich verschieben (s. Abb. 4). Die regionalen Auswirkungen werden jedoch

<sup>1</sup> Hochschule Vechta, ISPA, Abteilung für Geo- und Agrarökologie, gbroll@ispa.uni-vechta.de

<sup>2</sup> Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa

verschieden sein. In der Hocharktis sind überwiegend relativ trockene Gebiete mit geringmächtiger Auftauschicht vorhanden, wo die Auswirkungen nicht so gravierend sein werden. Demgegenüber werden die weniger verbreiteten feuchten bzw. nassen Flächen mit geringmächtiger Auftauschicht zur Austrocknung neigen. Dadurch wird der Lebensraum für viele an diese speziellen arktischen Ökosysteme angepasste Lebewesen zerstört.

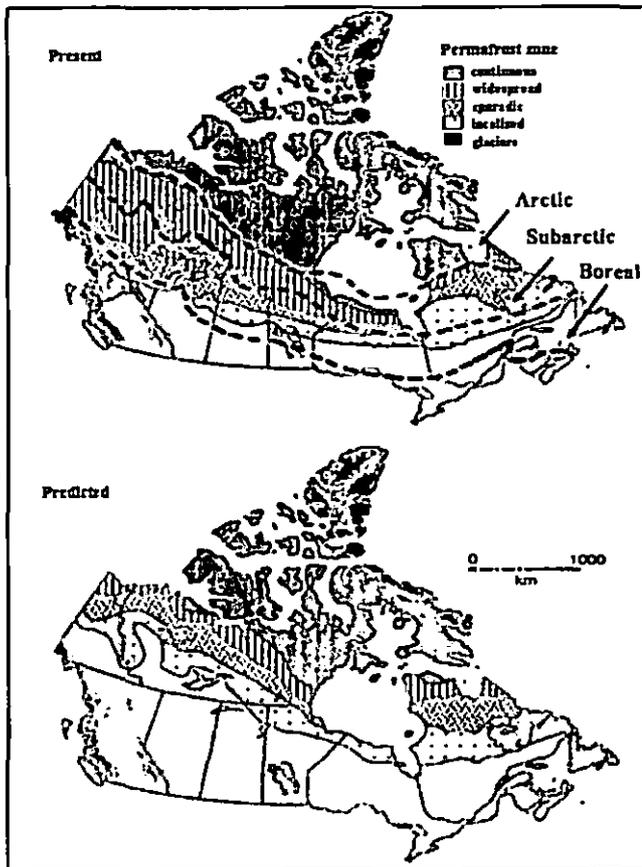


Abb. 4: Ausdehnung der Permafrostzonen und ihre mögliche Verschiebung (verändert nach Kettles & Tarnocai 1999)

In der Niederen Arktis bzw. Subarktis sind feuchte bzw. nasse Flächen mit mächtiger Auftauschicht weit verbreitet. Dort sind große Kohlenstoffmengen gespeichert und Kryoturba­tion tritt häufig auf. Die bei einer Temperaturerhöhung auftretenden Konsequenzen sind sehr weitgehend und je nach Wasserhaushaltsbedingungen verschieden. Es kann zu stärkerer Mineralisierung bei längeren Trockenphasen oder Methanemission bei stärkerer Vernässung kommen. Andererseits wird zukünftig die agrarische und forstliche Landnutzung insbesondere in der Subarktis verstärkt möglich sein.

#### References

Bockheim, J.G. (2007): Importance of cryoturba­tion in redistributing organic carbon in permafrost-affected soils. *Soil Science Society of America Journal* 71, 1335-1342.

Broll, G., Tarnocai, C. & J. Gould (2003): Long-term High Arctic Ecosystem Monitoring in Quttinirpaaq National

Park, Ellesmere Island, Canada. In: Phillips, M., Springman, S. & L.U. Arenson (eds.): *Permafrost*. Vol. 1. Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost, 21-25 July in Zurich. Balkema Publishers, Lisse, 89-94.

Kettles, I. & C. Tarnocai (1999): Development of a model for estimating the sensitivity of Canadian peatlands to climate warming. *Géographie physique et Quaternaire* 53, (3), 323-338.

Kimble J.M. (ed.) (2004): *Cryosols. Permafrost-Affected Soils*, Springer, Berlin.

Natural Resources Canada 2007:

<http://atlas.nrcan.gc.ca/site/english/maps/climatechang/e/scenarios/nationalannualtemp2050>, 20.09.07.

Soil Classification Working Group (1998): *The Canadian System of Soil Classification*, 3<sup>rd</sup> ed. Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa. Pub. 1646.187 pp.

Tarnocai, C. (1998): The amount of organic carbon in various soil orders and ecological provinces in Canada. In: Lal, R., Kimble, J. M., Follet, R., and B. A. Stewart (ed.): *Soil processes and the carbon cycle*. CRC Press, Boca Raton, 81-92.

Tarnocai, C. & G. Broll (submitted): Soil organic stocks in the northern permafrost region and their role in climate change.

Tarnocai, C., Broll, G. & H.-P. Blume (2004): Classification of Permafrost-Affected Soils in the WRB (World Reference Base of Soil Resources). In: Kimble, J. M. (ed.): *Cryosols. Permafrost-Affected Soils*. Springer, Berlin, 637-656.

Tarnocai C. & I. Campbell (2002): Soils of the polar regions. In: *Encyclopedia of Soil Science*, New York: 1018-1021.

Tarnocai, C., Kimble, J. & G. Broll (2003): Determining carbon in Cryosols using the Northern and Mid Latitudes Soil Database. In: Phillips, M., Springman, & L.U. Arenson (eds.): *Permafrost Vol. 2. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Permafrost*, 21-25 July in Zurich. Balkema Publishers, Lisse, 1129-1134.

Tarnocai C., Kimble J., Swanson D., Goryachkin S., Naumov Ye.M., Stolbovoi V., Jakobsen B., Broll G., Montanarella L., Arnoldussen A., Orozco-Chaves F. & M. Yli-Halla (2001): *Northern Circumpolar Soils*, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Canada, 1:10 000 000 scale map.

Tarnocai C., Lacelle B., Broll G., Mazhitova G., Pfeiffer E.-M., Stolbovoi V., Ping C.-L. & J.M. Kimble (2006): Organic carbon in northern circumpolar soils. Presented at the World Congress of Soil Science Philadelphia, Pennsylvania, USA, July 9-14, 2006.

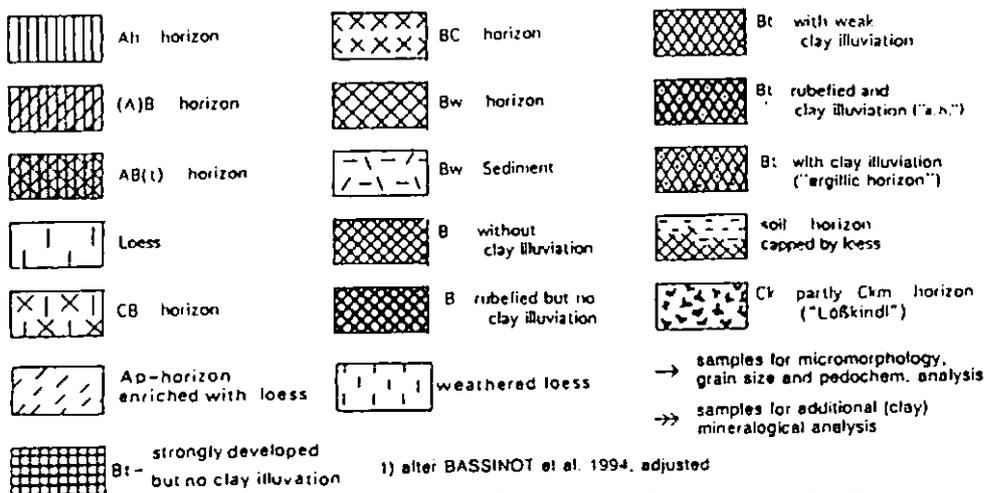
## Pedostratigraphische Korrelation von brunheszeitlichen Löss- Paläoboden-Sequenzen von Zentralasien mit Mitteleuropa – ein zweiter Versuch

Arnt Bronger

Da bereits rezente geringe Klimaschwankungen im Zeitrahmen von 100 – 1000 Jahren, denen nur eine Temperaturabnahme von  $< 1^{\circ} \text{C}$  entspricht, in den gemäßigten Breiten der Nordhemisphäre miteinander korreliert werden können, müssen größere Klimaschwankungen im Zeitrahmen von 100 ka (Glazial- Interglazial- Zyklen) und auch von 10 ka (etwa der Länge eines Interglazials) im gemäßigten Klimagürtel der Nordhemisphäre weitestgehend gleichzeitig stattgefunden haben. Dieses Konzept ermöglicht kontinentale pedostratigraphische Korrelationen. Für eine Löss-Bodenstratigraphie und insbesondere für paläoklimatische Rückschlüsse ist es notwendig, die Genese der Paläoböden über seine Merkmale zu erschließen. Die meisten Paläoböden sind aber gekappt und vom hangenden Löss sekundär aufgekalkt. Die Bodenmikromorphologie ermöglicht jedoch zwischen primären und sekundären Carbonaten zu unterscheiden und z.B. den Prozess der Tonverlagerung zweifelsfrei zu erkennen. Dies erlaubt die Trennung von typischem Löss, pedogen überprägtem

Löss, sowie die Ansprache von genetischen Bodenhorizonten wie CB-, BC-, Ah-, Bw-, B- und Bt-Horizonten. Die brunheszeitliche Abfolge von Paläoböden bzw. Pedokomplexen in Karamaydan/Tadjikistan zeigt eine sehr gute Korrelation mit der Tiefseekurve, für die präzise astronomische Zeitangaben abgeleitet wurden. Deshalb sollte das Profil von Karamaydan als Referenzprofil für die Rekonstruktion einer mittel- und jungpleistozänen Klimageschichte angesehen werden. Die Korrelation von Pedokomplexen in Karamaydan mit denen des Sammelprofils von Tschechien (Abb. 1) ist zwangloser als z.B. die Korrelation mit Paläoboden-Abfolgen im Karpatenbecken. Kontrollpunkte für die Korrelation sind die Brunhes/Matuyama-Grenze sowie der basale Boden des PK I in Karamaydan und der basale Boden des PK III in Tschechien, äquivalent zum Stadium 5.5 in der OIS. Die pedostratigraphische Korrelation erlaubt einen genauen Zeitrahmen für die Bildung jedes Pedokomplexes in Tschechien in der Brunhes-Époche.

Legende von Fig. 1A und 1B



1) after BASSINOT et al. 1994, adjusted

2) after PENKOV & GAMOV 1980, FORSTER and HELLER 1994, ZEMAN 1992

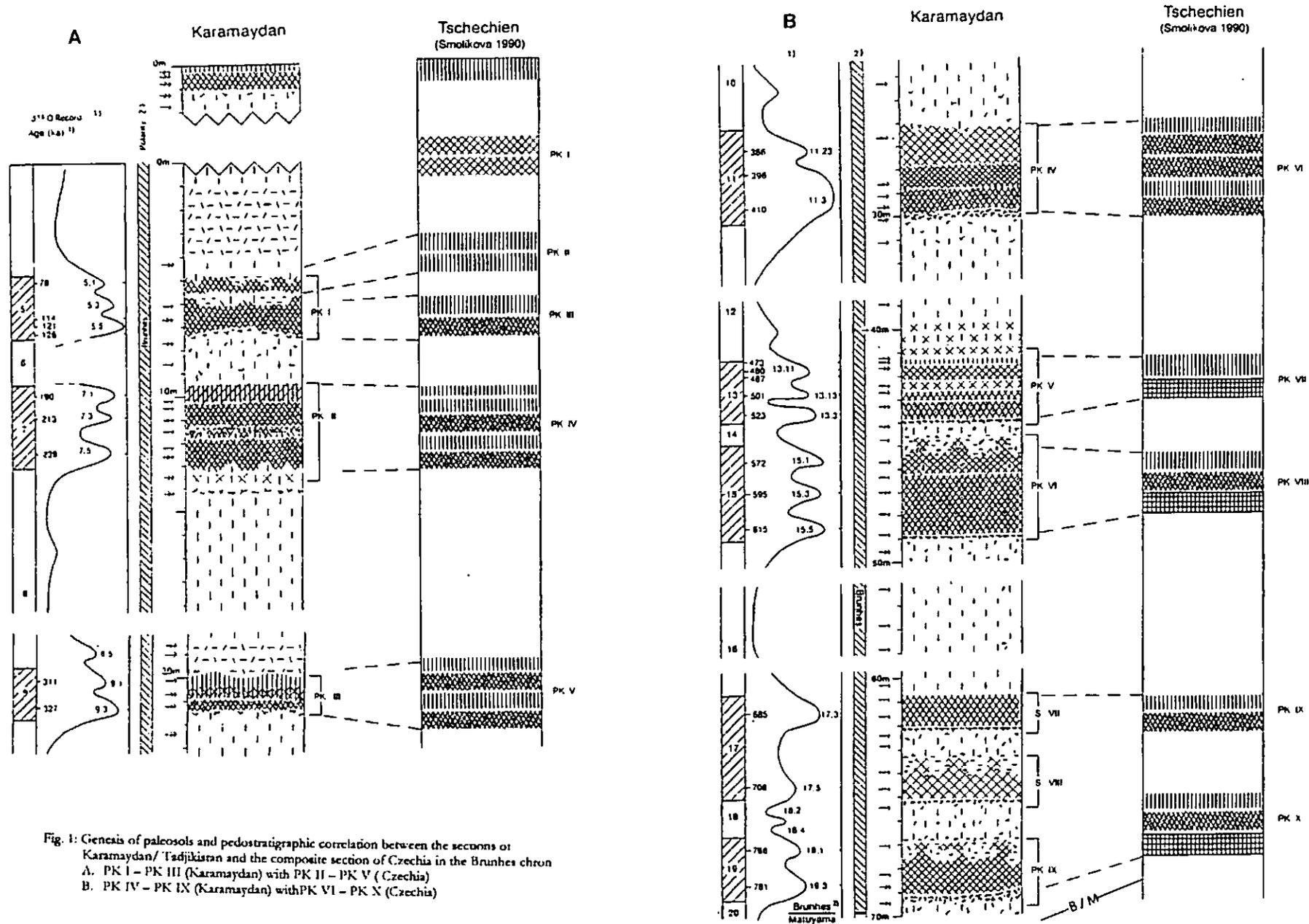


Fig. 1: Genesis of paleosols and pedostratigraphic correlation between the sections of Karamaydan/ Tadjikistan and the composite section of Czechia in the Brunhes chron  
 A. PK I - PK III (Karamaydan) with PK II - PK V (Czechia)  
 B. PK IV - PK IX (Karamaydan) with PK VI - PK X (Czechia)

## Löss Paläoboden Sequenzen an Donau und Dnieper

### - Klimaarchive der letzten 700.000 Jahre -

Buggle, B.<sup>1</sup>, Glaser, B.<sup>1</sup>, Hambach, U.<sup>2</sup>, Zöller, L.<sup>2</sup>, Gerasimenko, N.<sup>3</sup>, Glaser, I.<sup>2</sup> und Markovic, S.B.<sup>4</sup>

Löss-Paläoboden-Sequenzen (LPS) stellen potentiell wertvolle terrestrische Klimaarchive dar. In Europa finden sich mächtige LPS vor allem entlang der großen Flüsse Ost- und Südosteuropas wie Donau und Dnieper.

Nachfolgend werden für mehrere LPS im heutigen Steppen-, bzw. Waldsteppengebiet entlang Donau und Dnieper eine Chronostratigraphie sowie erste Ergebnisse hinsichtlich paläoklimatischer Trends vorgestellt. Es wurden hierbei folgende LPS untersucht: Batajnica/Stary Slankamen (44° 55' 29" N, 20° 19' 11" E und 45° 7' 58" N, 20° 18' 44" E) in der Vojvodina (Serbien), Mircea Voda (44° 19' 15" N, 28° 11' 21" E) im Dobrogea-Löss-Plateau (Rumänien) und Stary Kaydaky (48° 22' 42" N, 35° 07' 30" E) am Dnieper (Ukraine). Für Informationen betreffend die Standorte und für nähere Profilbeschreibung wird auf Buggle et al. (submitted) verwiesen.

#### Methoden:

Die Chronostratigraphie basiert auf einer magnetischen Suszeptibilitätsstratigraphie ergänzt durch eine pedostratigraphische bzw. in der Ukraine auch pollenstratigraphische Einordnung der Paläoböden (Buggle, et al., submitted). Die magnetische Suszeptibilitätskurven der untersuchten LPS wurden hierbei mit einem Proxy für das globale Eisvolumen - der Sauerstoffisotopenkurve benthischer Foraminiferen des ODP Bohrkerns 677 (Shackleton et al., 1990) korreliert. Weitere Korrelationen wurden zu einer astronomisch kalibrierten magnetischen Suszeptibilitätskurve vom Chinesischem Löss Plateau (Sun et al., 2005) als auch zu Profilen in der Region (Jordanova und Petersen, 1999; Panaiotu et al., 2001; Rousseau, et al., 2001) durchgeführt.

Paläoklimatische Erkenntnisse stützen sich vor allem auf die semiquantitative Erfassung der Rubefizierung mittels des Rubefizierungsindex gemäß Harden (1982), sowie auf den chemischen Verwitterungsindex CIA (Nesbitt und Young, 1984) als Maß für die Feldspatverwitterung. Zusätzlich wurde die magnetische Suszeptibilität (MS) als Proxy für die Pedogeneseintensität bzw. des Paläoniederschlags herangezogen (u.a. Maher, 1994).

#### Ergebnisse/Diskussion:

1. Es ist eine Korrelation der MS-Kurven zwischen den LPS Batajnica/Stary Slankamen (SRB), Mircea Voda (RO) und Stary Kaydaky (UA) zu Profilen auf dem Chinesischen Löss Plateau, als auch zu Proxies des globalen Eisvolumens möglich. Die darauf basierende Stratigraphie zeigt, dass die untersuchten Profile Paläoklimaarchive mindestens der letzten 700.000 Jahre (Stary Kaydaky: 600.000 Jahre) darstellen (Abbildung 1).

2. Es konnte ein entscheidender Beitrag für die Klärung der LPS-Stratigraphie in der Ukraine geliefert werden, indem gezeigt wurde, dass der Kaydaky-Boden (=S1S3) an seiner Typlokalität der marinen Isotopenstufe (MIS) 5e entspricht. Siehe Buggle et al. (submitted) für

eine detailliertere Beschreibung der Chronostratigraphie.

3. Die warmzeitlichen Bodenbildungen, sowie deren Rubefizierungs- und Verwitterungsgrad (Abbildung 2) weisen für die serbischen und rumänischen Standorte auf eine allmähliche Abnahme des Paläoniederschlags und Paläotemperatur vom Mittel- zum Jungpleistozän, insbesondere bezüglich der Wintermonate, hin. Der Carbonatgehalt der Lössen spricht gegen einen zeitabhängigen Alterungseffekt.

4. In der LPS Stary Kaydaky (UA) ist die Klimadynamik innerhalb der einzelnen Interglaziale stärker aufgelöst. So ist anhand des Rubefizierungsindex (Abbildung 2) und der Feldbeobachtungen jeweils eine Differenzierung der Interglaziale in eine warm-feuchte erste Phase und eine kühlere-trockenere zweite Phase mit steppenhaften Bedingungen zu erkennen. Der CIA wird auf Grund mehrfacher pedogener Überprägung der älteren Pedokomplexe nicht paläoklimatisch interpretiert.

Die feinere paläoklimatische Auflösung, die die LPS Stary Kaydaky zeigt, deutet auf eine hohe Sensitivität des Standortes für die Überlieferung von Klima-, bzw. Vegetationswechsel hin. Neben der Lage im Grenzbereich zwischen Steppe und Waldsteppe, liegt eine weitere Erklärungsmöglichkeit hierfür in der größeren Häufigkeit und Strenge von Winterfrost. Hierdurch findet in der zweiten Phase eine stärkere Humusakkumulation statt, welche sich in der Bodenfarbe widerspiegelt.

5. Um das Potential der LPS Stari Slankamen /Batajnica, Mircea, Voda und Stary Kaydaky als Paläoklimaarchiv auszuschöpfen, sind noch weitere Untersuchungen nötig und zur Zeit in Durchführung.

#### Literaturangaben

- Buggle, B., Hambach, U., Glaser, B., Gerasimenko, N., Markovic, S., Glaser, I., Zöller, L., submitted. Magnetic susceptibility stratigraphy and spatial and temporal paleoclimatic trends in East European loess paleosol sequences. *Quaternary International*.
- Harden, J.W., 1982. quantitative index of soil development index from field descriptions: Examples from a chronosequence in central California. *Geoderma* 28, 1-28.
- Maher, B.A., Thompson, R., Zhou, L.P., 1994. Spatial and temporal reconstructions of changes in the Asian palaeomonsoon: A new mineral magnetic approach. *Earth and Planetary Science Letters* 125, 461-471.
- Jordanova, D., Petersen, N., 1999b. Palaeoclimatic record from a loess-soil profile in northeastern Bulgaria—II. Correlation with global climatic events during the Pleistocene. *Geophysical Journal International* 138, 533-540.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, 1523-1534.
- Panaiotu, C. G., Panaiotu, E. C., Grama, A., Necula, C., 2001. Paleoclimatic record from a loess-paleosol profile in Southeastern Romania. *Physics and Chemistry of the Earth (A)* 26, 893-898.
- Rousseau, D.D., Gerasimenko, N.P., Matviichina, Z., Kukla, G.J., 2001. Late Pleistocene environments of the Central Ukraine. *Quaternary Research* 56, 349-356.
- Shackleton, N.J., Berger, A., Peltier, W.R., 1990. An alternative astronomical calibration of the lower Pleistocene timescale based on ODP Site 677. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 81, 251-261.
- Sun, Y., S.C. Clemens, Z. An, Yu, Z., 2006. Astronomical timescale and paleoclimatic implication of stacked 3.6-Myr monsoon records from the Chinese Loess Plateau. *Quaternary Science Reviews* 25, 33-48.

<sup>1</sup> Abteilung Bodenphysik, Universität Bayreuth, 95447 Bayreuth

<sup>2</sup> Lehrstuhl Geomorphologie, Universität Bayreuth, 95447 Bayreuth

<sup>3</sup> Chair of Physical Geography, Faculty of Sciences, Trg Dostieja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Serbia

<sup>4</sup> Earth Science and Geomorphology Departement, Tarasa Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

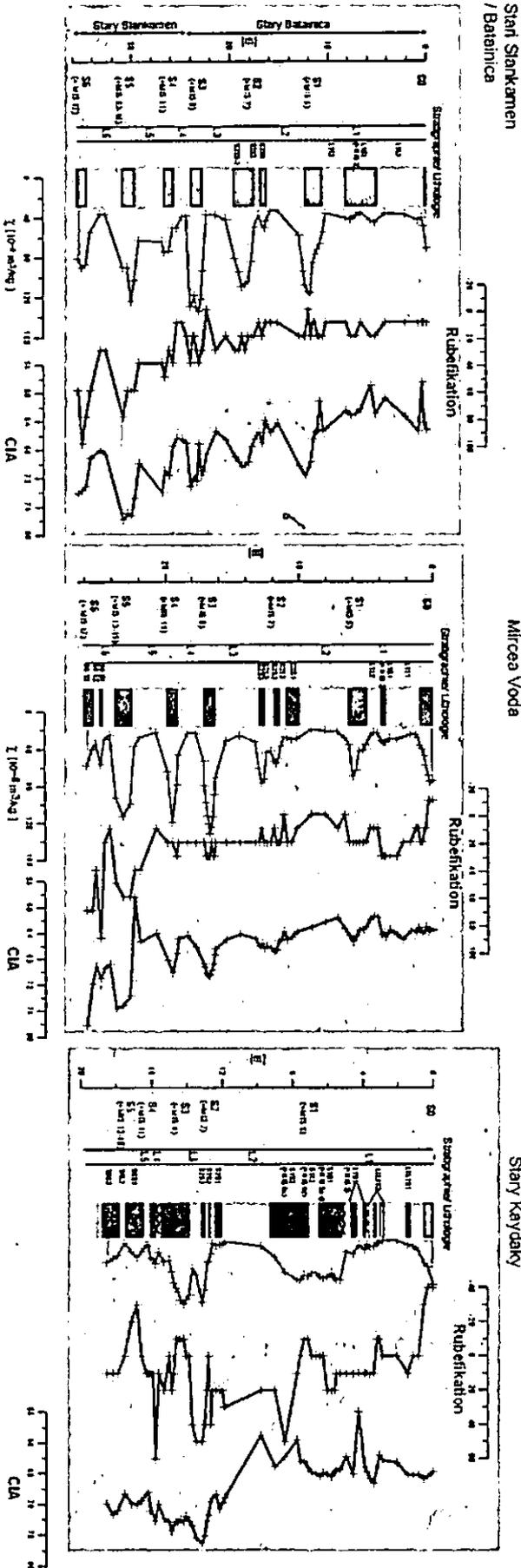


Abbildung 2. Tiefenverlauf der magnetischen Suszeptibilität, des Rubefizierungsindex und des chemical index of alteration (CIA) für die Profile Batajnica/Stary Slankamen, Mircea Voda und Stary Kaydaky. In dem lithologischen Schema kennzeichnen dunkle Einheiten Paläoböden, helle Einheiten reine sowie auch schwach (im Vergleich zu angrenzenden Paläoböden) überprägte Löss. Hiati sind durch Wellenlinien gekennzeichnet.

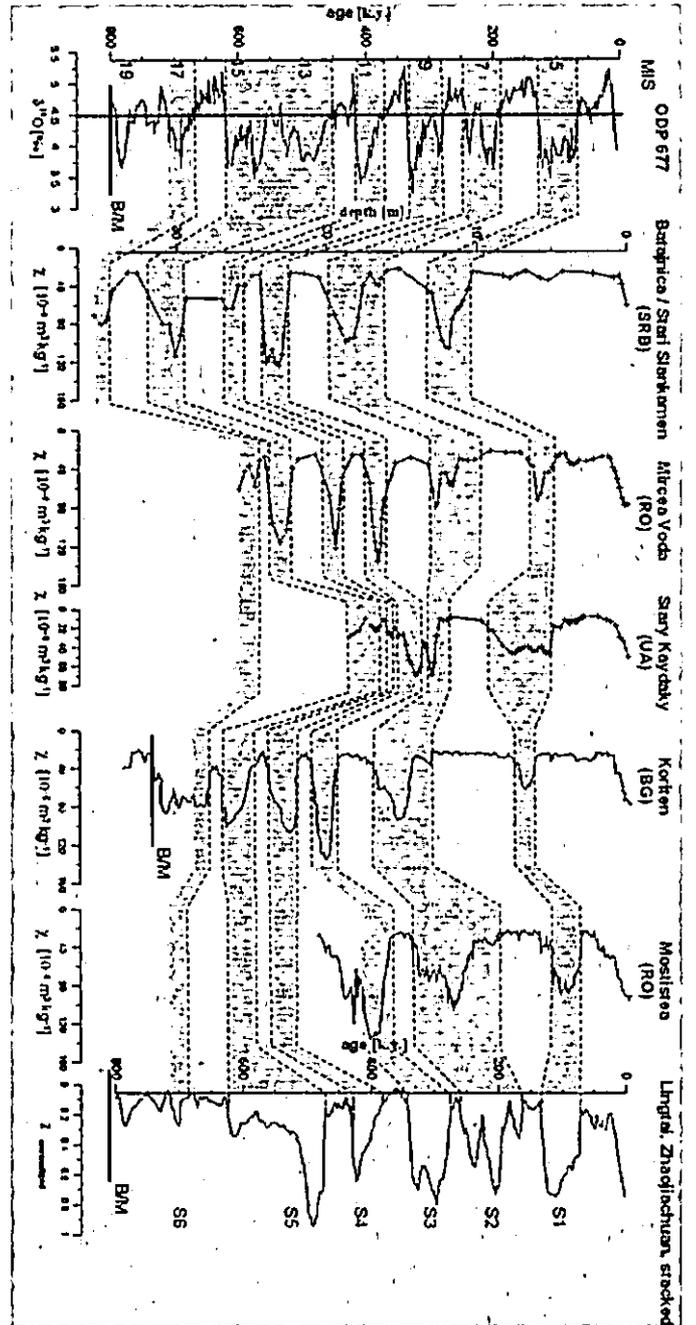


Abbildung 1. Tiefenverlauf der magnetischen Suszeptibilität, des Rubefizierungsindex und des chemical index of alteration (CIA) für die Profile Batajnica/Stary Slankamen, Mircea Voda und Stary Kaydaky. In dem lithologischen Schema kennzeichnen dunkle Einheiten Paläoböden, helle Einheiten reine sowie auch schwach (im Vergleich zu angrenzenden Paläoböden) überprägte Löss. Hiati sind durch Wellenlinien gekennzeichnet.

## Podsol – Boden des Jahres 2007: Indikator für historische Waldnutzung in Mittelgebirgen?

R. Dambeck, S. Müller, H. Stepien

### Einleitung

In einigen Mittelgebirgen (Eifel, Pfälzer Wald, Spessart, Buntsandstein-Odenwald, Taunus) treten enge Vergesellschaftungen von podsolierten Braunerden und Podsolen auf. Der kleinräumige Wechsel der Bodenformen über Distanzen von wenigen Metern ist mit den gängigen Vorstellungen zur Podsolgenese nicht zu erklären.

Unbestritten ist die Tatsache, dass durchlässige, basenarme Substrate, eine schwer mineralisierbare Streu liefernde Vegetation sowie klimatische Bedingungen mit verhältnismäßig hohen Niederschlägen und geringen Jahresmitteltemperaturen die Podsolierung begünstigen.

Entgegen der Lehrbuchmeinung und der jüngsten Veröffentlichungen zum Boden des Jahres 2007, sind die Autoren der Überzeugung, dass Podsole in den Mittelgebirgen in der überwiegenden Zahl der Fälle quasinatürliche Bildungen darstellen, deren Pedogenese auf nicht angepasste historische Waldbewirtschaftung und damit einhergehende Bodenerosion bzw. Bodenumlagerungen zurückzuführen ist.

### Geländebefund

Im Unterschied zur Schichtung von Braunerden - i.d.R. Hauptlage (LH) über Basislage (LB) - ist das Auftreten von Podsolen in Mittelgebirgen häufig an das Vorkommen einer sandigen (Ss, Su2, Sl2), holozänen Schicht im Hangenden der LH gebunden. Vielfach belegen Bsv-, Bvs- und/oder Bv-Horizonte ein vorhergehendes Braunerdestadium der Podsole.

Sind die holozänen Ablagerungen feinmaterialreicher zusammengesetzt, besitzen die Sedimente kolluvialen Charakter, d.h. dann sind kolluvial überdeckte Braunerden entwickelt.

---

*Institut für Physische Geographie, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Altenhöferallee 1, 60438 Frankfurt am Main, E-Mail: dambeck@em.uni-frankfurt.de, susann.mueller@em.uni-frankfurt.de*

Nicht immer hat dabei das von FRIED (1984) zur Abgrenzung von Podsolen herangezogene Sand-Schluff-Verhältnis von  $>6$  Gültigkeit. (vgl. Tab. 1).

Die Verbreitung dieser jüngsten Decke und ihre Zusammensetzung steuern also den engen Wechsel der Bodenformen.

In Podsol-Profilen mit geschichtetem Solum ist **regelmäßig** folgende Koinzidenz von Schichten und Horizonten zu beobachten (vgl. Abb. 1):

Eluvialhorizonte (A-): Holozänlage

Illuvialhorizonte (B-): Hauptlage

Untergrundhorizonte (C-): Basislage

Als wesentliche Schichtungsparameter dienen z.T. deutlich variierende Skelettanteile zwischen A- und B-Horizonten bzw. unterschiedliche Lagerungsart (z.B. Einregelung) von Skelettkomponenten, da diese Merkmale pedogenetisch unveränderliche Kennzeichen darstellen (DAMBECK 1999).

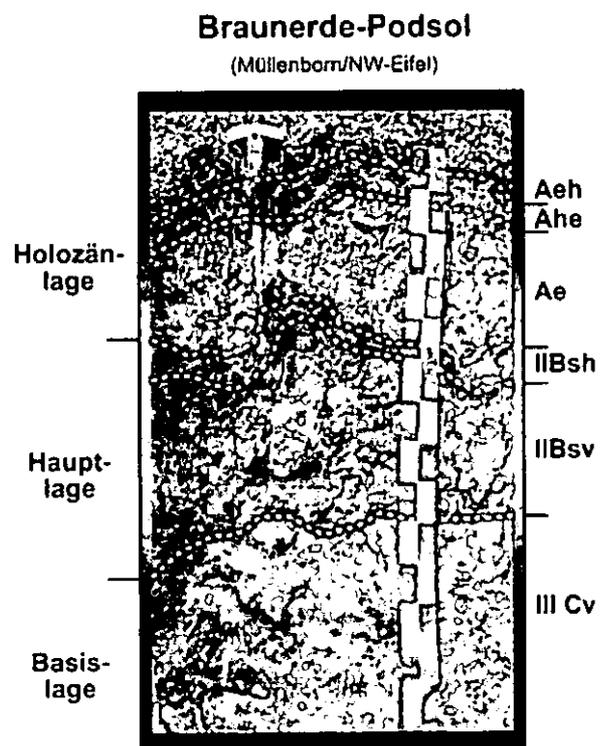


Abb. 1: Koinzidenz von Schichten und Horizonten

### Entstehung und Diskussion

Als ursächlich für die Entstehung holozäner Umlagerungen in heute bewaldeten Gebieten ist eine historische Waldnutzung anzunehmen. Häufig weisen erhaltene Reliktformen unter Wald (z.B. fossile Ackerraine, Lesesteinhaufen und -streifen, alte Meilerplatten) auf einen Zusammenhang der Bodenumlagerungen mit ehemaliger Waldbewirtschaftung hin (z.B. Hackwaldwirtschaft, Köhlerei, Pottaschegewinnung).

**Tab.1:** Korngrößenverteilung des Profils Müllenborn (Abb. 1)

Horizont	Tiefe	gS	mS	fS	gU	mU	fU	ΣS	ΣU	ΣT	Bodenart
Aeh	0-2	18,1	51,3	11,2	8,1	5,4	3,5	80,6	17,0	2,4	Su2
Ahe	-20	21,1	46,1	12,6	9,3	6,3	3,5	79,8	19,1	1,1	Su2
Ae	-40	27,5	44,7	10,0	8,1	5,6	2,9	82,3	16,5	1,2	Su2
II Bsh	-45	21,8	42,8	8,8	7,8	5,4	3,5	73,5	16,7	9,8	SI3
II Bsv	-60/70	19,2	37,5	7,9	10,1	8,5	4,8	64,6	23,4	12,0	SI3
III Cv	-100+	21,8	41,5	7,1	5,8	7,8	6,4	70,5	20,0	9,5	SI3

Auflichtungen bis hin zu weitgehenden Rodungen der Wälder resultierten in lateralen Sedimentverlagerungen (z.B. durch Abspülprozesse) oder vertikalen in-situ-Umlagerungen (z.B. durch Hacken). Die Zerstörung der natürlichen Bodenstruktur durch Bearbeitung begünstigte Ab- und Ausspülung feiner Bodenteilchen (Schluff/Ton) auf zu meist ohnehin feinmaterialarmen Standorten. Damit ist vor allem der Lösslehmanteil der Hauptlage, dessen Verwitterungsprodukte den Großteil der Pufferkapazität gegenüber Säuren bilden (besonders auf sonst groben, nährstoffarmen Substraten wie z.B. Sandstein), von Erosion betroffen.

Der selektive Feinmaterialverlust bewirkte eine Sedimentvergrößerung im Sinne der Entstehung eines Residualschutts, was der Podsolierung Vorschub leistete. Außerdem führte die Unterbrechung der Nährstoff-/Basenpumpe durch Übernutzung (Waldweide, Streunutzung, Anbau von Waldkorn) zu einer fortschreitenden Aushagerung der Standorte.

Die Überschreitung eines Schwellenwertes in der Sedimentzusammensetzung (S:U-Verhältnis) entscheidet dabei häufig über die Weiterentwicklung zum Podsol oder den Fortbestand als pedogenetisch ungegliedertes Kolluvium.

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die fehlende Nomenklatur für Holozänlagen zwar seit mehr als einem Jahrzehnt diskutiert wird (vgl. VÖLKEL 1994), es aber keine Weiterentwicklung gab, was wahrscheinlich auch in Zukunft zu Verwechslungen und Fehlinterpretationen des Begriffs „Oberlage“ führt.

### Fazit

Die Entstehung von Podsolen in Mittelgebirgen ist häufig eine Folge quasinatürlicher Sedimentumlagerungen in Verbindung mit historischer Waldnutzung.

Natürliche Faktoren (z.B. relativ hohe Niederschläge und niedrige Umgebungstemperaturen, eingeschränktes Bodenleben, Nadelwaldbewuchs

und ungünstige Humusformen) fördern die Podsolierung, sind aber nicht zwingend die natürliche Ursache der Podsolgenese.

Podsoltragende Standorte unter Laubwaldvorkommen, die vermutlich nie mit Nadelwald bestockt waren (da Koniferen in den Mittelgebirgen erst ab dem 18. Jahrhundert systematisch angepflanzt wurden), belegen, das andere, substratbedingte Faktoren für die Podsolgenese ausschlaggebend sind.

**Daher stellen Podsole sehr häufig pedogenetische Indikatoren für historische Bodenübernutzung und irreversible Landschaftsschäden dar.**

### Literatur

DAMBECK, R. (1999): Bodengenetische Interpretation von Podsolen im Buntsandstein-Odenwald.- Mitt. dt. bodenkdl. Ges., **91**(2): 953-956, 1 Abb., 1 Tab.; Hannover.

FRIED, G. (1984): Gestein, Relief und Boden im Buntsandstein-Odenwald.- Frankfurter geowiss. Arb., **D4**: 201 S., 57 Abb., 11 Tab.; Frankfurt am Main.

VÖLKEL, J. (1994): Zur Frage der Merkmalscharakteristik und Gliederung periglazialer Deckschichten am Beispiel des Bayerischen Waldes.- Petermanns Geogr. Arb., **138**: 207-217.

# Bodenbewertung urbaner Gebiete zur Berücksichtigung in der Stadtplanung

Susanne David\*, Andreas Lehmann und Karl Stahr

## 1 Einleitung

In Deutschland werden täglich ca. 130 ha Fläche für Siedlung und Verkehr umgewidmet (UMWELT-BUNDESAMT, 2003). Besonders Böden in Stadtrandgebieten sind davon betroffen. Es erfolgen Eingriffe wie Abgrabung, Verdichtung oder Versiegelung. Damit werden auch die Funktionen, die Böden im Naturhaushalt erfüllen, beeinträchtigt.

Zugleich liegen in vielen städtischen Gebieten Flächen brach. Einer Umwidmung steht oft ein Mangel an Informationen zu den Flächeneigenschaften im Wege.

Mit einer entsprechenden Bewertungsmethode können Kenntnisse zu urban überprägten Böden vermittelt werden. Dies erleichtert die Wiedernutzung von Brachflächen und ermöglicht die Steuerung von Nutzungen auf weniger wertvolle Flächen. Damit kann der Flächenfraß an den Stadtrandgebieten eingedämmt und nachhaltiges Flächenmanagement unterstützt werden.

Das EU- Interreg III B-Alpenraum-Projekt TUSEC-IP (Technique of Urban Soil Evaluation in City regions – Implementation in Planning procedures) beschäftigte sich speziell mit der Bodenbewertung in Stadtregionen des Alpenraumes und der Implementierung der Ergebnisse in die Stadtplanung. Dabei arbeiteten als kommunale Partner die Städte München, Reutlingen, Linz und Maribor, Vertreter der Autonomen Provinz Bozen, das Umweltamt in Wien, die Stadt Zürich sowie die Universitäten Innsbruck, Hohenheim und Turin eng zusammen ([www.tusec-ip.org](http://www.tusec-ip.org)).

## 2 Gründe für die Bodenbewertung in Städten

Erfolgt die Berücksichtigung der Böden bereits in der Stadtplanung, so ist es möglich,

- hochwertige Flächen zu schützen
- Brachflächen zu revitalisieren
- das Prinzip „Innennutzung vor Außennutzung“ zu fördern
- den Flächenverbrauch zu reduzieren.

Zudem können Kosten deutlich reduziert werden, die sonst z.B. für die Erschließung neuer Gebiete aufkommen würden.

## 3 Böden urbaner Gebiete

Böden urbaner Gebiete sind durch eine hohe Variabilität gekennzeichnet (SAUERWEIN, 2002). Sie unterliegen nach BURGHARDT (1996) und CORDESEN (1996) diversen chemischen und physikalischen

Veränderungen in unterschiedlichen Intensitäten. Zu diesen anthropogen initiierten Veränderungen gehören u.a.:

- Überdeckung, Abtrag oder Durchmischung des Horizontaufbaus
- Anreicherung mit natürlichem und / oder anthropogen verändertem Material einschließlich Humus und chemischen Stoffen
- Verdichtung bzw. Lockerung
- Versiegelung
- Absenkung des Grundwasserspiegels

## 4 Grundlage der Bewertung

Im Projekt TUSEC-IP wurden aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen innerhalb der Stadtplanung zwei Methoden entwickelt: Während das B-Level anhand von Sekundärinformationen einen Überblick über die Böden und ihre Eigenschaften in größeren Gebieten verschafft und daher besonders für die Flächennutzungsplanung geeignet ist, liefert das A-Level fachlich exakt begründbare Ergebnisse, die im Bebauungsplan einfließen können. Daher basiert die Bewertung auf dem A-Level auf horizontbezogenen pedologischen Daten. Sie werden mittels einer Bodenkartierung, die anhand einer Konzeptbodenkarte durchzuführen ist, erhoben. Die Konzeptbodenkarte basiert neben natürlichen bodenbildenden Faktoren - z. B. Topographie und Geologie – auf Informationen zu anthropogenen Veränderungen wie Versiegelung, historischer und aktueller Landnutzung (HOLLAND, 1996; SCHNEIDER et al., 2000). Bei der Kartierung sind neben den pedologischen Parametern die anthropogenen Veränderungen der Böden und Standorte detailliert festzuhalten. Eine Neukartierung besitzt verschiedene Vorteile: die Parzellenschärfe der Aussagen, die bessere Berücksichtigung der Stadtböden mit ihren typischen Heterogenitäten und die Reduzierung des Risikos der oft schnell und intensiv ablaufenden anthropogenen Veränderungen dieser Böden zwischen dem Zeitpunkt der Datenerhebung und der Bewertung (DAVID et al., 2005)

## 5 Bewertung und Umsetzung

In der Bodenbewertung nach TUSEC-IP werden Böden urbaner Gebiete z. B. anhand von Verdichtung und hohen Skelettgehalten berücksichtigt.

Abb. 1 enthält die Ergebnisse der Bewertung des A-Levels der TUSEC-IP-Methode für die Teilfunktion „Bestandteil des Wasserkreislaufes“ für eine Testfläche in Baden-Württemberg. Dabei treten Böden mit überdurchschnittlichen Ergebnissen für diese Teilfunktion besonders im westlichen Teil der Fläche auf. Die Untersuchungspunkte sind hell dargestellt; die entsprechende Fläche ist dunkel schraffiert. Die in dem Gebiet ausgebildeten Böden sind durch ein hohes Wasserspeichervermögen und einen mittleren Durchlässigkeitsbeiwert gekennzeichnet. Bei der zukünftigen Nutzung soll auf Verdichtung und Versiegelung dieser Bereiche verzichtet und vorzugsweise Grünflächen und Spielplätze eingerichtet werden.

\* Institut für Bodenkunde und Standortslehre (310)  
Universität Hohenheim, 70593 Stuttgart  
s-david@uni-hohenheim.de

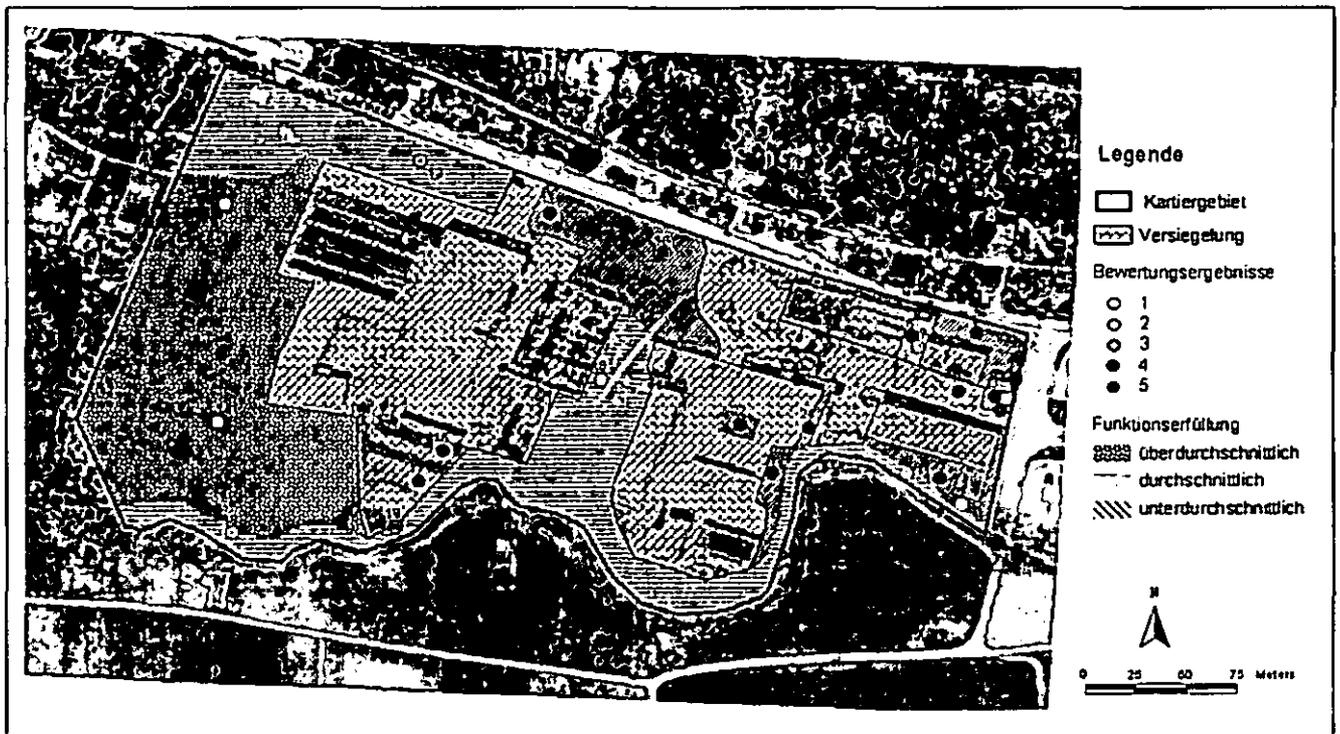


Abb. 1: Bewertung der Bodenteilfunktion „Bestandteil im Wasserkreislauf“ mittels TUSEC-Methode (A-Level) für eine Testfläche in Baden-Württemberg.

Das Beispiel verdeutlicht, dass mit der Bewertung und Darstellung der Ergebnisse der nachhaltige Bodenschutz bereits im Planungsprozess realisierbar wird, da erst Kenntnisse zu qualitativ hochwertigen Flächen Überlegungen und Maßnahmen zu ihrem Schutz erlauben. So können bereits im Bebauungsplan entsprechende Bereiche ausgewiesen und Maßnahmen ergriffen werden. Nach HEINZE (2000) kann dies eine Verschiebung von Nutzungen, die z.B. Verdichtung und Versiegelung bewirken, auf weniger hochwertige Flächen bedeuten. Je nach Stand der städtischen Planung, den Ergebnissen der Bewertung und der Größe der Fläche kann es zu einer Verlagerung der Nutzung innerhalb dieser oder auf andere Flächen erfolgen. HEINZE (2000) geht deshalb davon aus, dass die Bodenbewertung auch zur Ermittlung von Standortalternativen herangezogen werden kann. Deshalb sollte die Bodenbewertung vor dem Beschluss des Bebauungsplanes erfolgen.

#### 6 Nutzen der Stadtplaner bei der Implementierung

Mit dem Bodenschutz wird nicht nur den gesetzlichen Forderungen stattgegeben. Die Städte können finanziellen Nutzen z. B. durch die optimale Nutzung von Brachflächen erzielen. Dies senkt Kosten, die für die Erschließung neuer Gebiete aufgewendet werden müssten. Positiv ist die damit einhergehende Reduzierung der Neuversiegelung. Die Einbeziehung lokaler Möglichkeiten zur Versickerung von Niederschlagswasser erlaubt die optimale Dimensionierung von Regenwasserrückhalteanlagen. Dies reduziert die Flächeninanspruchnahme und nicht zuletzt die Baukosten der Kommune.

#### 7 Zusammenfassung

Durch die Bewertung von Böden urbaner Gebiete können hochwertige Flächen geschützt werden. Für die Bewertung ist eine Methode zu verwenden, die die Besonderheiten von anthropogen veränderten Böden mit berücksichtigt. Exemplarisch wurden Bewertungsergebnisse der TUSEC-IP-Methode für die Teilfunktion „Bestandteil des Wasserkreislaufs“ dargestellt. Anhand solcher Informationen können Planer Böden mit überdurchschnittlicher Funktionserfüllung vor Verdichtung und Versiegelung schützen.

#### Literatur

- BURGHARDT, W. (1996): Boden und Böden in der Stadt.- in: ARBEITSKREIS STADTBÖDEN DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT [HRSG.]: Urbaner Bodenschutz. Berlin. S. 7-21.
- CORDESEN, E. (1996): Mechanische Eingriffe in Stadtböden.- in: ARBEITSKREIS STADTBÖDEN DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT [HRSG.]: Urbaner Bodenschutz. Berlin. S. 59-69.
- DAVID, S.; LEHMANN, A. & K. STAHR (2005): Bodenbewertung in Deutschland und die neue TUSEC-Methode für den Alpenraum. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 107, 307-308.
- HEINZE, A. (2000): Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zur Bodenbewertung und Überblick zum gegenwärtigen rechtlichen Stellenwert des Bodenschutzes. Dissertation TU Cottbus, 305 S.
- HOLLAND, K. (1996): Stadtböden im Keuperland am Beispiel Stuttgart. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte 39.
- SAUERWEIN, M. (2002): Urbane Bodenlandschaften.- in: BENS, O. & R. F. HÖTTL [Hrsg.]: Bodengeographische Studien stark veränderter Standorte – Monitoring, Modellierung und Bewertung. Brandenburgische TU Cottbus. Aktuelle Reihe 4/2002, 9-13.
- SCHNEIDER, J., KUNZMANN, S.; RAECKE, F. LEHMBERG, F. & F.E. PANTEL (2000): Bereitstellung von Bodendaten für die Bauleitplanung. Arbeitshefte Boden 2000/4.
- UMWELTBUNDESAMT (2003) [Hrsg.]: Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr – Materialiensammlung. UBA-Texte 90/03, Berlin.
- www.tusec-ip.org

# Regionalisierung von bodenphysikalischen Eigenschaften in paddy rice Landschaften SO-Chinas auf unterschiedlichen Skalen

<sup>1</sup>Rainer Duttmann, <sup>1</sup>Kay Sumfleth\*

## Einleitung

Für Fragen des Ressourcenschutzes und der Landnutzungsplanung existieren eine Vielzahl von Modellen, deren Aussagekraft durch die Qualität der Eingangsdaten respektive unzureichender Bodeninformationen limitiert wird. In diesem Zusammenhang ist die Erfassung der skalenabhängigen räumlichen Variabilität von bodenphysikalischen und bodenchemischen Eigenschaften auch im Hinblick auf die Deutung von ökosystemaren Prozessen und der Skalierung von Modellen entscheidend. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Erfassung räumlicher Muster von Bodeneigenschaften und Vegetationseigenschaften und der Erfassung von Krigingvarianzen auf unterschiedlichen Skalen in einer typischen chinesischen Reislandschaft (Jiangxi Provinz) (vgl. Sumfleth und Duttmann, 2007).

## Methoden

Die Bodenaufnahme erfolgte im Feld- und Landschaftsmaßstab, wobei ein gleichmäßiges Beprobungsraster von 150m x 150m für die Landschaftsskala gewählt worden ist. Dies entspricht einer Anzahl von 212 Bohrpunkten. Dem gegenüber steht die Erfassung der catenaren Skale mit einer Punktdichte von 51 Bohrpunkten und der Auswahl von drei Reisfeldern in definierten Reliefeinheiten mit jeweils 49 (unterer Hang), 36 (mittlerer Hang) und 35 (oberer Hang) Bohrpunkten. Die Berechnung von bodenhydrologischen Parametern erfolgte mit Hilfe von Pedotransferfunktionen nach Vereecken et al. (1989), die Ableitung von Retentionskurven erfolgte nach van Genuchten (1980). Die Berechnung geostatistischer Parameter wurde mit der Statistikumgebung „R/GSTAT“ (Pebesma, 2004) durchgeführt. Um den Grad der räumlichen Zusammenhänge festzustellen, wurden experimentelle Semivariogramme berechnet und an sphärischen Variogrammmodellen mit Nuggeteffekt angepasst (siehe Tab. 1). Darüber hinaus wurde für jedes Variogramm bei entsprechendem Messnetz mit Hilfe der OSSFIM-Funktion in GSTAT (Pebesma, 2004) die Krigingvarianz als Funktion zur Messnetzdicke berechnet. Die OSSFIM-Funktion basiert auf der Arbeit von McBratney et al. (1981), die einen Algorithmus entwickelten, um die Krigingvarianz bzw. den Krigingstandardfehler für unterschiedliche Beprobungsdistanzen zu schätzen. Abschließend sind

Muster des NDVI's zur Überprüfung der räumlichen Verteilung der berechneten bodenhydrologischen Parameter eingesetzt worden.

## Ergebnisse

Nach Extremwertanalysen zeigen sowohl die Boxplots der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit wie auch die der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum, bezogen auf die kartierten Oberbodentiefen, deutliche catenare Abhängigkeiten. Geringe Ks-Werte wurden im unteren Hangbereich ermittelt im Gegensatz dazu höhere Ks-Werte in oberen Hanglagen. Dies ist vermeintlich auf die höheren Lagerungsdichten im unteren Bereich der Catena zurückzuführen. Die Lagerungsdichten liegen um 1.7 g/cm<sup>-3</sup> im unteren Hangbereich und im Vergleich dazu etwa 1.3-1.4 g/cm<sup>-3</sup> im oberen Hangbereich.

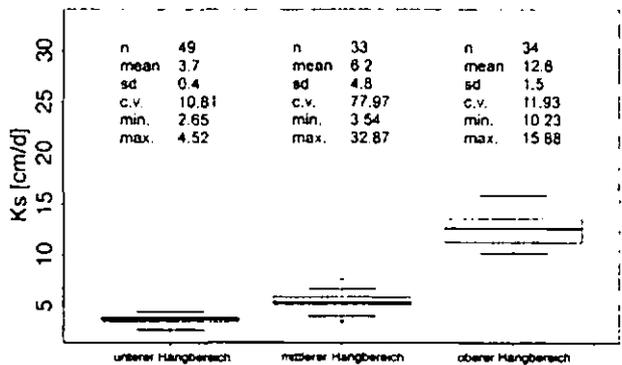


Abb.1: Variabilität (Box-Plots) der wassergesättigten hydraulischen Leitfähigkeit Ks [cm/T<sup>-1</sup>] innerhalb der Pflugschleife

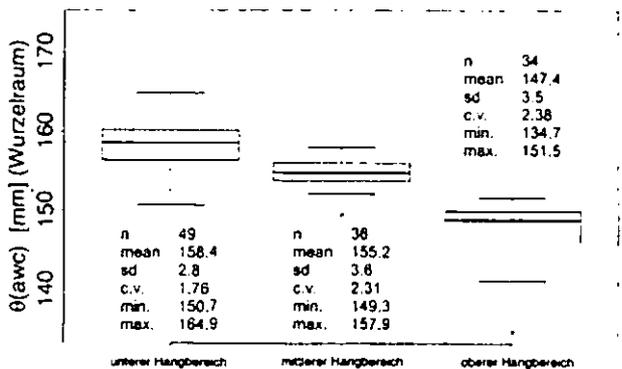


Abb.2: Variabilität (Box-Plots) der nutzbaren Feldkapazität AWC (mm) des effektiven Wurzelraumes (kartierter Oberboden)

Die Variogrammparameter der hier dargestellten Skalen (Tab.1) indizieren deutliche Unterschiede hinsichtlich der räumlichen Autokorrelation. Die klassifizierte Semivarianzen nach Cambardella et al. (1994) weisen auf enge räumliche Autokorrelationslängen innerhalb der catenaren Skale hin und im Gegensatz dazu auf schwach ausgeprägte Zusammenhänge auf der Landschaftsskala. Deutlich zu erkennen ist dies anhand des Tongehaltes bei einem Nugget-Sill-Ratio von 6.9% bzw. 75%.

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Physische Geographie, Landschaftsökologie und Geoinformation, CAU Kiel, \* sumfleth@geographie.uni-kiel.de

Tab.1: Semivariogramparameter und die Klassen der räumlichen Abhängigkeiten (nach Cambardella et al. (1994)) für ausgewählte Bodeneigenschaften des Oberbodens

Horiz.	Boden und Pflanzparameter	Skala	Nugget	Strukt. Varianz	Gesamt. Sill	Reichw. (m)	Nugget sill Ratio (%)	Klasse der räuml. Abhängigkeit
			$c_0$	$c_s$	$(c_0+c_s)$	$a$		
-	Korntrag [%]	CS	2708.9	6371.4	9080.3	151	29.8	M
Ap	Ton [%]	CS	0.8	11.3	12.1	223	6.9	S
Ap	Ton [%]	LS	16.87	5.75	22.62	1536	75	W
Ap	Schluff [%]	CS	3.6	29.7	33.2	341	10.7	S
Ap	Schluff [%]	LS	21.46	22.35	43.81	810	49	M
Ap	Sand [%]	CS	6.6	55.1	61.7	224	10.7	S
Ap	Sand [%]	LS	60.18	32.14	92.32	1190	65	M
Ap	Tiefe [cm]	CS	0.0	4.8	4.8	52	0.0	-
Ap	Tiefe [cm]	LS	6.30	7.13	13.43	442	47	M
Ap	Ctotal [%]	CS	0.01	0.1	0.1	370	6.0	S
Ap	Ctotal [%]	LS	0.106	0.14	0.246	600	43	M
Ap	Ntotal [%]	CS	0.00003	0.001	0.001	379	1.9	S
Ap	Ntotal [%]	LS	0.0011	0.0013	0.002	534	46	M
Ap	$\theta(f)$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	CS	1.2	17.9	19.1	216	6.3	S
Ap	$\theta(pwp)$	CS	0.2	4.7	4.9	223	3.1	S
Ap	$\theta(awc)$ [mm]	CS	20.2	190.7	210.9	232	9.6	S

n = 48 (Ap, CS); n = 174 (Ap, LS); W: schlechte räumliche Abhängigkeit; M: moderate strukturelle räumliche Abhängigkeit; S: starke strukturierte räumliche Abhängigkeit; CS = Cateogre Skala; LS = Landschaftsskala; W = Shapiro-Wilk. Vario.model = Sph.

In allen Fällen, in denen die Variogrammparameter eine räumliche Struktur indizieren, erhöht sich der Krigingstandardfehler mit Zunahme der Beprobungsdistanzen. Der Nugget bestimmt den minimalen Krigingstandardfehler. Dem gegenüber bestimmt die Reichweite den absoluten Krigingstandardfehler und das Ansteigen der Krigingvarianz als Funktion zur Rasterweite. Auffällig ist der Vergleich zwischen  $C_{tot}$  [%] (nicht transformiert) und  $C_{tot}$  [%] (Box-Cox transformiert). In diesem Fall ist dem Grundsatz nachgegangen worden, dass eine Normalverteilung der Parameter vorliegen sollte (Webster und Oliver, 1992). Dies wurde durch eine Box-Cox-Transformation erreicht, der jedoch eine deutliche Erhöhung des Krigingsstandardfehlers bei Box-Cox-transformierten Parametern folgte.

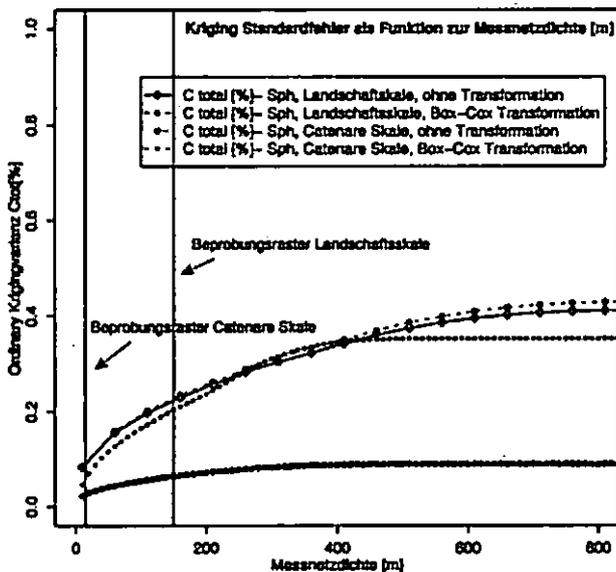


Abb.3: Maximale Ordinary Krigingfehler (SE)  $C_{tot}$  [%] als Funktion zur Beprobungsdistanz [m]

Der Vergleich von aggregierten NDVI Klassen (Abb.4) zeigt offenbar Unterschiede zwischen den hydrologischen Bodeneigenschaften auf der Landschaftsskala. Der mittlere

re Ks-Wert für die „niedrige“ NDVI-Klasse wurde mit 29.8 [mm/h<sup>-1</sup>] ermittelt, während der Ks-Wert für die „hohe“ NDVI-Klasse 13.1 [mm/h<sup>-1</sup>] beträgt. Obwohl die hydraulischen Leitfähigkeiten, die für den Plough Pan abgeleitet wurden, ziemlich hoch scheinen, stehen sie in Korrespondenz mit Ks-Werten, die innerhalb von Felduntersuchungen ermittelt worden sind.

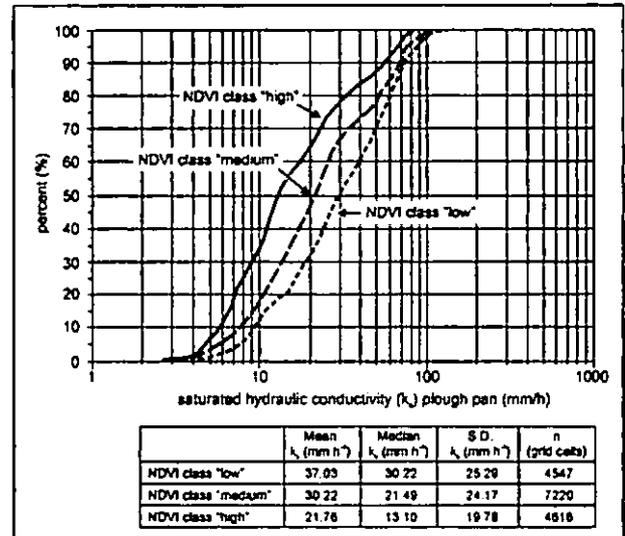


Abb.4: Kumulative Histogramme der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit der Pflugsohle  $K_s$  [mm/h<sup>-1</sup>], bezogen auf NDVI-Klassen „low“, „medium“ und „high“

### Danksagung

Die Feldarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Ecological Experimental Station of Red Soil, dem Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing und dem Institut für Landnutzung an der Universität Rostock durchgeführt. Es sei Antje Berger, Michael Blaschek, Ursula Bock und Daniela Ulbrich für die umfangreiche Laborarbeit gedankt. Das Projekt wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanziell gefördert (DU360/1-1).

### Literatur

Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F. und Konopka, A.E., Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils, Soil Science Society of America Journal (1994), 58, 1501-1511.  
 Pebesma, E. J., Multivariable geostatistics in S: the gstat package. Computers & Geosciences (2004), 30, 683-691.  
 McBratney, A.B., Webster, R. und Burgess, T.M., The design of optimal sampling schemes for local estimation and mapping of regionalized variables I: Theory and method, Computers & Geosciences (1981), 7, 331-365.  
 Sumfleth, K., Duttmann, R., Prediction of soil property distribution in paddy soil landscapes using terrain data and satellite information as indicators. Ecol. Indic. (2007), doi:10.1016/j.ecolind.2007.05.005.  
 van Genuchten, M.T., A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Science Society of America Journal (1980), 44, 892-898.  
 Vereecken, H., Maes, J., Feyen, J. und Darius, P., Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density, and carbon content, Soil Science (1989), 148, 389-403.  
 Webster, R. und Oliver, M.A., Sample adequately to estimate variograms of soil properties, Journal of Soil Science (1992), 43, 177-192.

## Datenhaltung und Datenkommunikation zur Online-Erstellung von Indikatorkarten für den Bodenschutz

Einar Eberhardt, Wolfgang Stolz und Rainer Baritz

### Hintergrund

Im Rahmen des EU-FP6-Projekts ENVASSO (Environmental Assessment of Soil for monitoring) werden Grundlagen für die harmonisierte, europaweite Erfassung des Bodenzustands erarbeitet. Aus repräsentativ wiederholt erhobenen Bodendaten sollen Indikatoren abgeleitet werden, die Aussagen über die Entwicklung des Bodenzustands erlauben. Vor dem Hintergrund der in der EU-Geodatenrichtlinie INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe, Directive 2007/2/EC) formulierten Anforderungen einerseits und den Anforderungen an eine auf Wiederholungsmessungen ausgelegte Datenhaltung andererseits sollte eine Datenstruktur entworfen und auf ihre Anwendbarkeit getestet werden, die in allen Mitgliedsstaaten verwendbar ist. Darüber hinaus war eine Datenkommunikationsstruktur zu entwickeln, die es erlaubt, die Daten verschiedener nationaler Institutionen für grenzübergreifende Berechnungen von Indikatoren für den Bodenschutz bereitzustellen.

### Konzeption

Dem INSPIRE-Ansatz entsprechend soll sich die Datenhaltung an der dezentral organisierten Datenproduktion und -wartung orientieren (verteilte Datenbanken). Die bisher für Europa erstellten zentral vorgehaltenen Flächen- (z. B. Georeferenced Soil Database for Europe 1:250.000, vgl. FINKE et al. 2001) und Profil- und Analysendatenbanken (z. B. SPADE-2, HOLLIS et al. 2006) sind nach ihrer Erstellung von den Daten liefernden Institutionen abgekoppelt. Im Gegensatz dazu werden im System verteilter Datenbanken Daten erst bei einer Anfrage transferiert. Sind in den verteilten Datenbanken die Profil- und Analysendaten dynamisch an die Kartiereinheiten gekoppelt, können, z. B. nach einer weiteren Messkampagne des Bodenmonitorings, ohne weitere Arbeitsschritte aktuelle Daten zur Berechnung von Bodenschutzindikatoren

bereitgestellt werden. Auswertungsmethoden und -modelle können in der Datenbank gerechnet werden, aber auch in einem Web Soil Service (s. BARITZ & STOLZ 2007) implementiert sein, an den die Daten bei Informationsnachfrage online übermittelt werden. Zur Nutzung der Algorithmen kann eine Datenharmonisierung notwendig sein (z. B. Umrechnung in andere physikalische Einheiten, Übersetzung in eine andere Bodensystematik, usw.), die wiederum als ein unabhängiger Schritt bei der Datenauswertung gesehen werden kann und erst bei Datenanforderung durch die Datenbank oder im Bodendaten-Portal mit implementierten Web Soil Services stattfindet (Abb. 1).

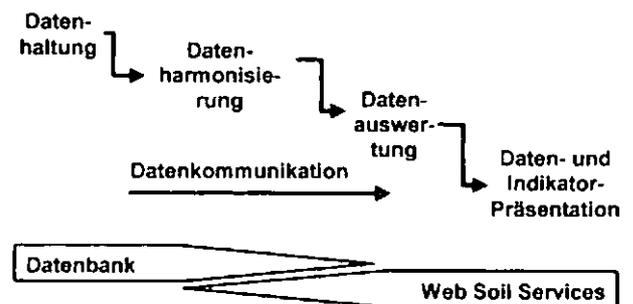


Abb. 1: Datenhaltung/-auswertung im dynamischen, web-basierten System

### Datenstruktur und Datenhaltung

Da europaweit die meisten Bodendaten bereits in digitaler Form vorliegen, ist ein flexibler Datenimport aus unterschiedlichen Quellsystemen (mit nach unterschiedlichen Kartieranleitungen erhobenen bzw. nach unterschiedlichen Bodensystematiken klassifizierten Daten) ohne Erweiterung der Tabellenstruktur wünschenswert. Dies ermöglicht auch weitgehend standardisierbare Datenabfragemöglichkeiten. Für das Bodenmonitoring ist eine beliebige Zahl von Wiederholungsmessungen und -beschreibungen ableibar. Das Mitführen von Meta-Informationen (z. B. physikalische Einheiten, Kartieranleitung, Methodeninformationen, Bestimmungsgrenzen, usw.), die eine wissenschaftlichen Standards genügende Datenharmonisierung und -nutzung erst ermöglichen, ist auf jeder Informationsebene vorgesehen. Die Struktur des Flächendatenbank-Anteils ermöglicht die Koppelung an eine Vielzahl von Karten unterschiedlicher Maßstäbe. Profildaten können dynamisch und gewichtet über Typengruppen an Flächen (Legendeneinheiten oder einzelne Polygone) oder an Messnetze gekoppelt werden (Abb. 2).

## Implementation

Der Datenbankentwurf wurde als MS Access-Anwendung SoDa (Front-end mit gesamter Funktionalität, Back-end zur Datenhaltung) implementiert. Benutzerdefinierte Eingabetabellen ermöglichen schnellen Datenimport per Abfrage bzw. Copy-and-Paste (z. B. aus Excel). Parameter-, Meta-Parameter-, Methoden- und Laborspezifikationen sowie Daten können als XML-codierte Textdateien exportiert und importiert werden (Datenaustausch). Derzeit sind neben typischen Bodenanalyse-Parametern die Parametersätze nach KA4, KA5, FAO Guidelines for Soil Descriptions 1990 und 2006, World Reference Base for Soil Resources (WRB) 1998 und 2006 sowie des slovenischen und katalanischen Bodeninformationssystem aufgenommen. Die Datenbank wird im Rahmen von ENVASSO für Pilotgebiete in Ungarn, Rumänien, Irland, Portugal, Spanien und Sachsen mit Daten zur Bodenverdichtung, Versalzung, organischer Substanz, Bodenbiodiversität, Schwermetallgehalten und Bodenerosion erprobt. Die bisherigen Erfahrungen legen eine Erweiterung der Tabellenstruktur zur Vereinfachung der Metadatenhaltung für Analysenwerte und Ablage von Daten räumlicher Parallelen nahe (grau hinterlegt in Abb. 2)

## Datenkommunikation

Für den Upload zu einem Web Soil Service oder den Datenversand an eine andere Datenbank werden die Bodendaten in Form von

Textdateien verschickt, die durch sog. mark-ups nach der XML-Spezifikation (eXtended Mark-up Language) strukturiert sind. Jede Information wird eingeleitet und abgeschlossen durch einen sogenannten *qualified name*, bestehend aus den vom Nutzer definierbaren XML *namespace* und XML *name* sowie Attributen. Die benutzerdefinierten XML-Spezifikationen der einzelnen Parameter können ebenfalls als XML-codierte Textdateien versandt werden, so dass die empfangende Datenbank oder Anwendung eingehende Parameterwerte gleich interpretiert wie die sendende. XML-codierte Textdateien können aus Datenbanken unterschiedlicher technischer Plattformen generiert und in sie importiert werden und erleichtern damit den Datenaustausch zwischen verschiedenen Institutionen.

## Literatur

- BARITZ, R.; STOLZ, W. (2007): Web Soil Services (WSS). Beispiel für CommonGatewayInterface(CGI)-Programme zur Erfassung, Bearbeitung und Auswertung bodenkundlicher Daten im Internet. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., 110, in diesem Heft
- FINKE, P.; HARTWICH, R.; DUDAL, R.; IBÁÑEZ, J. J.; JAMAGNE, M.; KING, D.; MONTANARELLA, L.; YASSO-GLOU, N. (2001): Georeferenced soil database for Europe. Manual of procedures, version 1.1. EUR 18092 EN, Luxembourg.
- HOLLIS, J.M., JONES, R.J.A., MARSHALL, C.J., HOLDEN, A., VAN DE VEEN, J.R. AND MONTANARELLA, L. (2006). SPADE-2: The soil profile analytical database for Europe, version 1.0. European Soil Bureau Research Report No.19, EUR 22127 EN, Luxembourg

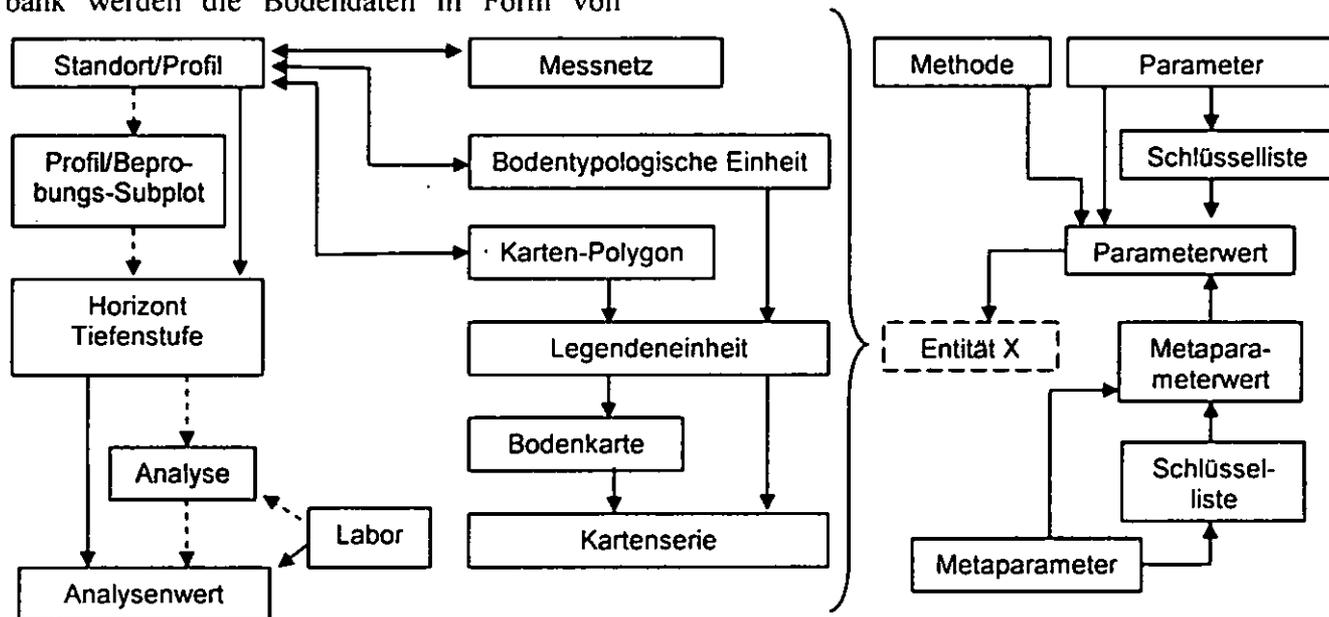


Abb. 2: Entitäten des Datenmodells (grau hinterlegt: bisher nicht implementiert). Pfeile zeigen Beziehungen der Entitäten untereinander (durchgezogen: aktuell implementiert, gestrichelt: geplant). Jeder Entität von der linken Seite der Grafik können Eigenschaften über die Tabelle Parameterwerte (mit und ohne Schlüssellisten) oder Methodeninformationen zugeordnet werden (rechte Seite).

## Bodeninformation für Deutschland: Status 2007

*Eckelmann, W.\**

Mit einem seit der Tagung EUROSIL 2004 als englischsprachige Version fortgeschriebenen Grundsatzposter über Bodeninformation berichtet die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) jährlich über den Arbeitsstand bei Aufbau und Nutzung des Fachinformationssystems Bodenkunde FISBo BGR (Eckelmann 2004). Ziel ist die Dokumentation wechselnder Schwerpunktsetzungen und von Erfolgen in der Zusammenarbeit und beim Entwickeln von Produkten und Standards für das FISBo BGR.

Wesentliche Impulse sind im zurückliegenden Jahr von den Aktivitäten der GD Umwelt mit der Veröffentlichung der EU Bodenschutzstrategie ausgegangen. Sie betreffen letztlich alle Segmente des FISBo BGR.

### Kartieranleitungen, Übersetzungsschlüssel

Mit dem Ziel, die deutsche Bodenkunde leichter an die internationale Nomenklatur WRB heranzuführen, wurde in Kooperation mit Fachkollegen die Übersetzung der WRB-Nomenklatur in die deutsche Sprache vorbereitet. In einem weiteren Projekt wurde der bereits bestehende Übersetzungsschlüssel (Adler et al. 2004) aufgrund zwischenzeitlich gesammelter Erfahrungen und unter Berücksichtigung der aktuellen Version von KA 5 (AG Boden 2005) und WRB (FAO 2006) in zwei Teilversionen weiterentwickelt. Die Deutsche Version der WRB und die neuen Übersetzungsschlüssel sollen zum Jahreswechsel 2007/2008 verfügbar sein.

### Kartenwerke

Die Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 (BÜK 1000 n; Hartwich et al. 1995) hat sich zur meistgenutzten Datenbasis für Darstellungen zum Thema Boden in Deutschland entwickelt. Dennoch besteht die Notwendigkeit, diese Datenbasis für Fragen von Bodennutzung und Bodenschutz zu verbessern, insbesondere durch Berücksichtigung der Nutzungsart. Die Basiskarte wurde deshalb mit maßstabsangepassten, generalisierten Landnutzungsdaten des CORINE Landcover Projektes verschnitten und nachfolgend eine neue Bodenlegende für die drei Hauptnutzungsarten Wald, Acker und Grünland abgeleitet. Das Verfahren zur Erstellung dieser nutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte ist

bei Richter et al. (2007) beschrieben. Die Karten und das Erläuterungsheft werden in Kürze gedruckt und digital verfügbar gemacht.

Die mit den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) gemeinsam entwickelte Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) konnte im zurückliegenden Jahr deutlich vorangebracht werden. Von 55 Kartenblättern liegen mittlerweile 30 gedruckt vor und vermitteln den Eindruck erfolgreicher Abstimmungsprozesse bei dem Bemühen um die Erstellung eines möglichst einheitlichen Kartenbildes. Da die digitale Ausgabe der BÜK 200 als blattschnittfreie Version konzipiert ist, kann sie erwartungsgemäß erst nach Abschluss aller Arbeiten verfügbar gemacht werden. Diese Vorgehensweise hat allerdings den Vorteil, dass die BÜK 200 mit relativ geringem Aufwand in eine europäische BÜK 250 WRB weiterentwickelt werden kann.

### F&E mit der Labor- und Profildatenbank

Die Labor- und Profildatenbank als integraler Bestandteil des FISBo BGR hat vor dem Hintergrund der Entwicklung gesetzlicher Regelwerke und als Grundlage für methodische Entwicklungen zunehmend an Bedeutung gewonnen. So diente sie als Grundlage für die Entwicklung thematischer Karten, die Ableitung von Hintergrundwerten und methodische Vergleichsuntersuchungen.

In einem von der Ad-hoc-AG Boden initialisierten Vergleich von Korngrößenanalysen mittels Pipettverfahren nach Köhn vs. Röntgen-Granulometrie (Sedigraph 5100) konnten Umrechnungsfaktoren abgeleitet werden. Allerdings wurde auch deutlich, dass durch die Entwicklung eines automatisierten Pipettverfahrens die Vorteile des Sedigraphen (vor allem Schnelligkeit) dem Grunde nach nicht mehr relevant sind (Müller 2007).

In enger Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten konnten bestehende Datensätze wesentlich ergänzt werden, um durchschnittliche Humusgehalte für die Böden Deutschlands abzuleiten (Düwel et al. 2007). Damit steht nun erstmals eine auf profunder Datenbasis abgeleitete Einschätzung des Gehaltes an organischem Kohlenstoff insbesondere für Aufgaben der Treibhausberichterstattung sowie als *Baseline* für Modellierungen im Rahmen des Schutzes der bodenorganischen Substanz zur Verfügung.

Vor dem Hintergrund der Ableitung von Bodenwerten für die Fortschreibung der Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) sind die Schwermetalldaten der Labor- und Profildatenbank weiterführenden Auswertungen unterzogen worden. (Utermann et al. 2007). Ein weiterer Schwerpunkt betraf Säulenversuche für Aussagen zur Sickerwasser-

\* Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stillweg 2, 30655 Hannover  
w.eckelmann@bgr.de

prognose sowie Beprobungen von Sickerwasser zur Bestimmung von Hintergrundwerten im Sickerwasser.

### Netzwerke und Kooperationen

Nationale und in EU-Netzwerke eingebettete Partnerschaften sind für die Erarbeitung und Absicherung bodenkundlicher Aussagen grundlegend. An vorderer Stelle steht dabei die Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Länder Deutschlands (Ad-hoc-AG Boden). Kooperationen mit den Umweltverwaltungen von Bund und Ländern sichern die Verwertbarkeit von Ergebnissen für Bodennutzung und Bodenschutz gleichermaßen.

Vor dem Hintergrund der Entwicklung einer Europäischen Bodenschutzstrategie haben europäische Netzwerke erheblich an Bedeutung gewonnen. Zu ihnen zählt das „EUROPEAN SOIL BUREAU NETWORK“, das im Vorfeld eines ersten Richtlinienentwurfs einen Kriterienkatalog zur Ausweisung von Risikogebieten entworfen hat (Eckelmann et al. 2006). Eine ähnliche Bedeutung haben EUROGEOSURVEYS, das Netzwerk europäischer Geologischer Dienste sowie EU finanzierte Forschungsv Verbände: Derzeit koordiniert die BGR im Rahmen des Projekts ENVASSO das Arbeitspaket 3 „Data Base Design and Selection“. Wichtigste Aufgabe ist die Entwicklung eines EU-Bodendatenportals sowie einer Bodendatenbank, die gleichermaßen Monitoring- und bodenkundliche Inventurdaten aus heterogenen Datenquellen aufnehmen kann. Die durch ENVASSO entwickelten Instrumente und Strukturen werden langfristig unerlässlich sein, wenn Bund und Länder ihre Berichtspflichten vor dem Hintergrund einer zu erwartenden EU Bodenrahmenrichtlinie erfüllen wollen.

### Politikberatung

Politikberatung findet im Rahmen der Berichterstellung statt oder durch Angebote von Auswertungen und Daten an die Nutzer. Mit der Entwicklung von WEB SOIL SERVICES soll die Möglichkeit geschaffen werden, Bodeninformation konform zu den Anforderungen von INSPIRE verfügbar zu machen (Stolz et al. 2005). Wichtigste Eigenschaften von WEB SOIL SERVICES sind dabei

- standardisierte Dateninfrastrukturen,
- standardisierte, nachvollziehbare resp. wiederholbare Auswertungsprozeduren (QS).

### Literatur

Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage (KA 5). – 438 S.; Hannover.

Adler, G., Behrens, J., Eckelmann, W., Feinhals, J., Hartwich, R., & Krug, D. (2004): Übersetzungsschlüssel

zum Transfer von Bodendaten von KA3 nach KA4 und von KA4 in die internationalen Klassifikationen WRB und FAO. Arbeitsanleitung. - Arbeitshefte Boden, Heft 2004/1; 49 Seiten (incl. 5 Anlagen), mit CD-ROM; Hannover.

Düwel, Ö., Siebner, C.S., Utermann, J. & Krone, F. (2007): Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands - Bericht über länderübergreifende Auswertungen von Punktinformationen im FISBo BGR – Hannover (Archiv Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 0126616; Kurzfassung in den Mitt. DBG zur Jahrestagung 2007).

Eckelmann, W. (2004): Soil Information for Germany: The 2004 Position. – EUROSIL 2004 Abstracts: 247; Freiburg (zugl. [www.forst.uni-freiburg.de/eurosoil/](http://www.forst.uni-freiburg.de/eurosoil/)).

Eckelmann, W., Baritz, R., Bialousz, S., Bielek, P., Carré, F., Houscova, B., Jones, R.J.A., Kibblewhite, M., Kozak, J., Le Bas, Ch., Toth, G., Toth, T., Varallyay, G., Yli Halla, M. & Zupan, M. (2006): Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats. – European Soil Bureau Research Report 20; Luxembourg (Off. f. Official Publ. of the EC EUR 22185 EN).

Food and Agriculture Organization (FAO, 2006): World Reference Base for Soil Resources 2006. – World Soil Resources Report 103; Rome.

Hartwich, R., Behrens, J., Eckelmann, W., Haase, G., Richter, A., Roeschmann, G. & Schmidt, R. (1995): Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK 1000). Karte mit Erläuterungen, Textlegende und Leitprofilen (Beiheft zur Karte). – Hannover (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe).

Müller, H.-W. (Bearb.; 2007): Methodenvergleich zur Korngrößenanalyse mittels Röntgen-Granulometrie (Sedigraph 5100) und Pipette nach KÖHN in Anlehnung an DIN ISO 11277. – Hannover (Archiv Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 0127020).

Richter, A., Adler, G. H., Fahrak, M., Eckelmann, W. (2007): Erläuterungen zur nutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1:1.000.000. – Hannover (im Druck: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe).

Stolz, W., Baritz, R., Adler, G., Duijnsveld, W., Feinhals, J & Eckelmann, W. (2005): Web Soil Services for Soil and Environmental Policy Systems – Concept and Example. – GI & GIS conference 9th jun – 1st July 2005, Alghero (Sardinia).

Utermann, J., Fuchs, M. & Düwel, O. (2007): Flächenrepräsentative Hintergrundwerte von As, Sb, Be, Mo, Co, Se, Tl, U & V für Böden im bundesweiten Maßstab. – Mitteilungen Dt. Bodenkundliche Gesellschaft; Oldenburg (Band zur Jahrestagung 2007).

## Bodengeneese und räumliche Verteilung der Acidität und des Salzgehaltes in der Küstenzone des mittleren Westen des Senegal

A. L. Fall<sup>1</sup>, S. Fiedler<sup>1</sup>, K. Stahr<sup>1</sup> und F. Matty<sup>2</sup>

### Einleitung

Stark versauerte und versalzte Böden (ca. 230 000 ha) machen die Landnutzung im Sine Saloum Becken im mittleren Westen des Senegal (W-Afrika, Abb. 1) zu einem Problem. Ziel der vorgestellten Studie ist es, anhand einer umfassenden, standortkundlichen Datenbank einerseits die Gefährdungen hinsichtlich der Bodendegradation abzubilden und andererseits nutzbare Potenziale für eine optimierte Landnutzung zu entwickeln, um das Bodenmanagement im Untersuchungsgebiet zu verbessern.

### Fragestellung

Kann die räumliche Verteilung der Acidität und des Salzgehaltes durch Bodengeneese erklärt werden?

### Untersuchungsgebiet

Mit einer Jahresmitteltemperatur von ca. 30°C und im Durchschnitt 500 bis 600 mm Jahresniederschlag gehört das Sine Saloum Becken (13°35' - 14°30' N und 16°00' - 16°50' W) zum halbtrockenen Bereich der tropischen Zone des Senegal (Übergang zwischen Sahel und Savanne). Holozäne marine Sedimente über Sandstein des „Continental Terminal“ (Ende Tertiär) bilden das Ausgangssubstrat für die Bodenentwicklung. Das Relief ist gekennzeichnet durch

Plateaus, Terrassen (Hoch- Mittel- und Niederterrasse) und Talauen. Ackerbauliche Nutzung dominiert auf den Terrassen, während Beweidung die Hauptaktivität auf dem Plateau darstellt.

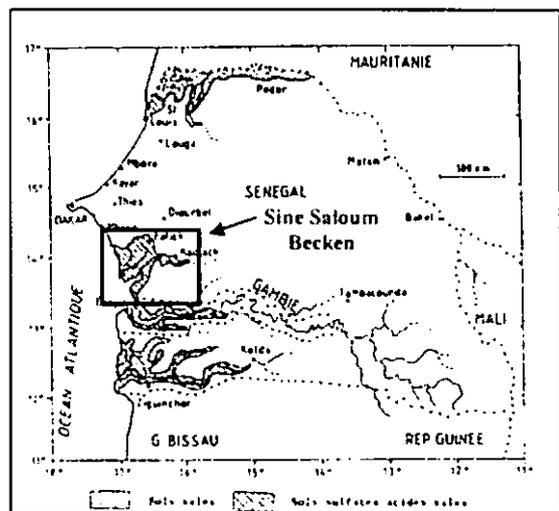


Abb. 1: Untersuchungsgebiet

### Material und Methoden

Sieben Profile wurden je nach den geomorphen Einheiten angelegt und horizontweise beprobt (Abb. 2). Analysiert wurden Textur, pH, elektrische Leitfähigkeit, Gehalte an oxalat- und dithionitlöslichem Eisen.

### Ergebnisse

Der Salzgehalt nimmt zum Meer hin zu. So weisen die Böden der **Talau**e eine hohe elektrische Leitfähigkeit an der Oberfläche (Salzkruste) auf (Abb. 3, oben). Die pH-Werte nehmen mit der Tiefe ab; die Bodentextur ist feinkörnig (lehmi-ger Ton bis Ton). Die Unterböden sind durch oberflächennahes Stauwasser (bis in 20cm Tiefe) beeinflusst. Der Gehalt an kristallisierten Eisenoxiden ist an der Oberfläche hoch (Abb. 3, unten).

<sup>1</sup> Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim; 70593 Stuttgart - Germany

<sup>2</sup> Institut des Sciences de l'Environnement, BP 5005 Dakar - Senegal

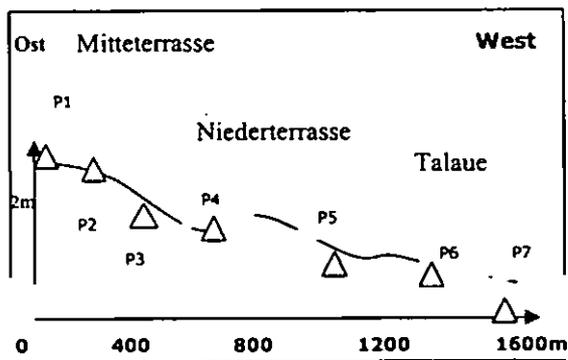


Abb. 2: Lage der Bodenprofile.

- P1: Endogleyic Arenosol
- P2: Endogleyic Arenosol
- P3: Thionic Gleysol
- P4: Salic Gypsic Gleysol (Thionic)
- P5: Haplic Gleysol (Eutric)
- P6: Gleyic Hypersalic Solonchak (Sulfatic)
- P7: Gleyic Hypersalic Solonchak (Sulfatic)

In der **Niederterrasse** ist die Bodentextur mittelkörnig (schluffiger Sand bis Sand) im oberen Teil der Profile und feinkörnig (lehmiger Ton bis Ton) im unteren Teil. Hier haben die Böden insgesamt niedrige pH-Werte und Salzgehalte im ganzen Profil. Der Anteil an kristallisierten Eisenoxiden ist deutlich niedriger als in der Talaue. Die Profile zeigen redoximorphe Merkmale ab ca. 30 cm u. Fl.

Im oberen Bereich der Toposequenz (**Mittelterrasse**) ist der Salzgehalt am niedrigsten; die pH-Werte nehmen hier zur Oberfläche hin ab. Die Textur (schluffiger Sand bis Sand) zeigt im Vergleich zu den anderen geomorphen Einheiten grobkörnigere Böden an; der Anteil an kristallisierten Eisenoxiden ist gering.

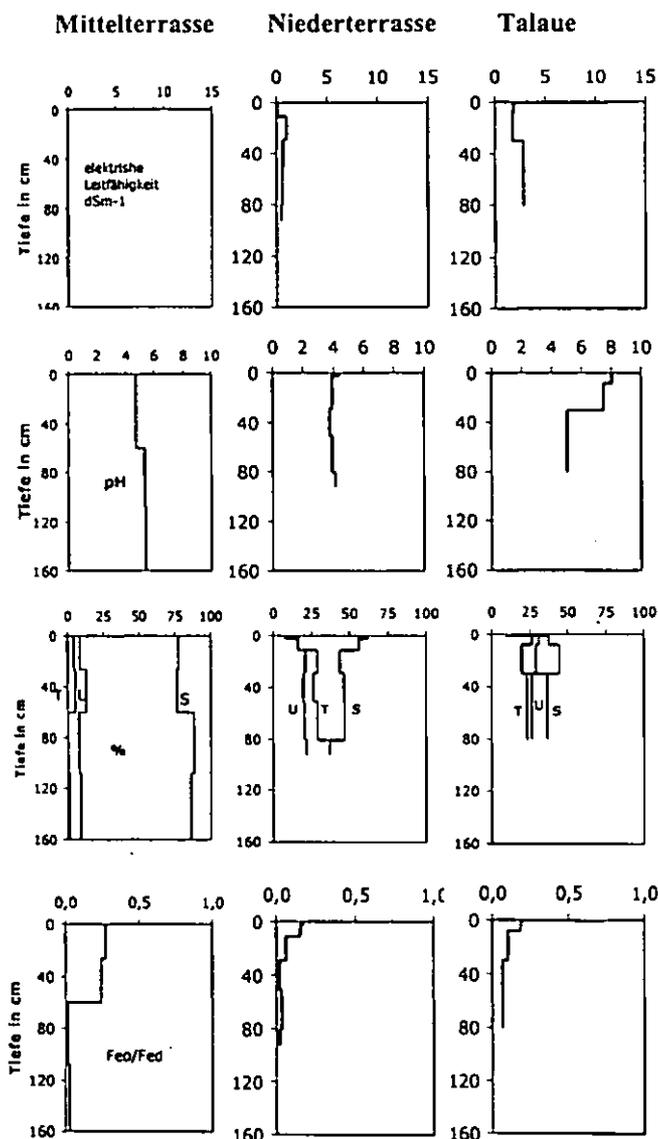


Abb. 3: Elektrische Leitfähigkeit, pH, Körnung und Fe<sub>0</sub>/Fe<sub>D</sub>-Verhältnisse entlang der Toposequenz.

Die Ergebnisse sollen abschließend kartographisch dargestellt werden (NASS - nicht-sauren sulfathaltigen Böden, PASS - potenziell sauren sulfathaltigen Böden, und AASS - gegenwärtig sauren sulfathaltigen Böden).

### Schlussfolgerung

Erste Ergebnisse zeigen, dass die Böden der Toposequenz durch marinen Einfluss entstanden sind. Sie weisen je nach geomorpher Einheit (Talaue, Nieder- oder Mittelterrasse) unterschiedliche Eigenschaften und Merkmale auf.

### Danksagung

Das Promotionsvorhaben wird von dem Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) durch ein Stipendium finanziert.

# Die Bodenkarte von Baden-Württemberg 1 : 50 000 – Konzeption und Anwendung

Christian Fritz\*

## 1 Einführung

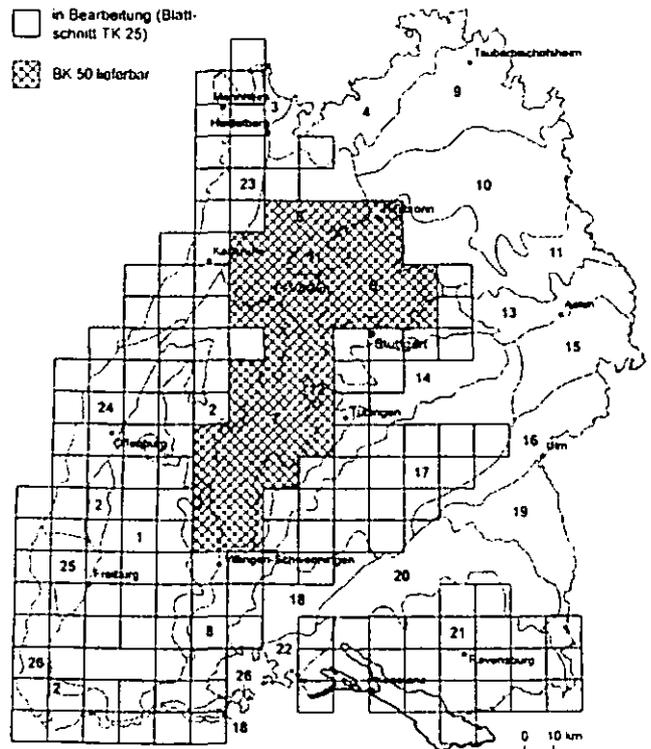
Die Bodenkarte von Baden-Württemberg 1 : 50 000 (BK 50) ist Teil des Projekts "Integrierte Geowissenschaftliche Landesaufnahme" (GeoLa) des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB). Ziel ist es, mittelfristig eine mit den Fachbereichen Geologie, Rohstoff-, Hydro- und Ingenieurgeologie inhaltlich und räumlich abgestimmte Datenbasis für die gesamte Landesfläche aufzubauen.

Eine breite Anwendung erfährt die BK 50 bereits in der Regional- und Landschaftsplanung. Ferner findet sie Verwendung in unterschiedlichen Vorhaben, wie z. B. bei der Umsetzung der Europäischen Wasser-Rahmenrichtlinie im Zuge der Beurteilung von gefährdeten Grundwasserkörpern sowie in universitären Forschungsprojekten. Die BK 50 ist Bestandteil des Informationssystems Wasser, Immissionsschutz, Boden, Abfall, Arbeitsschutz (WIBAS) und somit im Intranet des Landes Baden-Württemberg für den gesamten Umweltbereich online verfügbar.

## 2 Kartierkonzept und Bearbeitungsstand

Die räumliche Gliederung der BK 50 orientiert sich an den 26 Bodengroßlandschaften Baden-Württembergs, die sich durch eine spezifische Ausprägung der bodenbildenden Faktoren, insbesondere des Ausgangsgesteins, auszeichnen. Aktuell liegen Boden-daten für die Bodengroßlandschaften Obere Gäue, Neckarbecken und Teile des Kraichgaus vor (Abb. 1). Mit einer landesweiten Verfügbarkeit ist bis 2012 zu rechnen.

Als Grundlage für die Erstellung der BK 50 dienen neben eigenen Geländeaufnahmen die bereits kartierten Blätter der Bodenkarte von Baden-Württemberg 1 : 25 000 (BK 25) und die landesweit vorliegende Bodenübersichtskarte 1 : 200 000 (BÜK 200). Ferner werden die Ergebnisse der Bodenschätzung und der Forstlichen Standortkartierung berücksichtigt. In jüngster Zeit kommt zusätzlich für visuelle Reliefauswertungen das lasergestützte Digitale Geländemodell (DGM) des Landesvermessungsamts zum Einsatz.



### Bodengroßlandschaften

- |  |   |
|--|---|
| 1 Grundgebirgs-Schwarzwald                                 | 14 Mittleres und Westliches Albvorland                              |
| 2 Buntsandstein-Schwarzwald                                | 15 Albuch und Hürtfeld (Östliche Alb, Ostalb)                       |
| 3 Grundgebirgs-Odenwald                                    | 16 Südöstliche Alb  |
| 4 Buntsandstein-Odenwald                                   | 17 Mittlere und Westliche Alb                                       |
| 5 Kraichgau  | 18 Baar ab, Oberes Donautal, Hegauab und Randeb.                    |
| 6 Neckarbecken   | 19 Iller-Riß-Platten  |
| 7 Obere Gäue   | 20 Altmoderner-Hügelland  |
| 8 Baar, Alb-Wulstgebiet                                    | 21 Jungmoränen-Hügelland  |
| 9 Bauland und Tauberland                                   | 22 Hegau  |
| 10 Kocher-Jagst- und Hohenloher-Haller-Ebene               | 23 Nördliches Obermainisches Tiefland                               |
| 11 Schwäbisch-Fränkische Waldberge, Strom- und Heuchelberg | 24 Mittleres Obermainisches Tiefland                                |
| 12 Mittleres und Westliches Keuperbergland                 | 25 Kaiserstuhl und Freiburger Bucht                                 |
| 13 Östliches Albvorland und Nördlinger Ries                | 26 Südliches Obermainisches Tiefland, Hochnenn- gebiet und Klettgau |

Abb. 1: Bodengroßlandschaften und Bearbeitungs-stand der Bodenkarte von Baden-Württemberg 1 : 50 000

## 3 Datenbasis und Bodenbewertung

Die BK 50 zeigt die Verbreitung der vorherrschenden Böden in den Bodengroßlandschaften mit Angaben zu Bodenvergesellschaftung, Genese, Ausgangsgestein, Relief und Begleitböden. Die Ableitung von physiko-chemischen Kennwerten (nFK, FK, LK,  $k_f$ -Wert, K-Faktor,  $KAK_{pot}$ ) erfolgt in Anlehnung an den Bodengesellschaftscharakter der Einheiten und nicht monotypisch auf Grundlage einzelner, idealisierter Leitprofile. Maßgebend sind die im Gelände erfassten, flächenrepräsentativen Bodenformen.

Die Eingangsparameter für die Kennwertermittlung sind im Wesentlichen, neben Ausgangsgestein und Bodentyp, die im Gelände bei der Profilaufnahme ermittelten Schätzgrößen Bodenart, Humusgehalt und effektive Lagerungsdichte (Abb. 2). Zur Validierung der Auswertungsalgorithmen dienen die laboranalytisch untersuchten Musterprofile, welche die typischen Böden des Landes dokumentieren. In Verbindung mit externen Informationen zu Relief, Klima und Landnutzung können mit „Heft 31“ die im Landesbodenschutzgesetz von Baden-Württemberg

\* Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9 – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Albertstr. 5, D-79104 Freiburg i. Br.  
E-Mail: [christian.fritz@rpf.bwl.de](mailto:christian.fritz@rpf.bwl.de)

ausgewiesenen Bodenfunktionen ermittelt werden (Umweltministerium Baden-Württemberg 1995).

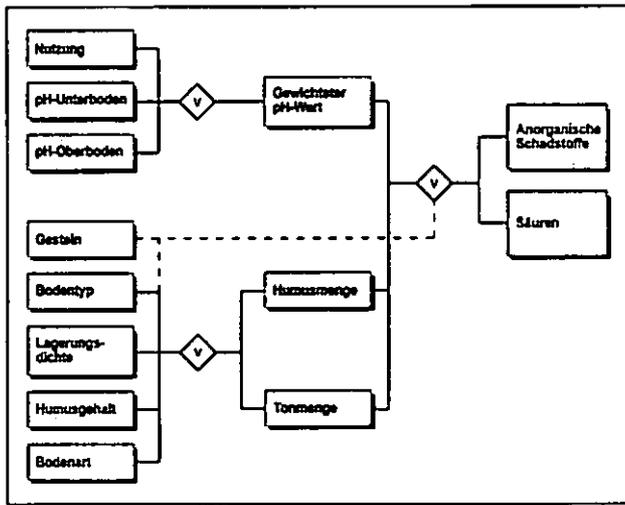


Abb. 2: Verknüpfungsregel zur Ermittlung der Bodenfunktion „Filter und Puffer für anorganische Schadstoffe und Säuren“

#### 4 Anwendungsbeispiel

Im Rahmen der Fortschreibung des Regionalplans "Nordschwarzwald 2015" wird mittels der BK 50 die Ausweisung von Vorbehaltsgebieten mit besonders schützenswerten Böden vorgenommen. Ihre Abgrenzung richtet sich nach den Flächen mit hoher und sehr hoher Bewertung der Bodenfunktionen. Dabei werden aufgrund ihres gegensätzlichen Verhaltens zwei Kategorien gebildet:

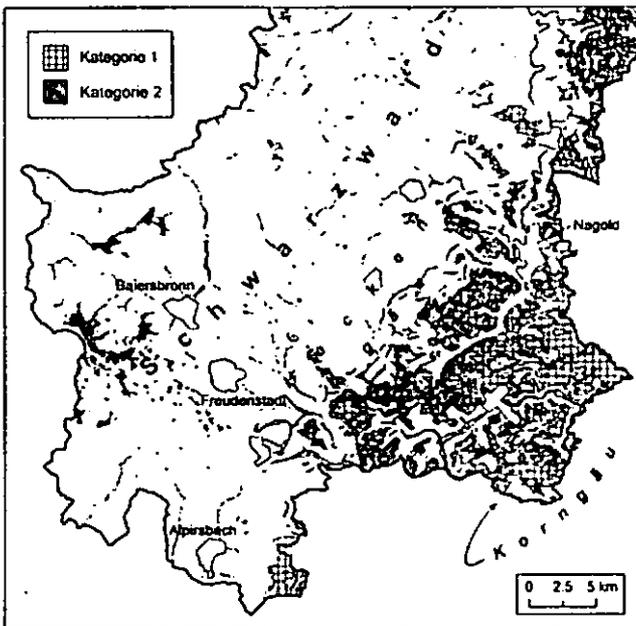


Abb. 3: Ausweisung von Vorbehaltsgebieten mit besonders schützenswerten Böden im Süden der Region „Nordschwarzwald“

- Kategorie 1: Böden als Filter und Puffer für Schadstoffe, als Standort für Kulturpflanzen sowie als Ausgleichskörper im Wasserkreislauf
- Kategorie 2: Böden als Standort für natürliche Vegetation

Einer hohen Bewertung in Kategorie 1 steht so meist eine niedrige Einstufung in Kategorie 2, und umgekehrt, gegenüber.

Die Raumnutzungskarte in Kategorie 1 zeigt hoch zu bewertende, tiefgründige Parabraunerden und Terra fusca-Parabraunerden im Korngäu (Abb. 3). Dagegen erfahren die flachgründigen, skelettreichen Rendzinen und Braunerde-Rendzinen im Heckengäu sowie die nassen Stagnogleye und stark sauren Podsole im Buntsandstein-Schwarzwald in Kategorie 2 eine gute Eignung als Standort für natürliche Vegetation.

#### 5 Ausblick

Die konventionelle Kartierung erfordert einen hohen zeitlichen und finanziellen Aufwand, besonders für jene 70% der Landesfläche, für die noch keine BK 25 vorliegt. Aus diesem Grund bietet sich die Einbeziehung von rechnerbasierten Konzeptbodenkarten zur Unterstützung und Qualitätssteigerung der Landesaufnahme an. Das mittlerweile in Baden-Württemberg flächendeckend vorliegende, hochauflösende DGM im 1x1-m-Raster bringt hierfür günstige Voraussetzungen mit.

#### 6 Quellen

Regionalplan "Nordschwarzwald 2015": <http://www.regionalplan-interaktiv.de>

Umweltministerium Baden-Württemberg [Hrsg.] (1995): Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit. – Luft, Boden, Abfall, 31: 34 S., 16 Tab., 6 Anl.; Stuttgart.

## **Bedeutung der Bodenverbreitung in Bodengesellschaften mittelmaßstäbiger Bodenkarton für die regionale Ertragsabschätzung mit Simulationsmodellen**

Thomas Gaiser<sup>1</sup>, Attanda Mouinou Igue, Heike Weippert und Karl Stahr

### **Einleitung**

In den Forschungsprojekten IMPETUS und RIVERTWIN werden Entscheidungsunterstützungssysteme mit räumlichem Bezug entwickelt zur strategischen Planung der Bewirtschaftung eines mesoskaligen Flusseinzugsgebietes in Benin (Westafrika). Unter anderem soll die Auswirkung der Wasserverfügbarkeit auf die Erträge in der Landwirtschaft abgeschätzt werden. Die Ertragsbildung als Funktion von Klima, Bodenverhältnissen und Anbaumaßnahmen wird über die Regionalisierung des Simulationsmodells EPIC durch das Landressourceninformationssystem SLISYS-Oueme (Soil and Land Resources Information System), das aus einer relationalen Datenbank mit Anbindung an ein geographisches Informationssystem besteht, ermittelt. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Bedeutung der Berücksichtigung der Bodenverbreitung in den Bodengesellschaften auf die Ertragsberechnungen abzuschätzen.

### **Material und Methoden**

Im Einzugsgebiet des Oueme mit einer Fläche von etwas mehr als 40.000 km<sup>2</sup> wurden durch Verschneidung von Klima-, Gelände-, Landnutzungs- und Bodeninformation quasi-homogene räumliche Einheiten gebildet, die durch gleichen Wasser- und Nährstoffhaushalt gekennzeichnet sind. Diese Einheiten werden LUSAC (Land Use-Soil-Climate units) genannt. Die zugrundeliegenden räumlichen Geometrien sind im Oueme-Einzugsgebiet 5 Klimastationen, 37 Regenmessstationen des Nationalen Wetterdienstes (ASECNA) sowie des landwirtschaftlichen Beratungsdienstes (CERPA), ein global verfügbares digitales Höhenmodell (SRTM90), eine Landnutzungskarte der nationalen landwirtschaftlichen Forschungsanstalt INRAB (Igue et al. 2006) basierend auf LANDSAT Aufnahmen aus dem Jahre 2003 sowie die Bodenübersichtskarte von Zentral-Benin im Maßstab 1:200.000, die nach dem

international anerkannten SOTER Ansatz erstellt wurde (ISRIC 1998). Die räumliche Zuordnung von Acker- und Bracheflächen war in der Landnutzungskarte durch die Einheit „Mosaic cropland/fallow“ gegeben. Allerdings mussten die Flächenanteile von Brache und Ackerland sowie die Anteile der einzelnen Feldfrüchte aus der landwirtschaftlichen Statistik der Jahre 2002-2003 abgeleitet werden (Gaiser et al. 2006). Dazu wurden die aus der landwirtschaftlichen Statistik verfügbaren Flächenanteile der 10 bedeutendsten Ackerfrüchte in den einzelnen Departments durch eine restriktive Zufallsverteilung auf die Mosaikflächen verteilt. Für die auf diese Weise gebildeten 22589 räumlichen Einheiten wurden Simulationsläufe über 17 Jahre (1987-2003) mit dem zuvor auf Feldebene kalibrierten Modell EPIC3060 durchgeführt (USDA 1990). Für die Simulationsläufe wurde Bodeninformation in unterschiedlichem Detaillierungsgrad verwendet: (1) Dominant: Als Eingabegröße wurde nur der dominierende Bodentyp in jeder Bodengesellschaft berücksichtigt oder (2) Assoziation: als Eingabegröße wurden alle Bodentypen in einer Bodengesellschaft mit ihren jeweiligen Flächenanteilen berücksichtigt unter der Annahme, dass der Anbau gleichverteilt auf allen Bodentypen erfolgt. Die Ergebnisse der Modellrechnungen wurden im Informationssystem SLISYS-Oueme auf die Ebene der Landkreise (Departments) aggregiert und mit statistischen Daten verglichen.

### **Ergebnisse**

#### *Modellkalibrierung auf Feldebene*

Das Agrarökosystemmodell EPIC wurde zuerst anhand von vorhandenen Daten aus Feldversuchen für mehrere Feldfrüchte (Mais, Sorghum, Erdnuss, Kudebohne) kalibriert und validiert. Die Regression zwischen den gemessenen und simulierten Maiserträgen war linear mit einer Steigung von 1.02 und einem Bestimmtheitsmass von 0.91 (Abbildung 1). Die simulierten Erträge unterschätzten also im Mittel die tatsächlichen Erträge um 2%. Allerdings zeigt Abbildung 1, dass bei niedrigem Ertragsniveau das Modell die Erträge eher überschätzt. Dies ist vermutlich auf den hohen Unkrautdruck auf Feldern mit geringem Ertragsniveau zurückzuführen, der von der momentanen Version des Modells nur ungenügend beschrieben wird.

#### *Regionale Abschätzung der Ertragsabschätzung*

Die Analyse der zeitlichen Entwicklung der Maiserträge auf der Ebene der Departments zeigte,

<sup>1</sup> Institut für Pflanzenernährung, Universität Bonn, tgaiser@uni-bonn.de

dass trotz erheblicher räumlicher und zeitlicher interannueller Niederschlagsvariabilität der durchschnittliche Maisertrag nur geringfügigen Schwankungen unterworfen ist (Abbildung 2).

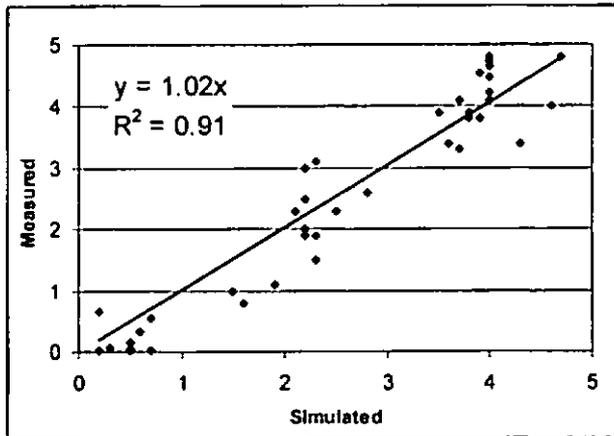


Abb. 1: Korrelation zwischen geschätzten und gemessenen Erträgen von Zea mays auf Feldebene

Die Simulationen auf der regionalen Ebene bestätigten diese Beobachtung. Allerdings ist der tendenzielle Anstieg der Maiserträge zwischen 1987 und 2003 im Modell nicht abgebildet. Hier ist noch zu klären, ob dieser Ertragsanstieg sortenbedingt ist oder mit einer Zunahme der Anwendung mineralischer Dünger zusammenhängt.

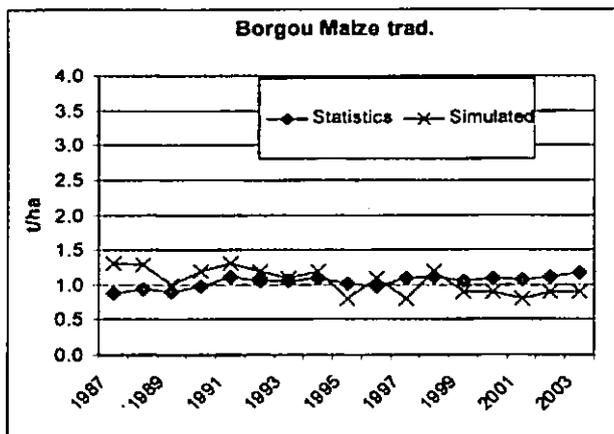


Abb. 2: Zeitliche Entwicklung der Maiserträge zwischen 1987 und 2003 im Department Borgou anhand statistischer Daten und Simulationsergebnissen

Wenn man alle Bodentypen in den einzelnen Bodengesellschaften in den Simulationsläufen berücksichtigt, wird der simulierte Maisertrag im Mittel über den Untersuchungszeitraum und über alle Departments um ca. 20% überschätzt. Die Überschätzung ist in den Departments besonders hoch, in denen das Ertragsniveau am niedrigsten ist (Zou und Collines). Auch auf der regionalen Ebene scheint es also notwendig, wie in den Untersuchungen auf der Feldebene, die Unkrautkonkurrenz in die Simulationsläufe mit einzubeziehen.

### Bedeutung der Berücksichtigung der assoziierten Bodentypen

Wenn man in den Simulationsläufen nur den dominanten Bodentyp in den einzelnen Bodengesellschaften zur Berechnung des mittleren Maisertrags heranzieht, zeigt sich, dass eine Vernachlässigung der Begleitbodentypen in den Bodengesellschaften zu einer starken Überschätzung des Maisertrags führt. Die Überschätzung beträgt im Mittel über alle Departments 45% im Vergleich zu 21% bei Berücksichtigung aller Bodentypen. Im Einzelfall führt die Vernachlässigung der assoziierten Bodentypen zu einer Abweichung von den statistischen Erträgen um über 100%.

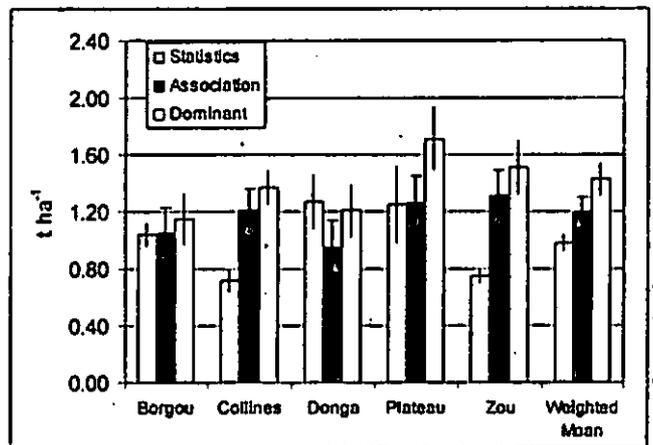


Abbildung 3: Vergleich der berechneten und statistischen Maiserträge wenn zum einen die Bodenverbreitung innerhalb der Bodengesellschaften berücksichtigt wird (Association) bzw. wenn nur der dominante Bodentyp in die Berechnung einbezogen wird (Dominant)

### Referenzen

Gaiser, T., Weippert, H., Igue, A.M. and Stahr, K. (2006): Application of the land resources information system SLISYS in the Oueme basin of Benin (West Africa). <http://www.tropentag.de/2006/abstracts/full/183.pdf>  
 Igue, A.M., Houndagba, C.J., Gaiser, T. and Stahr, K. (2006): Land Use/Cover Map and its Accuracy in the Oueme Basin of Benin (West Africa). <http://www.tropentag.de/2006/abstracts/full/166.pdf>  
 ISRIC (1993): Global and national soils and terrain digital databases (SOTER). International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, The Netherlands. 115 p.  
 USDA (1990): EPIC - Erosion/Productivity Impact Calculator. U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin No. 1768. Washington D.C., USA. 235 p.

### Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojektes IMPETUS durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie mit Mitteln der Europäischen Union (GOCE-CT-2003-505401, RIVERTWIN) finanziert.

# Entwicklung eines Bewertungsverfahrens für die Bodenregelungsfunktionen auf Grundlage der DGK 5 Bo am Beispiel des Quartiers Dönberg in Wuppertal

Sven Gönster<sup>1</sup>, Reinhard Gierse<sup>2</sup> und Bernd Marschner<sup>1</sup>

## Einleitung

Mit der Einführung des BBodSchG (1998) und den daraus resultierenden Landesbodenschutzgesetzen sind Anstrengungen in den Kommunen zur Entwicklung von praktikablen Verfahren zur großmaßstäbigen (> 1 : 5.000) funktionsbezogenen Bodenbewertung für Planungs- und Zulassungsvorgänge auf unterer Planungsebene im Rahmen des vorsorgenden Bodenschutzes intensiviert worden. Ein Problem stellt dabei die Datengrundlage dar, da sie gerade im hochauflösenden Bereich mangelhaft und eine Primärdatenbeschaffung in Form einer Geländeerhebung teuer und zeitintensiv ist. Eine Möglichkeit bietet die Nutzung der in Nordrhein-Westfalen annähernd flächendeckend, analog vorliegenden „Bodenkarte im Maßstab 1 : 5.000 auf Grundlage der Bodenschätzung“ (DGK 5 Bo). Unter Zuhilfenahme dieser Datengrundlage wurde ein Bewertungsverfahren entwickelt, dass in großmaßstäbigen Planungs- und Zulassungsvorgängen die Leistungsfähigkeit beziehungsweise Schutzwürdigkeit der Bodenregelungsfunktionen von landwirtschaftlichen Flächen bewertet. Das Verfahren wird testweise im Quartier Dönberg (Wuppertal), das fünf DGK 5 Bo-Blätter umfasst, angewandt.

## Datengrundlage und Methoden

Die analog vorliegende DGK 5 Bo bildet die

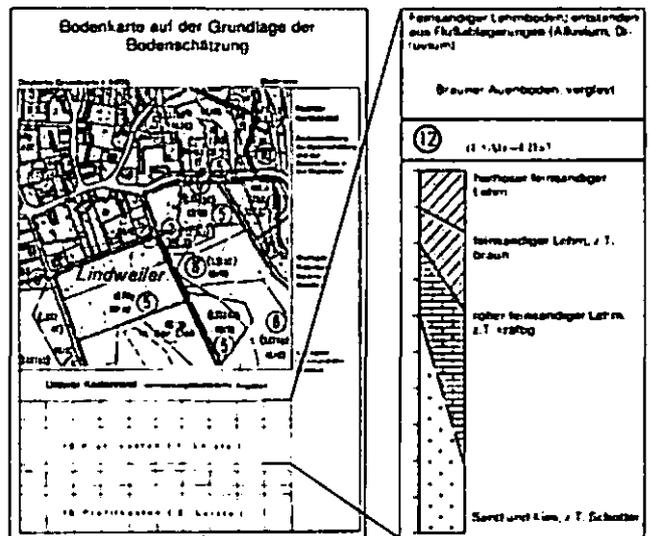


Abb. 1: Beispiel für ein DGK 5 Bo-Blatt und ein Durchschnittsprofil

(Quelle: MÜCKENHAUSEN & MERTENS 1988)

Bodenschätzungsflächen verschnitten mit der Topographie ab und liefert, anhand von im Kartenrand dargestellten Profilen, Informationen zur Bodenbeschaffenheit der einzelnen Flächen in bis zu zwei Metern Tiefe (siehe Abb. 1). Es handelt sich dabei um Durchschnittsprofile, die eine Auswahl mehrerer Flächen darstellen und hauptsächlich unter Zuhilfenahme von Bodenschätzungsbüchern vom Geologischen Dienst angefertigt worden sind. Ein Großteil der Informationen, die sich zum Beispiel auf die Bodenart, den Skelettanteil und den Humusgehalt beziehen, ist im Sprachgebrauch der Bodenschätzung gehalten. Um die Profilangaben für aktuelle Bewertungsmethoden nutzbar zu machen, ist daher eine Übersetzung (nach MÜLLER 2004, SAUER 1998, Geologischer Dienst) in die heutige Bodennomenklatur notwendig. Nach diesem Schritt der Datenaufbereitung erfolgt die Bewertung der Leistungs-

Tab. 1: Übersicht der Gliederung der Regelungsfunktion sowie der für die Beurteilung der verwendeten Bewertungsmethoden sowie die dabei verwendeten Kriterien und Parameter (Quelle: eigene Darstellung)

Bodenfunktion	Bodenteilfunktion	Kriterium / Parameter	Bewertungsmethode	
Regelungsfunktion Funktion als Bestandteil des Nährstoffhaushalts §2 Abs. 2, Nr. 1b	Wasserhaushaltfunktion Funktion des Bodens im Wasserhaushalt	Abflussregulierungspotenzial / nFK, kd	BGLA & BLFU (Hng.) 2003; Lehle et al. 1995	
	Nährstoffhaushaltfunktion Funktion des Bodens im Nährstoffhaushalt	-	-	
	Stoffhaushaltfunktion Filter und Puffer für anorg. sorbierbare Schadstoffe	Filter und Puffer für anorg. sorbierbare Schadstoffe	relative Bindungsstärke für Schwermetalle im Oberboden / Bodenart, Humusgehalt, Skelettgehalt, Tongehalt, Vorbelastung, Ziel-pH-Wert	DVMK (Hng.) 1988; Stume & Brömmel 1991
		Filter, Puffer und Stoffumwandler für org. Schadstoffe	-	-
Position als Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium §2 Abs. 2, Nr. 1c	Puffervermögen des Bodens für saure Einträge	Säureneutralisationsvermögen des Oberbodens / Carbonate, Humusmenge, Tonmenge, Ziel-pH-Wert	Lehle et al. 1995	
	Filter für nicht sorbierbare Stoffe	Rückhaltevermögen für wasserlösliche Stoffe / FK <sub>100</sub> , Sickerwasserrate	DIN 19732; Karl 1997	

fähigkeit bzw. Schutzwürdigkeit der Böden entsprechend den einzelnen Teilfunktionen der Regelungsfunktion (Filter- Puffer-, Transformatorfunktion und Wasserhaushaltfunktion) (siehe Tab. 1). Die Auswahl der hierfür notwendigen Methoden sowie der Kriterien und

<sup>1</sup> Ruhr-Universität Bochum, Geographisches Institut, Bodenkunde/Bodenökologie, e-mail: sven.goenster@rub.de, bernd.marschner@rub.de

<sup>2</sup> Ressort Umweltschutz, Stadt Wuppertal, e-mail: reinhard.gierse@stadt.wuppertal.de

Parameter bewegt sich dabei im Spannungsfeld der übersichtlichen, wirtschaftlichen, nachvollziehbaren Vorgehensweise der Planungspraxis und der wissenschaftlichen Herangehensweisen der Forschung. Die Ergebnisse werden für jede Teilfunktion in eine fünfstufige Ordinalskala eingeordnet („sehr geringe“ bis „sehr hohe“ Leistungsfähigkeit bzw. Schutzwürdigkeit) und GIS-gestützt in einer Karte wiedergegeben (siehe Abb. 2). Um mehr Gewicht für die Belange des Bodenschutzes in Planungsprozessen zu erlangen, wird zudem eine zusammenfassende Bewertung der Regelungs-teilfunktionen in Form einer Variante des Maximalwertprinzips vorgeschlagen. Für eine Überprüfung der der Datengrundlage entnommenen Parameter und der Bewertungs-ergebnisse erfolgt zudem ein Vergleich dieser Informationen mit Kartierungen (eigene 28 Profilaufnahmen nach KA 5 auf einer Teilfläche des Dönberger Quartiers; Kartierung Boden-belastungskarte Wuppertal: 12 Profile).

### Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Bodenbewertung im Dönberger Untersuchungsgebiet zeigen für alle Teilfunktionen ein plausibles und sinnvolles Bild. Dabei treten je nach Einbeziehung bestimmter Parameter (Humus, Textur, pH-Wert) undifferenziertere Ergebnisse auf, die auf die homogene Verteilung derselben im Dönberger Raum zurückzuführen sind. Die räumliche Wertstufenverteilung betreffend ist weniger der Einfluss naturräumlicher bodenbildender Faktoren als eine Abhängigkeit von der Datengrundlage zu erkennen. Hier dürfte insbesondere die Aggregation der Grablochinformationen der Bodenschätzung zu den Durchschnittsprofilen maßgeblich sein, die erheblich vom Bearbeiter und Bearbeitungsjahr der Karte abhängig ist. Erfolgt ein Vergleich der Datengrundlage mit den Kartierungen, sind in vielen Fällen Abweichungen zu Parameterinformationen der DGK 5 Bo-Profile vorzufinden. Sie bewegen sich jedoch in der Regel in einem engen Rahmen, infolgedessen keine grundlegend falsche Aussagen zu erwarten sind. So ist beispielsweise bei den eigenen Kartierungen für den Humusgehalt häufig eine von der DGK 5 Bo abweichende Humusstufe nach KA 5 festgestellt worden, die jedoch maximal um eine Stufe höher liegt.

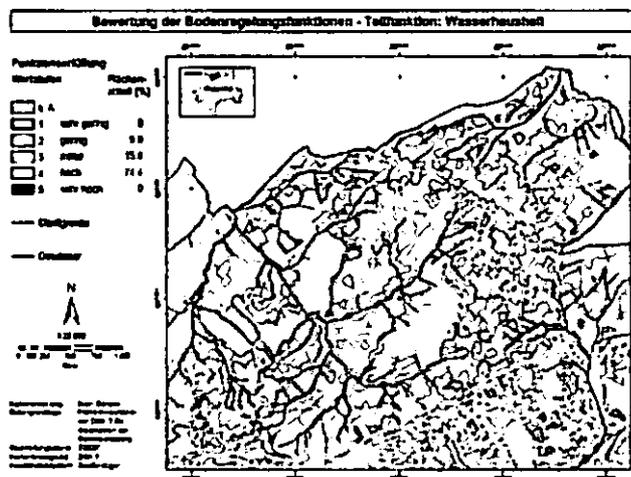


Abb. 2: Beispiel einer erstellten Bodenfunktionskarte für das Quartier Dönberg in Wuppertal auf Grundlage der DGK 5 Bo (Quelle: eigene Darstellung)

### Ausblick

Eine Weiterentwicklung der Bewertungsmethode betrifft 2 wesentliche Punkte. Zum einen kann die Praktikabilität der Bewertung der Teilfunktionen optimiert werden. Hier sollte eine Zusammenlegung einzelner Teilfunktionsbewertungen geprüft werden. Zum anderen kann die Aufbereitung der Datengrundlage, insbesondere der methodische Schritt der Aufbereitung der DGK 5 Bo, weiter verbessert und an die regionalen Gegebenheiten angepasst werden.

### Literatur

BGLA (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT) & BLFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ) (Hrsg.) (2003): Das Schutzgut Boden in der Planung - Bewertung natürlicher Bodenfunktionen und Umsetzung in Planungs- und Genehmigungsverfahren. München, Augsburg.

BENNE, I.; HEINEKE, H. - J. & NETTELMANN, R. (1990): Die DV-gestützte Auswertung der Bodenschätze: Erfassungsanweisung und Übersetzungsschlüssel. NLFb (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung) (Hrsg.): *Technische Berichte zum NIBIS - Bodenkunde*. Hannover.

LEHLE, M.; BLEY, J.; MAYER, E.; VEIT-MEYA, R. & VOGL, W. (1995): Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit - Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren. Umweltministerium Baden-Württemberg (Hrsg.): *Luft, Boden, Abfall*. 31.

MÜCKENHAUSEN, E. & MERTENS, H. (1988): Die Bodenkarte 1:5.000 auf der Grundlage der Bodenschätzung. 4. Auflage. Düsseldorf.

# Gibt es in Deutschland die Humusform Amphi?

Ulfert Graefe

Otto Graff zum 90. Geburtstag

Die Humusform Amphi (auch Amphihumus, Amphimull oder Amphimus genannt) ist in wärmeren Regionen Europas weit verbreitet. Die in Deutschland benutzten Humusformensystematiken nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (KAS) und nach neueren Vorschlägen von Broll et al. (2006) kennen den Amphi nicht. Kommt er hier nicht vor? Oder wird er in der deutschen Systematik anders eingeordnet?

Der Amphi ist durch die Horizontfolge L/Of/Oh/Axh

bieten günstige Bedingungen für die im Mineralboden lebenden endogäischen und anecischen Regenwürmer. In der Trockenzeit erliegt die Aktivität der Tiere, so dass die Einmischung der organischen Auflage in den Mineralboden unvollständig bleibt. Es kommt zur Ausbildung eines Oh-Horizontes. Kalksteine und Basalte sind das häufigste Ausgangsmaterial. Auch eine schwer zersetzbare Streu kann die Profilbildung begünstigen (Jabiol et al. 2007). Auf der Südseite der Alpen und im Mittelmeerraum gehört der Amphi zu den häufigsten Waldhumusformen (Sartori et al. 2005). Publiziert wurden außerdem Vorkommen in den belgischen Ardennen (Ponge 1999) und in tropischen Böden (Loranger et al. 2003).

In Deutschland sind die klimatischen Bedingungen für die Ausbildung der Humusform Amphi in der Regel

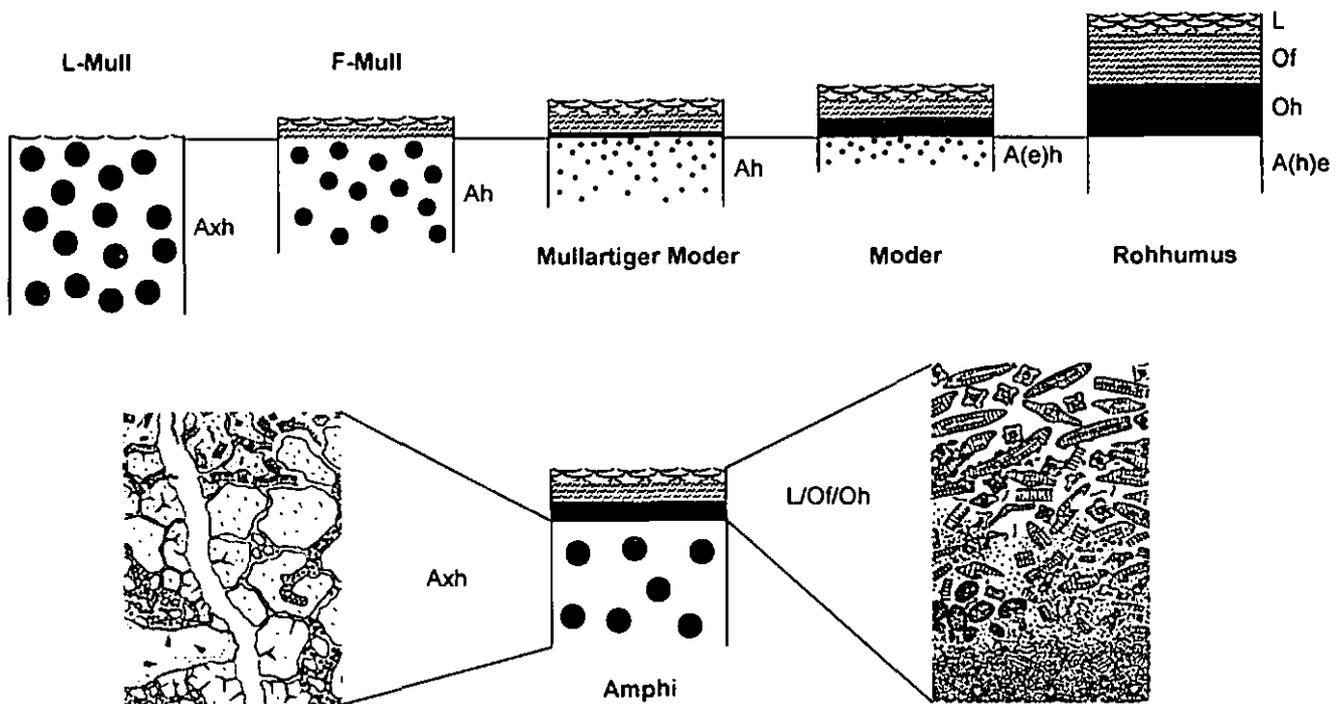


Abbildung 1 oben: Schematische Darstellung der Haupthumusformen (aeromorphe Serie) nach Bodenkundlicher Kartieranleitung. Unten: Die Ausbildung eines Oh-Horizontes teilt der Amphi mit den Auflage-Humusformen. Ein von mineralbodenbewohnenden Regenwürmern strukturierter Axh-Horizont verbindet ihn dagegen mit den Mull-Humusformen. Zeichnungen von Spuren tierischer Tätigkeit im Humusprofil (Fraßspuren, Losungen, Gangsysteme) aus Zachariae (1964, 1965).

gekennzeichnet. Die organische Auflage und ein Oh-Horizont sind wie beim typischen Moder ausgebildet. Unter der Auflage befindet sich der von mineralbodenbewohnenden Regenwürmern erzeugte Durchmischungshorizont (Abb. 2). Dieser beherbergt eine multitypische Bodenbiozönose, die makroskopisch an den Gängen und Losungsaggregaten der Regenwürmer erkennbar ist (Abb. 1, links). Ältere Bezeichnungen dieser Profilbildung sind Twin Mull (Romell und Heiberg 1931) und Zwillingshumus (Hartmann 1952).

Der Amphi entwickelt sich vor allem an basenreichen Standorten mit lang anhaltender Sommertrockenheit. Die im Winter frischen Böden mit pH-Werten > 4,2



Abbildung 2: Amphiprofil auf tonigem Substrat (Foto aus Jabiol et al. 2007). Horizontbezeichnungen übersetzt nach KAS.

nicht gegeben, was allerdings nicht ausschließt, dass die Horizontfolge L/Of/Oh/Axh gelegentlich doch auftreten kann. Vor allem beim Humusformenwandel von Moder zu Mull oder umgekehrt von Mull zu Moder, wie er z.B. bei Bestockungswechsel durch veränderte Streuqualität auftreten kann, ist damit zu rechnen.

Als Übergangsformen zwischen Mull und Moder kennt die deutsche Humusformensystematik den Moderartigen F-Mull und den Mullartigen Moder ([www.humusformen.de](http://www.humusformen.de)). Diese Humusformen können jedoch nicht als Äquivalente für den Amphi angesehen werden. Der Moderartige F-Mull hat keinen Oh-Horizont. Dem Mullartigen Moder fehlt dagegen der bioturbativ durchmischte Mineralbodenhorizont.

Mit ihrer durchmischenden Tätigkeit haben Regenwürmer einen entscheidenden Einfluss auf die Ausprägung der Humusform. Dennoch resultiert diese aus der Aktivität der gesamten Bodenbiozönose, wobei die Humusform zugleich auch ihr Habitat darstellt. Durch die enge Beziehung ist es möglich, die Humusform als holistischen Indikator für die Bodenbiodiversität zu nutzen und im Sinne einer Pedotransferfunktion zu regionalisieren (Graefe und Beylich 2006). Dabei bedarf es allerdings noch einer weitergehenden Abstimmung der Humusformensystematik mit bodenbiologischen Kriterien. So ist z.B. das Vorhandensein oder Fehlen eines Oh- oder H-Horizontes, wie es Broll et al. (2006) als oberstes Gliederungskriterium vorschlagen, nicht unbedingt geeignet, die Zusammensetzung der Bodenbiozönose vorauszusagen. Der Amphi müsste dann bei den Auflage-Humusformen eingegliedert werden, obwohl der Mineralboden eine mull-typische Bodenbiozönose mit entsprechender Durchmischungsdynamik aufweist.

Humusformen und Bodenbiozönosetypen verändern sich entlang von Klimagradienten. Dies ermöglicht Voraussagen über die potenziellen Arealverschiebungen von Humusformen als Folge des Klimawandels. Viele Klimamodelle sagen für Mitteleuropa in diesem Jahrhundert eine Zunahme der durchschnittlichen Jahrestemperatur um 2-5 °C und eine Abnahme der Sommerniederschläge voraus (z.B. Schär et al. 2004, Abb. 3). Als Modell für die sich bei diesem Szenario entwickelnden Humusformen können die heutigen Humusformen der Mittelmeerregion stehen. Der Amphi würde dann auch in Deutschland zu einer häufigen Humusform werden.

Dem Amphi gebührt auf jeden Fall ein Platz in der deutschen Humusformensystematik. Dies ist schon deshalb notwendig, um die ganze Bandbreite möglicher Humusprofilbildungen in der Systematik zu erfassen und künftige Entwicklungen erkennen zu können. Nur wenn der Amphi definiert und benannt ist, kann er auch angesprochen und gefunden werden. Zudem würde die Kompatibilität mit den Klassifikationssystemen in anderen Ländern verbessert, um deren Harmonisierung auf europäischer Ebene sich die "European Humus Research Group" bemüht (Zanella et al. 2006).



Abbildung 3: Projektion der Temperaturänderungen zwischen den Perioden 1961-1990 und 2071-2100 (aus Schär et al. 2004).

#### Literatur

- Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5). 5. Aufl., Schweizerbart, Hannover.
- Broll G., Brauckmann H.-J., Overesch M., Junge B., Erber C., Milbert G., Baize D., Nachtergaele F. (2006): Topsoil characterization – recommendations for revision and expansion of the FAO-Draft (1998) with emphasis on humus forms and biological features. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169, 453-461.
- Graefe U., Beylich A. (2006): Humus forms as tool for upscaling soil biodiversity data to landscape level? *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.* 108: 6-7. <http://humusresearchgroup.grenoble.cemagref.fr/graefebeylich2006.pdf>
- Hartmann F. (1952): Forstökologie. Fromme, Wien.
- Jabiol B., Brêthes A., Ponge J.-F., Toutain F., Brun J.-J. (2007): L'Humus sous toutes ses formes. 2. édition, ENGREF, Nancy.
- Loranger G., Ponge J.-F., Lavelle P. (2003): Humus forms in two secondary semi-evergreen tropical forests. *European Journal of Soil Science* 54, 17-24.
- Ponge J.-F. (1999): Horizons and humus forms in beech forests of the Belgian Ardennes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, 1888-1901.
- Romell L.G., Heiberg S.O. (1931): Types of humus layers in the forest of northeastern United States. *Ecology* 12, 567-608.
- Sartori G., Mancabelli A., Wolf U., Corradini F. (2005): Atlante dei suoli del Parco Naturale Adamello-Brenta. Suoli e paesaggi. Museo Tridentino di Scienze Naturali, Monografie 2, Trento.
- Schär C., Vidale P.L., Lüthi D., Frei C., Häberli C., Liniger M.A., Appenzeller, C. (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427, 332-336.
- Zachariae G. (1964): Welche Bedeutung haben Enchytraeae im Waldboden? In: Jongerius A. (ed.), *Soil Micromorphology*. Elsevier, Amsterdam, 57-68.
- Zachariae G. (1965): Spuren tierischer Tätigkeit im Boden des Buchenwaldes. *Forstwiss. Forsch.* 20, 68 S.
- Zanella A., Englisch M., Jabiol B., Katzensteiner K., de Waal R., Hager H., van Delft B., Graefe U., Brun J.-J., Chersich S., Broll G., Kolb E., Baier R., Baritz R., Langohr R., Cools N., Wresowar M., Milbert G., Ponge J.-F. (2006): Towards a common humus form classification. A first European approach: few generic top soil references as functional units. 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, USA.

# Pedodiversity of southern African drylands. Results from the BIOTA transect (Part II)

Alexander Gröngröft<sup>1</sup>, Andreas Petersen<sup>1</sup>, & Günter Miehlich<sup>1</sup>

## Introduction & Aims

Pedodiversity is a way of measuring soil variation and can be used as an integrative index for comparative diversity analyses. The methods applied in this study are documented by → Petersen et al. (2007) (this issue).

This paper briefly show the results of the applied pedodiversity methodology in the BIOTA southern Africa project ([www.biota-africa.org](http://www.biota-africa.org)). The sensitivity of methods is compared and tested by correlation analyses with biodiversity data (i.e. phytodiversity).

## Results

Figure 1 shows selected results of the three applied pedodiversity approaches. The basic trend in all used approaches can be described as follows: starting with low values in the northern Kavango (#1-3), continued with increasing values in the central savannah sites (#4,5,6,). The Rehoboth savannah (#39,40) show very low values whereas the Nama Karoo sites (#10,11) and the coastal desert of the Namib (#16) are comparable to the central savannah. The Kalahari site Alpha (#17) and the coastal dune site of Yellow Dune (#21) show low values. With the start of the winter rainfall system in the Richtersveld (#18, 20) a strong increase in the values can be observed in the Namaqualand (#22, 24, 25) which is continued to the Knersvlakte (#26, 27). The Cape region (#32, 33) again decreases with medium to low values.

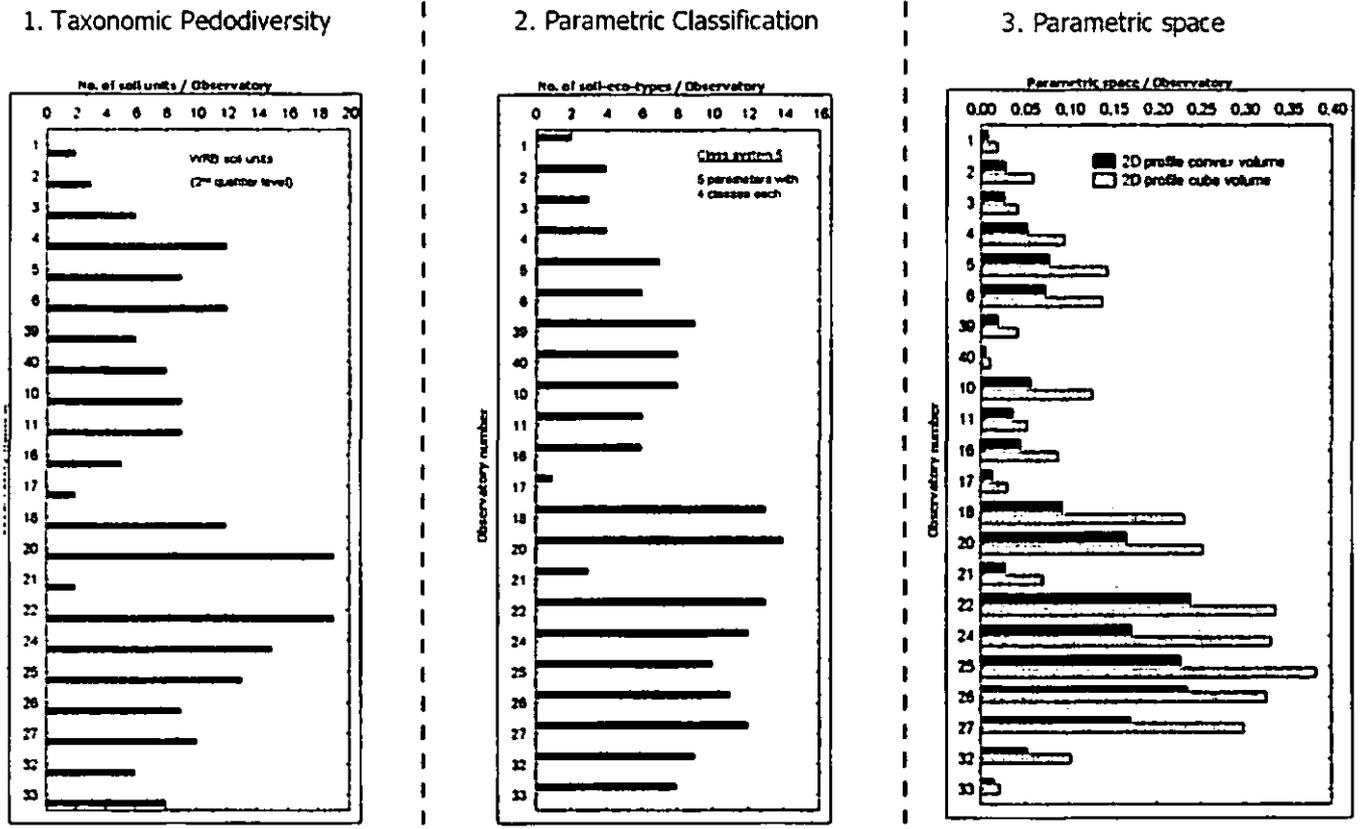


Figure 1 Results of the three pedodiversity approaches along the BIOTA Southern Africa transect. Observatory numbers (y) are given from North to South. Remarkable 'hotspots' of pedodiversity are linked to the winter rainfall area of Southern Africa with its unique Flora of the Namaqualand.

<sup>1</sup> Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg, Allende-Platz 2, 20146 Hamburg

A final evaluation which measure is the best opportunity for overall pedodiversity measures is not possible due to the lack of a reference proof. However, in this study the major aim beside the development of methods was to identify the best measure for biodiversity analyses. In order to proof the sensitivity of the different approaches with respect to the correlation to phytodiversity species richness data of higher plants are derived from the monitoring data of the BIOTA Southern Africa subproject S06 (Biocentre Flottbek Hamburg). Species data are sampled in the same spatial context as the pedodiversity analyses, i.e. on the first 25 hectare plot on each observatory.

The figures right show selected results of the correlation analyses with highest r-squares for the parametric space (convex hull) approach. In general it can be stated that pedodiversity in this study account for 50- 70 % of the phytodiversity depending on the procedure.

### Conclusions

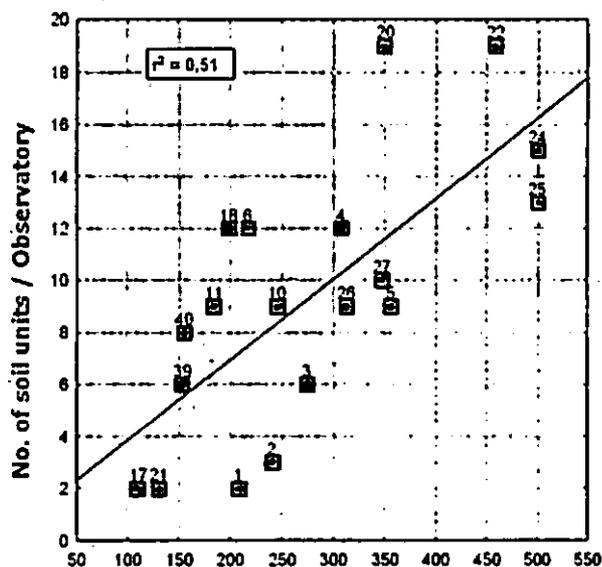
To summarize the results of this study:

- Besides the geostatistical description of single parameter values, pedodiversity indices provide an integrative measure for soil variation in defined areas
- Even for small areas the WRB system is sensitive enough to express and quantify pedodiversity
- The convex hull method provide a powerful tool for creating a diversity measure which is neither affected by class size and limits nor by autocorrelation patterns

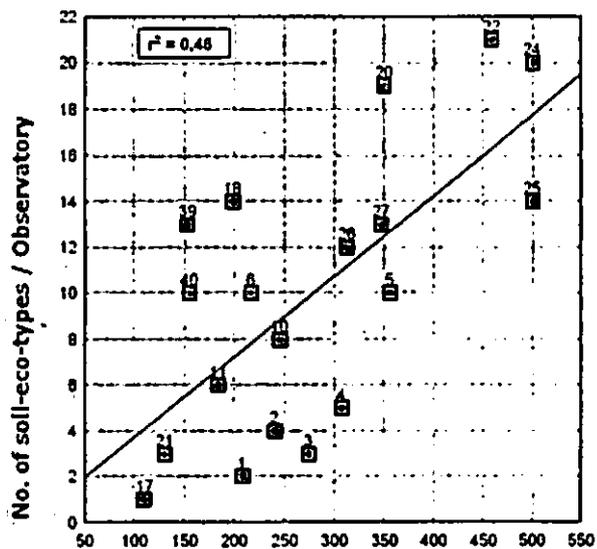
The philosophy of pedodiversity has to be strengthened in emphasizing the 'quality' of the variation within the pedosphere. There is a wide field of unrecognized difference between measuring and evaluating the diversity of the entities of classification and the entities of ecosystem function. For the wider acceptance and development of the concept the 'parametric and functional diversity' demands greater attention for the evaluation of ecosystem services.

Moreover, the measurement of biological richness and diversity is often a costly and time consuming process. The use of existing abiotic data and / or the easier assessment of those might be an alternative opportunity for conservation analyses.

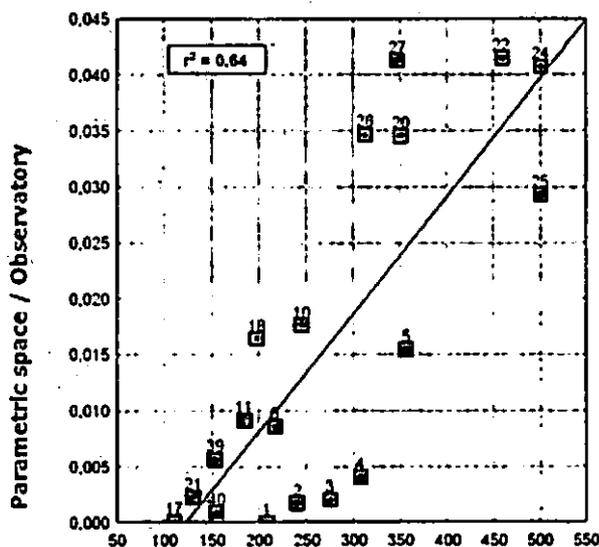
### 1. Taxonomic Pedodiversity



### 2. Parametric Classification



### 3. Parametric space (convex hull)



## **Bodengeneese, Bodenvielfalt und Bodeneigenschaften als steuerndes Wirkungsgefüge ökosystemarer Prozesse**

Ralf Gründling & Thomas Scholten

### **Einleitung**

Im Rahmen der Untersuchungen des BIOLOG/DIVA-Verbundprojektes werden Beziehungen zwischen Grünland-Ökosystemen und den beeinflussenden Umweltfaktoren betrachtet (GRÜNDLING 2006: 191). In der interdisziplinären Herangehensweise sollen ein Großteil der Interaktionen der Lebewesen im Ökosystem sowie der Einfluss der Standortfaktoren und landnutzungsbedingten Eigenschaften geklärt werden. Dabei stehen Zusammenhänge zwischen den Böden und dem Ökosystem (Artenzahl und Biomasse) im Vordergrund, basierend auf Untersuchungen von 19 verschiedenen Test-Plots im Thüringischen Schiefergebirge und Frankenwald.

### **Methodik**

Die Genese der Böden im Untersuchungsgebiet aus den Ausgangssubstraten (periglaziäre Lagen aus den Ausgangsgesteinen Tonschiefer, Grauwacke und Quarzit) wurde zunächst analysiert. Folgend sind Bodenparameter, wie Körnung, Skelettgehalt, pH-Wert, nFk u.v.m. ermittelt worden. Der Stickstoffhaushalt wurde durch eine Analyse der Stickstoffmineralisierung (Brutbeutelmethode nach HART 1994) betrachtet und diskutiert.  $\delta^{13}\text{C}$ - und Radiokarbonanalysen sind zur Eingrenzung der Landnutzungsgeschichte vorgenommen worden. Des Weiteren liegen Ergebnisse zu den Einflüssen der durch Befragung und Luftbildinterpretation ermittelten Landnutzung auf den Kohlenstoffhaushalt im Boden vor.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Die boden- und substrattypologischen Kartierungen der Extensivflächen zeigt eine hohe Diversität innerhalb der Klasse der Braunerden. Auf dem Niveau der Varietät reicht das boden-

typologische Spektrum von tiefgründigen Normbraunerden mit schwacher Haft- und Staunässe im Unterboden über pseudovergleyte Braunerden bzw. Pseudogley-Braunerden und oligotrophe stark steinige Braunerden mittlerer Entwicklungstiefe bis hin zu flachgründigen stark steinhaltigen Regosol-Braunerden mit geringem Nährstoffspeichervermögen und Wasserhaltepotenzial sowie eingeschränkter Durchwurzelbarkeit.

Die Böden sind in einer periglaziären Schichtenfolge (Hauptlage über Basislage) entwickelt. Der in der Hauptlage meist geringere Steingehalt und das höhere Angebot an Ton verbessern die Standortbedingungen der Pflanzen. Stauwasser-eigenschaften entstehen durch eine dicht gelagerte Basislage mit hohem Skelettgehalt. Insgesamt weisen die Geländebefunde eine ausgeprägte Heterogenität abiotischer Bodeneigenschaften zwischen den untersuchten Grünlandbeständen aus. Neben der natürlichen Pedogenese können hierfür auch historische Nutzungsfaktoren eine Rolle spielen.

Der Gehalt an feinen Substraten ist besonders in den flachgründigen, skelettreichen Böden von Bedeutung. Dieser Zusammenhang schreibt sich über den Boden hinaus bis zur Artenzahl fort, die mit zunehmendem Skelettgehalt im Oberboden abnimmt. Aufgrund eines erhöhten Grobbodenanteils sinkt die nutzbare Feldkapazität und damit nimmt die Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen für die Vegetation ab. Zusätzlich entsteht eine erhöhte Wurzelkonkurrenz, da der zur Verfügung stehende Wurzelraum kleiner wird.

Die nutzbare Feldkapazität ist für alle Standorte in besonders trockenen Jahren, wie 2003 von großer Bedeutung.

Im Hinblick auf die labilen Bodenparameter konnte ein signifikant moderat negativer Zusammenhang zwischen dem Boden-pH-Wert und der Pflanzenartenzahl detektiert werden. Je niedriger der pH-Wert der Böden der Grünlandbestände ausgeprägt war, desto mehr Pflanzenarten waren am Standort angesiedelt. Je extremer demnach der Standort in Bezug auf die Bodenacidität ist, umso mehr Pflanzenarten treten innerhalb der Grünlandstandorte auf.

Ein Einfluss des mineralisierten Stickstoffs auf die Zusammensetzung der Arten konnte nicht nachgewiesen werden. Die vergleichsweise geringen Gehalte an pflanzen-

---

Institut für Geographie, Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Rümelinstrasse 19-23, 72070 Tübingen

E-mail: ralf.gruendling@uni-tuebingen.de;  
thomas.scholten@uni-tuebingen.de

verfügbarem Stickstoff stellen keinen begrenzenden Faktor für die etablierten Arten dar ( $r=0,21$ ). Die Gehalte an Ammonium und Nitrat besitzen einen Einfluss auf die Produktivität der Arten. Es kann ein signifikanter Zusammenhang ( $r=0,69$ ) zwischen der Stickstoffmineralisierung und der Biomasseproduktion festgestellt werden. Dieser Trend beruht allerdings auf einer Stichprobe von  $n=17$ , kann also nicht als allgemeingültige Aussage betrachtet werden.

Besonders deutlich wird der Zusammenhang zwischen Biomasse und Stickstoffmineralisierung für die artenreicheren Bergwiesen ( $r=0,84$ ,  $n=12$ ). Laufende Untersuchungen zum Stickstoffhaushalt sollen weiteren Aufschluss über diese Zusammenhänge geben.

Die bodenkundlichen Feldarbeiten zeigen auf einem Teil der Versuchsflächen bereits makroskopisch klare Anzeichen einer ackerbaulichen Vornutzung in Form von ehemaligen Pflugsohlen, reliktschen Ap-Horizonten und Holzkohle- sowie Artefaktfunde.

Kolluviale Substrate sind ebenso als Anzeichen einer ehemals intensiven anthropogenen Nutzung vorhanden (z.B. Ackerterrassen).

Exemplarisch konnte an einem Beispiel eine Nutzung seit dem 14. Jahrhundert anhand von  $^{14}\text{C}$ -Datierung nachgewiesen werden. Die Holzkohleproben wurden dabei aus den rAp- bzw. Ah-Horizonten beprobt.

Mittels der  $\delta^{13}\text{C}$ -Methodik war allerdings kein Landnutzungswechsel nachweisbar, welche eine Datierung ermöglicht hätte, sofern der Anbau von Mais einem Wechsel zur Grünlandnutzung voraus gegangen wäre. Der Anbau von C4-Pflanzen hinterlässt eine veränderte Isotopenstruktur im Boden.

Die vorläufige Luftbildauswertung ergibt für die Versuchsflächen maximale Grünlandalter zwischen 14 und 60 Jahren, korrespondierend mit Unterschieden in den Bodenkohlenstoffgehalten der Oberböden. Eine Kohlenstoffspeicherung im Oberboden in Abhängigkeit von der Dauer der Grünlandnutzung konnte nachgewiesen werden (vgl. Abbildung 1). Ein deutlicher Zusammenhang ist vor allem für die oberen 5 cm des Bodens erkennbar ( $r=0,72$ ). In einer Tiefe größer 10 cm ist dieser Trend kaum noch ausgeprägt. Demzufolge reagieren zunächst nur die obersten Zentimeter deutlich auf eine veränderte Landnutzung in Bezug auf die Speicherung organischen Kohlenstoffs.

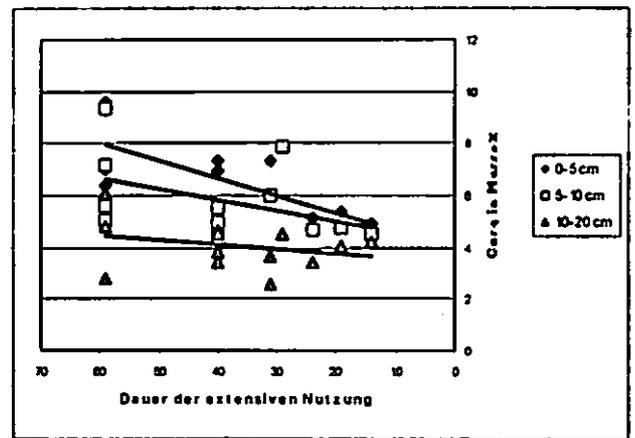


Abbildung 1: Gehalt an organischem Kohlenstoff im Zusammenhang mit der Dauer der extensiven Grünlandnutzung

### Zusammenfassung

Zusammenfassend ergeben sich aus den bisher durchgeführten Untersuchungen und den resultierenden Ergebnissen folgende Schlussfolgerungen:

- Pedodiversität beeinflusst Artenzahl und Biomasseproduktion
- Bodeneigenschaften korrelieren signifikant mit Artenzahl und Biomasseproduktion
- Stickstoffmineralisierung ist abhängig von klimatischen Bedingungen und den Standorteigenschaften
- Stickstoffmineralisierung hat Einfluss auf die Produktivität der Arten, stellt aber keinen limitierenden Faktor für die Artenvielfalt dar
- Bodenkohlenstoffgehalt ist abhängig von der Landnutzung. Darüber hinaus existiert ein Zusammenhang zur Dauer der Grünlandnutzung in den ersten 10 cm Bodentiefe

### Literatur

- GRÜNDLING, R. and SCHOLTEN, T. (2006): The Role of Pedodiversity and the Impact of Historical Land Use for Ecosystem Functioning (Biodiversity) in Grassland Ecosystems. – In: MARTINEZ-CASASNOVAS et al. (2006): Soil and Water Conservation under Changing Land Use, pages 191-194; Lleida.
- HART, S.C. (1994): Nitrogen Mineralization, Immobilization and Nitrification. – In: Soil Science Society (ed.) (1994): Methods of Soil Analysis, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties – SSSA Book Series No. 5. pages 985-1018; Madison.

# Kleinräumige Differenzierung („Regionalisierung“) der Schwermetallbelastung in Auenböden in einem Modellgebiet an der Mittleren Elbe

Dagmar Haase, Sebastian Bolze<sup>1</sup> & Christian Opp<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Helmholtz Zentrum für Umweltforschung Leipzig-Halle - UFZ. <sup>2</sup> FB Geographie, Universität Marburg

## Einleitung und Problemstellung

Da Flussauen in der Landschaft aufgrund ihrer Arten- und Biotopvielfalt eine äußerst wichtige Rolle spielen sowie in den meisten Fällen auch einer landwirtschaftlichen Nutzung unterliegen erscheint es sinnvoll, nicht nur über punktuelle Messwerte von Bodenbelastungen (in diesem Falle Schwermetalle) zu verfügen sondern diese auch in flächenhafter Form (z.B. Karten) verfügbar zu machen. Daher ist das Ziel dieser Arbeit, ausgehend von punktuell vorliegenden Messdaten die flächenhafte Modellierung (Punkt-Flächen-Extrapolation) der Schwermetallbelastung des Oberbodens im Testgebiet der „Schöneberger Wiesen“ (Bolze et al., 2007). Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse wurden im Rahmen einer Pilotstudie für das EU-Projekts „Euro-Limparts“ am UFZ Leipzig erarbeitet. Dafür kamen zwei verschiedene Extrapolationsmodelle – Ordinary Kriging und Co-Kriging – zur Anwendung. Eine Kreuzvalidierung sichert die Aussagekraft der Modelle ab.

## Methoden

Die Regionalisierung der Schwermetallbelastung des Bodens basiert auf einer umfassenden Datengrundlage bestehend aus der Kombination eigener Erhebungen (Feldbodenkunde) und der Nutzung existierender Sekundärdaten (RINKLEBE ET AL., 2001 & RINKLEBE, 2004). Für alle Proben (Oberbodenmischproben der obersten 20 cm) wurden die Gesamtgehalte der SM As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb und Zn sowie der pedogenen Oxide (Fe und Mn) mittels RFA sowie grundlegende bodenphysikalische bzw. -chemische Parameter (Körnung, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit) bestimmt. Des Weiteren lagen für die Beprobungspunkte detaillierte Daten zur räumlichen Lage vor. Die eigentliche „Regionalisierung“, d.h. Erfassung der großmaßstäbigen, kleinräumigen Differenzierung der pedogenen Schwermetallbelastung erfolgte mittels Ordinary- und Co-

Kriging. Die Ergebnisse der „Regionalisierungen“ wurden mit Hilfe einer Kreuzvalidierung hinsichtlich der Schätzgenauigkeit für jedes Modell bewertet. Für die jeweiligen Regionalisierungen wurden mehrere Modelle getestet und die besten Ergebnisse kartographisch im großen Maßstab dargestellt (Abb. 1).

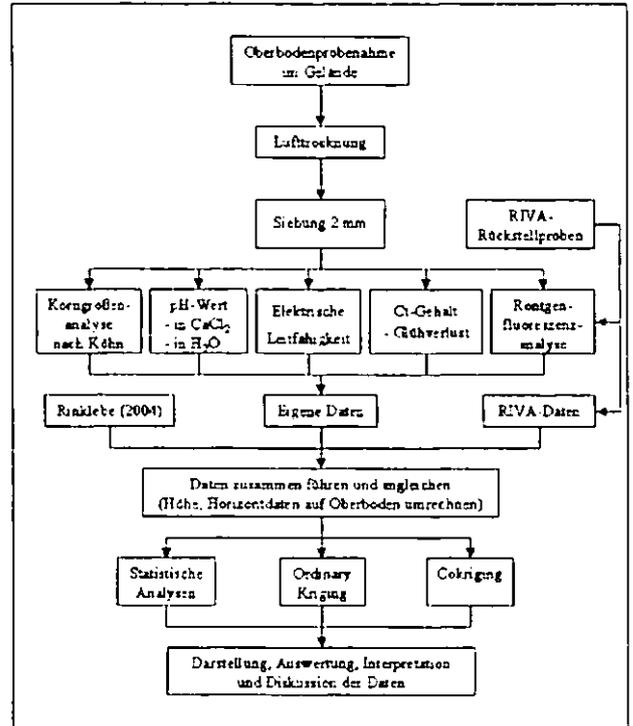


Abb. 1: Methodisches Vorgehen

Darüber hinaus wurde im Rahmen der Arbeit eine ökologische Bewertung der potenziellen Metallbelastung der Testfläche durchgeführt.

## Untersuchungsgebiet

Als Testgebiet für die Regionalisierung dienten die elbnahen „Schöneberger Wiesen“ bei Steckby (Biosphärenreservat Mittlere Elbe zwischen Saale- und Muldemündung; Abb. 2). In diesem Bereich der rezenten Aue wurden vor allem in den letzten hundert Jahren viele Schadstoffe abgelagert (Tab. 1; Müller & Furrer, 1994).

Tab. 1: Schwermetallgehalte (mg/kg) der Elbauenböden

	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Pb	Zn
HW	13	0,3	90	45	68	0,4	20	95
Median	29	7,7	237	205	70	8,5	172	1385
Max	303	22,4	524	747	125	30	3372	2920
Min	19	1,8	61	102	40	0,5	64	440

HW = Hintergrundwert

Die Flächen werden regelmäßig von den Hochwässern der Elbe überflutet. Auch wenn

sich die Wasserqualität des Flusses seit der politischen Wende deutlich verbessert hat, so sind doch die Sedimente noch stark mit Schadstoffen kontaminiert. Eine detaillierte Beschreibung des Untersuchungsgebietes findet sich in Rinklebe (2004).

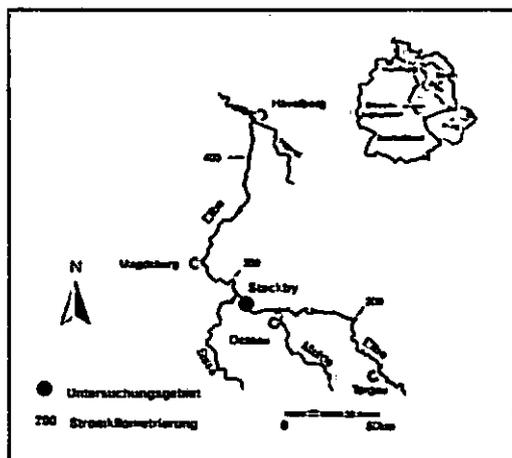


Abb. 2: Testgebiet „Schöneberger Wiesen“

### Ergebnisse

Die Ergebnisse der Regionalisierung werden exemplarisch für die Elemente Ni und As in Abb. 4 dargestellt. Prinzipiell führt die Regionalisierung der Oberbodenschwermetallgehalte zu interpretierbaren Ergebnissen (Tab. 2).

Tab. 2: Statistische Fehler der Kriging-Modelle für die Schwermetallkonzentrationen

Element	Modell	MAE	RSME
As	Ord. Kriging	14,30	19,90
	Cokriging	14,15	20,00
Cd	Ord. Kriging	2,41	2,83
	Cokriging	1,82	2,80
Cr	Ord. Kriging	16,75	24,41
	Cokriging	17,19	25,91
Cu	Ord. Kriging	20,10	29,53
	Cokriging	20,89	31,35
Hg	Ord. Kriging	1,59	1,80
	Cokriging	1,56	1,80
Ni	Ord. Kriging	7,15	10,33
	Cokriging	7,15	10,61
Pb	Ord. Kriging	29,98	41,19
	Cokriging	29,19	41,73
Zn	Ord. Kriging	91,98	134,1
	Cokriging	90,23	139,18

Die Ergebnisse können jedoch nicht die vielfältigen morphologischen Kleinformen wiedergeben, die eine Auenfläche aufweist. Daher ist für die meist durch eine stärkere Belastung geprägten Flutrinnen mit den dominierenden Gleyen nur eine eingeschränkte Prognose möglich. Die Standorte der morphologisch relativ homogenen Plateauflächen (v.a. Vegen) können gut regionalisiert werden (Abb. 5).

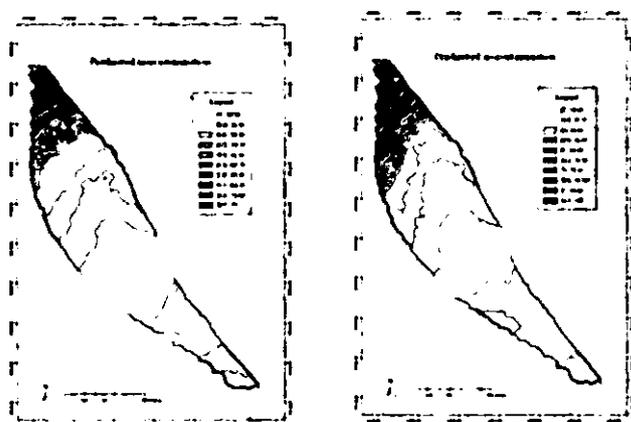


Abb. 4: Regionalisierte Ni- und As-Konzentrationen

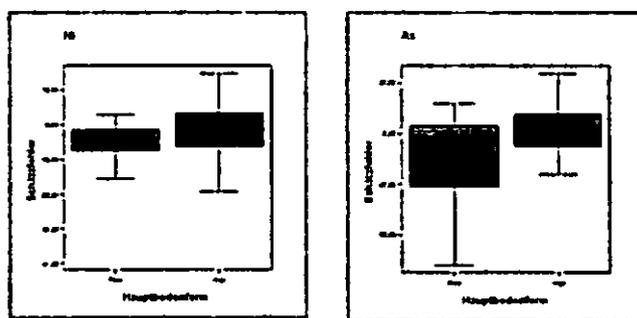


Abb. 5: Schätzfehler der Modelle für Gleyen und Veges

Auffällig ist, dass es trotz Hinzunahme von Covariablen, welche mit dem Schwermetallgehalt korrelieren, nicht zu einer signifikanten Verbesserung der Schätzergebnisse kommt (Tab. 2). Ein Ansatz zur Verbesserung der Modellergebnisse ist das Colocated Cokriging. In diesem Fall werden die Covariablen nicht als punktuelle Werte in die Regionalisierung mit einbezogen, sondern als für jeden Punkt der Fläche vorliegende Rasterdaten.

### Literatur

BOLZE, S., HAASE, D., SCHULZ, C., RINKLEBE, J., OPP, C. (in prep.): Regionalisation of heavy metal values in floodplain soils exemplified at the Elbe River. Journal of Plant Nutrition and Soil Science.

MÜLLER, G., FURRER, R. (1994): Die Belastung der Elbe mit Schwermetallen. Naturwissenschaften 81, 401-405.

RINKLEBE, J.; FRANKE, C.; HEINRICH, K.; HELBACH, C. & H.-U. NEUE (2001): Übertragbarkeit von stabilen und dynamischen Eigenschaften von Auenböden mit Hilfe von Kenntnissen über deren Verbreitung. In: SCHOLZ, M.; STAB, S. & K. HENLE [HRSG.]: Indikation in Auen – Präsentation der Ergebnisse aus dem RIVA-Projekt. UFZ-Bericht 08/01 (FKZ: 0339579), Leipzig, 52-59.

RINKLEBE, J. (2004): Differenzierung von Auenböden der Mittleren Elbe und Quantifizierung des Einflusses von deren Bodenkennwerten auf die mikrobielle Biomasse und die Bodenenzymaktivitäten von  $\beta$ -Glucosidase, Protease und alkalischer Phosphatase. Diss., Halle.

## Zielgewichtung und Entscheidungsfindung bei der Kombination von Bodeninformationen

Jens Hannemann \*

### 1. Motivation

Die Bewertung von Informationen (Kartengrundlagen, Profilbeschreibungen etc.) bezüglich einer Zielaussage führt selten zu einer Sicherheits-, eher zu einer Ungewissheits- oder gar Risikosituation. Abgeleitete Karten besitzen deshalb oft nur „Konzept-“ oder „vorläufigen“ Charakter. Risikosituationen entstehen dort wo wenig Daten vorhanden sind oder es durch die Kombination und Verschneidung bodenkundlich relevanter Informationen zu Konflikten kommt. Konflikte können einerseits zwischen den einzelnen Zielkategorien auftreten (extrakategorial) und andererseits innerhalb dieser (intra-kategorial).

### 2. Situationsbeschreibung

Wissensbasierte Systeme unterscheiden sich prinzipiell nur im Informationsstand über die Eintrittswahrscheinlichkeiten realer Umweltzustände bzw. die Abbildungsgüte von Objekten (Bodendecke) und der Konsequenzen (Nutzwerte). In der Regel kommt es vor, dass weniger Informationen als Zustände vorhanden sind. Auch im Falle bedingter Wahrscheinlichkeit von Informationen kann nicht mit Sicherheit auf einen Zustand (Bodenform an einem bestimmten Punkt) geschlossen werden. Demzufolge unterscheidet man Systeme die zu einer Sicherheits-, Ungewissheits- oder Risikosituation führen. Diesen Charakter tragen die Entscheidungen, die aus dem Bewertungsprozess dieser Systeme hervorgehen. Im Idealfall existiert eine ideale, perfekte, dominante oder gleichmäßig beste Lösung (Abbildung 1). Sehr wichtig für Entscheidungen sind Präferenzordnungen (Präferenz = Wertentscheidung, Bevorzugung). Einige Prinzipien werden folgend genannt:

- Transformationsprinzip (schritt- und Paar weiser Vergleich der Zielgrößen)
- Zielgewichtung (faktorielle Verstärkung oder Abschwächung)
- Lexikografische Ordnung (vom Experten vorgegebene Rangfolge)
- K.O.-Kriterien (Auslöschung, wenn bestimmte Minima, Maxima unter-/überschritten werden)
- Körth-Regel (Maximierung des relativen Zielerreichungsgrades)

Es kann sein, dass die Informationen, die aus einer Ungewissheitssituation kommen, jedoch das Hauptziel (Ziel 1, z.B. Wassereinfluss) bedienen sollen. Hier muss deutlich werden, dass die Lösung oder Entscheidung aus solch einer Situation heraus gefunden wurde.

Besondere Bedeutung für Bodenkarten findet die Rangordnung, die hier die Präferenzen für die Entscheidung der Legendenbildung durch die Segmen-

\* Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Bereich Geologie, Stahnsdorfer Damm 77, 14532 Kleinmachnow  
e-mail : jens.hannemann@lbgr-brandenburg.de

tierung des Stapels der Zugehörigkeitsebenen regelt. Es kommt vor, dass sich die Präferenzen gegenseitig beeinflussen oder gar beeinträchtigen. Die Bewertung

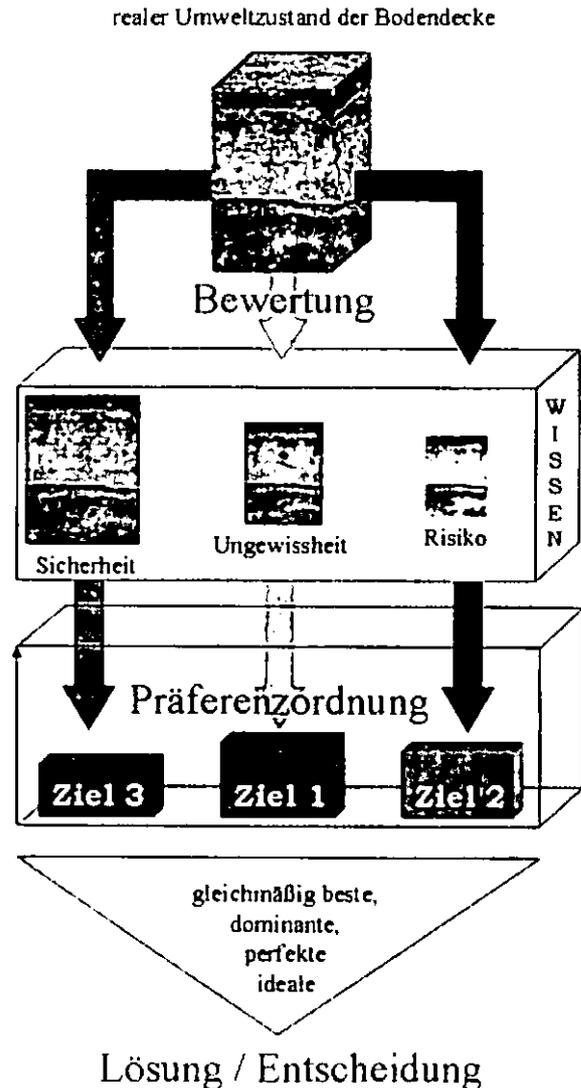


Abb. 1: Schema zur Bewertung eines realen Umweltzustandes und Ableitung der zielgewichteten Entscheidung

einzelner Ergebnisse ist bei Präferenzunabhängigkeit besser möglich als bei Präferenzabhängigkeit. Diese erreicht man u. a., wenn präferenzabhängige Zielgrößen zu einer übergeordneten Zielgröße zusammengefasst werden. Diese erfolgt z.B. durch die Einführung der abstrakteren, hierarchisch höher angesiedelten Zielkategorie „Wassereinfluss“, die die Kategorien Grundwassereinfluss und Stauwassereinfluss zusammenfasst (Abbildung 2). Die Zielkategorie "Bindigkeit" vereinigt die Kategorien der Bodenarten Sand, Lehm, Schluff und Ton. Die Entscheidung über die zu erwartende Bodenform erfolgt kontextbezogen aus den Werten der Zielkategorien, z.B.:

*hoher Wassereinfluss + geringe Bindigkeit = Gley aus Sand*

*hoher Wassereinfluss + hohe Bindigkeit = Pseudogley aus Ton*

Konkurrierende Präferenzbeeinflussungen erschweren die Entscheidung. Eine Methode zur Lösung dieses Konfliktes ist z.B. die Zielgewichtung, die über eine partielle Zielkategorienbewertung eine Bestimmung des Gesamtkategorie (hier: Legende der Bodenkarte) erlaubt.

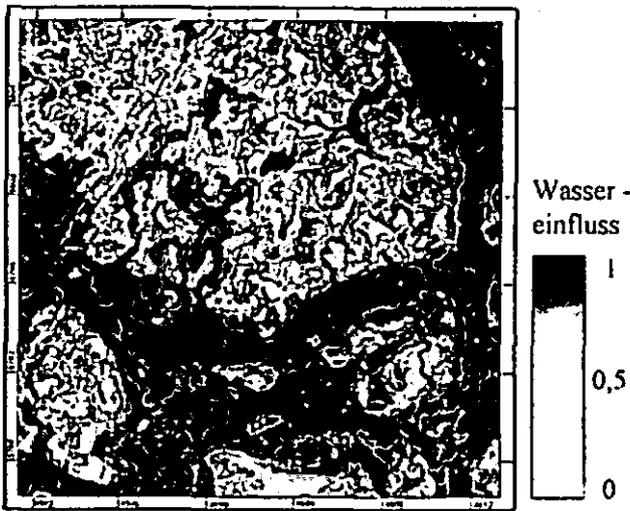


Abb. 2: Zielverstärkung durch additive Kombination unterschiedlicher Informationsebenen (hier: Wassereinfluss, Ausschnitt Blatt Königs Wusterhausen 1 : 50 000)

Abbildung 3 verdeutlicht eine mögliche Präferenzordnung der Legende einer Bodenkarte. Dabei werden die Zielkategorien in eine vom Experten aufgestellte Rangfolge gebracht. Diese kann wie folgt aussehen:

Wassereinfluss > Bindigkeit > Humosität > Kalkigkeit > Verbraunung ...

Diese Rangfolge spiegelt den Einfluss der Zielkategorien auf die konkrete Legendenklasse dar. Die Zielkategorien werden hier durch trianguläre Zugehörigkeitsfunktionen dargestellt. Das stellt einen Idealfall dar. Er verdeutlicht den kontinuierlichen Anstieg der Zugehörigkeitswerte einer Zielkategorie bis zu einem Maximum, das den Kerninhalt der konkreten Legendenklasse bildet. Mit steigenden Legendenklassen nimmt der Einfluss wieder ab, während andere Zielkategorien hinzukommen und an Einfluss gewinnen.. Ziel ist die ausgewogene Belegung der Legendenklassen. Prinzipiell können zwei Wege gegangen werden: Beim ersten werden die Legendenklassen vorgegeben und die Objekte werden zugeordnet. Beim zweiten leiten sich die Legendenklassen aus der "Datenlage" ab.

Objekt	A - Zielkategorie		B - Zielkategorie		C - Zielkategorie		D - Zielkategorie	
	A - Zielkategorie (Wert)	B - Zielkategorie (Wert)	C - Zielkategorie (Wert)	D - Zielkategorie (Wert)	A - Zielkategorie (Wert)	B - Zielkategorie (Wert)	C - Zielkategorie (Wert)	D - Zielkategorie (Wert)
1	BB	0,7	LF	0,3	PP	0,2	GG	0,3
2	BB	0,1	LF	0,5	PP	0,6	GG	1
3	BB	0,5	LF	0,3	PP	0,2	GG	0,3
4	BB	0,2	LF	1	PP	1	GG	0,7
5	BB	0,3	LF	0,2	PP	0,4	GG	0,2

Tab. 1: vorkonfektionierte Tabellenstruktur zur Bestimmung der Rangfolge

Originär werden die Objekte in einer einfachen Tabelle, in der die Zielkategorien die Spaltenköpfe bilden, bewertet. Diese Bewertung kann Messdaten oder Experten basiert

erfolgen. Bei dem vorliegenden Ansatz wird deshalb davon ausgegangen, dass nicht die konkreten Werte, sondern die Wertelationen zwischen den Zielkategorien entscheidend sind. Nach der Bewertung werden die Daten entsprechend vorkonfektioniert (Tabelle 1), so dass die Aufstellung einer einfachen Rangordnung ermöglicht wird (Tabelle 2).

Objekt	Rang	Zielkategorie	Wert Zielkategorie
1	1	BB	0,7
1	2	GG	0,3
1	3	LF	0,3
1	4	PP	0,2
2	1	GG	1
2	2	PP	0,6
2	3	LF	0,5
2	4	BB	0,1
3	1	BB	0,5
3	2	GG	0,3
3	3	LF	0,3
3	4	PP	0,2

Tab. 2: Rangfolge der Zielkategorien von Objekten (Kartiereinheiten, Segmente)

### 3. Schlussfolgerungen

Die Ableitung einer Bodenkarte aus verschiedenen Informationsebenen erfordert auch die Bewertung der Verlässlichkeit bezüglich einer zu erzielenden Lösung oder Entscheidung (hier: Bodenkartenlegende).

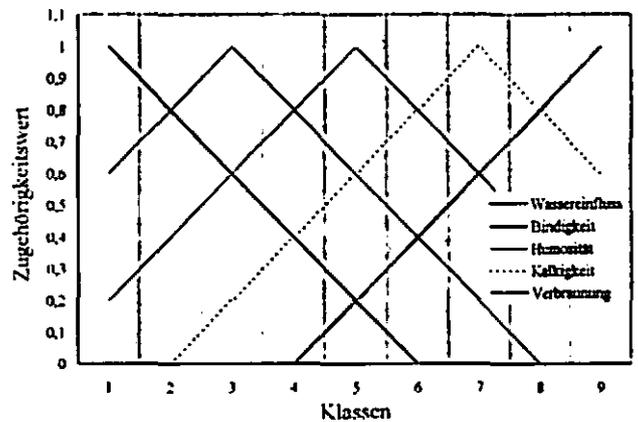


Abb. 3: Fuzzifizierte Präferenzordnung der Legende einer Bodenkarte (idealisiert)

Der Entscheidung voraus geht die Aufstellung einer Präferenzordnung, die die Klassenbildung, die Anzahl der Klassen sowie den Inhalt der Klassen bestimmt. Sie gibt damit den Einfluss der Zielkategorien auf die konkrete Legendeinheit vor. Eine gleichmäßig beste Lösung berücksichtigt alle Ziele gleichermaßen. (Mehrzielentscheidung). In der Regel wird eine Zielrangfolge vorgegeben.

### 4. Literatur

Das Literaturverzeichnis wird bei Bedarf vom Autor zur Verfügung gestellt.

## Pilotgebiet Blatt Chemnitz 1:250.000 im Projekt ENVASSO: Grenzüberschreitende Berechnung (Sachsen-CZ) von Bodenzustandsindikatoren am Beispiel Diffuse Kontamination

Heilmann, H.<sup>\*</sup>, R. Baritz<sup>+</sup>, E. Eberhardt<sup>+</sup>, R. Symmang<sup>\*</sup>, A. Böhm<sup>\*</sup>, J. Willer<sup>x</sup>, J. Kozak<sup>#</sup>, V. Penizek<sup>#</sup>

### Projekt ENVASSO

Das Projekt ENVASSO (ENVironmental Assessment of Soil for mOnitoring) steht in enger Verbindung mit der Europäischen Bodenschutzstrategie und verfolgt folgende Ziele:

- Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen für ein europaweit harmonisiertes Bodenmonitoring
- Auswertung des Bodenzustands durch repräsentative Messungen und Ermittlung von Zustandsindikatoren
- Entwicklung eines EU-weit anwendbaren und operationalen Systems messbarer Indikatoren
- Zusammenfassung der Ergebnisse in einer Anleitung (Procedures and Protocols, P&P)

Für diese Ziele wurde das ENVASSO-Konzept mit den folgenden Stufen zur Indikatorfindung herausgearbeitet:

Die Entwicklung von Monitoringverfahren für Bodengefährdungstypen gem. Soil Thematic Strategy (VAN-CAMP et al. 2004) benötigt abgestimmte Europa-weit gültige Kriterien und Indikatoren. Für die 8 bekannten Gefährdungen (soil threats) wurden nach Umfragen und Literatursichtungen ca. 290 Indikatoren herausgearbeitet, von denen entsprechend eines Auswahlverfahrens nach Eignung und europaweiter Datenverfügbarkeit drei Top-Indikatoren für jeden Gefährdungstyp ausgewählt wurden (n=26). Für jeden dieser Indikatoren wurden Datenanforderungen und Methoden in einer sog. *fact sheet* zusammengefasst. In ausgewählten Pilotgebieten werden diese Indikatoren sowie die Praktikabilität der Fact Sheets getestet.

Parallel wurden die Repräsentanz bestehender Monitoringsysteme geprüft, sowie Vorschläge erarbeitet, ob und wie diese verbessert werden müssten, um abgesichert Veränderungen des Bodenzustands erfassen zu können. All diese Ergebnis fließen in ein umfangreiches Handbuch zum Bodenmonitoring ein (sog. *procedures and protocols*, P&Ps).

### Pilotgebiet Blatt Chemnitz - Ziele

Als ein transnationales Pilotgebiet wurde das Blattgebiet der Europäischen Bodenkarte 1:250.000 Blatt Chemnitz ausgewählt, welches im Wesentlichen durch Anteile auf sächsischer und tschechischer Seite gekennzeichnet ist (Abbildung 1). Ziel ist das Testen sowie die Ableitung von P&Ps für die Indikatoren „Diffuse Kontamination“ (am Beispiel Cd), „Bodenerosion durch Wasser“ (Modell PESERA), und „Bodenversiegelung“.

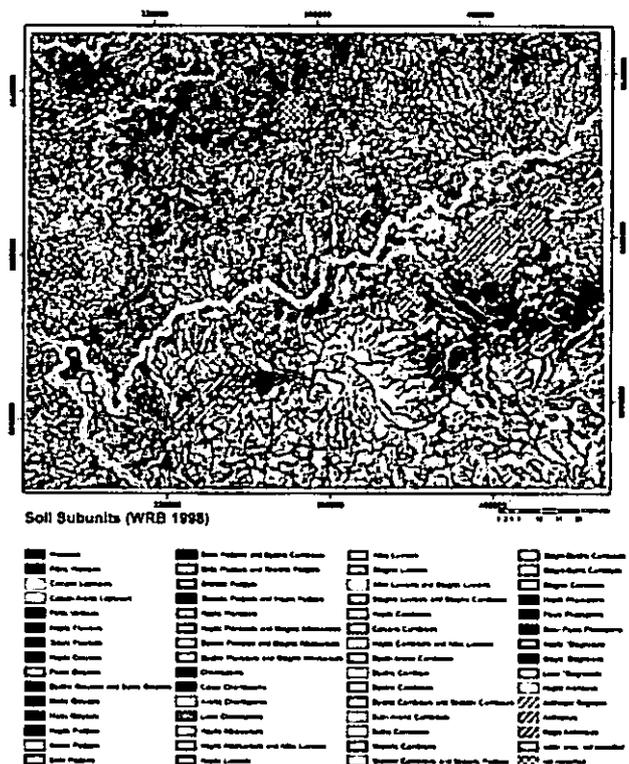


Abb. 1: Pilotgebiet 1:250.000 Blatt Chemnitz

### Beispiel Schwermetallbelastung

Mithilfe des Indikators CO01 „Heavy metal content in soils“ sollen Standorte/Gebiete mit Überschreitung der national festgelegten Schwermetall-Schwellenwerte identifiziert werden. Als Datenbasis auf sächsischer Seite dienten die Schwermetall-Gesamtgehalte (HNO<sub>3</sub>+HCl 3:1-Aufschluss) des Bodenmessnetzes 4 km x 4 km (1993-1997).

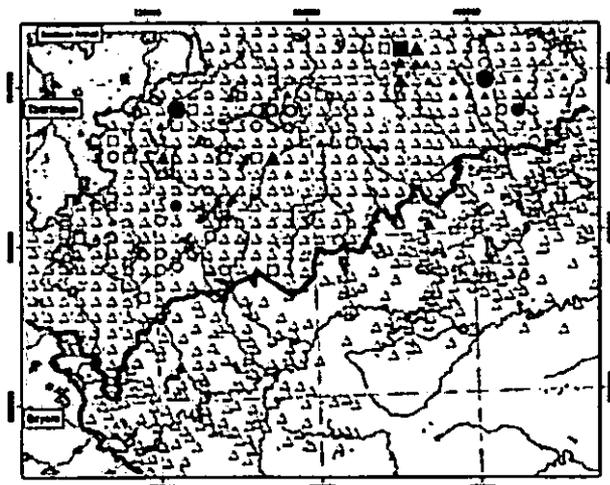
<sup>\*</sup> Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG), Halsbrücker Str. 31a, 09599 Freiberg

<sup>+</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover

<sup>x</sup> Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Weidenplan 14, 06108 Halle (Saale)

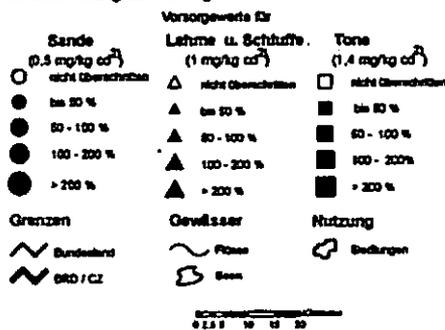
<sup>#</sup> Czech University of Life Sciences Prague, Kamycka 129, Prague 6, Czech Republic 160 00

Auf tschechischer Seite werden Daten des stratifiziert durchgeführten Programms "Monitoring of agricultural soils" genutzt (nach Extraktion mit Königswasser  $2M HNO_3$ ) - mit 190 Standorten in ganz CZ (Messungen seit 1992). Die Daten werden mit der ENVASSO-Bodendatenbanksoftware SoDa (EBERHARDT et al. 2007) zusammen mit den Boden-Flächendaten für das Blatt Chemnitz verwaltet. Abbildung 2 zeigt für die Messpunkte die Überschreitung der Vorsorgewerte nach der deutschen BBodSchV (gewichtete Mittel der obersten 30 cm des Mineralbodens). Bei Zugrundelegung der (tendenziell niedrigeren) tschechischen Schwellenwerte ergäbe sich ein ganz ähnliches Bild.



Legende

Überschreitung der Vorsorgewerte<sup>1)</sup> für Cadmium in Prozent



Bodendaten:  
Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Faculty of Agrobiolology, Food and Natural Resources, Prague

Kartenprojektion:  
ETRS 89, UTM Zone 33N

1) Bodenwerte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung von prognostizierten oder großräumig einwirkenden Belastungsfaktoren in der Regel davon auszugehen ist, dass die Belastung einer schädlichen Bodenveränderung besteht. BBodSchG 1998

2) Vorsorgewert für Cadmium bezogen auf den Gesamtgehalt in der Trichterprobe des Feinbodens, nach BBodSchV 1998 (ohne Berücksichtigung des pH Wertes)

Abb. 2: Ergebnisse „Diffuse Kontamination“ (Überschreitung der Vorsorgewerte für Cadmium)

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen überschrittene Vorsorgewerte im regionalen Kontext. In Einzelfällen werden Werte um > 200 % überschritten. Das Verfahren dient bei bisheriger Formulierung im europäischen Kontext der Erfassung von Trends in großen Landschaftsräumen, ohne dabei Einflussfaktoren zu unterscheiden. Derzeit sind die *procedures and protocols* (P&P) für den Indikator CO01 „Heavy metal content in soils“ noch fast ausschließlich auf Bodenprobennahme und -Analyse beschränkt.

Eine weitere Nutzung der Ergebnisse erfordert zunächst die Prüfung der Vergleichbarkeit der Daten (unterschiedliche Analytik und Probenahmedesigns). Sowohl Datenharmonisierung als auch Details zur Berechnung (Tiefenstufenbezug, etc.) sollten in die P&B ergänzt werden, um zu einer europaweit einheitlichen Aussage entsprechender Indikatoren zu kommen. Da Vorsorgewerte gemäß BBodSchG zunächst nur die „Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung“ anzeigen, müssen für eine Bewertung weitere standortspezifische Daten einbezogen werden; vor allem sind das geogene und siedlungsbedingte Hintergrundwerte. Außerdem wäre es sinnvoll, lokale Emissions-/ Belastungsquellen darzustellen und eine Gliederung nach natürlichen sowie technogenen Substraten vorzunehmen. Auch die möglichst genaue Dokumentation der Nutzungsgeschichte jedes Standorts ist wichtig für weitergehende Auswertungen zum Bodenmonitoring.

Weitere Untersuchungen könnten sich dann auf die Analyse regionaler bzw. standörtlicher Belastungstrends in Abhängigkeit von Standortseigenschaften, Nutzung und Deposition richten.

Literatur

EBERHARDT, E.; STOLZ, W.; BARITZ, R. (2007): Datenerhaltung und Datenkommunikation zur Online-Erstellung von Indikatorkarten für den Bodenschutz. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., 110, in diesem Heft

VAN-CAMP, L.; BUJARRABAL, B.; GENTILE, A-R.; JONES, R.J.A.; MONTANARELLA, L.; OLAZABAL, C.; SELVARADJOU, S-K. (2004). Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/1. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

# Die Bereitstellung bodenkundlicher Auswertethemen in Brandenburg unter Berücksichtigung eines Bodengesellschaftsansatzes

Joris Hering\* & Albrecht Bauriegel\*

## Problemstellung:

Das Interesse an der Bereitstellung von bodenkundlichen Auswertethemen übersteigt mittlerweile das an Bodenkartens i.e.S..

Es existieren verschiedene Wege, um von der Bodenkarte zum einzelnen Auswertethema zu gelangen. Unterschiede bestehen beispielsweise in dem methodischen Weg der Zuweisung von Bodeneigenschaften zu den flächenbeschreibenden Bodenformen (Flächenbodenformen).

Gegenwärtig haben die generierten Auswertekarten meist monotypischen Charakter. D.h. jede kartierte Fläche hat genau ein Auswertergebnis. Dies ist jedoch, wenn überhaupt, nur bei großmaßstäbigen Darstellungen gerechtfertigt.

Das Poster stellt am Beispiel der Bodenübersichtskarte 1:300 000 (BÜK 300) den Weg von der Bodenkarte zu einem Auswertethema im mittelmaßstäbigen Bereich dar, bei dem der Gesellschaftscharakter der Ausgangskarte auch im Auswertethema erhalten bleibt.

## Methode am Beispiel der Nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKwe):

Jede Legendeneinheit der BÜK 300 stellt eine Bodenformengesellschaft dar, und ist mit einer Reihe von Flächenbodenformen belegt, für die es im Flächenbodenformenarchiv Horizonte mit charakteristischen Werten gibt. Diese werden zur Berechnung des jeweiligen Ableitungsparameters herangezogen.

Als Zwischenergebnis entsteht für jede Flächenbodenform ein Ableitungsergebnis. (Abb.1).

Die Flächenanteile der entsprechenden Flächenbodenformen werden mit diesen Zwischenergebnissen verknüpft (Abb. 2). Hierbei werden die Flächenanteile von Bodenformen gleicher Klasse addiert. Die zwei Klassen mit der höchsten Verbreitung werden als Ableitungsergebnis in der jeweiligen Legendeneinheit dargestellt. Damit bilden sich auch in der thematischen Karte Bodengesellschaften ab.

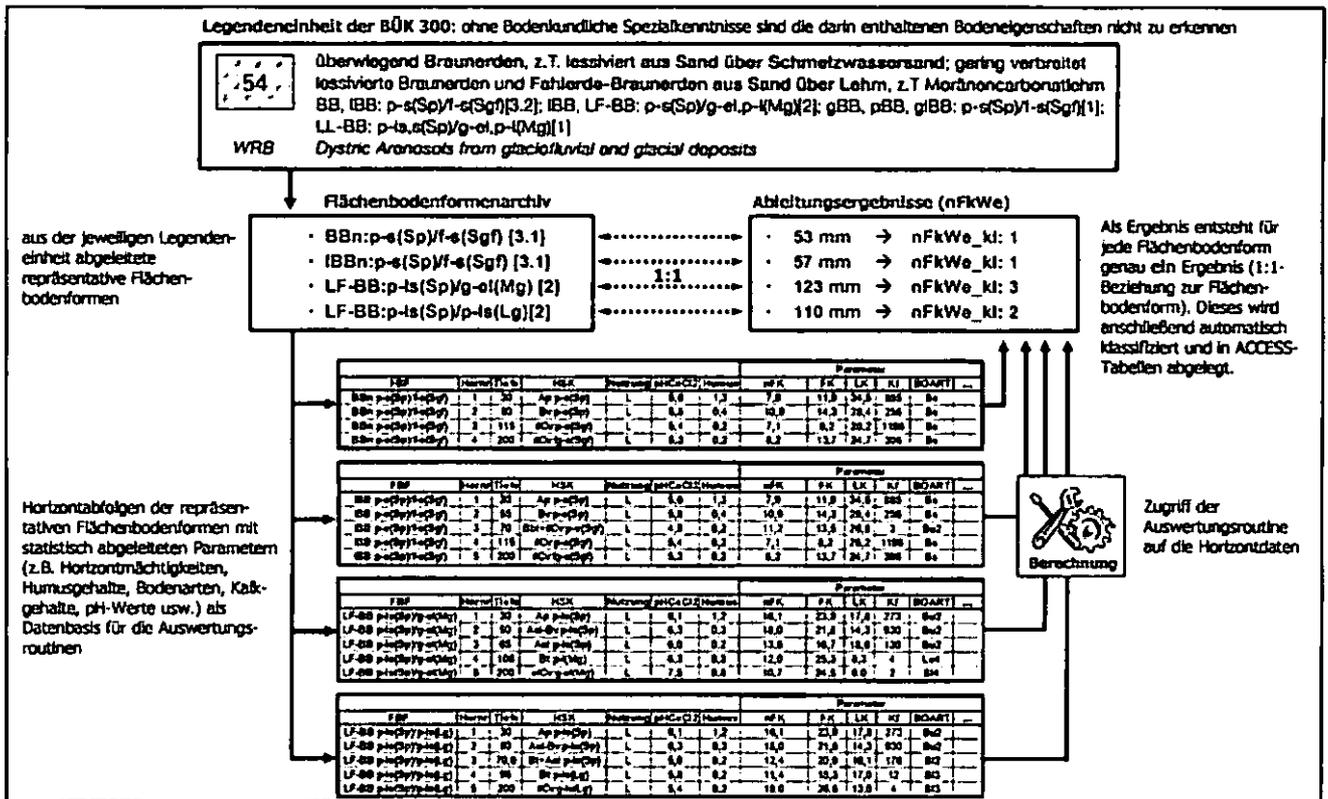


Abb. 1: Berechnung der Ableitungsergebnisse für jede Flächenbodenform

\* Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Stahnsdorfer Damm 77, 14532 Kleinmachnow  
email: joris.hering@lbg-berlin.de

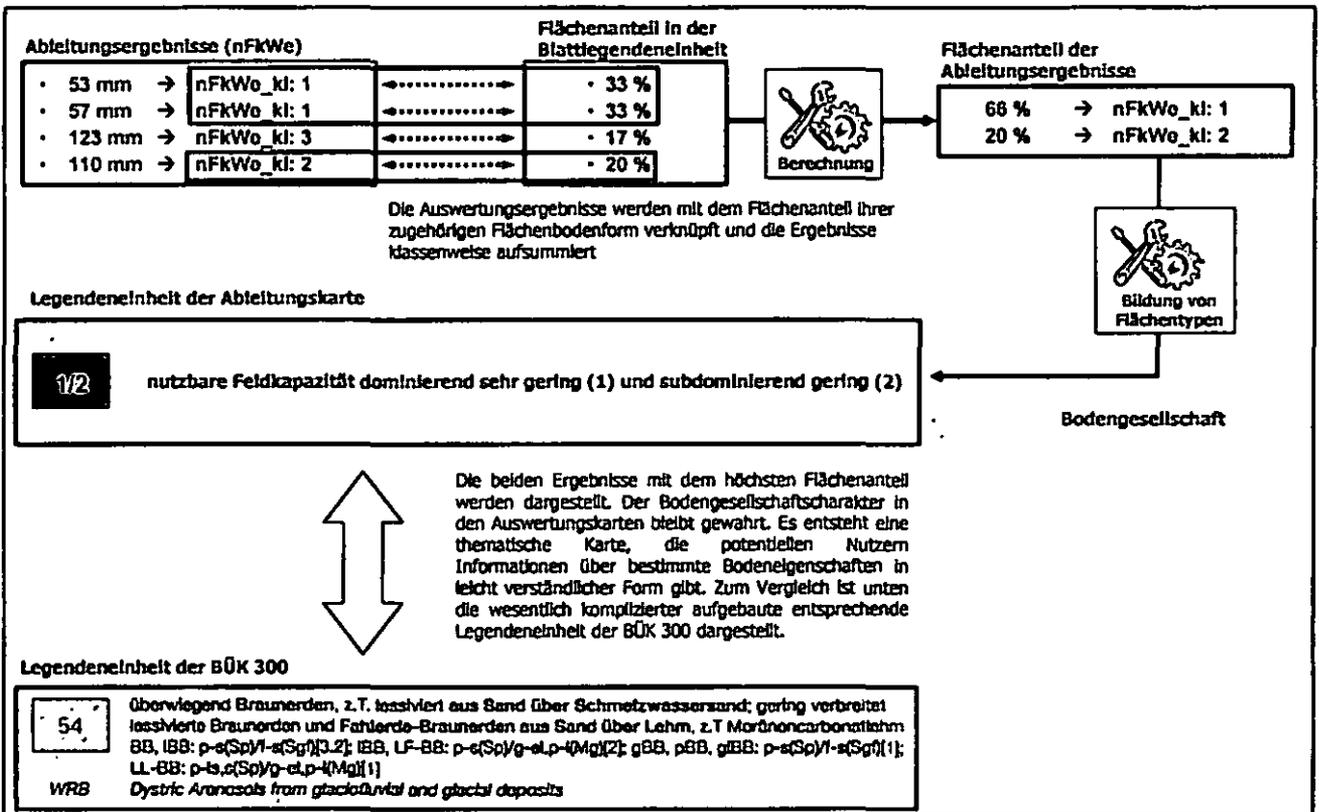


Abb. 2: Zusammenfassung der Ableitungsergebnisse, Erfassung ihres Flächenanteils sowie Zuordnung zur Legendeneinheit

**Ergebnis:**

Die Ergebnisse werden mit den Polygonen der Ausgangskarte verknüpft. Die Legende verbindet das Darstellungsprinzip von Ampelkarten (rot=gering bis grün=hoch, hier nur in Graustufen dargestellt) mit der Darstellung von Bodengesellschaften. Diese werden in der Legende durch die Darstellung der zwei Klassen mit den höchsten Flächenanteilen dargestellt (dominierend/

subdominierend). Zukünftig wird es möglich sein, die Legende weiter zu unterteilen.

Die Böden Brandenburgs fallen mit ihren häufig niedrigen Werten in die unteren Klassen der bundesweit abgestimmten Klassifizierung. Eine feiner aufgelöste landesspezifische Klasseneinteilung soll in Zukunft den Informationsgehalt bei diesem Auswertethema verbessern.

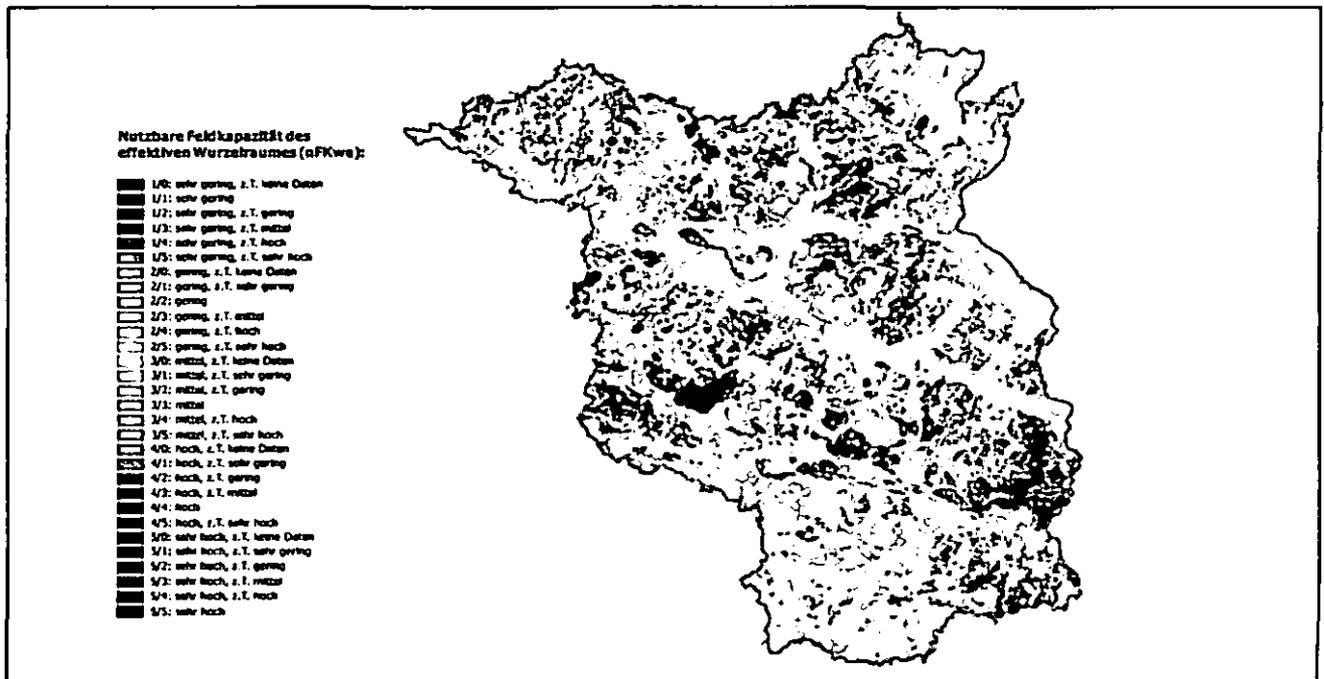


Abb. 3: Darstellung der Ergebnisse in der Karte

## Analysis of small scale soil patchiness in the Succulent Karoo, South Africa

Nicole Herpel & Dr. Alexander Gröngröft

### Introduction:

In arid and semiarid ecosystems, the distribution of water and nutrients is highly influenced by small scale variability of soil properties. It affects the formation of vegetation patterns and hence the degree of biodiversity. Further, vegetation and soil patches might reduce or enhance runoff and erosion and therefore control ecosystem stability. The understanding of dynamics and interactions between vegetation and soil properties on the small scale are crucial for the implementation of sustainable management practices.

The significance of small scale patchiness of vegetation and soil properties was analysed within the BIOTA-South project on a 1 km<sup>2</sup> sized observatory in the semiarid Succulent Karoo of South Africa.

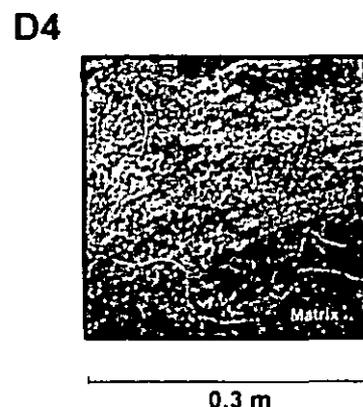
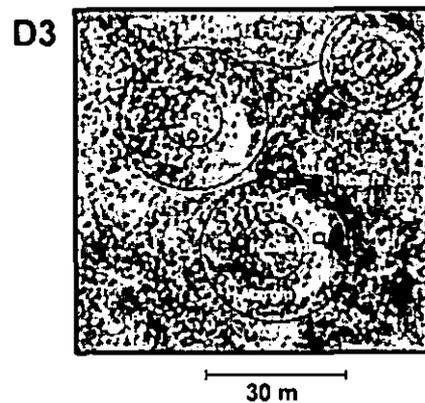
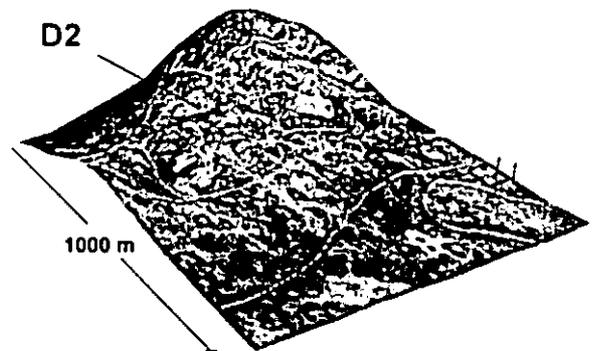
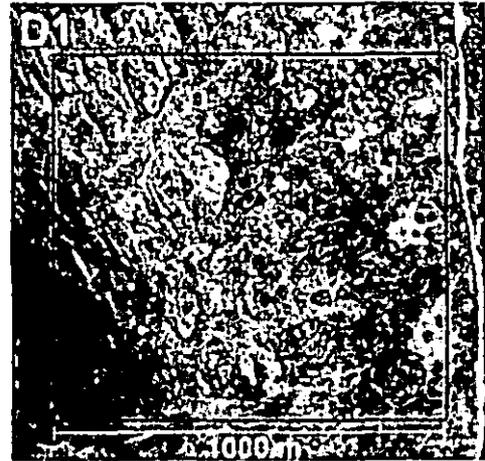
### Methods:

To structure the landscape, the observatory was stratified in four nested scales: D1 (km<sup>2</sup>-scale), D2 (ha-scale), D3 (app. 1 – 100 m<sup>2</sup>), D4 (patch = cm to dm-scale). Within selected D2-units, 7 representative study sites of app. 10 x 10 m were established. The sites were tachymetrically surveyed in high resolution.

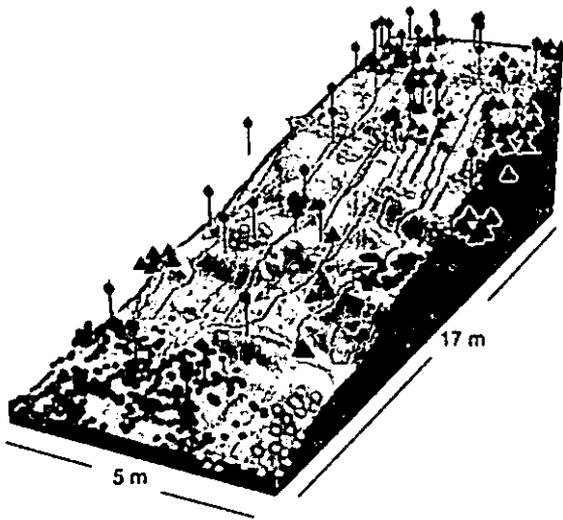
On the patch-scale, topsoil samples were taken and physical in-situ measurements conducted (single-ring infiltration tests, determination of gravimetric water content after rain event).

Based on the survey data, a digital elevation model was generated, displaying topsoil properties, fine-scale topography with resulting runoff-courses and the distribution of species.

### Concept of nested units:



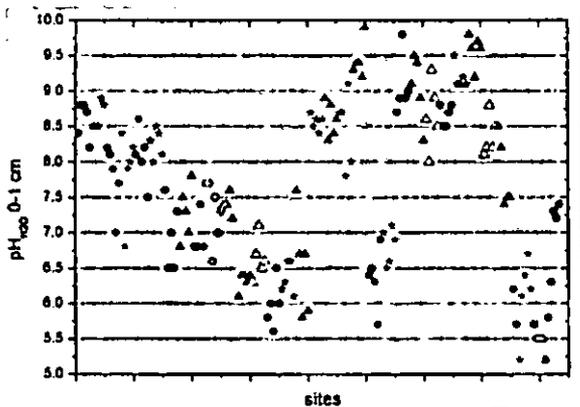
**Selected Results:**



**Legend**

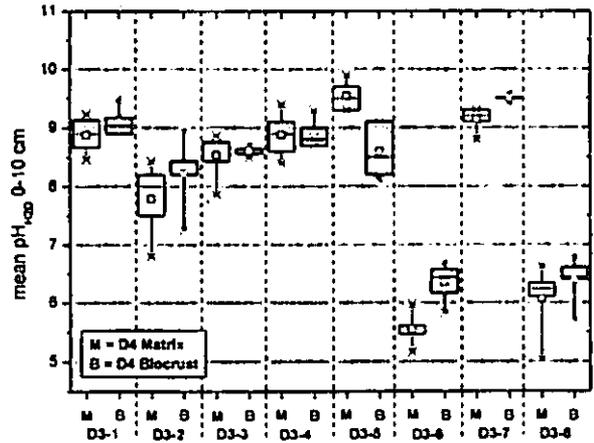
- ▲ Dead Shrubs
- *Cephalophyllum inaequale*
- *Ruschia cystiforme*
- △ *Salsola spec*
- Position of Miniprofiles
- ~ GIS calculated runoff courses

**Fig. 1:** Digital elevation model with distribution of plants, sampling sites and calculated runoff courses on a fossil termite mound (“heuweltjie”) in the D2 area “plains”. Underlying survey points: 2,350.



**Fig. 2:** Scatter plots of  $pH_{H_2O}$  values of the 0-1 cm topsoil of all sampling sites ( $n = 167$ ) across the square kilometre. The data vary considerably, ranging from app. 5 to 11, indicating a high degree of soil diversity.

High pH-values  $> 8.0$  are connected with the occurrence of fossil termite mounds (“heuweltjies”).



**Fig 3:** Comparison of D4-units matrix soil and biological soil crust (BSC) across the square kilometre as an example for species-soil interactions. The occurrence of BSC generally corresponds with an increase in pH content. The one exception on the pH-diagram which shows lower pH on the BSC site compared to the matrix unit might indicate that BSC do not necessarily increase pH but rather “adjust” it to a species-specific optimum.

**Aims and Perspectives:**

- Description of soil patchiness on different scales
- Determination of mutual dependencies between species and soil (eco-functions)
- Evaluation of the role of small scale patchiness on ecosystem stability (erosion risk assessment, resource estimation)

## Paläoklimatische Interpretation von Paläoböden

### Theoretische Überlegungen

L. Herrmann<sup>1</sup>, M. Sommer<sup>2</sup>, K.E. Bleich<sup>3</sup>

#### Einleitung

Paläoböden stehen grundsätzlich einer paläoklimatischen Interpretation offen, da das Vorkommen bestimmter bodenbildender Prozesse (z.B. Kryoturbation) aber auch deren Intensität vom Klima abhängen. Weltweit sind insbesondere in quartären Lößsequenzen Paläoböden beschrieben, die zur Klimarekonstruktion herangezogen werden. Deren Bedeutung nimmt vor dem Hintergrund der aktuellen Klimawandeldiskussion zu. Allerdings sind die klimabezogenen Aussagen, die aus diesen Paläoböden abgeleitet werden i.d.R. nur qualitativ (es wurde wärmer oder kälter, oder feuchter oder trockener) und werden häufig allein aus morphologischen Merkmalen abgeleitet. Ein Beispiel ist die oft auftretende Interpretation von Stauwassermerkmalen in Paläoböden der süddeutschen Lößsequenzen als Indikator für ein feuchteres Klima (im Verhältnis zu den Bildungsbedingungen von reinen Parabraunerden). Eine Auswertung der vorhandenen Daten zeigt allerdings, dass alle Profile, die als Pseudogley klassifiziert wurden, im Liegenden tonige Bodenarten aufweisen (vgl. Sommer et al. 2003). Hier zeigt sich die Crux bei dem Versuch Bodenmerkmale klimatisch zu interpretieren, denn ein Merkmal kann durch verschiedene Faktorkombinationen hervorgerufen werden (z.B. Salzakkumulation durch i. arides Klima oder ii. Salzwassereinfluß). Bei der Interpretation der Intensität (Konzentration) und des Ausmaßes (Menge) des Merkmals kommt erschwerend hinzu, dass sich Faktorintensität (z.B. Saisonalität des Klimas) und Zeit (Länge der Bodenbildungsphase) gegenseitig ersetzen können (Beispiel Tonverlagerung).

Dies war Anlaß für die Autoren sich grundlegende Gedanken darüber zu machen, auf welcher Basis begründete paläoklimatische Interpretationen von Paläoböden möglich sind und wie man zu zumindest semi-quantitativen Aussagen des Klimasignals kommen kann.

#### Definitionen

Um dies zu erreichen, schien es zuerst notwendig, grundlegende Definitionen einzuführen.

Als **Paläoböden** werden alle Böden definiert, deren diagnostische Merkmale und/oder Horizonte relikte sind.

Als **relikt** gelten alle Merkmale/Horizonte, die nicht unter den aktuellen Umweltbedingungen (Faktorkombinationen) entstanden sind oder nicht entstehen können (incl. Fossilisierung).

Als **fossil** gelten alle Merkmale/Horizonte, die eine Überdeckung aufweisen und nicht mehr durch aktuelle Umweltbedingungen verändert werden. Dabei muß diese Überdeckung (in ihrer Kombination aus Mächtigkeit und Durchlässigkeit) eine Veränderung der bestehenden diagnostischen Merkmale oder die Entstehung neuer diagnostischer Merkmale durch die Prozesse an der aktuellen Landoberfläche verhindern.

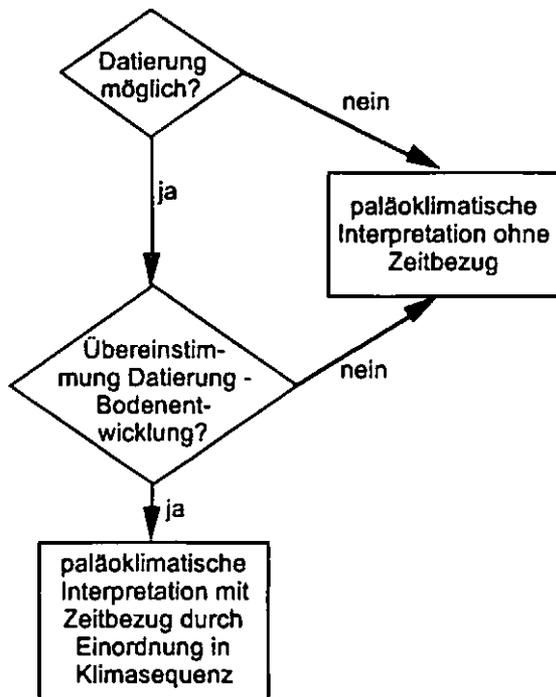
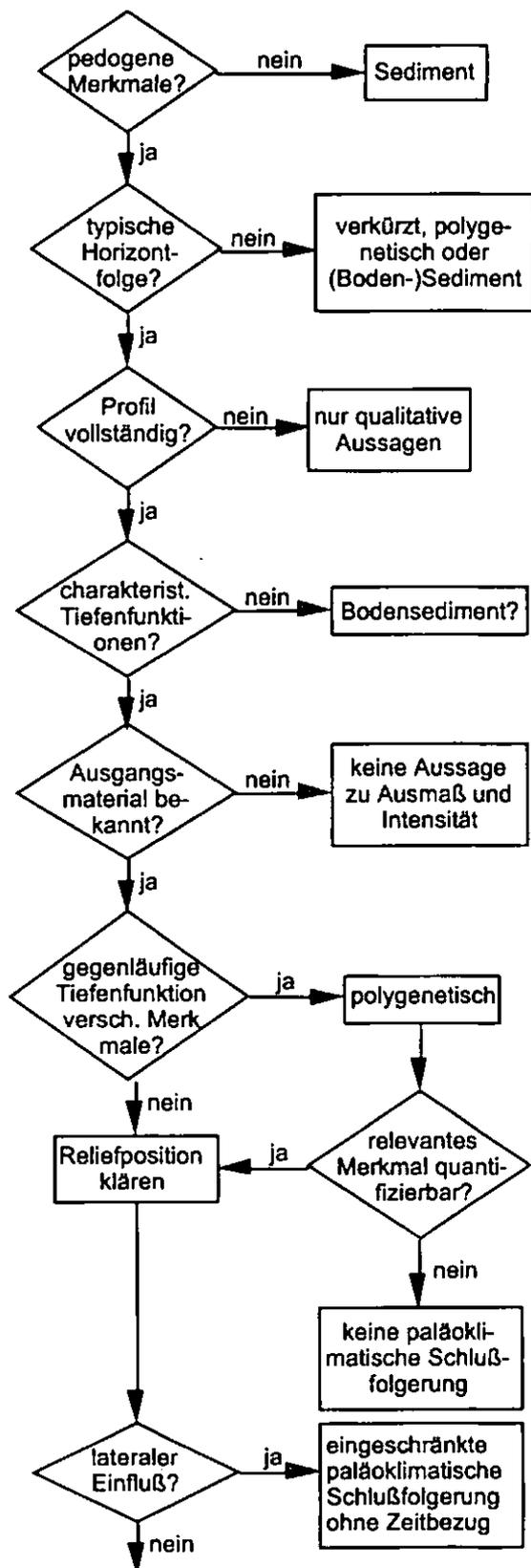
Diese Definitionen wurden gewählt, um zu verhindern, dass Paläoböden allein aufgrund i. des Alters, ii. einer Überdeckung oder iii. eines beliebigen Merkmals definiert werden. Aus Sicht der Autoren qualifizieren allein charakteristische Merkmale, die unter den aktuellen Bedingungen nicht gebildet werden können für eine Paläobildung, die entsprechend interpretiert werden darf.

Auf dieser Basis wurde versucht einen Entscheidungsbaum zu entwickeln, der die Konditionen widerspiegelt unter denen eine semi-quantitative paläoklimatische Interpretation möglich sein sollte. Diesem Versuch liegt ein streng faktorieller Ansatz zugrunde, in dem ein Befund in eine Klimasequenz eingeordnet wird:

$$s = f(c_l) \quad \text{bei: } o, r, p, t = \text{konstant}$$

<sup>1</sup> Institut für Bodenkunde und Standortslehre  
Universität Hohenheim, <sup>2</sup> ZALF Müncheberg,  
<sup>3</sup> Aichtal-Grötzingen

### Der (verkürzte) Entscheidungsbaum



Die Annahme hinter der Entwicklung des Entscheidungsbaumes ist, dass Bodenprofile nur dann eindeutig paläoklimatisch interpretierbar sind, wenn sich ein klimabhängiges Merkmal quantifizieren läßt. Dazu muß das Profil vollständig, sein Ausgangsmaterial bekannt und lateraler Einfluß auszuschliessen sein. Zur Einordnung in die Klimasequenz ist dann noch das Alter der Bodenentwicklung (nicht des Hangenden und Liegenden) nötig.

#### Schluß

Der Entscheidungsbaum stellt rigorose Bedingungen. Diese sind in der Natur selten verwirklicht. Seine rigorose Handhabung ist daher kritisch. Er kann aber dazu beitragen, die Grenzen einer paläoklimatischen Interpretation aufzuzeigen und die zu erhebenden Informationen zu ermitteln, die eine weitergehende Interpretation erlauben würden.

#### Literatur

Sommer, M., L. Herrmann & K.E. Bleich (2003): Lößgebiete Süddeutschlands. In: Handbuch der Bodenkunde.. Kapitel 4.5.3.3.3. 26S. Ecomed. Landsberg.

## Zur Auswahl und Validierung repräsentativer Dauerbeobachtungsflächen in Agrarlandschaften - Basisprogramm Acker

Wilfried Hierold, Sylvia Koszinski, Michael Sommer, Joachim Kiesel\*

### Einordnung und Zielstellung

Skalenübergreifendes Landschaftsmonitoring ist im ZALF Teil der Entwicklung und Validierung von Entscheidungsunterstützungssystemen zur Bewertung von Landnutzung und Landschaftswandel. Dabei wurden für Acker, Grünland und Wald Projekte zur Langzeitbeobachtung entwickelt, die seit 2001 Daten zur Landnutzung, zum Wasser- und Stoffhaushalt und zur biotischen Ausstattung liefern. Entwicklungsraum im NO Deutschlands ist das EZG des Quillow (LK UM) mit ca. 230km<sup>2</sup> LN als Teil des Ucker- Flussgebietes.

A. Bsp. des Basisprogramms Acker (BA) wird die Auswahl von Dauerbeobachtungsflächen und ihre aktuelle Optimierung mit nichtinvasiven Verfahren der Bodenmustererkennung vorgestellt.

### Phase 1: Gebietsanalyse/ Flächenauswahl (2000)

Im Agrarraum sind landwirtschaftliche Schläge bewirtschaftungsbedingt wichtige Bezugsflächen einer Raumbewertung. Hier ging es um die Auswahl von Beispielsschlägen und die Festlegung von Erhebungspartellen darin. Eine Kennzeichnung der Punkte, Parzellen, Schläge und Betriebe ist Grundlage des skalenübergreifenden Monitorings.

### Methode und Daten

Die Auswahl von Schlägen in einer Gebietskulisse mit 23.000ha LN (>50 Agrarunternehmen) hat objektive (Standort, Größe, Lage, Betriebstyp u. a.) und subjektive Aspekte (Akteure, Erreichbarkeit, etc.). Die standortbedingte Auswahl erfolgte durch Projektion von Geodaten auf 634 Schläge (5-187ha) und deren Typisierung GIS- analytisch. Daten einer Bodengesellschaften- Karte (MMK mit Bodenformeninventar und Hydromorphieflächentyp) sowie Hangneigung aus DGM25 waren dazu verfügbar.

3 Messplätze (Parzellen 250m<sup>2</sup>) innerhalb jedes Schlages wurden nach Bodenschätzung und Relief-situation definiert (Abb.2). Zur bodenkundlichen Kennzeichnung erfolgen 3 Peilungen und eine Probenahme/Horizontal an je einem Profil der Parzellen.

### Ergebnisse

Die Gebietsanalyse (Abb.1) erbrachte für 18 Flächentypen eine Belegung von 1-31% der Gesamt-LN. Die Selektion geeigneter Schläge erfolgte

gewichtet unter Berücksichtigung der inhaltlichen Ähnlichkeit der StR nach Größe (20-50ha) und Flächenanteil des dominierenden StR (>80%), letzteres zur Findung typischer Vertreter. Die Schlagauswahl, auch nach Neigung und Hydromorphie sowie subjektiven Aspekten erbrachte 22 Schlägen mit 67 Parzellen, über den Untersuchungsraum gut verteilt.

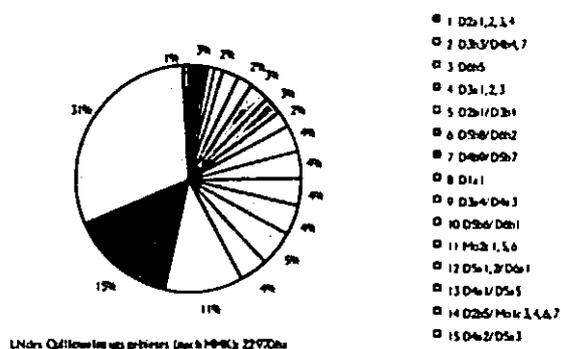


Abb. 1: Anteil von Flächentypen (MMK) an der LN

### Diskussion

Mit den dargestellten Verfahrensschritten ist es prinzipiell möglich, geeignete Flächen zur Langzeitbeobachtung auszuwählen. Hier sind Schläge ausgewählt worden, die die regionale Standortbreite gewichtet vertreten. Da auch alle anderen Ackerflächen gleichartig gekennzeichnet sind, ist eine wichtige Voraussetzung zur Gesamtbetrachtung der Gebietskulisse erbracht.

Einige der festgelegten Parzellen waren jedoch so heterogen, dass sie über Jahre stark differenzierte Bestandes- und Ertragsdaten liefern. Obwohl diese tendenziell den Boden- und Labordaten entsprechen, also Standort- Ertrags- Relationen widerspiegeln, haben spätere Diskussion den Wunsch nach homogenen Parzellen erbracht. So wurde in einer 2. Phase eine Methode zu deren Findung gesucht.

### Phase 2: Parzellenoptimierung (2006/ 07)

Heterogene Parzellen nach Bohr-, Labor- und Bestandesdaten sollen in ihrem bodenkundlichen Inventar hoch aufgelöst gekennzeichnet werden.

Bestätigt das nichtinvasive Verfahren die bisherigen punktuellen Befunde, ist die Parzelle in ihrer Lage zu optimieren. Die geringst mögliche Verschiebung soll den Anschluss an die Ergebnisse der bisherigen 7jährigen Erhebung sichern.

### Methode

Relevante Parzellen, ggf. ganze Schläge werden mit Geoelektrik (EM38DD) kartiert und bewertet. Da alle Daten einen hoch aufgelösten Raumbezug haben (DGPS), können die in der Fläche interpolierten EM38DD- Daten mit den vorhandenen Punktinformationen verglichen werden. Die Neupositionierung der optimierten Parzelle soll unmittelbar am Bildschirm erfolgen.

### Ergebnisse und Diskussion

Das Verfahren erbringt ein differenziertes Bild der Schlag- und Parzellenverhältnisse (Abb.2), die entsprechend der bisherigen punktuellen Bohr-, Labor- und Bestandesbefunde und der methodischen Erfahrung zu Geoelektrik als Bodenmuster interpretiert werden können. Die Ergebnisse erlauben Entscheidungen zur räumlichen Anpassung von Erhebungspartzellen (Abb.3) an kleinräumige Bodenmuster auf Ackerflächen in heterogenen Bodenlandschaften wie hier in der Grundmoräne des Jungpleistozäns.

Dies ist weder mit bisher verwendeten großmaßstäbigen Flächendaten (Bodenschätzung: alle Parzellen lagen in je nur einer Klassenfläche) noch mit herkömmlichen Kartierungen zu erzielen.

Die Ergebnisse bestätigen erneut bekannte Befunde zur kleinräumigen Bodenheterogenität.

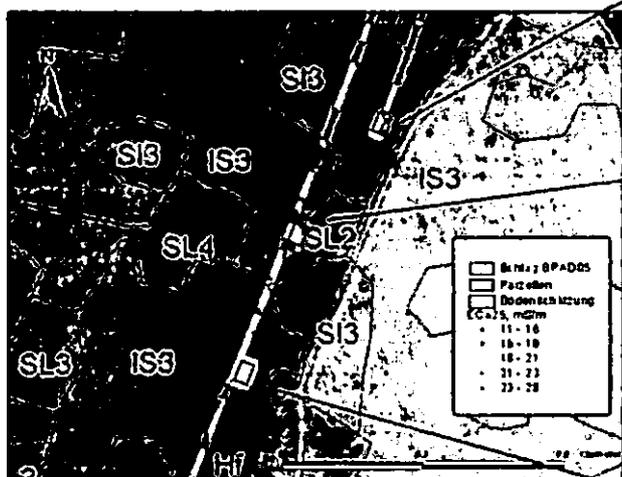


Abb.2: Schlagteil mit 3 Parzellen nach Phase I

### Zusammenfassung und Ausblick

Vorgestellt werden Verfahrensaspkte der Auswahl von Referenzflächen zur ökologischen Dauerbeobachtung in Agrarlandschaften. Diese scheinen den Autoren auch bei anderer Gebietskulisse und Geodatenlage (BK 50, BÜK300) prinzipiell methodisch übertragbar. Die Nutzung von Daten aus nicht invasiven Verfahren erlaubt nicht nur die Verbesserung von Lageentscheidungen für Messplätze wie hier erfolgt, sondern eröffnet potentiell eine verbesserte Mustererkennung und damit eine sicherere, objektivierete Einrichtung von bodengebundenen Messnetzen in der Agrar- und Umweltforschung.

Im Referenzgebiet des ZALF stehen Messplätze auf Praxis- Ackerflächen in ihrem skalenübergreifenden Zusammenhang zur Langzeitbeobachtung zur Verfügung. Das Basisprogramm Acker liefert landschafts- und betriebstypbezogene Daten zu Standort, Bestand und Bewirtschaftung und stellt Referenzflächen mit Basisdaten für Spezialuntersuchungen anderer Disziplinen bereit. Inwieweit auch Bezüge zu anderen, ähnlich standortkundlich gekennzeichneten Messplätzen im Gebiet möglich sind, die

ggf. unter anderen fachspezifischen Gesichtspunkten platziert wurden, ist ausführlich zu diskutieren. Es ist jedenfalls ein Ziel der Arbeit mit Referenzmessnetzen.

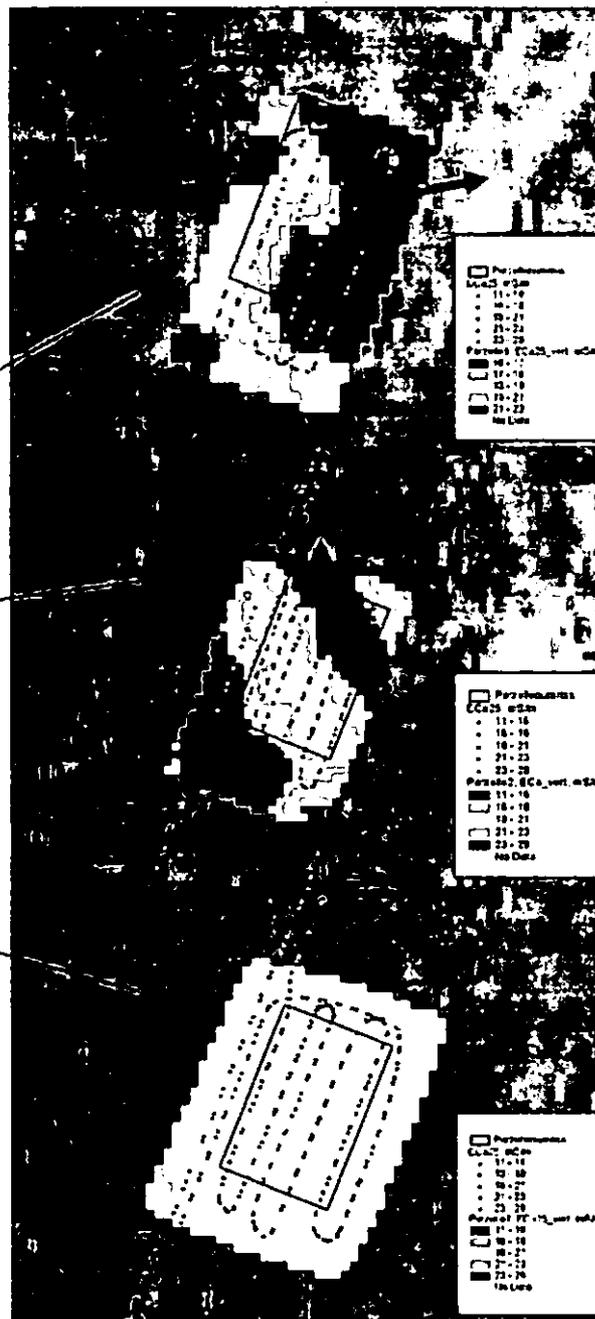


Abb.3: Parzellen unterschiedlicher Bodengüte und Heterogenität sowie Richtungen ihrer räumlichen Anpassung (→)

Die Autoren meinen einen Beitrag zur Methodenentwicklung im Landschaftsmonitoring erbracht zu haben. Das ZALF beteiligt sich mit diesem Ansatz, mit der Gebietskulisse und den Daten am Netzwerk LTER (Longterm Ecological Research) in Deutschland.

(Literatur und Quellenangaben bei den Autoren)

# Geophysikalische Verfahren (Refraktionsseismik & Elektrotomographie) zur Kennzeichnung von Struktur und Mächtigkeit quartärer Sedimente im Becken von Sabiñánigo-Biescas, Spanische Zentralpyrenäen

Florian Hirsch<sup>1</sup>, Carlos Martí-Bono<sup>2</sup> & Thomas Raab<sup>3</sup>

## Einleitung

Im Rahmen von Studien zur Kennzeichnung der post-LGM-zeitlichen Bodenentwicklungen in einer Typusregion der pleistozänen Vergletscherung der Zentralpyrenäen werden geophysikalische Methoden eingesetzt um die Mächtigkeit der quartären Bedeckungen zu erfassen und die Struktur der quartären Sedimente unterschiedlicher Genese zu beschreiben.

Das Untersuchungsgebiet Sabiñánigo-Biescas befindet sich in den Spanischen Zentralpyrenäen etwa 20 km östlich von Jaca (Abb. 1). Geophysikalische Messungen wurden u.a. an einem Glacis durchgeführt (Abb. 2)

## Methoden

Die 12-Kanal Refraktionsseismik wurde mit dem Seismograph SMARTSEIS<sup>TM</sup> der Firma GEOMETRICS durchgeführt. Der Abstand der Geophone mit einer Empfindlichkeit von 100 Hz lag bei vier Meter. Bei jeder Linie wurden sieben Schüsse mehrfach gestapelt, wobei jeweils zwei Schüsse vor und hinter der Auslage gemacht

<sup>1</sup>Professur für Geomorphologie und Bodenkunde, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Technische Universität München, D-85350 Freising

<sup>2</sup>Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Campus de Aula Dei, Apartado 202, 50080-Zaragoza, Spain

<sup>3</sup>Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, D-03046 Cottbus

hirsch-florian@web.de, raab@tu-cottbus.de

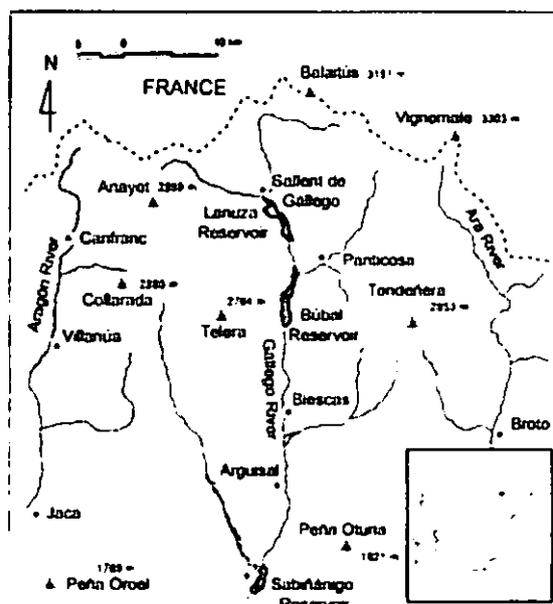


Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebiets; nach SERRANO, E. & CUCHÍ, J. A. (2005)

wurden. Die Schüsse erfolgten mit einem 7 kg schweren Vorschlaghammer, der auf eine Metallplatte geschlagen wurde. Zur Auswertung der Daten wurde die Software REFLEXW von SANDMEIER SCIENTIFIC SOFTWARE verwendet.

Die geoelektrische Widerstandsmessung erfolgte mit dem LGM LIPPMANN in Dipol-Dipol Anordnung. Der Elektrodenabstand der 50 Elektroden betrug 1,5 m. Zur Aufnahme wurde die Software GEOTEST von GEOPHYSICS verwendet. Die Auswertung erfolgte mit RES2DINV.

Die beiden Untersuchungsareale wurden tachymetrisch vermessen und aus den daraus resultierenden Daten wurden mit ARCMAP digitale Geländemodelle erstellt.

Zudem wurden 15 Profilgruben angelegt, die nach KA 5 aufgenommen und beprobt wurden.

## Ergebnisse

Die ersten Ergebnisse zeigen, dass mit beiden geophysikalischen Methoden die Schichtgrenze zwischen tertiärem und quartärem Material erfasst werden kann. Die Mächtigkeit der quartären Bedeckungen stimmt aber nicht überein.

Bei der Refraktionsseismik zeichnet der Schotter mit einer Geschwindigkeit von etwa 410 m/s, der darunter liegende Mergel mit 1280 m/s. Die Mächtigkeit des Schotters beträgt in der Refraktionsseismik etwa zwei Meter.

In der Elektrotomographie liegen die Werte des Mergels zwischen 40 und 100 Ohm\*m. Diese Werte

konnten durch Messungen nahe der Endmoräne, wo der Mergel nicht überdeckt war, bestätigt werden. Die Werte für den Schotter liegen zwischen 100 und 300 Ohm\*m, was dessen große Inhomogenitäten zeigt, die auch in der dortigen Profilgrube vorgefunden wurden.

Die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Methoden hinsichtlich der Mächtigkeiten der quartären Bedeckungen lassen mehrere Schlussfolgerungen zu. Möglicherweise sind Übergangsbereiche generell zu unscharf. Eine weitere Option stellen Bereiche dar, die nur in einer geophysikalischen Methode zeichnen und von der anderen nicht erfasst werden.

Außerdem besteht noch die Möglichkeit, dass die Auflösung bei den geophysikalischen Untersuchungen zu gering war, d. h. dass mit zu großen Messdistanzen gearbeitet wurde bzw. die Messgeräte nicht sensibel genug waren.

Die Überprüfung der Ergebnisse soll durch weitere Rammkernsondierungen im Rahmen eines Folgeprojektes erfolgen.

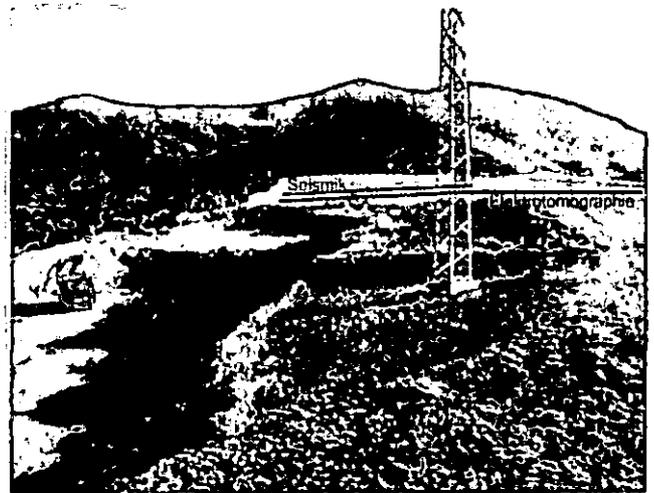


Abbildung 2: Blick auf das Glacis, die beiden geophysikalischen Linien sind eingezeichnet.

### Literatur

SERRANO, E. & CUCHÍ, J. A. (2005): Glacial landforms and evolution in the Pyrenees (the Gallego river valley, Central Pyrenees). – Field trip guide of the Sixth International Conference on Geomorphology.

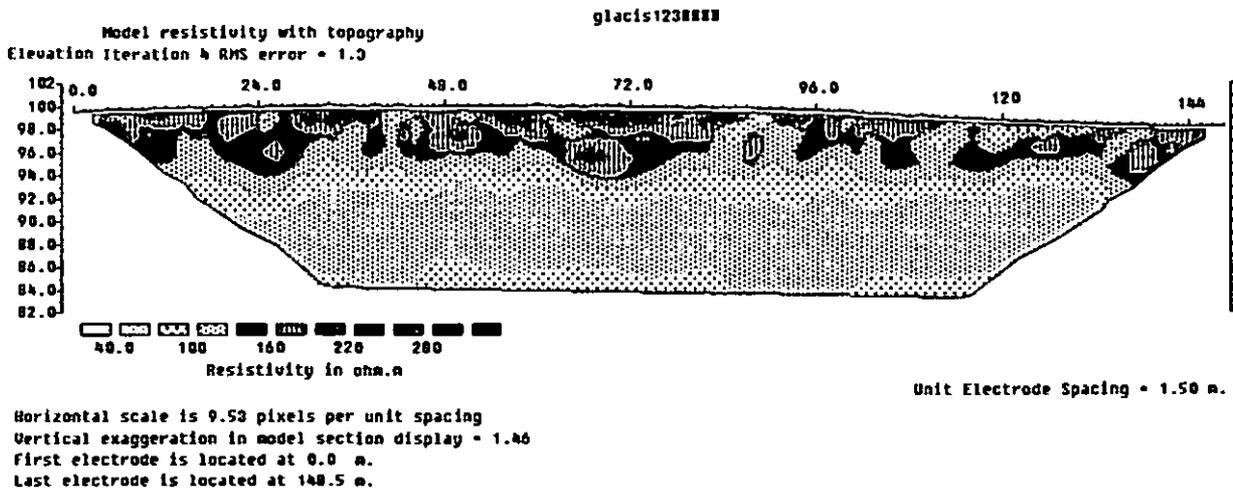


Abb 3 (oben): Tomogramm des Glacis.

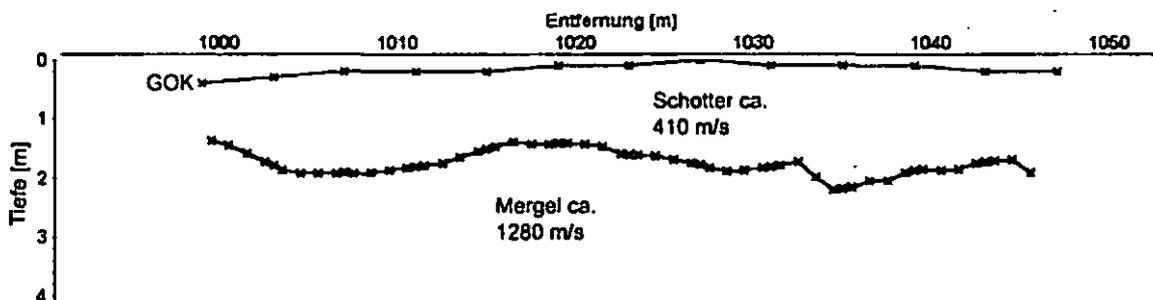


Abb 4 : Interpretation des Schichtaufbaus des Glacis auf Basis der Laufzeiten im Untergrund.

## Die Teilfunktion Böden als Pflanzenstandort auf urbanen Brachen für innovative Flächennutzungskonzepte

Silke Höke\*, Markus Rolf\*, Hubertus von Dressler\*,  
Friedrich Rück\*, Jürgen Schneider\*

### Einleitung

Dieser Beitrag stellt erste Ergebnisse zu dem REFINA-Projekt 'Funktionsbewertung urbaner Böden und planerische Umsetzung im Rahmen kommunaler Flächenschutzkonzeptionen' vor. Das Gesamtprojekt wird von Rück et al. und Schneider et al. in diesem Band vorgestellt.

Im Folgenden werden Kriterien zur Bewertung der Teilfunktion Standortpotenzial der Böden für Pflanzen zur Diskussion gestellt (s. Abb.1).

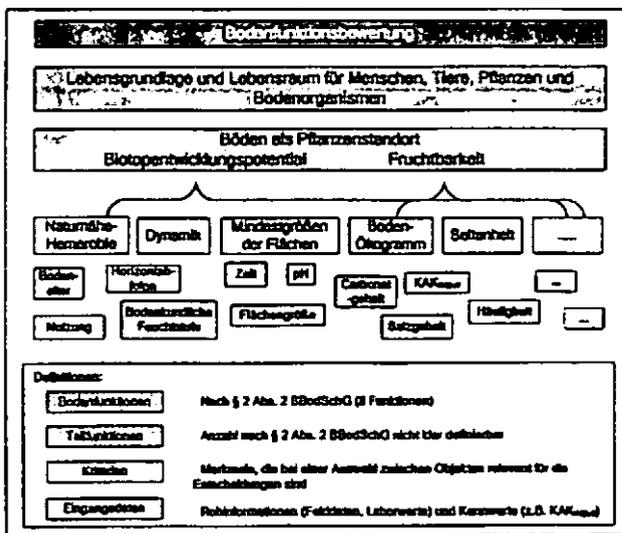


Abb.1: Ebenen der Bodenfunktionsbewertung am Beispiel Böden als Pflanzenstandort

### Gesellschaftlicher Werthintergrund

Zielvorstellungen für Vegetation im urbanen Raum sind:

- aus Sicht des Arten- und Biotopschutzes die Diversitätssicherung. Bewertet werden Gefährdungsgrad und Verantwortlichkeit für die Erhaltung von Arten und Lebensgemeinschaften. Dies erfordert den Erhalt von Lebensräumen mit seltenen oder vielfältigen Standortbedingungen, von unterschiedlich alten Lebensräumen und einen verstärkten Schutz ‚alter‘ ungestörter Lebensräume.
- aus Sicht sozi-ökonomischer Leistungen
  - ein geringer Pflegeaufwand.
  - Kostendämpfungen im Gesundheitsbereich durch den Klimaausgleichs- und Filtereffekt sowie in der Siedlungswasserwirtschaft durch geringere Kanalnetzkosten & seltenere Überschwemmungen
  - Ausweisungen geeigneter Flächen für Kleingärten, verbrauchernahen Erwerbsgartenbau oder zum Energiepflanzenanbau.
- aus Sicht der Stadt- und Freiraumplanung die Erhöhung der Wohn- und Lebensqualität zur Stärkung des Standortes Stadt.

### Erste Ergebnisse

Zur Bewertung der Böden als Pflanzenstandort wird für den Arten- und Biotopschutzes zumeist das sog. **Biotopentwicklungspotenzial** eingesetzt.

Darunter wird häufig eine Verschneidung der Bodenkundliche Feuchtestufe mit KAK<sub>eff</sub>We-Klassen und pH-Bereichen verstanden. Hinzu kommen die Sonderstandorte Salzböden, schwermetallbelastete Böden und Moore (s. NLF 2004). Diese Bewertungsmatrix wird im Folgenden als **Boden-Ökogramm** bezeichnet, der Begriff Biotopentwicklungspotenzial wird weiter gefasst und mit zusätzlichen Kriterien bewertet (s. Abb.1; s.u.). Als Voraussetzung für die Entwicklung schutzbedürftiger Biotope werden in vielen Bewertungsschlüsseln nasse, stark wechsellrockene, trockene und nährstoffarme Böden, teilweise auch stark saure oder basische, kalk-, schwermetall- oder salzhaltige Böden angesehen.

Für Bewertungen der Lebensraumfunktionen im urbanen Raum werden die Kriterien **Naturnähe - Hemerobie** meist synonym verwendet. Aufgeschüttete Böden werden i.d.R. generell in die schlechteste Bewertungsstufe gestellt (Ausnahme Berlin, max. mittlere Bewertungsstufe). Eine solche herangehensweise wird dem Biotopentwicklungspotenzial einiger technogener Böden nicht gerecht.

Zur Beurteilung der anthropogenen Überprägung und aktuellen Beeinflussung wird daher einem Ansatz von Kowarik (1999) gefolgt (s. Tab.2) und auf Böden übertragen (s. Tab.3). Ein Naturnähe-Hemerobie Bodendiagramm erlaubt die Erkennung der mit standortfremden Substraten aufgeschütteten Böden (eine Forderung der Kommunen). Erkennbar werden aber auch die für den Arten- und Biotopschutz wichtigen Standorte, die länger eine ungestörte oder nur schwach gestörte Bodenentwicklung durchlaufen haben.

Tab.2: Begriffe Naturnähe-Hemerobie (Kowarik 1999)

Naturnähe	Hemerobie
<b>Definition</b>	
Übereinstimmung mit einem historischen Zustand	Einschätzung erfolgt nach Wirkungen der anthropogenen Einflüsse, die der Entwicklung des Systems zu seinem Endzustand entgegenstehen. <b>Irreversible Veränderungen werden als Teil des Standortpotentials akzeptiert</b>
<b>Nullpunkt</b>	
historisch	aktualistisch
<b>Perspektive</b>	
ursprünglicher, unbeeinflusster Zustand (oft unklar)	durch weitgehende Selbstregulation geprägter Zustand auf Basis des heutigen Standortpotentials
<b>Naturschutzziele</b>	
Erhaltung von / Rückführung zu historischen Landschaftsausprägungen	prozessorientiert

\*FH-Osnabrück, Oldenburger Landstr. 24, 49090 Osnabrück, s.hoeke@fh-osnabrueck.de

\*Landesanstalt für Bergbau, Energie und Geologie, Stilleweg 2, 30655 Hannover

Hemerobie nimmt zu →

Tab.3: Naturnähe-Hemerobie Bodendiagramm		Weitgehend ungestörte Bodenentwicklung seit				
		> 150 a	50-150 a	15-50 a	5-15 a	0-5 a
Boden/Substrat-abfolge		Immissionen, Brand, Lawinen	Nährstoff-einträge....	Störungen z.B. Umgraben	Pestizide	Auftrag, Abtrag
		extensive Forste	Parkfläche	Nutzungen z.B. → zunehmend intensivere Landwirtschaft →		
		A	B	C	D	E
1	natürliche Böden	A1 (auch historisch nicht degradiert)	B1 (weitgehend natürlich)	C1 (schwach degradiert)	D1 (degradiert)	E1 (stark degradiert)
2	< 30 cm aufg./ gem./gekappte standorteigene Substrate	A2	B2	C2	D2	E2
3	> 30 cm gekappte gem./aufg./ standorteigene Substrate	A3	B3	C3	D3	E3
4	< 30 cm standortfremde Sub.	A4	B4	C4	D4	E4
5	> 30 bis < 100 cm standortfremde Substrate	A5	B5	C5	D5	E5
6	> 100 cm standortfremde Sub.	A6	B6	C6	D6	E6

Naturnähe nimmt ab ↓

Auch im Innenbereich sind dadurch Differenzierungen zur Lenkung der Flächennutzung möglich.

Eine Bewertung des Biotopentwicklungspotentials sollte das **Kriterien Seltenheit** (= Häufigkeit eines Objekttypes in einem Raum) beinhalten. Seltenheit begründet in Reinform keine Schutzbedürftigkeit, sondern bedarf einer Ergänzung durch Kriterien wie akute Gefährdung oder Naturnähe. Die Seltenheit erfordert statistische Klassifizierungen (Perzentile oder < 1% der Fläche des Bezugsraumes).

Bearbeitungsstand:

- o Bezugsraumabgrenzungen werden kontrovers diskutiert (Naturraum versus Verwaltungsraum)!
- o Übersicht über Standortpotential der Böden für seltene Pflanzengesellschaften fehlt in der Stadt noch ganz.

Neu zur Bewertung des Biotopentwicklungspotentials hinzu kommen noch das **Kriterium Mindestgrößen der Flächen** und das **Kriterium Dynamik**.

Die Tab.1 zeigt die Mindestgrößen schützenswerter Biotope in Niedersachsen. Aufgrund anzunehmender Randeffekte sollten die Mindestgrößen der Bodeneinheiten höher angesetzt werden.

Das **Kriterium Dynamik** sollte entwickelt werden, da die urbanen Böden mit Standortpotenzialen für seltene Pflanzen zumeist sehr jung sind. Die Bodenentwicklung läuft zu Beginn sehr schnell ab und kommt mit zunehmender Zeit mehr und mehr ins Gleichgewicht mit der Umwelt. Dadurch verlangsamten sich die pedogenetischen Prozesse. Schnell ablaufende Prozesse in jungen Böden sind z.B. Humusakkumulation, Gefügebildungen und Redoxprozesse. Im Hinblick auf eine Nutzung von C-Brachen (langfristig nicht vermarktbar) für den

Naturschutz muss eine Unterteilung erfolgen, die Auskunft über die wahrscheinliche Dauer des Standortpotentials des Boden für seltene Pflanzengesellschaften gibt (z.B. kurzzeitig < 15a, mittelfristig 15-50a, dauerhaft > 50a). Hier besteht z. Z. noch ein Wissensdefizit, um z.B. die Beständigkeit der sehr funktionsrelevanten oberflächennahen Stauhazone einschätzen zu können.

Tab.1: Mindestgrößen von Biotopen nach §28a und 28b in Niedersachsen (nach von Drachenfels 2004)

Biotoptyp	Mindestgröße [m²]	Mindestbreite [m]
Wälder	200	
Gebüsch und Gehölzbestände	100	4-5
Meer und Meeresküsten	50-200	4-5
Binnengewässer	10	20 (Länge)
Gehölzfreie Biotope der Sümpfe, Niedermoore & Ufer	50	4-5
Hoch- und Übergangsmoore	20	4-5
Fels-, Gesteins- und Offenbiotope	100	1,5 (Höhe)
Heiden- und Magerrasen	(50) 100	4-5
Grünland	(100) 200	5
Kartierung im Innenbereich		
Ruderalfluren	500-1000	

**Literatur**

- Kowarik, I. (1999): Natürlichkeit, Naturnähe und Hemerobie als Bewertungskriterien. Konold, W. et al. (Hrsg.): Handbuch für Naturschutz und Landschaftspflege. Ecomed. NLFb (2004): Arbeitshefte Boden, Auswertungsmethoden im Bodenschutz, H. 2004/2.  
 Von Drachenfels, O. (2004): Kartierschlüssel für Biotop-typen in Niedersachsen. Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen, A/4. Hrsg. NLO).

**Danksagung**

Wir danken dem BMBF für die finanzielle Unterstützung.

## Kopplung dynamischer Modelle für die Bodenschutzkalkung im Wald

M. Jansen\*, C. Döring\*, B. Ahrends\*, H. Meesenburg\*\* K. J. Meiwes\*\* & F. Beese\*

\*Institut f. Bodenkunde und Waldernährung, Universität Göttingen,  
\*\* Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen

### 1 Einleitung

Die Waldböden in Mitteleuropa sind vielfach infolge der menschlichen Nutzung und den atmosphärischen Säureeinträgen an austauschbaren basischen Kationen verarmt. So wiesen bereits 37% aller von Eberl (1998) ausgewerteten Harzprofile eine Basensättigung von weniger als 5% auf. Durch Maßnahmen zur Luftreinhaltung sind die Säureeinträge in den letzten Jahren stark zurückgegangen (Fowler et al. 2007). Gleichzeitig sind jedoch auch die Depositionen von K, Mg und Ca gesunken, so dass die Basensättigung weiter absinken kann. Hinzu kommt die steigende Nachfrage nach Energieholz, die zusätzliche Ansprüche an den Nährstoffhaushalt der Wälder stellt. Die Vielzahl der Einflussfaktoren auf den chemischen Bodenzustand erfordert einen integrativen Ansatz zur räumlichen Optimierung der Bodenschutzkalkung im Wald.

### 2 Material und Methoden

#### 2.1 Untersuchungsgebiet

Als Testgebiete für die Modellanwendung wurden Teileinzugsgebiete der Großen Bramke im Westharz ausgewählt. Dort stehen basenarme Gesteinssichten, vor allem Quarzite, Grauwacken und Tonschiefer des Unterdevons an. Als Bodentypen herrschen Vergesellschaftungen von Podsolen und Braunerden vor, die sehr stark versauert sind. Bestockt sind sie vorwiegend mit Fichtenbeständen unterschiedlichen Alters.

#### 2.2 Geodatenbasis

In die Geodatenbasis wurden nur flächendeckend verfügbare digitale Daten integriert:

- Depositionskarten (Gauger et al. 2002)
- BÜK 1:50.000
- Geologische Karte 1:25.000
- Forsteinrichtungsdaten (1997, 2003) 1:10.000

Die zeitliche Entwicklung der Bestandesparameter wurde mit Hilfe von Ertragstafeln nach Schober (1995) rekonstruiert.

### 3 Modellierungsansatz für die Kalkungsplanung

Als dynamische Erweiterung eines einfachen Massenbilanzansatzes sind Teilmodelle des Stoffhaushalts so mit einander gekoppelt worden, dass die Basensättigung bilanziert und darauf aufbauend Kalkungsempfehlungen gegeben werden können (vgl. Abb. 1). Die Quantifizierung der atmosphärischen Stoffeinträge erfolgt durch die Kopplung dynamischer Bestandesdaten mit dem Modell MAKEDEP (Alveteg et al.

1998) und dem Disaggregierungsansatz DEPOSILVA (Ahrends et al. 2007) für die digitalen Depositionskarten des Umweltbundesamtes (Gauger et al. 2002). Der Entzug basischer Kationen mit der Holzernte wird als Funktion der Wachstumsraten und der Elementgehalte in den unterschiedlichen Baumkompartimenten nach Jacobsen et al. (2003) berücksichtigt.

Die Freisetzung basischer Kationen durch die Silikatverwitterung wird mit dem biogeochemischen Modell CL-PROFILE (Becker 1999) quantifiziert. Die sensitiven Parameter des Modells sind die Verwitterungsoberfläche (abgeleitet aus Leitprofilen) und die mineralogische Zusammensetzung.

Einträge basischer Kationen durch Kalkungen werden über ein Kalkungskataster berücksichtigt. Die im Verlauf des Lösungsprozesses freigesetzte Kalkmenge wird standortsunabhängig durch eine Exponentialfunktion beschrieben. Die im Verlauf des Lösungsprozesses freigesetzte Kalkmenge, wird auf jährlicher Basis als Eintrag zu den Depositionseinträgen der basischen Kationen Calcium und Magnesium addiert und anschließend an das bodenchemische Modell VSD (Very Simple Dynamic; Posch et al. 2003) übergeben. Dieses Modell berechnet dann die Basensättigung auf jährlicher Basis.

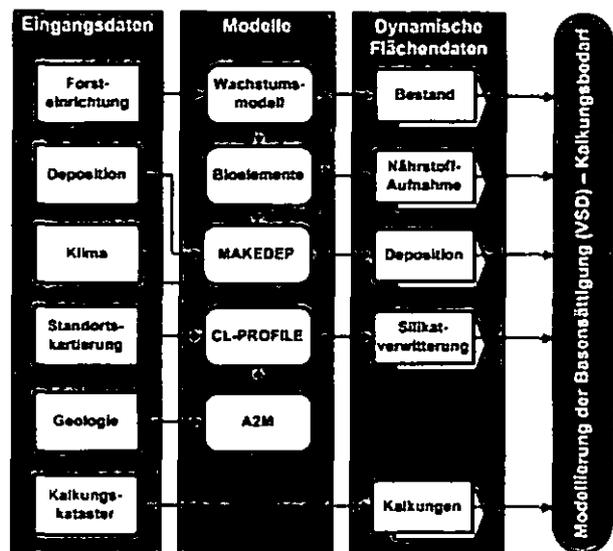


Abb. 1.: Der Modellierungsansatz zur Kalkungsplanung

### 4 Ergebnisse

Die Abb. 2 zeigt die Basensättigung im Wurzelraum für ein Versauerungsszenario. Als Anfangswert der Simulation im Jahr 1950 wurde eine mittlere Basensättigung von etwa 23 Prozent für den Wurzelraum angenommen. 1970 zeigt sich, dass die Basensättigung in zahlreichen Regionen des Testgebiets schon unter 15% abgesunken ist. Von 1970 bis 1990 erfolgt ein weiterer Rückgang der Basensättigung, die im Jahre 2010 flächenhaft auf unter 5% abgesunken ist. Bei der Interpretation der dargestellten Ergebnisse ist zu beachten, dass bei den Berechnungen die in der Vergangenheit durchgeführten Kalkungen noch nicht

berücksichtigt werden konnten, da die Entwicklung des Kalkungskatasters noch nicht abgeschlossen ist. Somit hat die hier dargestellte zeitliche Entwicklung nur für das ungekalkte Einzugsgebiet der Langen Bramke Gültigkeit. Der zeitliche Verlauf der modellierten Basensättigung stimmt mit den für die Lange Bramke vorliegenden Messungen gut überein (Abb. 3).

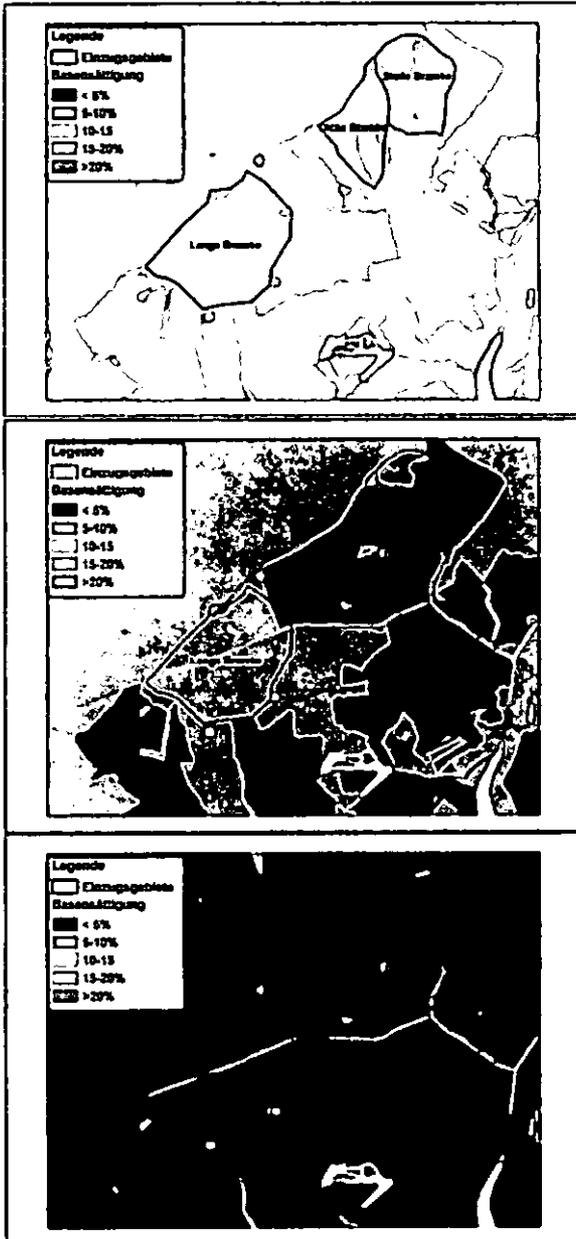


Abb. 2: Modellierte zeitliche Veränderung der Basensättigung (Oben: 1970, Mitte: 1990, Unten: 2010).

Der Verlauf der Basensättigung zeigt für ungekalkte Standorte eine plausible zeitliche Entwicklung im Vergleich mit den gemessenen Werten der Level II-Fläche (Abb. 3). Die insgesamt geringe räumliche Differenzierung der modellierten Ergebnisse resultiert aus den verwendeten Geodaten. Daher sollen in Zukunft die verwendeten Leitprofile der BÜK 50 durch Profile ersetzt werden, die aus der forstlichen Standortskartierung stammen.

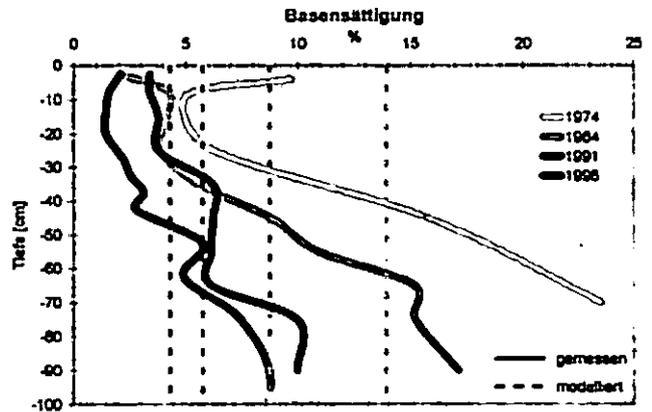


Abb. 3: Vergleich modellierte und gemessene zeitliche Entwicklung der Basensättigung in der Langen Bramke (ungekalkte Level II-Fläche).

### 5 Schlussfolgerung

Die Modellrechnungen zeigen, dass der vorgestellte Modellierungsansatz grundsätzlich geeignet ist, die Basensättigung flächenhaft zu modellieren und somit die Kalkungsplanung besser an Standorte und ihre konkrete forstliche Nutzung anzupassen und räumlich zu optimieren. Allerdings werden weitere Validierungsarbeiten notwendig sein, um den Ansatz für flächenhafte Anwendungen einzusetzen.

### 6 Literatur

Ahrends, B, C. Döring, M. Jansen, H. Meesenburg & F. Beese (2007): Kopplung dynamischer Modelle für die flächenhafte Abschätzung der Stoffdeposition im Wald. Mitt. DBG, dieses Heft.

Alveteg, M., C. Walse & P. Warfvinge (1998): Reconstructing historic atmospheric deposition and nutrient uptake from present day values using MAKEDP. Water, Air, and Soil Pollution, 104, 269-283.

Becker, R. (1999): Critical Load-Profil 4.2. Dokumentation (Deutsche Version). Modell und Handbuch 48 S.

Eberl, C. (1998): Quantifizierung und Bewertung von Merkmalen forstlicher Standortstypen durch ökochemische Parameter im Westharz. Ber. des Forschungsz. Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 151, 1-156.

Fowler, D., R. Smith, J. Muller, J. N. Cape, M. Sutton, J. W. Erisman & H. Fagerli (2007): Long term trends in sulphur and nitrogen deposition in Europe and the cause of non-linearities. Water, Air and Soil Pollution: Focus, 7, 41-47.

Gauger, T., F. Anshelm, H. Schuster, G. P. J. Draaijers, A. Bleeker, J. W. Erisman, A. T. Vermeulen & H.-D. Nagel (2002): Kartierung ökosystembezogener Langzeittrends atmosphärischer Stoffeinträge und Luftschadstoffkonzentrationen in Deutschland und deren Vergleich mit Critical Loads und Critical Levels. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA, FE-Nr. 299 42 210., Stuttgart. 207 S.

Jacobsen, C., P. Rademacher, H. Meesenburg & K. J. Meiwes (2003): Gehalte chemischer Elemente in Baumkompartimenten - Literaturstudie und Datensammlung. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B. 81 S.

Posch, M., J.-P. Hettelingh & J. Slootweg (2003): Manual for Dynamic Modelling of Soil Response to Atmospheric Deposition. RIVM Report 259101012, Bilthoven, The Netherlands. 69 S.

Schober, R. (1995): Ertragstabeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. 4. Aufl. Sauerländer. Frankfurt am Main. 166 S.

Die Autoren danken dem Niedersächsischen Umweltministerium für die finanzielle Förderung des Projektes.

## **P-Austrag aus einem landwirtschaftlich genutzten Tieflandeinzugsgebiet in Mecklenburg-Vorpommern**

Petra Kahle<sup>1</sup>, Bärbel Tiemeyer, Bettina Eichler-Löbermann & Bernd Lennartz

### **Zusammenfassung**

Ausgehend von einem Defizit an aktuellen Untersuchungen auf der Feld- und Einzugsgebietsskala wurden die Dynamik und das Ausmaß des  $P_i$ - und  $PO_4$ -P-Austrages in einem durch Dränung dominierten Tieflandeinzugsgebiet Mecklenburg-Vorpommerns über drei Jahre geprüft. Mit 0,05 bis 0,17 mg l<sup>-1</sup>  $P_i$  bzw. 0,03 bis 0,12 mg l<sup>-1</sup>  $PO_4$ -P (90. Perzentil) ergeben sich im Dränwasser, Grabenwasser Ackerland und Bach insgesamt geringe Konzentrationen. Signifikant höhere  $P_i$ - (0,20-0,62 mg l<sup>-1</sup>) bzw.  $PO_4$ -P-Werte (0,09 bis 0,20 mg l<sup>-1</sup>) weist das Grabenwasser Grünland auf (90. Perzentil). Die ausgetragenen P-Frachten im Größenbereich < 1 kg ha<sup>-1</sup> variieren in Abhängigkeit von Niederschlags- und Abflussmengen sowie deren -verteilungen und unterstreichen das Gefährdungspotenzial degradierter Niedermoorstandorte für die Güte angrenzender Fließgewässer.

### **1. Einleitung und Zielstellung**

In die Oberflächengewässer Deutschlands wurden im Zeitraum 1998-2000 jährlich ca. 33 kt Phosphor (P) aus punktförmigen und diffusen Quellen eingetragen (Behrendt et al., 2003). Obgleich sich die P-Immission gegenüber dem Vergleichszeitraum 1983-1987 um 59 kt a<sup>-1</sup> (64 %) verringerte, hat sich das Schwergewicht der Nährstoffeinträge weiter in Richtung diffuser Quellen verschoben. Mit 27 % erweist sich die Erosion als wichtigster diffuser P-Eintragspfad (UBA, 2005). Studien zur Rolle des Oberflächenabflusses in landwirtschaftlich genutzten Böden aus anderen geographischen Regionen (Sharpley et al., 1999) bestätigen dieses Ergebnis. Zur Dränung als Pfad des P-Transportes liegen vergleichsweise wenige und zudem kontrovers diskutierte Angaben vor (Dils & Heathwaite, 1999).

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, Dynamik und Ausmaß des P-Austrages über verschiedene Maßstabsebenen in einem stark dränierten Tieflandeinzugsgebiet in Mecklenburg-Vorpommern zu prüfen und damit zur Identifizierung der primären P-Transportwege auf der Einzugsgebietsskala von Tieflandeinzugsgebieten beizutragen.

### **2. Standortbedingungen und Untersuchungsprogramm**

Der Versuchsstandort Dummerstorf befindet sich im agrarisch geprägten Einzugsgebiet der Zarnow (76 % landwirtschaftliche Nutzung) mit pleistozänen und holozänen Substraten als Basis für die Bodenentwicklung. Ackernutzung erfolgt ausschließlich auf mineralischen Böden, die zumeist eine ausreichende P-Versorgung (Gehaltsklasse C nach LUFA Rostock) und ausgewogene P-Bilanzen aufweisen. Die organischen Böden werden als Grünland und Forst genutzt. Im gesamten Untersuchungsgebiet kommen Rohrdränung und Grabenentwässerung weit verbreitet vor. Die klimatischen Bedingungen sind charakterisiert durch Jahresdurchschnittstemperaturen von 8,2° C, mittlere Jahresniederschlagsmengen von 665 mm und eine Gras-Referenzverdunstung nach Turc-Wendling von 561 mm.

Das Untersuchungsprogramm umfasst die Messstationen Dränfläche (4,2 ha), Graben Ackerland (179 ha), Graben Grünland (85 ha) und Bach Zarnow (15,5 km<sup>2</sup>). Über die hydrologischen Winterhalbjahre 2003/04 bis 2005/06 wurden die Durchflüsse und Niederschläge zeitlich hoch aufgelöst erfasst und Wasserproben mittels automatischer Probenehmer (ISCO-Sampler) entnommen. Kriterien der Laboruntersuchung waren die Konzentrationen an Gesamt-P ( $P_i$ ; ICP-OES, Jobin Yvon, JY 238 ultrace) und Orthophosphat-P ( $PO_4$ -P; Fließinjektionsanalyse, Tecator FIAstar 5010 Colorimeter). Insgesamt wurden mehr als 1000 Wasserproben analysiert.

### **3. Ergebnisse**

In den Maßstabsebenen Dränfläche, Graben Ackerland und Bach liegen mit 0,05 bis 0,17 mg l<sup>-1</sup>  $P_i$  bzw. 0,03 bis 0,12 mg l<sup>-1</sup>  $PO_4$ -P insgesamt geringe Konzentrationen (90. Perzentil) vor (Abb. 1).

Die Maxima von 0,33 mg l<sup>-1</sup>  $P_i$  bzw. 0,29 mg l<sup>-1</sup>  $PO_4$ -P übertreffen den Zielwert der LAWA-Klassifikation (1998) ( $\leq 0,15$  mg l<sup>-1</sup>  $P_i$  bzw.  $\leq 0,1$  mg l<sup>-1</sup>  $PO_4$ -P) und markieren kurzzeitig erhöhte Belastungen. Über den gesamten Prüfzeitraum weist der Graben Grünland die vergleichsweise höchsten P-Konzentrationen (maximal 0,62 mg l<sup>-1</sup>  $P_i$  bzw. 0,45 mg l<sup>-1</sup>  $PO_4$ -P) auf.

Erste Abflussereignisse im Herbst und durch Schneeschmelze verursachte Abflussspitzen im Winter sind verbreitet mit erhöhten  $P_i$ -Konzentrationen (Abb. 2) und folglich erhöhten P-Austrägen verknüpft. Mit den winterlichen Hauptabflussereignissen wurden aus den von Mineralböden dominierten Maßstabsebenen Dränfläche und Graben Ackerland 54 bis 87 % der jeweiligen  $P_i$ - bzw. 54 bis 69 % der  $PO_4$ -P-Gesamtfracht ausgetragen. In den Maßstabsebenen Bach und Graben Grünland mit verbreitet organogenen Böden zeigte sich dieser Effekt weniger deutlich.

<sup>1</sup>Institut für Landnutzung, Universität Rostock, Justus-von-Liebig-Weg 6, 18051 Rostock  
E-mail: petra.kahle@uni-rostock.de

Hier wurden zwischen 6 bis 66 % der jeweiligen  $P_T$ - bzw. 40 bis 58 % der  $PO_4$ -P-Gesamtfracht mit dem Hauptabflussereignis ausgetragen. Insbesondere die im Graben des Grünlandes zu Beginn der hydrologischen Winterhalbjahre zu beobachtenden erhöhten  $P_T$ -Konzentrationen deuten auf die Möglichkeit zur Mineralisierung organischer P-Verbindungen unter aeroben bzw. zur P-Rücklösung aus dem Torf und/oder dem Grabensediment unter anaeroben Bedingungen hin.

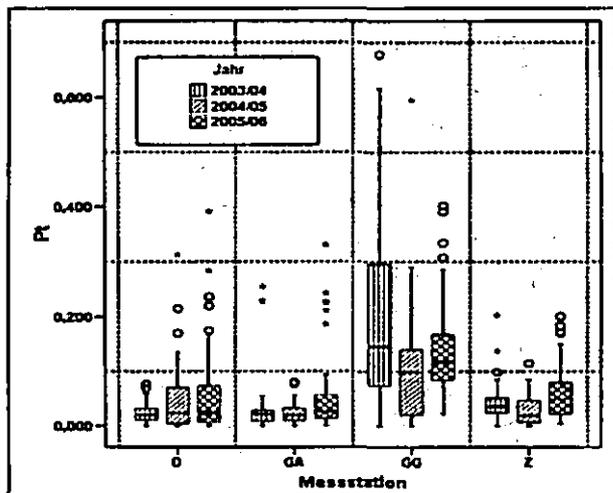


Abb. 1:  $P_T$ -Konzentration [ $mg\ l^{-1}$ ] in Wässern der Messstationen Dränfläche (D), Graben Ackerland (GA), Graben Grünland (GG) und Bach Zarnow (Z) während verschiedener Abflussperioden

Im Untersuchungszeitraum 2003/04 bis 2005/06 wurden in den geprüften Maßstabebenen  $P_T$ - bzw.  $PO_4$ -P-Frachten  $< 1\ kg\ ha^{-1}$  festgestellt. Ungeachtet der Variabilität der P-Frachten über die Zeit, lieferte die abflussreiche Periode 2005/06 überproportional hohe  $P_T$ - und  $PO_4$ -P-Mengen in allen Maßstabsbereichen. Diese Aussage zur Höhe der transportierten P-Fracht und zu deren Abhängigkeit vom Abfluss bestätigt aktuelle Befunde aus anderen intensiv genutzten Gebieten (Gentry et al., 2007).

#### 4. Schlussfolgerungen

Bei gedränten Mineralböden treten erhöhte  $P_T$ -Konzentrationen verbreitet beim ersten Abflussereignis im Herbst und bei durch Schneeschmelze verursachten Abflussspitzen im Winter auf. Diese Effekte sprechen für den schnellen vertikalen Transport der ansonsten weniger mobilen P-Verbindungen in mit Bioporen durchsetzten Böden und lassen darauf schließen, dass Felddräne bei bestimmten Kombinationen von Management, Bodeneigenschaften und Hydrologie als effektive Leitbahnen für den P-Austrag aus landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten fungieren können. Die vergleichsweise höchste Gefahr für die Wasserqualität angrenzender Fließgewässer geht von den intensiv genutzten degradierten Niedermoorstandorten aus. Dieser Aspekt ist bei der Ableitung von Bewirtschaf-

tungs- und Maßnahmeplänen zur Verbesserung der Fließgewässerqualität zu berücksichtigen.

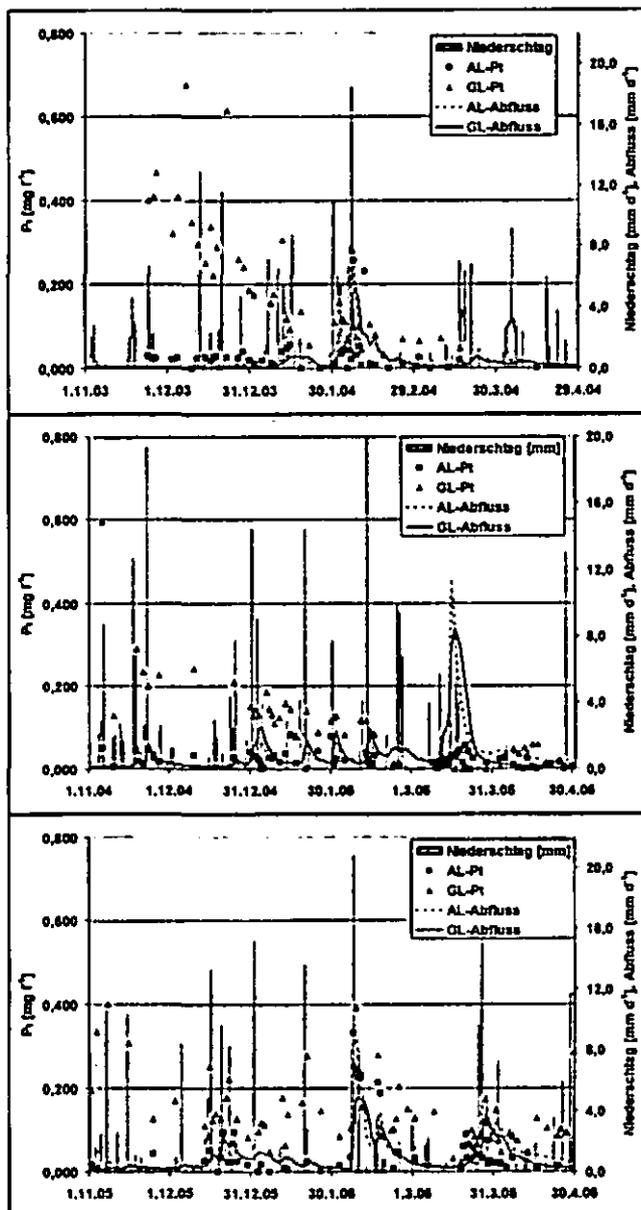


Abb. 2: Niederschlag, Abflüsse und  $P_T$ -Konzentrationen von Grabenwässern des Ackerlandes und des Grünlandes in den hydrologischen Winterhalbjahren 2003/04 bis 2005/06

#### Literatur

BEHRENDT, H.; BACH, M., KUNKEL, R.; OPITZ, D.; PAGENKOPF, W.-G.; SCHOLZ, G.; WENDLAND, F. 2003: Internationale Harmonisierung der Quantifizierung von Nährstoffeinträgen aus diffusen und punktuellen Quellen in die Oberflächengewässer Deutschlands. UBA-Texte 82, Berlin.

DILS, R.M.; HEATHWAITE, A.L. 1999: The controversial role of tile drainage in phosphorus export from agricultural land. *Wat. Sci. and Technology* 39, 55-61.

GENTRY, L.E.; DAVID, M.B.; ROYER, T.V.; MITCHELL, C.A.; STARKS, K.M. 2007: Phosphorus transport pathways to streams in tile-drained agricultural watersheds. *J. ENVIRON. QUAL.* 36: 408-415.

LAWA (1998): Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland - Chemische Gewässergüteklassifikation. (Hrsg.): Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.

SHARPLEY, A.N.; GBUREK, W.J.; FOLMER, G.; PIONKE, H.B. 1999: Sources of phosphorus exported from an agricultural watershed in Pennsylvania. *Agric. Water Manage.* 41: 77-89.

UBA (UMWELTBUNDESAMT) 2005: Daten zur Umwelt. Erich Schmidt Verlag, 352 S.

# Systematische Horizontabgrenzungskriterien auf der Basis von Mindestparameterdatensätzen

M. Kastler<sup>1</sup>, K.-J. Hartmann<sup>2</sup>, R. Jahn<sup>3</sup>

## Einleitung

Die Analyse von 9040 Profildatensätzen zeigte, dass die Aussagekraft der Horizontsymbole bezüglich der hinterlegten Daten gering ist.

Umgekehrt lassen die Datensätze nicht eindeutig auf die zugehörigen Horizonte schließen.

Gründe sind die mangelhafte Objektivität der Feldansprache und die Ableitung von Horizontbezeichnungen nach der gültigen bodenkundlichen Nomenklatur, die hauptsächlich die Genese und nicht die Parameterausprägung widerspiegeln.

Dagegen werden für die Horizontbezeichnung wichtige (pedogenetische) Informationen in den Profilbeschreibungen nicht benannt (Albrecht et al. 2005).

## Material und Methoden

Der hier vorgestellte Ansatz zur Erarbeitung von Horizontabgrenzungskriterien geht ausschließlich von in Datenbanken enthaltenen metrischen und nominalen Messwerten aus (Tab. 1).

Die Parameterauswahl orientiert sich dabei an einem von Albrecht et al. 2005 vorgeschlagenen Mindestparameterdatensatz.

Tab. 1: Parameterdatensatz

metrische Variablen	nominale Variablen
HorNr [i] (i = 1...18)	Geogenese (33 Faktorstufen)
Utief [dm]	Petrographie (116 Faktorst.)
Humus [%]	Bodenregion (8 Faktorst.)
CaCO <sub>3</sub> [%]	
Sand [%]	
Schluff [%]	
Ton [%]	
Skelett [%]	
Hue [°] auf Farbkreis	
Value (V ∈ Q, V > 0)	
Chroma (C ∈ Q, C > 0)	

Es wurden 25935 Horizontdatensätze aus 8239 in der Bodendatenbank SABO\_P des Lades Sachsen-Anhalt vorgehaltenen Bodenprofilen analysiert.

<sup>1</sup>Ingenieurbüro boden|umwelt, Goethestr. 16, D-06114 Halle, michael.kastler@boden-umwelt.de

<sup>2</sup>LAGB Sachsen-Anhalt, Köthener Str. 34, 06118 Halle, joerg.hartmann@lagb.mw.lsa-net.de

<sup>3</sup>Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, - Bodenkunde und Bodenschutz, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Weidenplan 14, D-06108 Halle, reinhold.jahn@landw.uni-halle.de

Es wurden die Horizontdaten ohne Rücksicht auf Zugehörigkeit des Horizonts zu oder dessen Position innerhalb eines Bodenprofils analysiert. Die Werte der in unterschiedlichen Einheiten (i, dm, %, °) erfassten metrischen Parameter wurden vor der Auswertung z-transformiert. Um eine erste Übersicht über die Wirkung einzelner Variablen zu erhalten, wurden varianzanalytische Verfahren angewandt. Zur Minimierung der Zahl nominal skaliertes Parameter, wurde eine Kontingenzanalyse mit der Fragestellung „Besteht ein gleichgerichteter Zusammenhang zwischen Geogenese, Petrographie und Bodenregion?“ durchgeführt. Eine Kovarianzanalyse (X<sup>2</sup>-Test) erfolgte mit dem Ziel, Korrelationen und Kovariationen zwischen den Variablen zu erkennen. Unterschiede zwischen gebildeten Gruppen wurden mittels Diskriminanzanalyse verifiziert.

Abschließend sollten Clusteranalysen Beziehungszusammenhänge zwischen den Variablen aufzudecken.

## Ergebnisse und Diskussion

Im ersten Schritt galt, es die Zahl der nominalen Variablen zu reduzieren um möglichst auf einheitlichem (metrischen) Skalenniveau arbeiten zu können.

Dazu wurde überprüft ob auf der Grundlage der vorliegenden Datensätze ein, empirisch zu erwartender, Zusammenhang zwischen Geogenese/Petrographie und Bodenregion besteht. Mittels Kontingenzanalyse konnte diese Frage positiv beantwortet werden. Die Bodenregion ist daher als Parameter geeignet, Geogenese und Petrographie zu beschreiben und kann diese im statistischen Prozess ersetzen. Zudem wurde mittels ANOVA untersucht, ob sich die Mittelwerte der Skelettgehalte in den einzelnen Geogenesen unterscheiden. Die globale Nullhypothese konnte mit hoher statistischer Signifikanz abgelehnt werden, d.h. es bestehen zwischen mindestens zwei der 33 Faktorstufen signifikante Unterschiede<sup>1</sup>. Der Skelettgehalt könnte demnach als metrisches Bindeglied zu den nominal erfassten Faktoren Geogenese und Petrographie dienen.

Nachdem mittels Diskriminanzanalyse die Bodenregion als zur Unterscheidung von Gruppen geeignete Variable gefunden wurde, waren alle nominalen Variablen eliminiert. Die weiteren statistischen Verfahren erfolgten nun an den nach Bodenregion gruppierten Horizontdatensätzen.

Um den Einfluss der einzelnen Variablen innerhalb einer Gruppe auf die Eigenschaften dieser festzustellen und zu quantifizieren, wurden die Kovarianzen und Korrelationen zwischen den Variablen berechnet und in Kovarianz- sowie Korrelationsmatrizen (s. Abb. 1 und 2) dargestellt.

Danach sind in Abb. 1 Sand- und Skelettgehalt deutlich positiv miteinander korreliert, während dies in Abb. 2 für Ton- und Schluffgehalt zutrifft. Offensichtlich wirken in verschiedenen Bodenregion-

<sup>1</sup>Die Überprüfung der Unterschiede im paarweisen Vergleich wird von den Autoren als sehr wichtig angesehen, steht aber noch aus und wird im Zuge weiterer qualitativer Überprüfungen der hier vorgestellten Ergebnisse durchgeführt.

en verschiedene Faktorenkombinationen auf die Eigenschaften der betrachteten Gruppe.

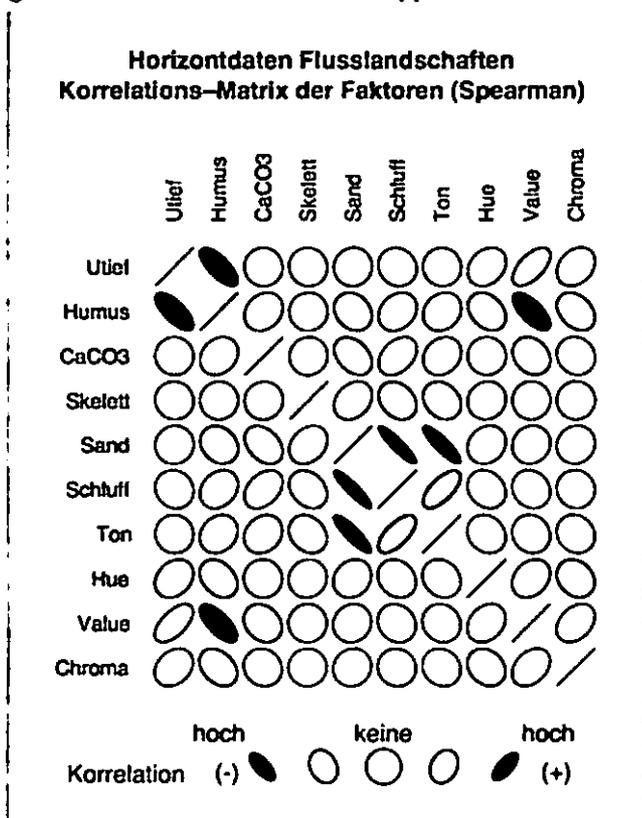


Abb. 1: Korrelationsmatrix für die Faktorenkombinationen in der Bodenregion der Flusslandschaften

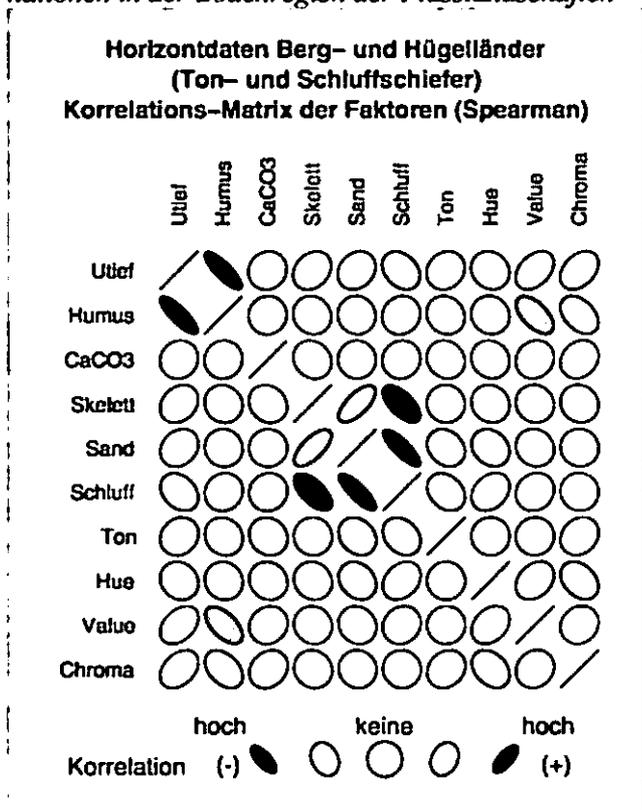


Abb. 2: Korrelationsmatrix für die Faktorenkombinationen in der Bodenregion der Berg- und Hügelländer (Ton- und Schluffschiefer)

Dies trifft vor allem auf die geogenetisch und petrografisch bestimmten Parameter zu, denn profilabhängige (pedogenetische) Faktorenkombinationen

wie Utief-Humus, Bodenfarbe-Humus zeigen in den verschiedenen Bodenregionen gleichgerichtete Effekte.

Diese Beobachtung konnte mittels Clusteranalysen positiv validiert werden (Abb. 3 und 4).

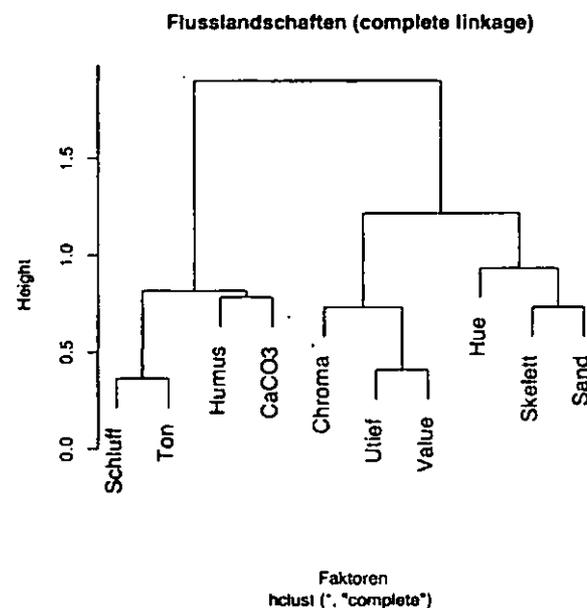


Abb. 3: Clusterbaum für die Faktorenkombinationen in der Bodenregion der Flusslandschaften

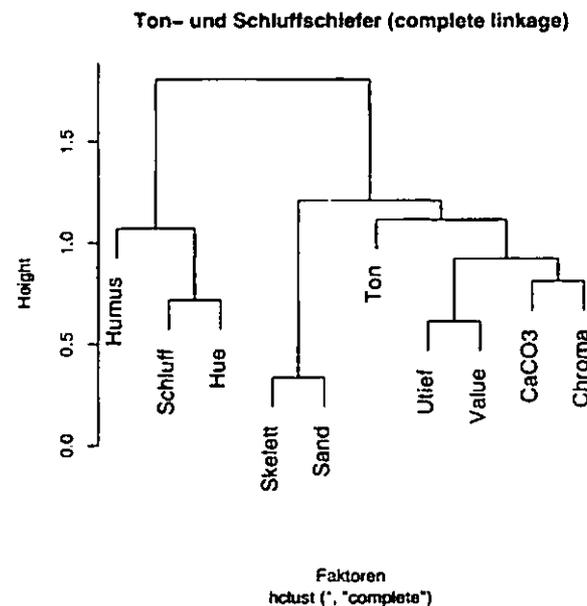


Abb. 4: Clusterbaum für die Faktorenkombinationen in der Bodenregion der Berg- und Hügelländer (Ton- und Schluffschiefer)

### Zusammenfassung

Die gewählten Parameter weisen geeignete Un-/Ähnlichkeitsmerkmale für die Gruppenbildung auf. Die Bodenregion ist der ordnende Faktor. Sie bestimmt die Wirkungshierarchie der Einzelfaktoren sowie deren kombinatorischen Effekt.

### Literatur

Albrecht, Ch. & Jahn, R. (2005). Inhaltliche Qualitätssicherung der Bodenprofilatenbank SABO. P. Studie im Auftrag des LAGB Sachsen-Anhalt, Halle (S.). Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. unveröff.

# Flächennutzungsentwicklung einer Stadt unter besonderer Berücksichtigung der Bodenressourcen und sozioökonomischen Einflüsse

C. Kemerdere\*, W. Burghardt

## Einleitung

Die Flächennutzungsentwicklung ist an mehreren Komponenten gebunden. In dieser Untersuchung soll die Schnittstelle der Flächennutzungsentwicklung, Bodenressource und Sozioökonomie im Duisburger Süden seit dem zweiten Weltkrieg bis heute analysiert werden. Dabei sollen Parallelen der drei Aspekte für das Untersuchungsgebiet mit einer Größe von 47 140 km<sup>2</sup> herausgestellt werden.

## Material und Methoden

Die Aspekte wurden erst alleine für sich darauf folgend in der Synthese untereinander analysiert. Die Vorgehensweise erfolgte mit statistischen Methoden sowie mit Bearbeitungen eines Geo-Informationssystem (GIS).

### Analyse der Flächenutzungsentwicklung

- Anzahl der Flächen der Nutzungstypen für die Jahrzehnte bei konstanten Parzellen
- Herausstellen von Bereichen mit dynamischen Entwicklungen
- Änderungen der Nutzungstypen
- Analyse zur Verflechtung und Verbindung von Nutzungstypen
- Variabilität

### Analyse der Bodenressourcen

- Verfahren NRW
- Verfahren Hamburg, verändert

### Sozioökonomie

Zuhilfenahme von statistischen Daten von Ämtern. Deren Überprüfung auf Auffälligkeiten und Trends.

Universität Duisburg- Essen

kemerdere@web.de

## Ergebnisse

Anhand der Synthese der Flächennutzungen (2004) mit den Bodenressourcen wird in Abb. 1 deutlich dass die Bodenfunktionsgruppe SWB 50 % der Gesamtfläche im Duisburger Süden in Anspruch nimmt. Nutzungen wie Verkehr, Wohnen, Gewerbe und Industrie nehmen bei den übrigen Bodenfunktionsgruppen nicht mehr als 30 % der Gesamtfläche in Anspruch.

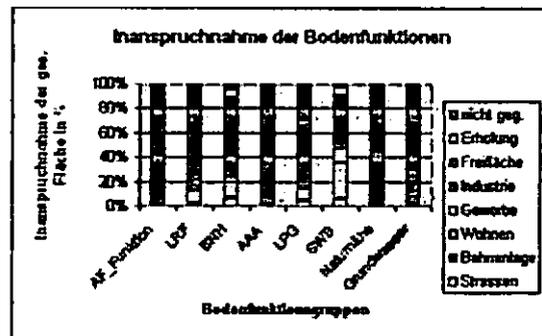


Abb.:1 Inanspruchnahme der Bodenfunktionen

Die Bodenfunktionsgruppen liegen zu einem hohen Anteil unter der Nutzungen Freifläche oder Erholungsfläche. Die Inanspruchnahme neuer Flächen für die Nutzung als Wohnfläche erfolgte orientierend an den Hauptverkehrsflächen. Dabei wurden einzelne Parzellen für diese Nutzung in Anspruch genommen. Im gleichen Zeitraum erfolgte ein Verlust seit 1975 in den Einwohnerzahlen. Orientierend am Steuerjahr 2001 sind es Stadtteile mit hohen Versiegelungen die auch eine hohe Anzahl der Steuerpflichtigen sowie hohe gesamt Steuereinnahmen haben. Dabei wird in Abb. 2 gezeigt, dass die Effektivität, quasi hohe Einkünfte je Steuerpflichtige in Südlichen Stadtteilen des Untersuchungsgebietes liegen die eine geringere Versiegelung vorweisen. In der Betrachtung der Lebensraumfunktion mit den Arbeitslosenzahlen von 2006 befinden sich die meisten Arbeitslose in Stadtteilen in denen diese Bodenfunktion nicht einmal die Wertstufe mittel erreicht (s. Abb. 3). Stadtteile mit geringen oder sehr geringen Wertstufen in ihrer Naturnähe,

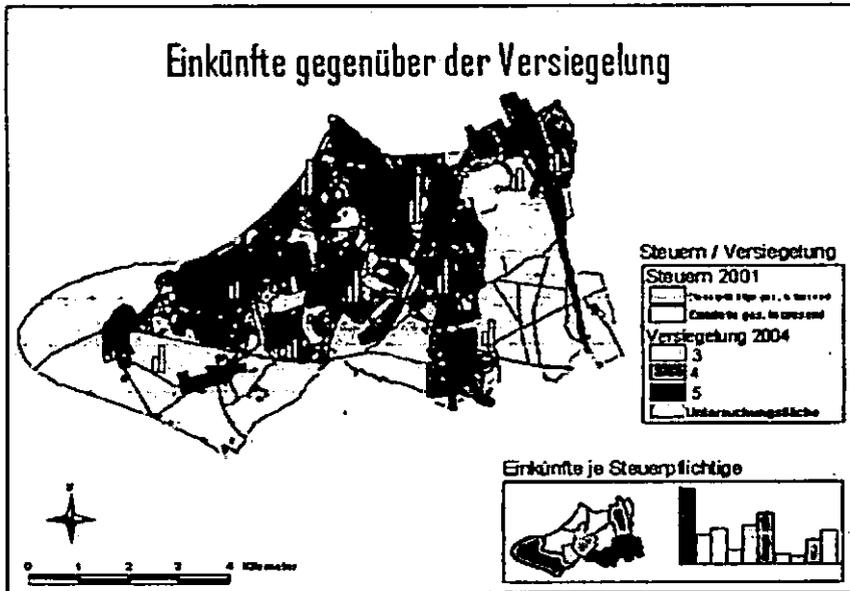


Abb.:2 Einkünfte gegenüber Versiegelung (Versiegelung 2004; 3= 0 – 10 %, 4= 11 – 30 % 5= über 30 % der Fläche Versiegt)

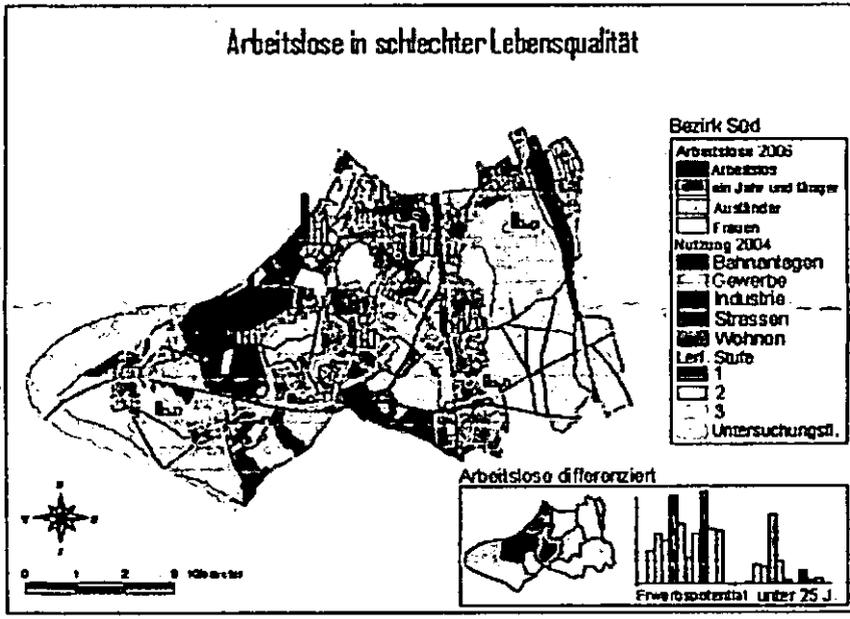


Abb.:3 Lebensqualität und Arbeitslose (Lerf. Stufe= Lebensraumfunktion mit den Stufen 1 für sehr hoch und 3 für Mittel)

haben in ihrer Gesamtzahl die meisten Haushalte und ebenfalls auch Haushalte mit Kindern. Jedoch liegen Haushalte mit Kindern je Haushalte in Stadtteilen in denen die Bodenfunktionsgruppe Naturnähe eine gute, oder sehr gute Wertstufe erreichen.

#### Schlussfolgerung

Die steigende Inanspruchnahme von Flächen für die Nutzung Wohnen, sowie eine Steigung der

Wohnflächen in Wohnungen gekoppelt mit abnehmenden Einwohnerzahlen ist ein Indiz für den Wohlstandseffekt. Der Süden des Untersuchungsgebietes mit geringer Gesamtversiegelung und guten oder sehr guten Wertstufen der Bodenfunktion nach ihrer Naturnähe, hat bezogen auf seine Haushalte hohe Einkünfte und mehr Kinder im Vergleich zu anderen Stadtteilen. Arbeitslose leben meist in Bereichen die in ihrer Umwelt auch schlechte Umweltqualitäten aufweisen.

## Temporale Variabilität von Eigenschaften eulitoralere Böden im Unterschied zwischen Nassstrand und Watt, am Beispiel der Insel Spiekeroog

Keskin, B. \*, Frey, B. \*, Hansen, K. \*, Sänglerlaub, G. \* & L. Giani \*

### Einleitung

In der neuen Auflage der Kartieranleitung (KA5) (*Ad-hoc AG Boden*, 2005) wurde der Bodentyp Nassstrand eingeführt. Der Nassstrand befindet sich wie der Bodentyp Watt im Eulitoral, zwischen Mittelhochwasser- und Mittelniedrigwasserlinie, mariner Ökosysteme. Der Nassstrand und das Watt unterscheiden sich nicht nur in ihrer geographischen Lage und Sedimentdynamik, sondern auch in ihrer Profilmorphologie und den charakteristischen physikalischen und chemischen Eigenschaften. Die bisher verfügbaren Daten (*Klement et al.*, 2005) beruhen auf einer Momentaufnahme. Daher stellte sich die Frage, ob die Unterschiede auch über längere Zeiträume erhalten bleiben und wie groß die zeitliche Variabilität der Eigenschaften der beiden Bodentypen ist. Dies zu klären war Gegenstand der hier vorgestellten Untersuchung.

### Material und Methoden

Von April 2005 bis Juni 2006 wurde jeweils ein Watt und ein Nassstrand monatlich profilmorphologisch untersucht und beprobt. Im Anschluss erfolgte die physikalisch-chemische Analyse nach Standardverfahren (*Schlichting et al.*, 1995) als auch nach spezifischer auf den Standort angepasster Verfahren (*Bloem et al.*, 1994); in Abweichung davon erfolgte die Sulfat-Extraktion mit Mg-Nitrat 1%, die gleichzeitig der Cl-Messung diente. Mit Ausnahme der Korngrößenanalyse erfolgten die Untersuchungen in 2-5 Parallelen. Vor Errechnung der arithmetischen Mittelwerte und Standardabweichungen wurde der Ausreißer-Test nach Grubbs (*Gotwalt*, 2004) angewendet. Wenn nicht anders angegeben betrug die Standardabweichung < 5 %.

### Ergebnisse und Diskussion

Neben einigen Gemeinsamkeiten treten viele Unterschiede in den untersuchten Böden auf. Die Gemeinsamkeiten der beiden Böden Watt und Nassstrand zeigen sich im pH-Wert und im  $SO_4^{2-}/Cl^-$ -Verhältnis. Der in der ersten Untersuchung festgestellte gleiche  $CaCO_3$ -Gehalt (*Klement et al.* 2005) wurde nicht bestätigt (Tab. 1, 2; Abb. 1, 2). Unterschiede ergeben sich bezüglich Körnung (z.T. mit hoher Standardabweichung), Wasser-, Substanz- und Luftvolumen, Bodendichte,  $CaCO_3$ -Gehalt, Glühverlust (damit KAK) sowie  $Fe_0$ - und Sulfid-Gehalten. Gegenüber der ersten Untersuchung

konnten jetzt deutliche Unterschiede in den Volumengrößen verifiziert und die tendenziellen Unterschiede im Sulfid-Gehalt (Sulfid-Gehalt des Nassstrandes unter der Nachweisgrenze) bestätigt werden (Tab. 1, 2).

Tab. 1: Bodenphysikalische und -chemische Kenndaten (Jahresmittelwerte mit Standardabweichungen) des Oberbodens des Nassstrandes

Korngrößen									
gS		mS		fS		gU		mfU+Ton	
%	s	%	s	%	s	%	s	%	s
4.08	4.75	82.13	7.75	11.76	4.85	0.22	0.28	2.70	2.64
Wassergehalt		Substanzvolumen		Luftvolumen		Bodendichte			
Vol.-%	s	Vol.-%	s	Vol.-%	s	g cm <sup>3</sup>	s		
25.15	1.89	55.08	0.87	21.36	0.8	1.46	0.02		
pH*		pH*		CaCO <sub>3</sub>		Glühverlust		Fe <sub>0</sub>	
H <sub>2</sub> O	s	CaCl <sub>2</sub>	s	g kg <sup>-1</sup>	s	g kg <sup>-1</sup>	s	mg kg <sup>-1</sup>	s
7.7	0.1	7.0	0.5	5.00	0.22	1.4	0.01	182.92	0.59

Aus den ermittelten Daten konnten wir im Allgemeinen keine zeitliche Variabilität ableiten (Abb. 1, 2). Peaks, die auf eine Abweichung dieser zeitlichen Gleichförmigkeit hinweisen ( $Fe_0$ -Gehalte am 28.06.05 und 30.09.05 im Watt), stehen im Zusammenhang mit einer abweichenden Korngrößenverteilung (Abb. 1). Eine Ausnahme davon bildet der HCl-lösliche Schwefel. Der Peak im Sulfid-Verlauf am 28.06.05 im Watt zeigt, dass dieser Parameter einer großen zeitlichen Variabilität unterliegen kann (Abb. 2), wie auch von Giani et al. (2003) festgestellt.

Tab. 2: Bodenphysikalische und -chemische Kenndaten (Jahresmittelwerte mit Standardabweichungen) des Oberbodens des Watts

Korngrößen									
gS		mS		fS		gU		mfU+Ton	
%	s	%	s	%	s	%	s	%	s
0,22	0,16	74,54	3,67	19,65	2,89	1,01	0,39	6,59	2,82
Wassergehalt		Substanzvolumen		Luftvolumen		Bodendichte			
Vol.-%	s	Vol.-%	s	Vol.-%	s	g cm <sup>3</sup>	s		
35.75	0.71	59.04	1.20	4.97	1.61	1.57	0.03		
pH*		pH*		CaCO <sub>3</sub>		Glühverlust		Fe <sub>0</sub>	
H <sub>2</sub> O	s	CaCl <sub>2</sub>	s	g kg <sup>-1</sup>	s	g kg <sup>-1</sup>	s	mg kg <sup>-1</sup>	s
7.5	0.3	7.2	0.6	3.23	0.21	6.4	0.07	458.63	24.93

Die Redoxpotenziale der ersten Untersuchungen zeigten für den Nassstrand Bedingungen an, die eine temporäre Eisenoxid-Bildung ermöglichen, jedoch Eisen-Reduktion ausschlossen (*Klement et al.*, 2005). Das hat zur Folge, dass hier zwar der Bodenentwicklungsprozess der Redoximorphose herrscht, aber nur in Form eines Teilprozesses, dem der Konkretionsbildung und Rostfleckung. Im Gegensatz dazu signalisierten die Redoxpotenziale des Normwatts Eisen-Reduktion und Sulfid-Bildung, die innerhalb der Redoximorphose auf den Teilprozess der Reduktomorphie und Sulfid-Bildung hindeuten. Diese Ergebnisse werden weitestgehend von der hier vorgestellten Studie bestätigt. Während des Unter-

\* CvO Universität Oldenburg, Postfach 2503, 26111 Oldenburg

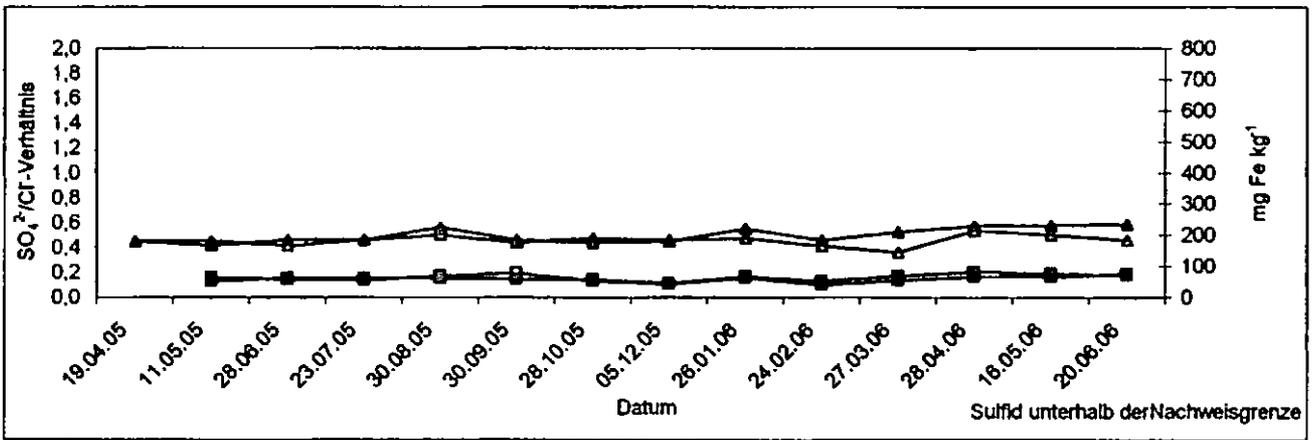


Abb. 1: Zeitliche Variabilität der  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ -Verhältnisse im Oberboden (0-10 cm) (Quadrat weiß),  $\text{Fe}_o$ -Gehalte im Oberboden (Dreieck weiß),  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ -Verhältnisse im Unterboden (20-30 cm) (Quadrat schwarz),  $\text{Fe}_o$ -Gehalte im Unterboden (Dreieck schwarz) des Nassstrandes

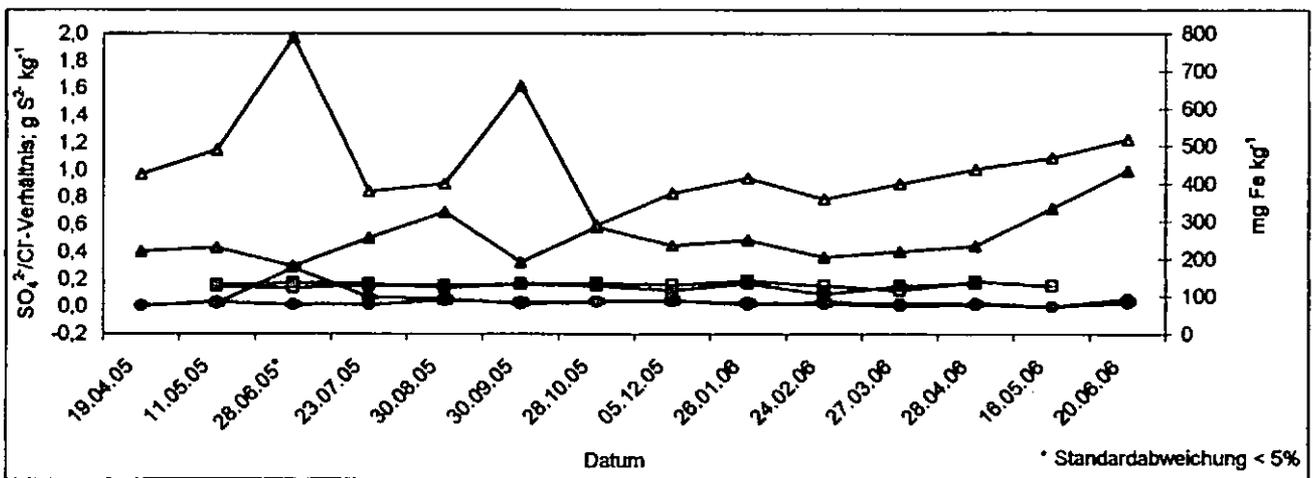


Abb. 2: Zeitliche Variabilität der  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ -Verhältnisse im Oberboden (0-10 cm) (Quadrat weiß), Sulfid-Gehalte im Oberboden (Kreis weiß),  $\text{Fe}_o$ -Gehalte im Oberboden (Dreieck weiß),  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ -Verhältnisse im Unterboden (20-30 cm) (Quadrat schwarz), Sulfid-Gehalte im Unterboden (Kreis schwarz),  $\text{Fe}_o$ -Gehalte im Unterboden (Dreieck schwarz) des Watts.

suchungszeitraums traten im Watt die Bedingungen für Eisen-Reduktion und Sulfid-Bildung auf und im Nassstrand die der Eisen-Oxidation. Die rH-Werte des Watts betragen häufig 13-19, die des Nassstrandes 25-33 (Werte nicht dargestellt). Allerdings traten auch Abweichungen auf. Die Redoxpotentiale des Watts waren zum Teil nicht niedrig genug, um auf Sulfat-Reduktion schließen zu können, andererseits schlossen sie aber Eisen-Oxidation aus, so dass die Eisen-Reduktion dominierte. Beim Nassstrand bestand die Abweichung darin, dass in einem Fall die Redoxpotentiale sauerstoffreiche Verhältnisse anzeigten, sowie ebenfalls in einem Fall Sulfid-Bildung als auch manchmal Eisen-Reduktion. Diese Ergebnisse decken sich mit der Profilmorphologie. Rostflecken sind im Watt niemals aufgetreten, abgesehen von Eisenoxid-Abscheidungen in der Rhizosphäre. Beim Nassstrand können reduktive Merkmale auftreten, die bis jetzt einmal beobachtet wurden: es dominiert der Prozess der Konkretionsbildung und Rostfleckung, der allerdings auch erst einmal im Profil beobachtet werden konnte, da es in der Regel zu einer feindispersen, homogenen

Verteilung der Eisenoxide kommt. Wie bereits von Klement et al. (2005) festgestellt, treten während des Untersuchungszeitraums im Unterboden des Nassstrandes in der Regel keine reduktiven Merkmale auf, so dass die Horizont-Bezeichnung „tmzeFr“ nicht gerechtfertigt erscheint.

#### Literatur

- Ad-hoc-AG Boden* (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl. Schweizerbart'sche, Stuttgart
- Bloem, E., B. Lüttmann & L. Giani* (1995): Jahreszeitliche Schwefeldynamik in Salzmarschen der südlichen Nordseeküste. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 158, 251-256.
- Giani, L., Ahrens, V., Duntze, O. & S. Kruse Irmer* (2003): Geopedogenese mariner Rohmarschen Spiekeroogs. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 166, 370-378.
- Gotwalt, W.* (2004): Statistik für Anwender. Wiley, V.C., Weinheim.
- Jørgensen, B.B.* (1977): The sulfur cycle of a coastal marine sediment (Limfjorden, Denmark). *Limnol. Oceanogr.* 22, 814-832.
- Schlichting, E., H.-P. Blume & K. Stahr* (1995): Bodenkundliches Praktikum. Pareys Studentexte, Blackwell, 2. Aufl., Berlin.
- Klement, K., Grabenhorst, C., Joisten, H., Köhler, T., Krause, S., Langenbruch, C., Nielebock, S., Rohleder, S., Sponagel, H. & L. Giani* (2005): Eigenschaften der eulitoralen Böden „Nassstrand“ und „Normwatt“, am Beispiel der Insel Spiekeroog. *Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges.*, 107, 363-364

## Archäologie und Archiböden: Der mehrphasige Grabhügel I bei Memleben, Burgen- landkreis

Klamm, Mechthild (1); Kainz, Wolfgang (2)

Westlich der Ortschaft Memleben an der Unstrut liegen im Memleber Forst, am Hang des Eichberges, zwei kleinere Grabhügelgruppen, bestehend aus drei bzw. vier Hügeln. Da die Hügel durch Raubgrabungen beschädigt wurden, wurde ein Hügel 2005 im Rahmen einer archäologischen Ausgrabung untersucht.

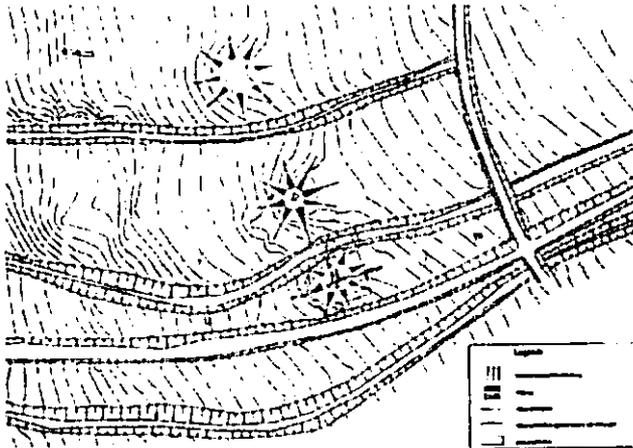


Abb. 1: Höhennivellement der Grabhügelgruppe

Der Forst Memleben begrenzt mit den Höhenzügen des Ziegelrodaer Forstes und der Hohen Schrecke eine Siedlungskammer entlang der Helme und Unstrut, die seit dem Beginn der steinzeitlichen Ackerbaukultur der Bandkeramik (vor 7500 Jahren), intensiv genutzt wurde. Der untersuchte Grabhügel wurde vor etwa 4000 Jahren errichtet.

Der Eichberg dürfte damals mit Offenvegetation bedeckt gewesen sein (Wiesen, Weiden, evtl. Ackerland), so dass die Grabhügel von weitem zu erkennen waren.



Abb. 2: Grabhügel I vor der Ausgrabung

(1) Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie, Richard-Wagner-Str. 9, 06114 Halle, [mklamm@lda.mk.lsa-net.de](mailto:mklamm@lda.mk.lsa-net.de), [www.lsa-lsa.de](http://www.lsa-lsa.de)

(2) Landesamt für Geologie und Bergwesen, Köthener Str. 34, 06118 Halle, [kainz@lagb.mw.lsa-net.de](mailto:kainz@lagb.mw.lsa-net.de), [www.lagb.sachsen-anhalt.de](http://www.lagb.sachsen-anhalt.de)

Auch orientierte man sich beim Bau der Grabhügel wohl an alten Wegeverbindungen.

Die Toten wurden im Neolithikum in einer Totenkammer begraben, die mit Steinen eingefasst und mit einem hölzernen Dach mit Erd-/Plaggenauflage abgedeckt war. Ein solches Holzdach war noch in dem etwa 20 km entfernt liegenden bronzezeitlichen Grabhügel bei Leubingen/Thüringen original vorhanden.

Reste des spätneolithischen Bodens haben sich unter den Begrenzungssteinen der Mauerkammer erhalten.

Vor etwa 3000 Jahren, in der späten Bronzezeit, wurde der Hügel wiederum als Grabstätte genutzt. Zunächst wurde der alte Bestattungsort mit Bodenmaterial aufgehöhht. Darin wurden dann die Grabstellen der bronzezeitlichen Toten eingegraben, die mit Steinen be- und abgedeckt wurden. Es konnten noch insgesamt 12 bronzezeitliche Bestattungen dokumentiert werden, die um ein Zentralgrab herum gruppiert waren. Ursprünglich muß der Hügel wesentlich höher und kuppelförmig gewesen sein. Durch schleichenden Bodenabtrag ist er verflacht. Bodenbildungen der Hügelschüttung geben Hinweise zur nachbronzezeitlichen Bodenentwicklung.

In dem Zeitraum zwischen der Bronzezeit und dem Mittelalter wurde die landwirtschaftliche Nutzung des Areals aufgegeben, und es bildete sich Wald. Mittelalterliche und neuzeitliche Meilerplätze belegen die intensive waldwirtschaftliche Nutzung, hier der Holzkohlegewinnung, die im Zusammenhang mit den Bergbaurevieren des Harzes steht.

### Zur Bodenentwicklung im Grabhügel

Die Kenntnisse der holozänen Bodenentwicklung eines Landschaftsraumes erfahren durch die kombinierte pedologische und archäologische Untersuchung von Hügelgräbern eine große Bereicherung. Insbesondere in Landschaften mit verkürzten Sediment-Profilen können in solchen Grabhügeln Bodenentwicklungsphasen durch deren Aufspreizung nachgewiesen und bestimmten Zeitabschnitten zugeordnet werden. Die Aufspreizung erfolgt durch die einzelnen Schüttungen, die den Grabhügel aufbauen. Auf der Grundlage der Bodenentwicklungsphasen können die zur jeweiligen Zeit herrschenden Umweltbedingungen bzw. ihre Veränderungen rekonstruiert werden.

Profil KA 213a sowie Profil KA 213: Horizont 9 begrabener neolithischer Boden unter den Abdeckungssteinen der neolithischen Totenhütte an der Basis des Grabhügels, Abb. 3:



### **Humus-(Kalk)Braunerde aus Hangsandlöss mit Sandstein**

- 0 - 0,5 dm: fAcxh aus Sandlöss
- 1,6 dm: fBcv+Acxh aus Sandlöss: bräunlich schwarzer sandig-lehmiger Schluff
- 2,4 dm: fAcxh aus Hangsandlöss mit Sandstein
- >3 dm: fAxh-Bcv aus Hangsandlöss mit Sandstein (Aufnahme W. Kainz 2005)

An der Basis des Grabhügels wurde gelbbrauner bis brauner Sandlöss nachgewiesen, der einer einfachen Humusakkumulation, Entkalkung und Verbraunung unterlag. Nach diesen Bodenbildungsprozessen, dem Substrat und der Reliefposition sind Pararendzinen, verbrauchte Schwarzerden und humose Braunerden im Bodenmosaik zu erwarten, das nach den archäologischen Befunden im Neolithikum vorkam. Starke Humusakkumulation und fehlende Lessivierung sind Hinweise auf steppenartige Vegetation mit geringen Niederschlägen.

### **Profil KA 213**

Bodenaufbau der Grabhügelschüttung

#### **Parabraunerde aus lehmiger Auffülle aus Hangsandlöss**

- 0 - 0,5 dm: Ah aus lehmiger Auffülle aus Hangsandlöss (Horizont 1)
  - 1,5 dm: Al aus lehmiger Auffülle aus Hangsandlöss (Horizont 2)
  - 3 dm: Bt+Al aus lehmiger Auffülle aus Hangsandlöss: grau-brauner mäßig toniger Schluff (Horizont 3)
  - 7 dm: Al+Bt aus lehmiger Auffülle aus Hangsandlöss: brauner schluffiger Lehm, skelettfrei, humusfrei bis kaum humos, carbonatfrei, Subpolyedergefüge, mäßig durchwurzelt (Horizont 4)
  - 9 dm: jolCc aus lehmiger Auffülle aus Hangsandlöss: graubrauner schluffiger Lehm (Horizont 5)
  - <>12 dm: Bt+jolCc aus lehmiger Auffülle aus Hangsandlöss: brauner schluffiger Lehm, sehr schwach skeletthaltig, sehr schwach humos, carbonatreich, Polyedergefüge bis Subpolyedergefüge, schwach durchwurzelt (Horizont 6)
  - 13,5 dm: elCc aus toniger Auffülle mit Sandstein: rötlich brauner mäßig schluffiger Ton (Horizont 7)
  - 15 dm: jelCc aus lehmiger Auffülle aus Sandlöss: graubrauner sandig-lehmiger Schluff (Horizont 8)
  - 16 dm Acxh aus Sandlöss (Horizont 9)
  - >17 dm: lCc aus Schuttlohm-Fließerde mit Sandstein (Horizont 10)
- (Aufnahme W. Kainz 2005)

#### **Horizonte 6, 7 und 8:**

Über dem Sandlöss folgt eine Aufschüttung aus rötlichem carbonathaltigem lehmigem Schluff und schluffigem Ton. Diese Substrate sind im Hügel stellenweise deutlich humos. Hier liegt bereits ein Hangsediment als Ausgangsgestein vor, das zu deutlichen Anteilen aus Verwitterungsmaterial des anstehenden Unteren Buntsandsteins besteht. Es könnte sich um Kolluvium handeln, das sich auf der Hangstufe sammelte und für den Bau des Hügels verwendet wurde. Dies würde noch auf (Kultur)Steppenbedingungen hinweisen. Das Bodenprofil ist unvollständig. Dieser Befund kennzeichnet eine Erosionsphase durch Änderungen der Nutzung oder des Klimas. Der obere Teil dieser Schüttung weist Spuren einer Lessivierung auf. Darauf folgt wieder

carbonathaltiges Material, das den Abbruch der Lessivierung belegt und den erodierten Boden begräbt. Die Lessivierung könnte ein Hinweis darauf sein, daß das Areal zwischen der neolithischen Grabhügelphase und der bronzezeitlichen Nachnutzung zeitweilig bewaldet war.

#### **Horizonte 1 bis 5**

Die jüngste Schüttung ist ebenfalls durch Verwitterungsmaterial des Unteren Buntsandsteins rötlich gefärbt, carbonathaltig und schluffig (Lehm- bis Ton-schluffe). Sie entspricht den Decksstraten der benachbarten anthropogen ungestörten Bodenprofile. Sowohl auf dem Grabhügel als auch in den benachbarten anthropogen ungestörten Bodenprofilen ist eine starke Lessivierung ausgeprägt, die mehrphasig verlief und Folge der Bewaldung ist. In einer ersten Phase bildeten sich Ton-Humus-Tapeten, die die vormalig stärkere Humosität der Böden belegen. Die stärkere Humosität ist in der vorhergehenden Nutzung als Grün- oder Ackerland begründet. Die jüngeren Ton-Tapeten sind stark ausgeprägt und makroskopisch humusfrei. Sie belegen Bodenentwicklung unter Wald, der sich in einem Zeitraum nach Ende der Bronzezeit bis zum frühen Mittelalter gebildet hat.

### **Profil KA 222**

Rezenter Boden außerhalb des Grabhügels, Abb. 4:



#### **sehr schwach pseudovergleyte Braunerde-Fahlerde aus Hangsandlöss mit Sandstein über tonigem Zersatz aus Schluffstein**

- 0 dm- 0,8 dm: Ah aus Hangsandlöss mit Sandstein
  - 2,5 dm: Ael-Bv aus Hangsandlöss mit Sandstein: hell rötlich brauner schwach toniger Schluff
  - 3 dm: Ael+Bt aus Hangsandlöss mit Sandstein
  - 6 dm: Bht aus Ton-Fließerde mit Sandstein: rötlich brauner mäßig schluffiger Ton, mäßig grusig, humusfrei bis kaum humos, carbonatfrei, Grobpolyedergefüge, mäßig durchwurzelt
  - >7,5 dm: elCc aus tonigem Zersatz aus Schluffstein: hell olivfarbener schwach schluffiger Ton
- (Aufnahme W. Kainz 2005)

Das ungestörte Bodenprofil, östlich des untersuchten Grabhügels gelegen, zeigt eine deutliche Lessivierung, die im Wesentlichen mit der Entwicklung des heutigen Waldes im Zusammenhang steht.

Weiter ist bemerkenswert, dass unter dem flachen Stein an der Basis der Hangsandlöss-Decke der Bht-Horizont aussetzt.

(Abbildungen: LDA Halle)

Birgit Kocher, Frank Laufenberg, Silke Höke  
**Bestimmung von Stoffeinträgen in straßennahe Böden**

**Hintergrund:**

Durch Emissionen des Straßenverkehrs werden Schadstoffe in den Straßenseitenraum eingetragen. Beispiele dafür sind Zink und Cadmium aus Reifenabrieb oder Kupfer, Blei und Zink aus Bremsbelagabrieb.

Diese und weitere Stoffe werden sowohl als Schwebstaub weit in der Umgebung verteilt, als auch mit absetzbarem Staub auf dem Bankett bzw. am Rand der Fahrbahn abgelagert. Sie gelangen dann mit Straßenabfluss, Spritzwasser und Deposition auf und in den angrenzenden Boden.

Die aktuell immitierten Frachten sind nicht bekannt. Die Messmethode der klassischen Immissionsmessungen liefert keine bodennahen Depositionsdaten, so dass genaue Aussagen über Stoffeinträge in Böden schwer möglich sind.

Es werden daher bodennahe Schadstoffeinträge in den Straßenseitenraum an drei Autobahnstandorten zur beispielhaften Kontrolle der Einträge untersucht. Die Autobahnen sind alle stark befahren, die Standorte unterscheiden sich vor allem durch den Schwerverkehrsanteil (SV), die Lage zur Hauptwindrichtung und die Ausbreitungsbedingungen (Tab. 1).

Tab. 1: Eigenschaften der Untersuchungsstandorte

Standort	A555 Widdig	A61 Meckenheim	A4 Bensberg
Autobahn-km	13,2	177,4	92,7
Nächstgelegene Dauerzählstelle	Godorf/Wesseling, Nr. 5036	Ringenvetthofen, Nr. 7149	Bensberg-Frankenforst, Nr. 5015
DTV (Kfz/24h)	69368	73310	71220
SV-Anteil (%)	5,4	19,8	8,5
Zahl der Fahrspuren	6	5	4
Standstreifen	beidseitig	beidseitig	beidseitig
Ausbreitungsbedingungen	frei	frei	Wald, Lärmschutzwand
Lage zur Hauptwindrichtung	quer	quer	parallel

Bisher wurde 18 Monate lang mit Bergerhoffgefäßen in verschiedenen Entfernungen vom Fahrbahnrand der bodennahe Staubniederschlag ermittelt und die Konzentrationen von Cd, Cu, Cr, Pb, Zn, Na, Ca und Fe bestimmt. Zum Vergleich dient die Bergerhoffmethode nach VDI-RL 2119 in 1,5 m Höhe. Beprobte wurde der Entfernungsbereich von 1 m bis 5 m, an einem Standort 10 m neben dem Rand der

befestigten Straßenfläche, und als Referenz 100 m Entfernung.

**Ergebnisse:**

Es zeigt sich, dass außer den Schadstoffen auch sehr große Mengen der untersuchten Massenelemente aus dem Straßenverkehr in den Straßenseitenraum gelangen. Das ist nicht nur Natrium aus Tausalzeinsatz, dessen Einfluss in Jahresgang und räumlicher Verteilung eindeutig nachzuweisen ist, sondern auch Calcium und Eisen in fast ebenso hohen Konzentrationen und Frachten.

Die in Bodennähe deponierten Frachten sind bei freien Ausbreitungsverhältnissen in Straßennähe bis zu zehnmal höher als die in 1,5 m Höhe (Abb. 2/3 und 4/5).

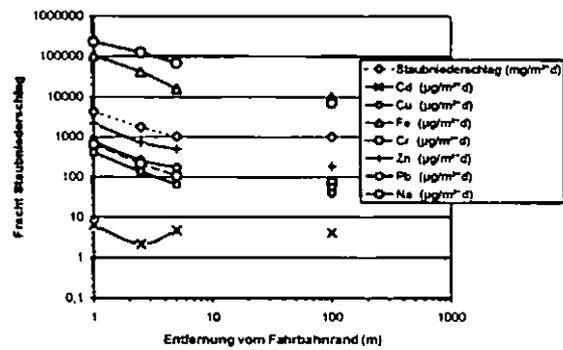


Abb. 1: A555 Ostseite, Stofffrachten im Staubniederschlag, bodennah

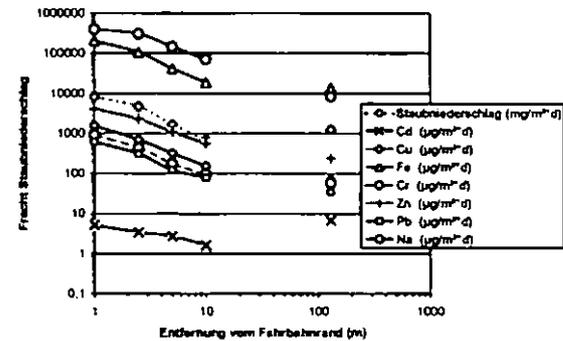


Abb. 2: A61 Ostseite, Stofffrachten im Staubniederschlag, bodennah

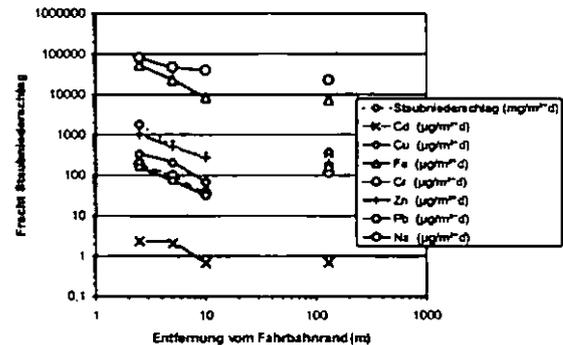


Abb. 3: A61 Ostseite, Stofffrachten im Staubniederschlag, 1,5 m Höhe

\* Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, kocher@bast.de  
 \*\* Straßen NRW, frank.laufenberg@strassen.nrw.de  
 \*\*\* FH Osnabrück, s.hoeke@fh-osnabrueck.de

Der Unterschied nimmt mit der Entfernung ab, bei einigen Elementen ist in 100 m Entfernung die bodennahe Fracht deutlich geringer als die in 1,5 m Höhe.

Es besteht an allen Messstandorten ein starker Zusammenhang zwischen Höhe des Stoffeintrages und Entfernung vom Fahrbahnrand. Höhe und räumliche Verteilungen der Stoffeinträge zeigen zusätzlich klare Unterschiede für die drei Autobahnstandorte. Sie können auf den LKW-Anteil (Abb. 1 und 2), die Lage zur Hauptwindrichtung (Abb. 6) und Ausbreitungshindernisse wie eine Lärmschutzwand (Abb. 4 und 5) zurückgeführt werden.

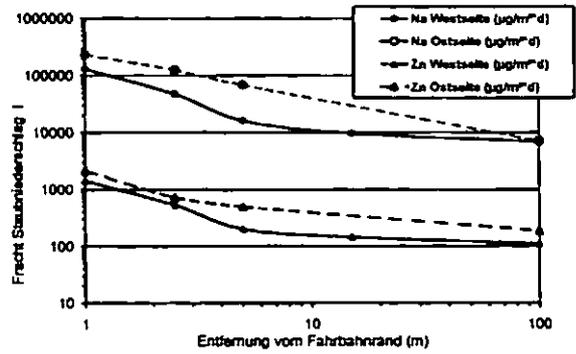


Abb. 6: Verteilung der bodennahen Frachten von Zink und Natrium am Standort A555 in Luv und Lee, Mittelwerte über den Messzeitraum

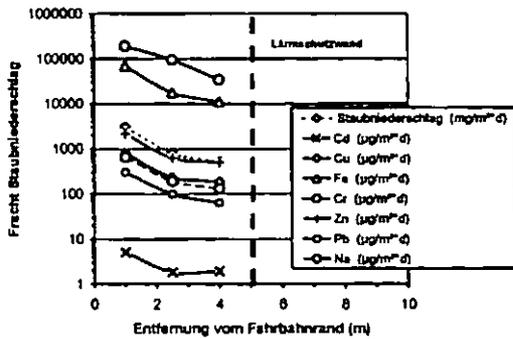


Abb. 4: Bodennahe Stofffrachten im Staubniederschlag am Standort A4 (Nordseite, Mittelwerte über den Messzeitraum), in 5 m Entfernung vom Fahrbahnrand befindet sich eine Lärmschutzwand

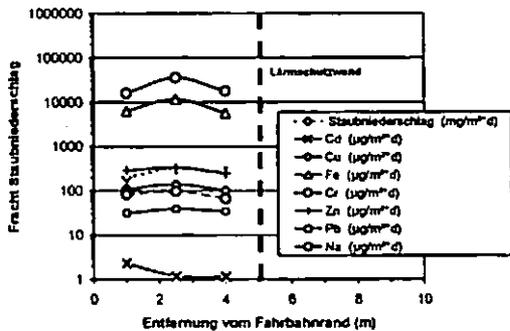


Abb. 5: Stofffrachten im Staubniederschlag in 1.5 m Höhe am Standort A4 (Nordseite, Mittelwerte über den Messzeitraum), in 5 m Entfernung vom Fahrbahnrand befindet sich eine Lärmschutzwand

Eine emissionsbasierte Abschätzung zu Stoffeinträgen in Boden und Wasser durch Hillenbrand et al. 2005 zeigt, dass der Kraftfahrzeugverkehr erheblichen Anteil an den Einträgen von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden hat.

**Ausblick:**

An der A61 wurden im Rahmen einer Diplomarbeit Vergleichsmessungen mit splash-geschützten Sammlern durchgeführt. Sie zeigen, dass trotz des dichten Grasbewuchses durch den Splash-Effekt von Niederschlag und Spritzwasser Bodenmaterial erodiert wird und in die Messgefäße gelangen kann. Die hier dargestellten Frachten können daher etwa 15 bis 50 % zu hoch sein.

Für weitere bodennahe Messungen sollte deshalb die Methode geändert werden. Schutz vor zusätzlichem Splash-Eintrag kann z.B. durch mindestens 50 cm Umbau mit technischen Glaskugeln erreicht werden. Allerdings eignet sich dieses Verfahren nur für gering geneigte Flächen.

**Literatur:**

Hannoschöck, E.; Höke S., Burghardt W. (2000): Comparison of three dust deposition measurement methods (Bergerhoff-Sampler / Löhner-Liesegang-Sampler / KUNSTRA-Sampler). In: 1st. SUITMA, University Essen, Germany, July 12-18, 2000, Proceedings, Vol. 1: 163-167.

Hillenbrand Th., Touissant D., Böhm E., Fuch S., Scherer U., Rudolphi A., Hoffmann M., Kreißig J., Kotz Ch. (2005): Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden - Analyse der Emissionspfade und möglicher Emissionsminderungsmaßnahmen. UBA-Texte 19/05, Umweltbundesamt.

Höke, S. (2001): Schadstoffbelastungen durch bodenbürtige Staube. In: Praxiserfahrungen zur Anwendung des Bodenschutzrechts II. Vollzugserfahrungen und Regelungen. BVB- Materialien, Band 11: 152-166.

Laufenberg, F., Kocher B., Höke S., Burghardt W. (2007): Verbesserung der Erfassung von Stoffeinträgen in straßennahe Böden durch bodennahe Staubniederschlagsmessungen. Posterbeitrag zur Tagung "20 Jahre AK Stadtböden der DBG", 22. - 24. August 2007 in Essen.

Laufenberg, F. (2007): Verbesserung der Erfassung von Stoffeinträgen in straßennahe Böden durch bodennahe Staubniederschlagsmessungen. Diplomarbeit an der Universität Koblenz-Landau.

Kocher B. (2006): Stoffeintrag in Straßenrandböden - Messzeitraum 2005/2006. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, 85 S.

• Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, kocher@bast.de  
 •• Straßen NRW, frank.laufenberg@strassen.nrw.de  
 ••• FH Osnabrück, s.hoeke@fh-osnabrueck.de

**Die Bodenformen beispielhafter mitteleuropäischer Naturraumregionen unter dem Aspekt ihrer periglaziären Merkmalskombination aus Substrat-, Perstruktions- und Horizontprofil**

D. Kopp\* und W. Schwanecke\*\*

Unter dem Titel *Kennzeichnung und Gliederung periglaziär bedingter Differenzierungen in der Pedosphäre* wird in dem gleichen Band der DBG-Mitteilungen durch eine Gruppe von Bodenkundlern (Altermann et al. 2007) eine Bodenkennzeichnung vorgeschlagen, die den beherrschenden Einfluss des periglaziären Milieus bei der Bildung unserer rezenten Böden angemessener berücksichtigen soll. Das gilt vor allem für die braunerartigen Böden: die Braunerde, Bänderbraunerde und Fahlerde sowie ihre semihydromorphen Parallelen.

Das bei der Tagung vorgestellte Poster zeigte die Anwendbarkeit dieses Konzeptes nach der Bodenkartierung im Rahmen der ostdeutschen forstlichen Standortserkundung in drei beispielhaften mitteleuropäischen Naturraumregionen: dem Tiefland, dem lösbeherrschten Hügelland und dem Bergland. In einer in drei Teile gegliederten tabellarischen Übersicht werden die wesentlichen Bodenformen der periglaziären und ihnen zeitlich nahe stehenden Geländeoberflächen im übergreifenden Rahmen der Segmentfolge gekennzeichnet nach dem Perstruktions-, Translokations-/Substrat- und Horizontprofil als den prozessanzeigenden Merkmalen. Gegenüber dem originalen Poster enthält die tabellarische Übersicht hier nur eine Auswahl von Bodenformen. Es fehlt ein Teil der Bodenformen mit Rostpodsol und Braunpodsol als Horizontprofil.

Die braunerartigen Böden, zu denen Braunerde, Bänderbraunerde und Fahlerde gehören, sind die beherrschende Bodenbildung an periglaziären Oberflächen. Die Differenzierung in diese drei Horizontfolgetypen ist rein substratbedingt. So ist im Tabellenteil I gemeinsames Merkmal für alle drei der Bv-Horizont in periglaziärer Deckzone (δ-Zone). In der periglaziären Übergangszone darunter folgt in Abhängigkeit vom Ton-Schluffgehalt des Substrates bei der Braunerde ein Horizont, der frei oder arm an Braunbändern ist, bei der Bänderbraunerde ein Braunbänderhorizont und bei der Fahlerde (besser Fahlbraunerde) ein kompakter Tonanreicherungshorizont unter einem fahlen Tonverarmungshorizont.

Bei den braunerartigen Böden geht das Perstruktionsprofil in Verknüpfung mit den kryogenen Merkmalen des Horizontprofils über das ganze Formenspektrum der tabellarischen Übersicht hinweg regelhaft in die Segmentfolge ein und spiegelt damit den Grundzug der periglaziären Bodenbildung am besten wider. Das Substratprofil, bestehend aus dem Untergrundsubstrat und Translokationssubstraten aus äolischem Zutrag, solifluidalem Zutrag, Zutrag durch Hangspülung und als Abtragsrückstand, geht dagegen in mannigfacher Differenzierung in die Segmentfolge ein. Es spiegelt die substratbedingten Modifikationen, auch jene durch Translokation am Hang, bei der periglaziären Bodenbildung wider.

Beim Braunpodsol und den eisenreichen Podsolen ohne Bv-Horizont wurde die Bodenbildung im oberen Profilteil in der Ausklangphase des periglaziären Milieus erneut stark aktiviert. Daraus entstanden ihre Besonderheiten im oberen Profilteil.

Näheres dazu, auch zur tabellarischen Übersicht bei Kopp u. Schwanecke 2007 (Arch.f.Naturschutz u. Landsch.forsch. Bd. 46. H.4)

\*Dietrich Kopp, Dömitzer Str. 20, 19303 Teweswoos

\*\* Walther Schwanecke, Theo-Neubauer-Str. 11, 99427 Weimar-Schöndorf

**Erklärung der Kürzel**

**für Perstruktionszonen:**

- γ spätperiglaziäre Oberzone
- δ periglaziäre Deckzone

- ε } periglaziäre oberer Teil
- ζ } Übergangszone unterer Teil
- η Untergrundzone

**für Substratschichten:**

**für Translokationssubstrate:**

- Tp periglaziär undifferenziert
- Ta äolisch (Taδ mit Löss)
- Tf solifluidal (durch Gefromis)
- Ts Anspülung (durch Wasser)
- Tr Abtragsrückstand

Kombinationen mit + sind Mischsubstrate

**für Untergrundsubstrate:**

- U... mit Zusatz für Substratherkunft
- Ur als Abtragsrückstand
- Urh zunächst an der Oberfläche angereichert, dann von oben durch Kryolithotropie abgesunken

Kürzel für Horizonte werden als bekannt vorausgesetzt, jedoch bb=Braunbänderhorizont, (...) schwache Ausprägung z.B. (Bv) halbverbraunt.

**weitere Fußnoten:**

- 1 Schreibweise in den Gefachen:  
Kürzel ohne lateralen Trennstrich: Folge von Profiligliedern, z.B. ABv über Bv  
Kürzel mit lateralem Trennstrich: alternative Bezeichnungen
  - 2 Pluszeichen zwischen Kürzel: Merkmalsgemisch
  - 3 Horizontsymbol nach forstl. Standortserkundung (SEA 95) sowie Kopp et al. 2007.
  - 4 PNS periglaziäre Normalserie, PRS periglaziäre Rumpfsérie, PS periglaz. Serie.
  - 5 Nur bei ärmeren (Porphy-) Schottern bzw. tertiär beeinflusst.
  - 6 Substrat zu untergliedern nach Gesteinsart, Skelettgehalt (und Gründigkeit).
  - 7 Aus härteren sauren Gesteinen, z.B. Porphy, Quarzit, Granit.
- Aus schluffreichen tonigen Gesteinen, z.B. Tonschiefer (Grauwacke) z.T. tiefgründig verwittert, verlagert, z.T. mit Resten tertiärer Bildungen.

Tabellarische Übersicht Die wesentlichen Bodenformen der periglazialen Geländeoberfläche mit Kennzeichnung nach dem Perstruktions-, Substrat- und Horizontprofil als prozessanzeigende Merkmale und dem Segment-/Lagenprofil als überregionalem Vergleichsrahmen 1,2

Segment bzw. Lage als Rahmenmerkmal für die vertikale Abfolge	Bodenformen aus lössarmen Lockersedimenten mit geringer Reliefenergie (vorwiegend im Tiefland) Tabellenteil I																			
	Perstruktionszone	Kombination aus Translok./Substrat- und Horizontfolge (Auswahl)			Sand-Braunerde			Grand-Braunerde			Sand-Bänderbraunerde			Sandtiefland-Fahlerde			Sand-Rostpodsol <sup>3</sup> in PNS, Bs bzw. Bhs-Ho. an oder oberh. δ			
		Mächt. cm	Substrat-schicht	Horizont	Mächt. cm	Substrat-schicht	Horizont	Mächt. cm	Substrat-schicht	Horizont	Mächt. cm	Substrat-schicht	Horizont	Mächt. cm	Substrat-schicht	Horizont	Mächt. cm	Substrat-schicht	Horizont	
Obersegment bzw. Oberlage																				
Hauptsegment bzw. Hauptlage	δ	um 40	U+Ta U+rh+Ta U+Ta+Tr	ABv Bv	um 50	Tp U+Ta+Tp	ABv Bv	um 40	U+Ta U+Tp+Ta U+Ta+Tr	ABv Bv	um 35	U+Tp+a U+rh+Ta Ta+Ur	ABv Bv	um 40	U U+Tr	AEs Es Bs				
Mittel segment bzw. Mittel lage	ε	20...50	U U+Tr	(Bv) C	um 20	U+Tp	(Et)	0...40	U U+Tp U+Tr	(Et)	15...30	U+Tp U+Tr U Ta	Et	30...50	U	C				
Basissegment bzw. Basislage	ζ	30...>50	U U+r	C C↓bb	40...>60	U	C↓bb Bk	40...>80	U U+Tp	C↓bb	30...>80	U	Bi	30...>80	U	C				
Untergrund	η		U	C Ca C		U	Ca C C		U	C Ca C		U	Ca C		U	C				

Segment bzw. Lage als Rahmenmerkmal für die vertikale Abfolge	Bodenformen aus lössreichen Lockersedimenten mit geringer Reliefenergie (vorwiegend im Hügelland) Tabellenteil II										Bodenformen aus Halbfest- und Feststeinen mit größerer Reliefenergie (vorwiegend im Berg- und Hügelland) Tabellenteil III									
	Perstruktionszone (Umlagerungszone)	Decklöss-Fahlerde			Löss-Fahlerde			Gesteins-Braunorde <sup>5</sup> in Hang- und ebenen Lagen			tiefgründige Gesteins-Braunerde auf Gebirgsplateaus <sup>5,7</sup>			Gesteins-Braunpodsol <sup>6,8</sup> in Hang- und ebenen Lagen						
	Mächt. cm	Substrat-schicht	Horizont	Mächt. cm	Substrat-schicht	Horizont	Mächt. cm	Substrat-schicht	Horizont	Mächt. cm	Substrat-schicht	Horizont	Mächt. cm	Substrat-schicht	Horizont	Mächt. cm	Substrat-schicht	Horizont		
Obersegment (bzw. Oberlage)	γ															5...20	Tf+Ur	AEs Es		
Hauptsegment (bzw. Hauptlage)	δ	20...40	Taδ	ABv Bv	25...40	Uδ +Ta	ABv Bv	20...50	Tf+Ta Tp+Ta	ABv Bv	20...60	Ta+I	ABv Bv	20...40	Tf+Ta Tp+Ta	(Bi) Bv				
Mittel segment (bzw. Mittel lage)	ε	15...40	Taδ	Et EtSw Et/Bt	15...40	Uδ +Ta	Et EtSw Et/Bt	0...35	Tf+Ta Tp+Ta	(Bv) (BvSw)	10...40	Tp+a Tf+a	(Bv) (BvSw)	0...30	Tf+(Ta)	(Bv)				
Basissegment (bzw. Basislage)	ζ	20...30	Taδ	Bt	30...50	Uδ	Bt B/C BtSd B/C	20...60	Tf+Ur Tp+Ur	By B/C	40...80	Tp+Ur Tf+Ur	By B/C	25...50	Tf+Ur	By B/C				
Untergrund	η		U	C		Uδ	Ca C		U	C		U	C		U	C				

## Praktische Probleme der Klassifikation und Kartierung von anthropogenen Substraten

Dieter Kühn<sup>1)</sup>

### Zielstellung

Nach dem Erscheinen der Bodenkundlichen Kartieranleitung, 5. Auflage, Hannover 2005 (KA 5) gibt es für die bodenkundliche Landesaufnahme bessere Möglichkeiten der Ansprache anthropogener Substrate als in der 4. Auflage. In Letzterer waren technogene Materialien nicht weiter differenziert. Ziel der KA 5 war es, die Hinweise des AK Stadtböden der DBG aufzugreifen und technogene Materialien natürlichen Substraten vergleichbar zu kennzeichnen und klassifizieren. Konkrete Beispiele aus Siedlungsräumen sollen Möglichkeiten und Probleme aufzeigen.

Schwieriger als eine Profilaufnahmen ist jedoch in diesen Fällen die Umsetzung in Flächeninformationen. Die Beispiele sollen demonstrieren, wie Punkt- in Flächeninformationen Berücksichtigung finden können. Es werden einige Möglichkeiten und praxisorientierte Regeln demonstriert bzw. vorgeschlagen, wie sie in laufenden Kartierungen bereits zur Anwendung kommen. Auf die Problematik der Kennzeichnung humoser, anthropogen umgelagerter natürlicher Substrate wird hingewiesen. Die bodensystematischen Kennzeichnungen der Beispiele stellen einen Vorschlag zur bodensystematischen Berücksichtigung dieser Substrate dar.

Tab. 1: Praktische Profilbeispiele für anthropogene Böden in der Kartierung und ihre Klassifikation

<p><b>Profil 241/425</b>                  25cm: <u>ejvIC: oj-(zz2)css(Ybe)</u>                  kalkhaltiger Horizont ohne Bodenbildung aus verkipptem Grus führendem Sand (Beton)</p> <p><b>40cm: <u>ijIC: oj-zn(+B)</u></b>                  Untergrundhorizont aus verkipptem Grusschutt (Basalt)</p> <p><b>55cm: <u>ejM: oj-(zk2)cls(Yb,Sp)</u></b>                  Umlagerungshorizont aus verkipptem Gruskies führendem Kalklehm-sand (Bauschutt und Decksand)</p> <p><b>100cm: <u>jM1: oj-(kz2)cs(Yb,SgD)</u></b>                  Umlagerungshorizont aus verkipptem Kiesgrus und Kalk führendem Reinsand (Bauschutt und Schmelzwassersand)</p> <p><b>270cm: <u>jM2: oj-(zk2)cs(Yb,SgD)</u></b>                  humoser Umlagerungshorizont aus verkipptem Gruskies und Kalk führendem Reinsand (Bauschutt und Schmelzwassersand)</p> <p><b>300cm: <u>ilCbtv: pas-ss(Sgf)</u></b>                  Untergrundhorizont mit Tonanreicherungsbändern aus periglaziärem Schwemmreinsand (Schmelzwassersand)</p> <p><b><u>OL/YK: oj-ze/oj-(z)s(Yb,SgD)</u></b>                  Lockersyrosem über Kolluvisol aus verkipptem Gruscarbonatsand über verkipptem Grus führendem Sand (Bauschutt und Schmelzwassersand)</p>	<p><b>Profil 241/419</b>                  L + Of                  organische Auflagehorizonte</p> <p><b>25cm: <u>jM: oj-ls(Sp,Mg)</u></b>                  humos Umlagerungshorizont aus verkipptem Lehmsand (Decksand und entkalkter Geschiebemergel)</p> <p><b>60cm: <u>ejM: oj-cls(Sp,Mg)</u></b>                  kalkhaltiger humoser Umlagerungshorizont aus verkipptem Kalklehm-sand (Decksand und Geschiebemergel)</p> <p><b>80cm: <u>ejC: oj-sss(SgD)</u></b>                  Untergrundhorizont aus verkipptem Kalkreinsand (aufgekalkter Schmelzwassersand)</p> <p><b>100cm: <u>ejvC: oj-zncls(Yb)</u></b>                  Untergrundhorizont aus verkipptem Grusschuttkalklehm-sand (Bauschutt)</p> <p><b><u>YK: oj-es(Sp,Mg)/oj-nes(Yb)</u></b>                  Kolluvisol aus verkipptem Carbonatsand (Decksand, Geschiebemergel) über tiefem verkipptem Schuttcarbonatsand (Bauschutt)</p>
--	--

### Probleme bei der Profilkennzeichnung

- Die Bodenformenkenzeichnung eines Bodenprofils hat immer die möglichst differenzierte Ansprache zum Ziel, um die Informationsvielfalt bei der Klassifikation zu erhalten, wodurch recht komplexe Kennzeichnungen bei anthropogenen Böden entstehen können.
- Bei der bodensystematischen Kennzeichnung wird fast immer das Varietäten-, aber zumindest das Subtypen-niveau angegeben.
- Die Substrate werden auf der Horizont-/Schichtebene auf dem Niveau der Substratarten-Untergruppe und in der Bodenform auf dem Niveau des Substratsubtyps angesprochen.
- Eine Abstraktion für die Flächenbeschreibung ist i. d. R. durch ein höheres systematisches Niveau bei der Flächenbodenform in Legendeneinheiten angezeigt.
- Selbst eine systematische Abstraktion der Profilinfor-mationen liefert bei ihrer Verschiedenartigkeit für Legendeneinheiten im mittleren Maßstab meist zu detail-lierte Informationen, die der Generalisierung bedürfen.



**92**  
 überwiegend Versiegelungsflächen; verbreitet Lockersyrosem und Pararendzinen aus Schutt und Grus führendem Kippcarbonatlehm-sand mit Bauschutt über sehr tiefem Moränencarbonatlehm; gering verbreitet Hortisole, Regosole und Kolluvisole aus Grus führendem Kippsand mit Bauschutt über Lehm, z. T. Moränencarbonatlehm  
 YV: ov-Yn/oj-s[3.2]; OL, RZ: oj-(n,z)els(Sgf,Sp,Yb)///g-el(Mg)[3.1]; YO, RQ, YK/LF: oj-(z)s(Yb,Sf,Sp)/g-el,p-l(Mg)[2]; LF-YO, LF-BB: p-s(Sp)/p-l(Mg)[1]

**93**  
 überwiegend Versiegelungsflächen; gering verbreitet Lockersyrosem und Pararendzinen aus Schutt und Grus führendem Kippcarbonatsand mit Bau- und z. T. Industrieschutt über sehr tiefem Fluss- oder Urstromtalsand; gering verbreitet Braunerde-Hortisole, Kolluvisole und Regosole aus Grus führendem Kippsand mit Bauschutt über tiefem Fluss- oder Urstromtalsand  
 YV: ov-Yn/oj-s[3.2];  
 OL, RZ: oj-(n,z)es(Sp,Yi,Yb)///f-s(Sf)[2];  
 BB-YO, YK, RQ: oj-(z)s(Yb,Sf,Sp)///f-s(Sf)[2];  
 YK/GG, YK/GG-BB: oj-s(Sp)/f-s(Sf)[1]

Abb. 1: Anthropogene Beispielsbodengesellschaften im Gebiet von Frankfurt/Oder (BÜK 300 Brandenburg)

<sup>1)</sup> Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Außenstelle Kleinmachnow  
 Stahnsdorfer Damm 77, 14532 Kleinmachnow

### Probleme bei der Flächenkennzeichnung

Die Beispiele der Tabelle 1 in Verbindung mit ihrer räumlichen und legendenseitigen Zuordnung nach Abb. 1 zeigen, dass die beiden konkreten Bodenformen der Profilaufnahmen sich in den landesweit (hier einschließlich des Landes Berlin) gültigen Legendeneinheiten nur sehr indirekt widerspiegeln. Insbesondere in ehemals stark zerstörten Städten sind die Substratabfolgen sehr unterschiedlich. So zeigen die beiden Profile der Tabelle 1 nur mögliche Abfolgen. Es kann nicht, wie beim Profil 241/419 zu sehen, generell davon ausgegangen werden, dass ein Trümmerschutt (Bauschutt) von einer mächtigeren Bodenschicht aus natürlichen Substraten überdeckt wird.

Es wird vorgeschlagen, bei humosen anthropogen aufgebracht überwiegend natürlichen Bodenmaterialien mit einem Humusgehalt von i. d. R. > 1 M.-% die Horizontbezeichnung M zu wählen und bei der systematischen Kennzeichnung wie bei den Kolluvisolen zu verfahren (s. Tab. 1). Begründend sei darauf verwiesen, dass es in der Praxis Fälle gibt, die eine Trennung von anthropogen oder natürlich (meist durch Wassertransport am Hang) aufgebrachtem humosem Bodenmaterial nicht sicher erlauben. Die Eigenschaften gleichen sich chemisch, können aber bodenphysikalisch voneinander abweichen, was meist erst mit bodenphysikalischen Untersuchungen feststellbar ist.

Bei der Kartierung in Siedlungsräumen kommt neben der räumlichen Variabilität erschwerend hinzu, dass sich die konkreten Vorortergebnisse oft nicht in der üblichen Kartiertiefe von 2 m unter Flur feststellen lassen, da die Aufwendungen nicht adäquat wären.

Die wesentlichen Probleme bei der Flächenkennzeichnung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Flächenbodenformen leiten sich aus Profilaufnahmen in Siedlungsräumen ab, die eine Stichprobe darstellen und nur eine konkrete Situation anthropogener Bodenüberprägung repräsentieren können.
- Flächenbodenformen, die zur Kennzeichnung von Legendeneinheiten in mittelmaßstäbigen Karten verwendet werden, müssen deshalb einen sehr abstrakten Charakter besitzen und widerspiegeln konkrete Aufschlussdaten nur teilweise, bei denen die Varianz der Substrate und ihrer Abfolgen oft sehr hoch ist.
- Die Übertragung von Punktinformationen auf die Fläche folgt bei anthropogenen Böden anderen Regeln als bei den natürlichen Böden und ist wesentlich unzuverlässiger, weil ein umfassender Kenntnisstand zum Kartiergebiet bei Übersichtskartierungen mit vertretbarem Aufwand kaum zu erzielen ist.
- Bei der Bildung von Legendeneinheiten werden oft geringere Anteile anthropogener Böden unterdrückt, da diese Böden bezogen auf die Landesfläche selten sind.
- Die Parametrisierung der Flächenbodenformen basiert oft nur auf wenigen Analysen für die sehr unterschiedlichen Substrate.

### Annahmen / Regeln (Auswahl)

- Der Kartierer muss die Punktinformationen aus Siedlungsräumen, die einen stärkeren Zufälligkeitscharakter gegenüber jenen von natürlichen Böden besitzen, wichten und ihre Nennung als Flächenbodenformen in Legendeneinheiten entsprechend inhaltlich z. T. über systematische Regeln hinaus generalisieren oder unterdrücken.

- Die Berücksichtigung von Aufschlussdaten bei der Ableitung von Legendeneinheiten folgt Regeln, die sich zusätzlich aus dem Kenntnisstand zur Geologie, zu den Böden vor der anthropogenen Überprägung, zur Nutzung und ihrer Geschichte, also bereits vorhandenen Flächenaussagen ergeben.
- Bei der Kartierung sollten repräsentative Standorte für die Profilaufnahme ausgewählt werden, um in Verbindung mit dem zuvor erwähnten Kenntnisstand Annahmen/Regeln für die Flächenkennzeichnung abzuleiten (vgl. GRENZIUS 1983).
- Neben den Böden der Freiflächen werden die Versiegelungsflächen anteilig gekennzeichnet.
- Böden in größeren Siedlungen mit ehemaligen Kriegsschäden weisen einen höheren Bauschuttanteil auf.
- Einzelhausbebauung (Eigenheime, Wochenendhäuser) hat bei gärtnerischer Grundstücksnutzung im Umfeld anteilig Hortisole, während industrielle oder landwirtschaftliche Anlagen meist durch Mutterbodenauftrag („Anthro-“)Kolluvisole aufweisen. Letzteres trifft auch für neue Eigenheimsiedlungen zu.
- Einzelhausbebauung in dominant forstlich genutzten Arealen zeigt auf den Freiflächen vorrangig das natürlich vorkommende Bodeninventar.
- In ländlichen Siedlungsstrukturen sind die natürlichen Bodenverhältnisse bis auf die dichteren Ortskerne dominierend.
- Landwirtschaftliche Produktionsanlagen außerhalb der dörflichen Strukturen haben einen höheren Versiegelungsgrad und anthropogen umgelagerte natürliche meist humose Substrate auf den Freiflächen.

### Ausblick

- Bei der gegebenen realen Vielfalt von anthropogenen Überprägungen in Siedlungsräumen bleiben die Aussagen in mittleren Maßstäben künftig tendenziell und unsicher.
- Bei der derzeitigen Situation der staatlichen geologischen Dienste ist eine deutliche Verbesserung des Kenntnisstandes in Siedlungsräumen durch die jeweilige Landesaufnahme kaum zu erwarten, abgesehen von exemplarischen Untersuchungen.
- Deshalb können nur durch weitere Stichproben (Profilbeschreibungen und Laboranalysen) die indirekten Regeln zur Ableitung von Bodeninventaren aus dem Kenntnisstand verbessert werden.

### Quellen:

- AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung.- 5. Aufl., Hannover (KA 5).
- AK Stadtböden (1997): Empfehlungen des AK Stadtböden der DBG für die bodenkundliche Kartierung urban, gewerblich, industriell und montan überformter Flächen (Stadtböden), 2. Auflage, Teil 1: Feldführer, Kiel.
- BAURIEGEL, A., KÜHN, D., SCHMIDT, R., HERING, J. & J. HANNEMANN (2001): Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg im Maßstab 1 : 300 000. - Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg in Zusammenarbeit mit dem Landesvermessungsamt Brandenburg, Kleinmachnow/Potsdam.
- GRENZIUS, R. (1987): Die Böden Berlins (West) – Klassifizierung, Vergesellschaftung, ökologische Eigenschaften. - Diss., Berlin.

## Pedoarchäologie im Gebiet der antiken Oase Ma'rib (Jemen) –

P. Kühn\*, D. Pietsch, U. Brunner, I. Gerlach, H. Hitgen, T. Behrens, V. Hochschild, E. Neubert, K. Deckers, T. Scholten

### Einleitung

Die altsüdarabische Oase Ma'rib, am Rande der Rub Al-Khali gelegen, war Kernland des Sabäischen Reiches und bedeutendes vorchristliches Handelszentrum an der Weihrauchstrasse. Die weltberühmte Dammanlage von Ma'rib ermöglichte den Bewohnern der Oase spätestens im 6. Jh. BC die Bewässerung von bis zu 9600 ha, die bis ins 7. Jh. AD landwirtschaftlich genutzt wurden (Gerig und Schoch 1980, Brunner und Haefner, 1990). Heute ist dagegen nur noch ein Teil davon in Brunnenbewässerungsfeldbau nutzbar. Durch diese Bewässerungstechnik wurden schluffig-tonige Sedimente abgelagert, die eine weiträumige Kultivierung der Oase ermöglichten. Geht man von einem Verlust der Bewässerungssedimente durch Winderosion von etwa 3 m seit dem 7. Jh. AD aus, können für den zentralen Bereich der Oase ein Mächtigkeit der Bewässerungssedimente von 30 m berechnet werden (Brunner 1983).

Seit fast 30 Jahren werden unter anderem Bauwerke und Artefakte „Antiker Technologien“ im Umfeld der Oase untersucht. Grundlagen zur Bewässerungstechnik, zur Stratigraphie der Bewässerungssedimente und zu anthropogen-geomorphologischen Formen innerhalb der Oase wurden in den 1970er bis 1990er Jahren geschaffen (Deutsches Archäologisches Institut, Sana'a (2003). Erste bodenkundliche Untersuchungen wurden im Winter 2006 und Frühjahr 2007 während zwei mehrwöchiger Geländeaufenthalte durchgeführt.

### Fragestellung

Die Kombination archäologischer mit pedogenetischen und paläopedologischen Arbeitsweisen verspricht den größten Erfolg, um zentrale Fragen zur Entwicklung der Oase Ma'rib zu beantworten:

- 1) Welche Umweltbedingungen fanden die Sabäer vor, als sie mit der großräumigen Bewässerung begannen?
- 2) Wie unterscheiden sich die Böden unter den Bewässerungssedimenten von den Böden im Umfeld der Oase Ma'rib?
- 3) Besteht ein Zusammenhang zwischen ehemaliger Besiedlung und aktuellem Bodenmosaik?

### Methodik

In den ersten beiden Geländephasen wurden in fünf Untersuchungsgebieten (Abb. 1) 14 Leitprofile aufgenommen und beprobt.

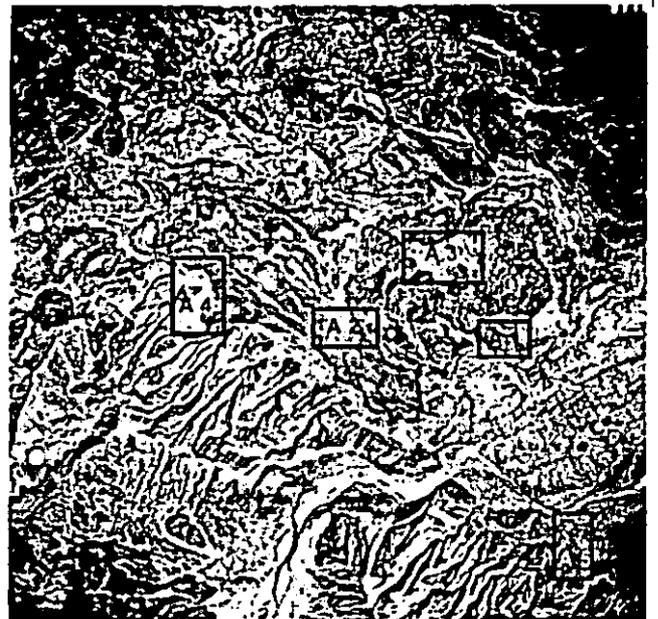


Abb. 1: Untersuchungsflächen im Umfeld der antiken Oase Marib. A1: Al-Mabna (alte Felder, Fuß Lava-Zunge), A2: Wadi Gufainah (alte Felder, Verebnung Lava-Zunge), A3: Hammad Al-Misariyah (Weidefläche, intramontanes Becken), A4: Madhas (Weideflächen, Pediment und Flächenreste in der Verebnung) und A5: Südoase (zerrunste, ehemalige Bewässerungsfläche), Quelle: RAF 1971

### Ergebnisse und Diskussion

Im Umfeld der ehemals bewässerten Fläche sind natürliche Böden wie Andosols, Cambisols, Regosols und Fluvisols, aber auch Anthrosols unterschiedlicher Entwicklungsstadien verbreitet.

Aus der feldbodenkundlichen Profilsprache lässt sich für die genutzten Flächen im Wadi Gufainah und bei Al-Mabna eine frühe, wahrscheinlich bronzezeitliche, Inkultur ableiten. Belegbar ist dies durch die Aufhebung der natürlichen Stratigraphie infolge Bodenbearbeitung, das Vorkommen zahlreicher Rhizolite, deutliche Humusanreicherung in begrabenen Ap-Horizonten sowie Funde frühsabäischer Keramik im Bereich der ehemals ackerbaulich genutzten Felder. Die exponierte Lage gegenüber dem höchsten

\* Institut für Geographie, Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Rümelinstrasse 19-23, 72070 Tübingen  
E-mail: peter.kuehn@uni-tuebingen.de

Niveau der ehemals durch den antiken Damm bewässerten Flächen sprechen für andere Bewässerungstechniken bzw. für Regenfeldbau.

Ein durch anthropogene Störungen unbeeinflusster pedostratigraphischer Leitboden (Cambisol), der von fluvio-äolischen Sedimenten überdeckt ist, weist auch im Raum Ma'rib auf eine feuchtere Klimaphase im Holozän hin, die für den gesamten arabischen Raum im Zeitraum von etwa 9000 bis 7000 Jahren BP postuliert wurde (Mayewski et al. 2004, Sirocko et al. 1993).

Dieser begrabene Cambisol wurde bislang in den Arbeitsgebieten 3 und 4 gefunden. Er ist charakteristischer Weise mit einer 40 bis 50 cm mächtigen Schicht überdeckt die vorwiegend aus über kurze Wege (maximal mehrere 100 m) durch Flächenspülung umgelagerten äolischen Sedimenten besteht. Einige der fossilen Cambisols liegen in Pedimenten. Erste  $^{14}\text{C}$ -Datierungen an Landschnecken (*Zootecus insularis*, *Pupoides coenopictus*) in hangenden fluvio-äolischen Sedimenten ergaben für die oberen 25 cm Alter um 4500 bis 4900 a cal BC (Erl 10663, 11044) und in 30-50 cm Tiefe ein Alter von 4700-5000 a cal BC (Erl 10663).

### Schlussfolgerungen

Für die fossilen Cambisols ist deshalb von einem Bildungsalter > 5000 a cal BC auszugehen. Da in den schneckenreichen Schichten nur schwach ausgebildeten Regosols entwickelt sind und unter Vorbehalt der Bestätigung der ersten Datierungsergebnisse, sind jetzt schon folgende Schlussfolgerungen erlaubt: 1) Im Raum Ma'rib ist in den letzten 7000 Jahren die Silikatverwitterung von untergeordneter Bedeutung für die Bodenbildung gewesen. 2) Der fossile Cambisol als pedostratigraphische Leitboden ist in einer feuchteren Klimaphase vor über 7000 Jahren entstanden. 3) Die Pedimente unterliegen seit etwa 7000 Jahren weitgehender Formungsruhe, da die Schnecken in den oberen 50 cm sonst nicht so hervorragend erhalten wären. 4) Der Beginn der Bewässerung scheint nicht unmittelbar mit dem Beginn einer trockeneren holozänen Klimaphase in Zusammenhang zu stehen.

### Literatur

Brunner, U. (1983): Die Erforschung der antiken Oase Ma'rib mit Hilfe geomorphologischer Untersuchungsmethoden. ABADY II. Mainz.

Brunner, U., Haefner, H. (1990): Altsüdarabische Bewässerungsoasen. Die Erde 121: 135-153.

Deutsches Archäologisches Institut, Sana'a (2003): 25 Jahre Ausgrabungen und Forschungen im Jemen, 1978–2003. Sana'a.

Gerig, M., Schoch, R. (1980): Marib und Umgebung, Luftbild Mosaik, 1:30.000. Deutsches Archäologisches Institut Sana'a/Zürich.

Mayewski, P.A., Rohling, E.E., Stager, J.C., Karlen, W., Maasch, K.A., Meeker, L.D., Meyerson, E.A., Gasse, F., van Kreveland, S., Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist, G., Rack, F., Staubwasser, M., Schneider, R., Steig, E.J. (2004): Holocene climate variability. Quaternary Research 62: 243–255.

Sirocko, F., Sarntheim, M., Erlenkeuser, H., Lange, H., Arnold, M., Duplessy, J.C. (1993): Century-scale events in monsoonal climate over the past 24,000 years. Nature 364: 322–324.

# Fernerkundungs- und DGM gestützte Regionalisierung von Bodeneigenschaften ackerbaulich genutzter Flächen

<sup>1</sup>Karsten Krüger, <sup>1</sup>Rainer Duttmann

## 1 Einleitung

Für die Bewertung und Quantifizierung von Landschaftsprozessen und bodenschutzfachlichen Fragestellungen steht eine große Anzahl an Modellen zur Verfügung, deren Anwendung vielfach durch eine lückenhafte oder unvollständige Bodendatenbasis in entsprechender räumlicher Auflösung eingeschränkt ist. Die Untersuchung zielt auf die Bereitstellung räumlich hochaufgelöster Verteilungen von Bodeneigenschaften ab. Am Beispiel eines Untersuchungsgebietes im Jungmoränengebiet Schleswig-Holsteins soll dabei der Frage nachgegangen werden, inwieweit die Einbindung räumlich hochaufgelöster Co-Variablen (primäre und sekundäre Reliefattribute, Fernerkundungsdaten) in ein Regionalisierungsmodell zu einer im Vergleich mit Standardinterpolationsverfahren wie dem Inverse Distance Weighting (*IDW*) oder dem Ordinary Kriging (*OK*) zu einer verbesserten Vorhersage von Bodeneigenschaften führt.

## 2 Material und Methoden

Als Untersuchungsgebiet dienen 6 repräsentative Schläge mit insgesamt 255 ha im südlichen Teil des Einzugsgebietes der „Drögen Eider“. Die Bodenaufnahme erfolgte auf dem mit 77 ha umfassenden größten und morphologisch heterogensten Schlag ( $n=117$ , Punktdichte 1,53 P/ha) und auf allen Schlägen verteilt ( $n=93$ , Punktdichte 0,36/ha) nach dem Verfahren der zufälligen, geschichteten Stichprobe. (vgl. Abb.1). Analysiert wurden die Korngrößenverteilung,  $C_{org}$ - Gehalte und die Lage-

ungsdichte. Ferner wurden Bodenhaushaltsparameter, wie die KAK und das Retentionsvermögen nach Vereecken berechnet.

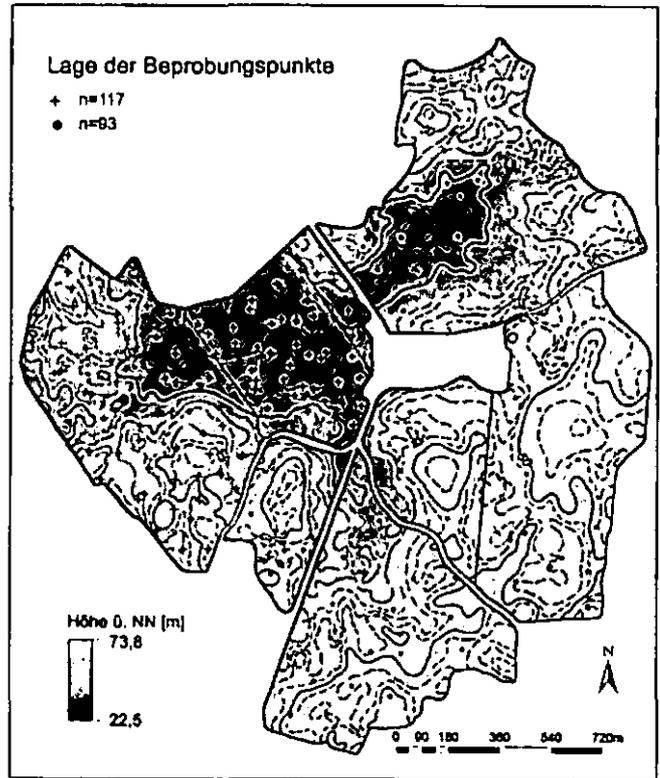


Abbildung1: Lage der Beprobungspunkte

Hauptbestandteil der Landschaftsanalyse und Grundlage für die Regressionsmodelle bilden Sekundärinformationen, wie aus Fernerkundungsdaten berechnete Vegetationsindices (z.B. dem NDVI), sowie aus einem DGM abgeleitete morphometrische Reliefparameter (z.B. dem Wetness Index).

## 3 Ergebnisse

Auf der Feldskala weisen die Korrelationskoeffizienten nach Spearman zwischen dem Reliefparameter Wetness Index und z.B. den Ton- und  $C_{org}$ - Gehalten, sowie der Lagerungsdichte Werte von 0,34 / 0,70 und -0,67 mit Erklärungsanteilen ( $R^2$ ) bis zu 47 % für die Lagerungsdichte auf (Signifikanzniveau  $p_2=0,01$ ). Der Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Regionalisierungsmodelle über den RMSE zeigt deutlich, dass mit dem hybriden Ansatz des Regressions-Kriging Modell B nach Odeh et al. (1995) mit einer Vorhersagegüte für z.B. den Tongehalt von  $\pm 2,26$  Masse-% die besten Ergebnisse

<sup>1</sup> Geographisches Institut der CAU zu Kiel  
Lehrstuhl für Physische Geographie  
-Landschaftsökologie und Geoinformation-  
krueger@geographie.uni-kiel.de

im Vergleich zu herkömmlichen Interpolationsverfahren (IDW, OK) zu erreichen sind. (vgl. Tab.1).

Tabelle1: Vergleich der Ergebnisse ausgewählter Regionalisierungsmodelle auf der Feldskala nach dem RMSE der Cross-Validierung ( $\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$ )

N=117		Methode			
Bodenparameter	mean	MLR <sub>Rel</sub>	IDW	OK	RK B
Tongehalt (Masse-%)	22,50	8,471	5,253	5,328	2,26
Schluffgehalt (Masse-%)	32,35	4,580	4,820	4,725	2,88
Sandgehalt (Masse-%)	45,15	8,547	7,313	7,352	2,40
C <sub>org</sub> (Masse-%)	1,88	1,126	0,777	0,841	0,45
L <sub>d,sa</sub> (g*cm <sup>-3</sup> )	1,46	0,133	0,100	0,102	0,06
L <sub>d,el</sub> (g*cm <sup>-3</sup> )	1,66	0,103	0,091	0,093	0,05
KAK <sub>pot</sub> (cmol <sub>c</sub> *kg <sup>-1</sup> )	20,38	6,994	4,687	4,940	2,71
Ret. pF4,2 (Vol.-%)	17,73	5,488	3,929	4,061	1,95

Auf der feldübergreifenden Skala sind deutlich geringere Korrelationskoeffizienten zwischen den Boden und Reliefparametern zu verzeichnen. Die Anteile erklärter Varianz (R<sup>2</sup>) für die C<sub>org</sub>-Gehalte und die Lagerungsdichte betragen beispielsweise 19,6 %, bzw. 31,5 %. Die Validierung der Regionalisierungsmodelle mit dem Felddatensatz zeigen die im Einzugsgebiet zu erwartende Vorhersagegüte bei einer vergleichsweise geringen Punktdichte (Tab.2).

Tabelle2: Ergebnisse der Validierung ausgewählter Regionalisierungsmodelle der feldübergreifenden Skala auf der Feldskala nach dem RMSE ( $\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$ )

N=83		Methode			
Bodenparameter	mean	MLR <sub>Rel</sub>	IDW	OK	RK A
Tongehalt (Masse-%)	22,50	8,103	6,776	7,234	8,262
Schluffgehalt (Masse-%)	32,35	4,761	5,654	5,550	5,582
Sandgehalt (Masse-%)	45,15	8,646	8,273	8,153	13,937
C <sub>org</sub> (Masse-%)	1,88	1,273	1,359	1,436	1,540
L <sub>d,sa</sub> (g*cm <sup>-3</sup> )	1,46	0,201	0,150	0,153	0,173
L <sub>d,el</sub> (g*cm <sup>-3</sup> )	1,66	0,153	0,115	0,118	0,122
KAK <sub>pot</sub> (cmol <sub>c</sub> *kg <sup>-1</sup> )	20,38	9,582	8,097	8,526	9,617
Ret. pF4,2 (Vol.-%)	17,73	7,381	6,154	6,613	7,359

Für die Schluff- und C<sub>org</sub>-Gehalte konnte die beste Vorhersagegüte mit einer multiplen, linearen Regression mit den Reliefparametern Vertikalwölbung, bzw. dem Wetness Index bei einer Vorhersagegüte von ± 4,7, bzw. ± 1,27 Masse-% erreicht werden.

Die Einbindung der aus Fernerkundungsdaten berechneten Vegetationsindices in die Regionalisierungsmodelle für die Bodenwasser- und Nährstoffhaus-

haltsparemeter führte zu einer meist nur geringfügigen Verbesserung der Ergebnisse (vgl. Tab.3).

Tabelle3: Vergleich der Ergebnisse ausgewählter Regionalisierungsmodelle für die Bodenhaushaltsparemeter

Bodenparameter	MLR <sub>Rel</sub> (n=117)	MLR <sub>Rel+FE</sub> (NDVI)		
		CIR-Luftbild 10.05.2001	LANDSAT TM 11.05.2001	SPOT 5 (n=66) 09.05.2002
KAK <sub>pot</sub> (cmol <sub>c</sub> *kg <sup>-1</sup> )	6,994	6,950	6,790	1,841
Ret. pF4,2 (Vol.-%)	5,488	5,456	5,358	1,953

#### 4 Schlussfolgerungen

Auf der Feldskala ist durch die Einbindung flächenverfügbarer prozessabbildender Co-Variablen eine deutliche Verbesserung der Vorhersagegüte zu erreichen. Auf der feldübergreifenden Skala bei ausgedünnter Punktdichte sind aufgrund der kleinräumigen Heterogenität der Boden- und Landschaftsmerkmale vergleichsweise geringere Vorhersagegüten zu verzeichnen. Dennoch stellen die Ergebnisse eine deutliche Verbesserung der flächenhaften Aussagefähigkeit von Bodeninformationen gegenüber herkömmlichen Bodenkarten dar.

Die Einbindung von Fernerkundungsdaten in die Vorhersagemodelle für komplexe Bodenparemeter, wie der KAK und dem Retentionsvermögen kann in Kombination mit den Reliefparametern zu einer verbesserten Regionalisierung führen. Allerdings ist dies auf der feldübergreifenden Skala in relativ kleinstrukturierten Landschaftsräumen mit Fruchtfolgewirtschaft, wie dem Ostholsteinischem Jungmoränengebiet nur bedingt möglich und erfordert Kenntnisse zur Vitalität der Bestände und dem landwirtschaftlichem Management. Insbesondere die für diesen Landschaftsraum typischen abflusslosen Senken geben im Fernerkundungsbild witterungsbedingt vielfach nicht das bodenbürtige Wuchspotential wider.

#### Literatur

Odeh, I.O.A., McBratney, A.B. und Chittlerborough, D.J. (1995): further results on prediction from terrain attributes: heterotropic cokriging and regression.kriging, Geoderma 67, 215-236.  
 McBratney et al. (2000): An overview of pedometric techniques for use in soil survey, Geoderma 97, 293-327.  
 Hengl, T., Heuvelink, G.B.M. und Stein, A. (2004): A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging, Geoderma 120, 75-93.

## **Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) - Qualitätssicherung, Auswertung, Präsentation**

Krug, D. , Stegger, U. \*

Die Forderung, auf nationaler und auf europäischer Ebene flächendeckende, hoch auflösende, standardisierte Informationen zur Verbreitung und Vergesellschaftung von Böden und ihren Eigenschaften zur Verfügung zu stellen, erfüllt für Deutschland in zunehmendem Maße die gemeinsam von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) der Länder erarbeitete Bodenübersichtskarte i.M. 1:200.000 (BÜK 200).

In beispielhaften thematischen Auswertungen zeigte sich, dass die Basisflächendaten der BÜK 200 – in Kombination mit hochauflösenden Fremddaten (Relief, Klima, Nutzung) – auch Anforderungen komplexer Berechnungen, wie der flächenhaften Bestimmung der Sickerwasserrate aus dem Boden, genügen. Solche Auswertungen dienen einerseits der Güteeinschätzung der Datenbasis bzw. der Datenbank, andererseits der (Weiter-) Entwicklung der Auswertungsmethoden. Weitere derartige Tests sind in enger Zusammenarbeit mit den SGD vorgesehen

Die positiven Ergebnisse der ersten thematischen Auswertungen beruhen auf der Konzeption und Qualitätskontrolle der BÜK 200. So wurde von vornherein ein möglichst hohes Maß an Datenhomogenität angestrebt, um nach der Fertigstellung des Kartenwerkes eine bundesweit vergleichbare Datenbasis zur Verfügung zu haben. Auf der inhaltlichen Seite wird dies durch einen zwischen den Staatlichen Geologischen Diensten und der BGR abgestimmten Parametersatz und eine auf ihm basierende Datenbank sichergestellt. Die Datenfelder der Datenbank sind mit Schlüssel- und Wertelisten ausgestattet und gewährleisten so eine hohe Datenintegrität. Diese Erfassungsvorgaben sorgen zusammen mit einer Online Hilfe dafür, dass die Möglichkeit fehlerhafter Einträge in die Datenbank weitgehend ausgeschlossen ist. Die Datenintegrität wird durch Kontrollen gesteigert, bei denen überprüft wird, ob die Inhalte eines Datensatzes untereinander plausibel sind. So werden beispielsweise die Einträge im Datenfeld Geogenese mit denen im Datenfeld Bodenausgangsgestein (BAG) verglichen und ggf. aneinander angepasst. Ist im Datenfeld BAG z.B. „HN“ für Niedermoor eingetragen, besteht für den Eintrag im Feld Geogenese die Vorgabe des Eintrages „og“. Ein weiterer bedingter Eintrag zu BAG und Geogenese ist die Feinbodenart. Lautet

der Eintrag im Feld BAG „Lo“ für Löss, ist diesem Eintrag eine Bodenartenuntergruppe der Hauptgruppe „u“ (Schluff) zuzuordnen.

Neben diesen in der Datenbank der BÜK 200 implementierten Erfassungsvorgaben und Plausibilitätsüberprüfungen der Datenbankinhalte, stellen die thematischen Auswertungen der Daten die beste Qualitätskontrolle dar. Programmierte Auswertungsabläufe zeigen beim „Auftreffen“ auf unlogische, falsche oder fehlende Datenbankeinträge Fehlermeldungen an. Nachdem auf diese Weise Defizite identifiziert worden sind, können diese daraufhin beseitigt werden.

Auf der grafischen Seite besteht die Qualitätskontrolle in der Überprüfung von Mindestflächengrößen und Mindestgrenzabständen sowie auf der Überprüfung und ggf. Korrektur des Grenzabgleichs zwischen den einzelnen Kartenblättern, der letztendlich die Blattschnittfreiheit des Kartenwerkes gewährleistet.

Im Zuge der Fertigstellung der BÜK 200 werden Fremddaten, vor allem Reliefinformationen, für die Validierung bzw. Verifizierung der Bodengrenzen der BÜK 200 herangezogen. Für diese Arbeit steht bei der BGR neben den aus DGM 50 – Daten ableitbaren „einfachen“ Reliefkarten (z.B. Schummendarstellung, Höhenschichten, Neigungsstufen) die GMK 1000 zur Verfügung, auf der flächenhafte morphographische Reliefeinheiten wie z.B. Senken-, Hang- und Scheitelbereiche ausgehalten werden. Insbesondere diese Flächeneinheiten können zur Überprüfung bzw. Homogenisierung vor allem von Tal- bzw. Auenabgrenzungen herangezogen werden.

Neben dieser, die räumliche Komponente des Kartenwerkes betreffenden Optimierung und der inhaltlichen Qualitätssicherung der Datenbank wird in der nächsten Zeit der Schwerpunkt der Arbeiten auf der Vervollständigung der Sachdatensätze liegen. So fehlen für manche Kartenblätter noch komplette Flächenprofile. Für andere Blätter stehen noch nicht zu jeder in einer Legendeneinheit vorkommenden Nutzungsart Profile zur Verfügung.

Neben den rein fachlichen Arbeiten zur BÜK 200 liegt ein Arbeitsschwerpunkt auf der Präsentation der BÜK 200 im Internet – bereits jetzt sind alle BÜK 200-Blätter mit ausführlichen Metainformationen hinterlegt. Zur Zeit werden bei der BGR Internetbasierte Web Mapping Services (WMS) und in einem weiteren Schritt Web Soil Services (WSS) entwickelt, die auch auf BÜK 200-Daten zurückgreifen, wobei WMS in erster Linie der Darstellung von Basisinformationen dienen, während WSS interaktive thematische Auswertungen dieser Informationen ermöglichen.

\* Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover



**Vorstellung eines Regionalisierungsschlüssels zur Ausweisung von Risikoflächen für Bodenverdichtungen im Maßstab 1:50.000**

Matthias Lebert\* und Walter Schäfer\*\*

**1. Einleitung**

Bodenverdichtungen haben das Potenzial, besonders im Unterboden die Funktionen des Bodens im Ausgleich des Naturhaushalts und in der Produktion nachhaltig zu schädigen. Deshalb ist es wichtig, den Bodenschutz dort zu optimieren, wo die Standorteigenschaften eine Gefährdung erwarten lassen.

**2. Material und Methoden**

Es wurden folgende bodenphysikalische Messdaten von 46 Ackerböden aus dem niedersächsischen BDF-Messprogramm ausgewertet:

- Bodenart
- nutzbare Feldkapazität
- Trockenrohdichte
- Luftkapazität
- Totwassergehalt
- organische Substanz
- gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert)
- effektive Lagerungsdichte (LD-Wert)
- Kohäsion (geschätzt)
- Winkel der inneren Reibung (geschätzt)

**3. Ergebnisse: Lösungsweg in 4 Schritten**

**3.1. Ermittlung der Verdichtungsempfindlichkeit**

Zunächst wird die mechanische Vorbelastung der Böden mithilfe von Pedotransferfunktionen nach DVWK-M-234, DVWK-M-901 und DIN-Vornorm 19688 ermittelt. Die Ergebnisse werden auf Plausibilität geprüft und den Böden Niedersachsens die geeignete Methode zur Schätzung der Vorbelastung zugeordnet (Tab. 1).

Danach wird die Verdichtungsempfindlichkeit anhand der Vorbelastung klassifiziert (Tab. 2).

Anhand der geeigneten Modelle wird dann die Verdichtungsempfindlichkeit in Stufen nach Bodenart und effektiver Lagerungsdichte (LD-Wert) zugeordnet (Tab. 3).

Tabelle 1: Für niedersächsische Böden geeignete Modelle zur Schätzung der Vorbelastung

Bodenart	Geeigneter Rechenansatz	
S	Ss, S12, S13, S14, S12, Su2, Su3	DVWK 234
	Su4, Su	DIN-V, DVWK 901
U	U12, U13, U1s, u1, U1s	DVWK 234, DIN-V, DVWK 901
	U14	DIN-V, DVWK 901
L	Lu4, Lu3	DVWK 234
	L1s, L12, L13, Lu	DIN-V
T	Tu2, Tu3, Tu4, T1, T1	DIN-V

Tabelle 2: Klassifizierung der Verdichtungsempfindlichkeit anhand der Vorbelastung

Vorbelastung (kPa)	Verdichtungsempfindlichkeit	
	Bezeichnung	Klasse
40 - < 80	sehr hoch	5
80 - < 120	hoch	4
120 - < 160	mittel	3
160 - < 200	gering	2
≥ 200	sehr gering	1

Tabelle 3: Zuordnung der Verdichtungsempfindlichkeit nach Bodenart und LD-Klasse

Bodenart	Verdichtungsempfindlichkeit (Stufe)				
	LD 2	LD 3	LD 4	LD 5	
S	Ss, Su2, S12, S12	4	2	1	
	S13, S14, Su3	5	3	1	
U	U12, U13, U1, U1s, U1s	4	3	2	
	U14	5	4	3	
L	Lu4			3	3
	L1s, L12, L13, Lu		4	4	4
T	Tu3, Tu4		4	4	(4)
	Tu2, T1		(4)	4	4

Anhand der Zuordnungen in Tabelle 3 lässt sich die mechanische Verdichtungsempfindlichkeit in Maßstäben von 1:50.000 (BÜK50, BK50) bis 1:5.000 (Bodenschätzung) kartieren (Abb. 1).

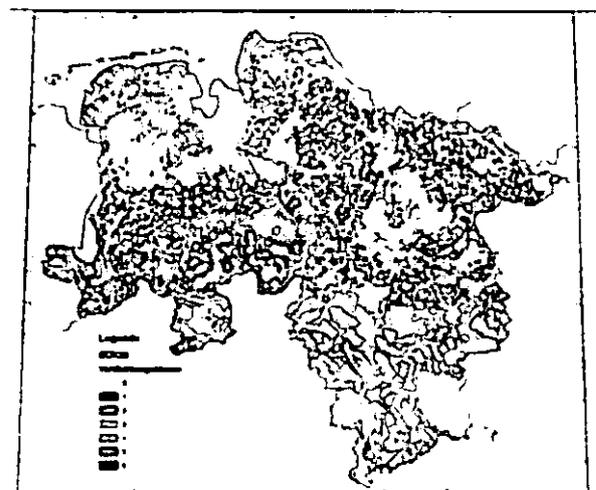


Abbildung 1: Karte der mechanischen Verdichtungsempfindlichkeit von Böden in Niedersachsen am Beispiel der BÜK50

\* Ingenieurbüro für Bodenphysik Kiel, Email: Matthias.Lebert@t-online.de

\*\* Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen Email: Walter.Schaefer@lbg.de

### 3.2. Gefügebewertung

Für bodenfunktionale Bewertungen müssen die bodenmechanischen Betrachtungen um die Bodengefügeeigenschaften erweitert werden. Nach Umweltbundesamt (2004) kann dann von einer Beeinträchtigung der Bodenfunktionen durch Verdichtung ausgegangen werden, wenn gleichzeitig eine Luftkapazität von kleiner 5 Vol.%, ein kf-Wert von kleiner 10 cm/d und eine LD-Stufe von 4 oder 5 vorliegen. Anhand dieser Kriterien werden die Gefügeeigenschaften niedersächsischer Ackerböden eingestuft (Tab. 4).

Tabelle 4: Einstufung der Gefügeeigenschaften in Anlehnung an Schwellenwerte für eine Beeinträchtigung von Bodenfunktionen (in Klammern)

Geologie	LK (5) (Vol.%)	Kf (10) (cm/d)	LD (4+5) (-)	Gefügeeinstufung
Sand (n = 25)	16,4 ± 6,6	278 + 610 - 190	2,7 ± 0,7	günstig
Löss (n = 11)	11,0 ± 4,0	182 + 200 - 85	2,5 ± 0,7	
Lösslehm (n = 19)	5,7 ± 2,7	35 + 70 - 23	3,0 ± 0,4	ungünstig
Geschlebelehm (n = 4)	7,3 ± 4,8	17 + 19 - 9	4,3 ± 0,6	
Ton, ton. Lehm (n = 5)	2,7 ± 1,7	6 + 42 - 4,5	4,0 ± 0,6	kritisch

### 3.3. Einstufung der Gefährdung von Bodenfunktionen

Die Bewertung der Gefährdung von Bodenfunktionen durch Verdichtung geschieht über die Kombination der mechanischen Verdichtungsempfindlichkeit mit dem aktuellen Gefügezustand. Gering gefährdet sind die Bodenfunktionen von Böden, deren Verdichtungsempfindlichkeit gering bis mittel ist, bei gleichzeitig günstigen Gefügeeigenschaften. Hoch gefährdet sind Böden mit hoher bis sehr hoher Verdichtungsempfindlichkeit und gleichzeitig kritischem Bodengefüge. Insgesamt werden die niedersächsischen Ackerböden in 4 Gefährdungsklassen eingestuft (Tab. 5).

Tabelle 5: Einstufung des Risikos der Gefährdung von Bodenfunktionen durch Verdichtung

Geologie	Bodentyp	Gefügezustand	Verdichtungsempfindlichkeit	Risikoklasse
Sande	Braunerde Podsol	günstig	gering - mittel	gering gefährdet = 1
			mittel - hoch	mäßig gefährdet = 2
Löss	Schwarzerde- Parabraunerde	ungünstig	hoch - sehr hoch	gering gefährdet = 3
Lösslehm Gesch.lehm	Parabraunerde Pseudogley			hoch gefährdet = 4
Auenlehm	Auenboden	kritisch	hoch - sehr hoch	gering gefährdet = 1
Marschen Tone	Seemarsch Pelosol			hoch gefährdet = 4

### 3.4. Regionalisierung und Kartierung

Die Einstufungen nach Tabelle 5 lassen sich über die Kriterien Stratigraphie, Geogenese, Bodentyp und Bodenart in einen Regionalisierungsschlüssel für die Bodenkundliche Übersichtskarte 1:50.000 (BÜK50) überführen (Tab. 6) und in der Karte darstellen (Abb. 2).

Tabelle 6: Regionalisierungsschlüssel für die BÜK50 in Niedersachsen (Auszug)

Risikoklasse	Stratigraphie	Geogenese	Bodentyp	Bodenart
1	qw, qh, qp, qD	Sa, Sp, f, gf		S
2	qw	Lo, Lol, Los	mit T	
3	qw, qh qD	Lol, Los Lg	ohne T	
4	qw, qp qh, qw	fl, sh, hg Lf, m, pm, br		T, Lt, Lts T, U, L

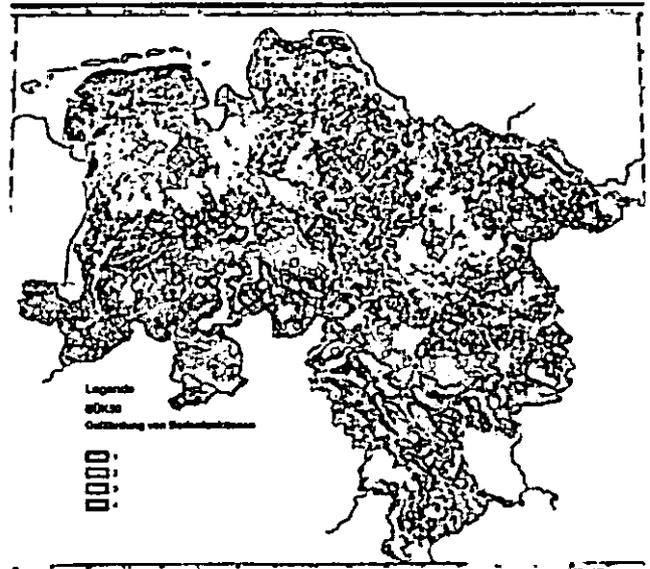


Abbildung 2: Risikogebiete für Bodenverdichtungen in Niedersachsen am Beispiel BÜK50

Risikogebiete für Bodenverdichtungen sind anhand der standörtlichen Voraussetzungen in Niedersachsen die Flussauen und Marschen, Geschiebelehme der Geest sowie die Lösslehmgebiete des Harzvorlandes.

### 4. Schlussfolgerungen

Anhand des Regionalisierungsschlüssels und der Auswertungskarte werden die Gebiete mit erhöhtem Risiko (Klassen 3 und 4) identifiziert und Bodenschutzkonzepte können darauf abgestimmt werden.

#### Weiterführende Literatur:

Lebert M. und Schäfer W. (2005): Verdichtungsgefährdung niedersächsischer Ackerböden. Z. Bodenschutz 2/05, 42-46.

# Innovative Ansätze bei der Bewertung anthropogener und natürlicher Böden

## Einleitung

Mit dem neuen Bewertungsverfahren TUSEC (Technique of Urban Soil Evaluation in City Regions) besteht die Möglichkeit, natürliche Böden sowie anthropogen veränderte Böden ( Stadtböden) zu bewerten. Dieses neue Verfahren wurde gemeinsam von und für Bodenkundler und Raumplaner entwickelt und getestet. Es stehen Verfahren für zwei Ebenen der Bearbeitungsintensität zur Verfügung. Für die Detail-Ebene (etwa für die Maßstäbe 1:5.000 und 1:10.000), die eine flächenscharfe Bewertung zuläßt, sind feldbodenkundlich, separat nach Bodenhorizonten, aufgenommene Parameter erforderlich. Zudem steht mit der Beta-Version ein Bewertungsverfahren für eine Ebene orientierender Aussagen zur Verfügung mit dem Maßstab von 1:20.000 und größer). Die orientierende Bewertung lehnt sich im Wesentlichen an das Prinzip der Konzeptbodenkarten an. Für diesen Ansatz ist also nur eine stichprobenartige Bodenkartierung erforderlich, generell werden die orientierenden Aussagen auf Grund von Sekundärdaten getroffen. Das Bewertungsverfahren TUSEC wurde im Rahmen des von TUSEC-IP (-Implementation in Planning Procedures) erarbeitet, einem Projekt des Interreg III B Alpenraum-Programms der EU. Die Entwicklung des TUSEC-Manuals erfolgte federführend durch die Universität Hohenheim zusammen mit dem Lead Partner der Stadt München (RGU) und den Projektpartnern der Städte Reutlingen, Linz, Zürich und Maribor sowie den Universitäten Innsbruck und Turin, dem Umweltbundesamt Wien und der Autonomen Provinz Bozen (s. auch [www.tusec-ip.org](http://www.tusec-ip.org)).

TUSEC ist ein Verfahren zur Bewertung der Bodenfunktionen wie sie im Bundesbodenschutzgesetz der Bundesrepublik Deutschland (BodSchG) und in der Soil Strategy der Europäischen Union festgeschrieben sind. Zudem ist mit der TUSEC-Variante für die detaillierte Arbeitsweise eine Bewertung von Bodenleistungen mit besonderer (monetärer) Relevanz für die Stadtplanung möglich. Es sind Bewertungsverfahren für die Eignung von Böden für die dezentrale Versickerung und für den Klimaausgleich durch Kühlung realisiert.

## Bewertungsansatz

TUSEC ist die erste umfassend getestete Methode, mit der Besonderheiten anthropogener Böden berücksichtigt werden. Entsprechend finden Angaben zum Skelettgehalt, zu extremer Verdichtung, Lockerung und Kontaminationen Eingang in das Bewertungsverfahren.

Besteht ein Boden aus umgelagertem Material wird dies ebenso berücksichtigt.

Die Implementierung der für anthropogene Böden typischen Merkmalsausprägungen ist denkbar einfach. Beispielsweise ist bekannt, dass in Böden ab einem Stein- oder Artefaktgehalt von 60 Vol.% Stein-Stein-Kontakte auftreten. Derartige Skelettgehalte bedingen eine sehr hohe hydraulische Leitfähigkeit. Tatsächlich enthalten anthropogene Böden häufig entsprechende Mengen an Bau- oder Kriegsschutt (LEHMANN und STAHR 2007). Für diese Fälle ist im Bewertungsverfahren eine direkte Weiterleitung zur höchsten Leitfähigkeits-Klasse vorgesehen. Die entsprechenden Umsetzungen dieser Kenntnisse ist in den Tabellen 1 bis 3 mit der Darstellung von Bewertungsschritten des detaillierten Verfahrens beispielhaft dargestellt.

**Tabelle 1:** Abschätzen der hydraulischen Leitfähigkeit (kf) bei TUSEC zur Bewertung der Funktion anthropogener und natürlicher Böden als Ausgleichskörper im Wasserhaushalt.

wenn der Skelettgehalt $\geq 60$ Vol.-% ist	-->	weiter bei (f)
wenn der Horizont aus umgelagertem Bodenmaterial besteht und die Lagerungsdichte niedriger als $1.6 \text{ g/cm}^3$ ist	-->	weiter bei (f)
wenn der Horizont ein Krümel- oder Subpolyedergefüge aufweist und die Lagerungsdichte niedriger als $1.4 \text{ g/cm}^3$ ist	-->	weiter bei (f)
in allen anderen Fällen	-->	weiter bei (ff)
(f) : $k_f > 100$		
(ff) : $k_f$ Abschätzung auf Basis von Textur und Lagerungsdichte		

Neu ist auch der Bezug zur Aggregierung für die Bewertung anthropogener und natürlicher Böden. Dies wird in Tabelle 2 exemplarisch gezeigt.

**Tabelle 2:** Teilschritt der Bewertung des Bodens als Standort für Biomasseproduktion mit Bezug zum Bodengefüge

	1	2	3	4	5
Oberbodengefüge und Lagerungsdichte (Ld)	Krümelgefüge + Ld $\leq 1,5$	> 25% Krümelgefüge + Ld $\leq 1,5$	Überwiegend Subpolyeder- oder Einzelkomgefüge + Ld $\leq 1,5$	Überwiegend Subpolyeder- oder Einzelkomgefüge + Ld $\leq 1,5$	anders
Unterboden bis in mind. 40 cm Tiefe	Ld $\leq 1,5$	Ld $\leq 1,5$	Ld $\leq 1,5$	Ld > 1,5 und $\leq 1,7$	anders
zusätzliches Kriterium	kein erdösser Torf				

In der deutschen Fassung von TUSEC wird die Lebensraumfunktion, wie in Tabelle 3 auf der folgenden Seite dargestellt, bewertet. Dabei werden Ergebnisse chemischer Bodenuntersuchungen optional mit einbezogen.

Die Methodendokumentation zu TUSEC erscheint im Dezember 2007 in englischer und deutscher Sprach als Heft 83 der Hohenheimer Bodenkundlichen Hefte (LEHMANN et al. 2007).

Das Bewertungsverfahren für die detaillierte Ebene steht unter der Bezeichnung ILSE (Information on land and soil evaluation) auch als Demo-Version (Benutzername 'gast', Passwort 'ilse') in englischer und deutscher Sprache zur Verfügung: <http://demo.grid-it.at/ilse>.

Tabelle 3: Bewertung der Lebensraumfunktion

Teil 1	
Klassifikation der Verunreinigung auf der Basis spezifischer Hinweise <sup>1)</sup>	
keine Hinweise auf diffuse oder punktuelle Bodenkontamination, und keine Notwendigkeit zu weiteren Untersuchungen nach dem BBodSchG	1
keine Hinweise auf diffuse Kontamination, abgesehen von schwachem Verkehr, und keine Hinweise auf punktuelle Bodenkontamination, und keine Notwendigkeit zu weiteren Untersuchungen nach dem BBodSchG	2
Hinweise auf diffuse Kontamination, aber keine Hinweise auf punktuelle Bodenkontamination, und keine Notwendigkeit zu weiteren Untersuchungen nach dem BBodSchG	3
wenn Analysedaten verfügbar sind Teil 2 fortführen, ansonsten weiter mit Teil 1	
Hinweise auf punktuelle Bodenkontamination	5
Teil 2	
Klassifikation der Verunreinigung auf der Basis von Analysedaten	
Belege für Verunreinigungen, die nach dem BBodSchG keiner Sanierung bedürfen	4
Belege für Verunreinigungen, die nach dem BBodSchG der Sanierung bedürfen	6

<sup>1)</sup> Spezifische Hinweise auf diffuse Kontamination sind z.B. Informationen zu derzeitigen oder früheren Emissionen, Flächen im Einflussbereich von (ehemaliger) Schwerindustrie oder dichtem Verkehr zählen prinzipiell zu den Verdachtsflächen. Spezifische Hinweise auf punktuelle Kontamination können Anfahrtsrouten sein. „Punktuelle“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass sich die Größe der Kontamination nicht über die Fläche einer (ehemaligen) Anlage hinaus erstreckt.

### TUSEC im Test

Die Version für eine detaillierte Bewertung mit TUSEC wurde von den Autoren mit drei Verfahren der Raumplanung getestet. In der Gemeinde *Eningen* wurde das Industriegebiet „Untere Bäch“ bearbeitet, für die Stadt *Reutlingen* erfolgte die Bodenbewertung in dem geplanten Baugebiet „Hau I“. In der Reutlinger Umlandgemeinde *Kusterdingen* konnte mit den Ergebnissen und Ableitungen aus der Bodenbewertung bei der Erstellung eines Bebauungsplans mitgewirkt werden. Weitere Test führten TUSEC-IP-Projektpartner mit und ohne Beteiligung der Autoren in München (D), Bruneck (I), Ottensheim, Wörgl, Linz (AU), Gruliasco (I), Maribor (SL), Zürich und Chur (CH) durch.

Bei jedem der drei beispielhaft bearbeiteten Testgebiete ließen sich Empfehlungen ableiten, mit denen ein erhebliches Potenzial zur Optimierung der Raumplanung und zur Kosteneinsparung verbunden sind.

So wurde in *Eningen* eine willkürliche Bodenverdichtung bei der Anlage einer Freifläche festgestellt. Mechanisches Lockern und die Einsaat eines Lupinengemenges wurden als Maßnahme empfohlen, um die Funktionalität der Böden wieder herzustellen. Dadurch werden Kosten durch Entlastung der Kanalisation und durch Vermeiden von potenziellen Hochwasserschäden eingespart. Zudem entsteht durch die Beseitigung (oder Vermeidung) der Bodenverdichtung ein zusätzlicher Nutzen durch erhöhte Kohlendioxidbindung im Boden, die erhöhte Verdunstung von der Bodenoberfläche und gutes Wachstum der Vegetation tragen zu einer Klimaverbesserung in Hitzeperioden bei. Zusätzlich wird in unverdichtetem Boden lungengängiger, gesundheitsschädlicher Staub optimal gebunden.

In *Reutlingen* ergaben die bodenkundlichen Erhebungen, dass auf ein geplantes Regenrückhaltebecken verzichtet werden konnte. Die Kapazität zur Aufnahme von Niederschlag durch die Böden im Bereich der geplanten Regenrückhaltebecken überstieg sogar das Speichervolumen der vorgesehenen Becken.

Zudem wurde bei den bodenkundlichen Kartierungen ein Wölbacker unter Streuobstnutzung erkannt. Es wurde empfohlen, diesen Wölbacker als Freifläche zu belassen und die Oberfläche nicht durch landschaftsgärtnerische Maßnahmen umzugestalten.

Bei dem am mittelstark geneigten Hang gelegenen Baugebiet in *Kusterdingen* ließ sich nachweisen, dass die Menge an Wasser, die in den Böden versickern kann, viel zu niedrig kalkuliert wurde. Die Wasserdurchlässigkeit im Unterboden zwischen 50 cm und 1 m Tiefe war tatsächlich niedrig, doch blieb die hohe hydraulische Leitfähigkeit der Böden (meist Kolluvisole) oberhalb von 50 cm unberücksichtigt. Tatsächlich sorgt diese jedoch für eine rasche hangabwärtsgerichtete Entwässerung in den Vorfluter. Derartige Situationen werden von Bauingenieuren und Hydrologen üblicherweise falsch eingeschätzt, wodurch erhebliche Kosten entstehen.

Allerdings muss angemerkt werden, dass laterale Versickerung mit einem schematischen, punktbezogenen Bewertungsverfahren wie TUSEC nicht erfasst wird. Um die Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den bewerteten Böden zu berücksichtigen, bedarf es der

Interpretation der Bewertungsergebnisse durch Bodenkundler. Zugleich müssen die Baumaßnahmen so geplant werden, dass Wege für den lateralen Fluss nicht durch Konstruktionen versperrt und nicht durch Verdichtungen beeinträchtigt werden. Auch hierfür ist Beratung und Überwachung durch Bodenkundler erforderlich und führt zur Kostenersparnis.

### Perspektiven

Ein signifikanter Bedarf zur Weiterentwicklung von TUSEC ergab sich auf Grund der Anforderungen von Raumplanern nach einer nutzungsspezifischen Bewertung und nach einer Bewertung mit nur einer Maßzahl, die über alle Bodenfunktionen integriert.

Eine nutzungsspezifische Bewertung konnte durch die Einführung der Hierarchieebene der Sub-Funktionen (die einer Bewertung auf Bebauungsplanebene entspricht) exemplarisch entsprochen werden. Dennoch ist die Bewertung von Funktionen und Teilfunktionen für die Flächennutzungsplanung und entsprechende frühe Planungsstadien unverändert durchzuführen.

Für die Entwicklung einer I-Wert-Bewertung wird eine multivariate Analyse der Abhängigkeiten zwischen Bodenparametern und Bodenfunktionen und zwischen den Bodenfunktionen empfohlen. Das Ergebnis der Analyse wird das Clustern von Bodengruppen mit spezifischen Interkorrelationen ermöglichen. Damit kann eine Methode für eine Gesamtbewertung der Funktionalität der ausgewiesenen Bodengruppen entwickelt werden.

### Literatur

LEHMANN, A., S. DAVID und K. STAHR (2007): TUSEC – Handbuch zur Bewertung von natürlichen Böden und anthropogenen Stadtböden/ TUSEC - A manual for the evaluation of Natural Soils and Anthropogenic Urban Soils. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte 83, in print  
 LEHMANN, A., and K. STAHR (2007): Nature and Significance of Anthropogenic Urban Soils. *J. Soils and Sediments* 7 (4) 247-260.

## Anwendbarkeit von Verfahren zur Elution von Bodensäulen bei Böden aus technogenen Substraten

Makowsky, L.<sup>1</sup>, Meuser, H.<sup>1</sup> & Tapernon, S.<sup>2</sup>

### Fragestellung

Die Vorteile von Bodensäulen gegenüber Schüttelextrakten, worauf bei der Boden- und Altlastenuntersuchung zur Erfassung anorganischer Schadstoffe verwiesen wird [1] (z.B. DIN 38414 [2]), liegen in der realitätsnäheren Widerspiegelung der Standortbedingungen [3,4]. Neben dem engeren Flüssigkeits-Feststoff-(F/F)-Verhältnis wird eine geringere mechanische Beanspruchung gewährleistet. Deshalb zielt der gewählte Forschungsansatz darauf ab, zu prüfen, ob die **Elution von Bodensäulen unter Einhaltung** der nach DIN 38414 [2] geforderten **Gleichgewichtsbedingungen** (elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert) bei einer Kontaktzeit von 24 h durchführbar ist (Abb. 2).

Der prinzipiellen, technischen Anwendbarkeit auf diagnostische Horizonte aus technogenen Substraten wird mittels des Verfahrens ungestört, *in situ* entnommener bzw. gestört befüllter Bodensäulen am Beispiel anthropogener Auftragsböden aus **Asche**, **Bergematerial** und **Industrieschlamm** nachgegangen. Die wassergesättigte Elution erfolgt an 550 cm<sup>3</sup> Bodensäulen im **Dynamischen Batchtest** [5] (Abb. 1).

### Material & Methoden

Die Untersuchungen beziehen sich auf die diagnostischen Horizonte ausgewählter anthropogener Auftragsböden aus **Asche** (Ockerreduktosol; yyeYo-Horizont), **Bergematerial** (Sauer-Regosol; yyiCv-Horizont) und **Industrieschlamm** (Pararendzina; yyeC-Horizont) [6]. Die Standortbeprobung erfolgt *in situ* mit Bodensäulen (550 cm<sup>3</sup>) in ungestörter Lagerung. Zusätzlich werden Gewichtsproben aus dem unmittelbaren Nahbereich der ungestörten Probenahme gewonnen. Nach Einbau in die Dynamische Batchtest-Anlage (Abb. 1) werden die Bodensäulen mit entgastem H<sub>2</sub>O<sub>dem</sub> nach Aufsättigung im Perkolationsbetrieb für 24 h in Zirkulation eluiert (Flussrate: 30 – 600 ml h<sup>-1</sup>; F/F-Verhältnis:

0.6 - 1.9; Temperatur: 18.7 °C – 22.1 °C). Begleitend erfolgt die Aufzeichnung der Randbedingungen (EC-, pH-, Eh- und Temperaturwerte) über Datenlogger in 30 Minuten-Intervallen.

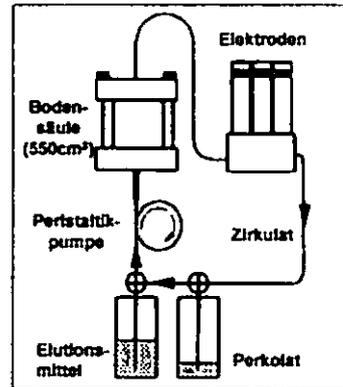


Abb. 1: Funktionsprinzip Dynamischer Batchtest [5]

### Ergebnisse

**Gleichgewichtsbedingungen** seien rechnerisch gegeben, wenn das Stabilitätsniveau (EC<sub>25</sub><sup>Stab</sup>) erreicht ist (Abb. 2). Für das untersuchte Spektrum technogener Substrate leitet sich die EC<sub>25</sub><sup>Stab</sup> über die Steigung aus der Wurzeltransformation<sup>2</sup> des Grenzwertes der EC<sub>25</sub> (EC<sub>25</sub><sup>Grenz</sup>) ab. EC<sub>25</sub><sup>Grenz</sup> nimmt gemäß der (Weibull-) Anpassungsfunktion den Wert *a* an, wenn die Austauschhäufigkeit (AH) unendlich groß wird:

$$EC_{25}^{Grenz} = a - b * \exp(-c * AH^d)$$

Die praktisch-technische Durchführung der Elution von **gestört** eingebauten **Bodensäulen** ist **allein bei Aschen** möglich. Jedoch sind hier nach Ablauf von 24 h die Gleichgewichtsbedingungen in Frage zu stellen, weil der EC<sub>25</sub><sup>Stab</sup>-Wert nur bei 50 % der EC<sub>25</sub><sup>Grenz</sup> liegt. Weiterhin scheint die Anpassung den funktionalen Zusammenhang nicht optimal wiederzugeben, denn die Residuen weichen nicht zufällig von der Anpassungsfunktion ab. Bei **ungestörtem Einbau** dagegen ist bei allen technogenen Substraten von Gleichgewichtsbedingungen auszugehen, weil > 70 % der EC<sub>25</sub><sup>Grenz</sup> erreicht sind und sich die Güte der Anpassung über die zufällige Abweichung der Residuen zeigt.

<sup>1</sup> Fachhochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften & Landschaftsarchitektur Oldenburger Landstraße 24, D-49090 Osnabrück; e-mail: l.makowsky@fh-osnabrueck.de

<sup>2</sup> Joh.-Gutenberg Universität Mainz, Geographisches Institut, D-55099 Mainz

<sup>2</sup> Formel zur Ermittlung des Stabilitätsniveaus mit zwei Multiplikatoren und einem exponentiellen Faktor:  
 $EC_{25}^{Stab} = ((\text{Wurzel}(EC_{25}^{Grenz}) * 0.05))^{1.5} * 2$

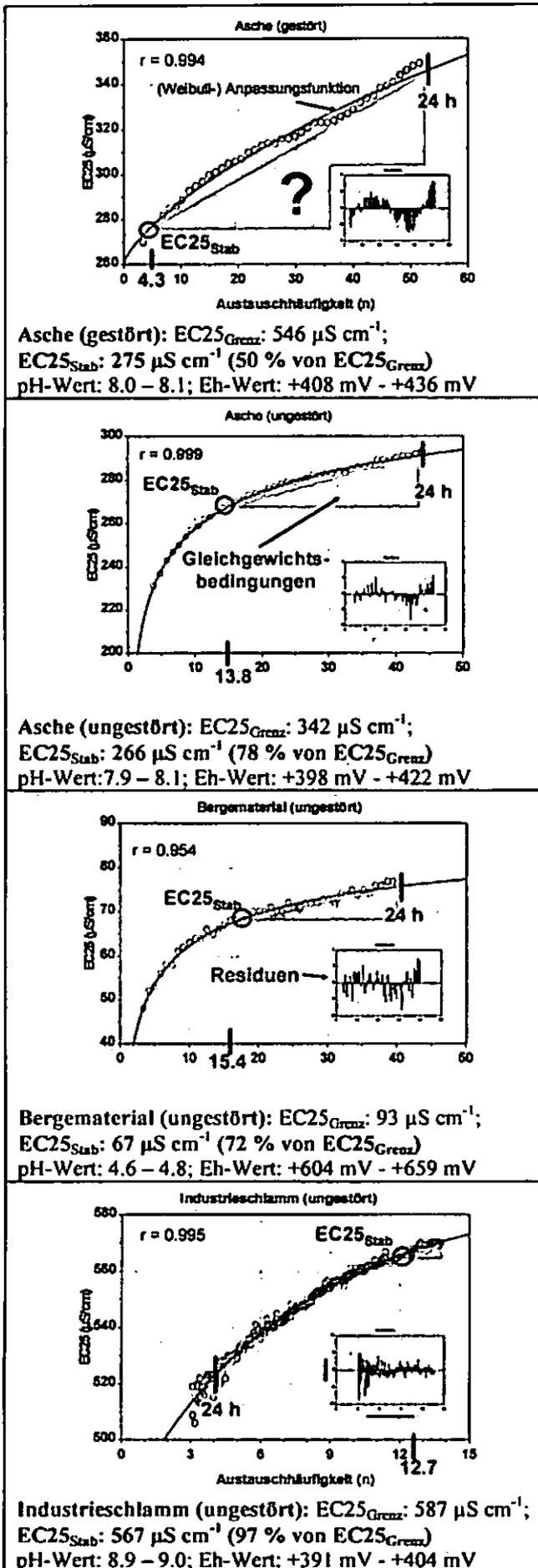


Abb. 2: Gleichgewichtsbedingungen für Bodensäulen aus technogenen Substraten bezogen auf die Austauschfähigkeit (AH) im Dynamischen Batchtest

## Schlussfolgerungen

Bei Elution ungestört eingebauter Bodensäulen sind Gleichgewichtsbedingungen sowohl für Asche als auch für Bergematerial und Industrieschlamm ab 13 – 15 Austauschhäufigkeiten gegeben (vgl. Abb. 2). Zu beachten ist, dass es für Industrieschlamm auf Grund der niedrigen Pumprate einer verlängerten Versuchslaufzeit von 7 d Bedarf. Entscheidend für die technische Durchführbarkeit und das Eintreten von Gleichgewichtsbedingungen ist die Art der technologischen Substrate [7]. Eine gestörte Befüllung der Bodensäulen ist **nachteilig**, weil bei

- Asche Gleichgewichtsbedingungen in Folge des Entstehens frischer Bruchflächen unsicher sind

und weil die Elution bei

- Bergematerial aus stark verwittertem Tonstein des Steinkohlebergbaus wegen der Freisetzung von Tonpartikeln sowie bei

- Industrieschlamm wegen der Zerstörung der pedogenen Aggregatstruktur

technisch nicht durchführbar ist.

Der Elution von ungestört entnommenen Bodensäulen zur Gefährdungsabschätzung von anthropogenen Böden aus technogenen Substraten ist wegen der Vorteile gegenüber dem Schüttelextrakt nach DIN 38414 [2] der Vorzug zu geben.

## Dank

Für die finanzielle Unterstützung bedanken sich die Autoren bei der Arbeitsgruppe Innovative Projekte (AGIP) beim Ministerium für Wissenschaft und Kultur des Landes Niedersachsen. Auch für die konstruktiven Diskussionen sei besonders den KollegInnen des „Forschungsseminars Boden“ an der Fachhochschule Osnabrück herzlich gedankt.

## Quellen

- [1] BBodSchV (1999).- Bundesgesetzblatt
- [2] DIN 38414 (1984): Eluierbarkeit mit  $\text{H}_2\text{O}_{\text{dem}}$ .- Beuth Verlag, Berlin
- [3] Gerth, J. (2006): Sickerwasserprognose für anorganische Schadstoffe.- in: Ingenieurgeochemie, Springer Verlag, Berlin
- [4] Kalbe, U., Berger, W., Eckardt, J. & Christoph, G. (2006): Laborvergleichsuntersuchungen SIWAP.- Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
- [5] UIT (Umwelt- und Ingenieurtechnik Dresden) (2003): Dynamische Batchtest-Anlage, Typ Eco.- Dresden
- [6] AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung.- Hannover
- [7] Meuser, H. (2002): Anthropogene Gesteine.- Handbuch der Bodenkunde, Landsberg

## Wichtige Aspekte für Stadtböden bei der Bewertung der Bodenfunktionen gemäß §2 BBodSchG

Helmut Meuser\*

### Einleitung

Von 2005 bis 2007 wurden für die Städte Osnabrück, Münster und Gelsenkirchen Modelle zur Bodenfunktionsbewertung erarbeitet.

Ziel der Projekte war die Erarbeitung von Bewertungsgrundlagen für die unterschiedlichen Teilfunktionen unter Einbeziehung natürlicher und anthropogener Böden und die Erarbeitung eines Ablaufschemas für eine zusammenfassende Bodenfunktionsbewertung. Dabei wurde Wert auf eine vereinfachte Umsetzbarkeit im Rahmen der Bauleitplanung gesetzt.

Im Folgenden wird auf einige wichtige Aspekte eingegangen.

### Aspekte

Die Bodenfunktionsbewertung findet in den drei Städten im Rahmen der Umweltprüfung nach BauGB bei der Aufstellung konkreter Bebauungspläne statt, d.h. Angaben zum Boden müssen – wie bei den anderen Umweltbereichen auch – möglichst großmaßstäblich vorliegen. Da im urbanen Verdichtungsraum generell von einer hohen Heterogenität der Bodenverhältnisse auszugehen ist, reichen i.d.R. die bereits kartografisch vorliegenden und oft den Siedlungsbereich ausklammernden Grundlagen (BK 5, BK 25, BK 50, RBS, Bodenbelastungskarten BBK) nicht aus, so dass auf Felduntersuchungen nicht verzichtet werden kann. Wie fehlerhaft die Bewertung sein kann, zeigt Abb. 1. Würde beispielsweise die Teilfunktion Lebensgrundlage für Pflanzen bewertet, wäre bei dem ausgewiesenen Bodentyp Gley in einem Fall (Fläche 2) die Wertigkeit unterschätzt, im anderen Fall (Fläche 3) überschätzt worden.

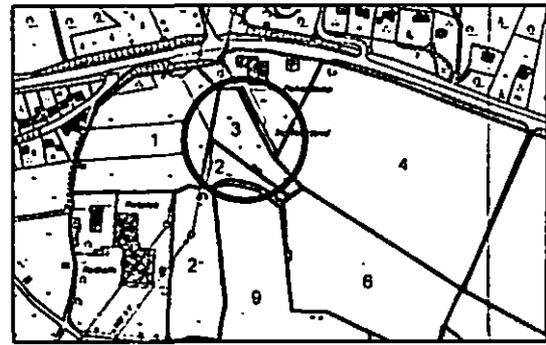


Abb. 1: Bodentyp laut BK 50: Gley  
Wirkliche Standortverhältnisse:  
Fläche 2: Nass-Gley mit hydrophiler Vegetation  
Fläche 3: Allo-Pararendzina unter Grünland

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Tatsache, dass in Abhängigkeit von der Nutzung ein hoher Anteil anthropogen geprägter Böden (Deposole, Kultusole), die nicht in den Karten dargestellt sind, vorliegt, wie das Beispiel der Stadt Münster zeigt (Abb. 2). Solche Böden müssen aber in jedem Fall ebenfalls funktional bewertet werden können.

Insgesamt existieren mindestens 20 Teilfunktionen. Welche Teilfunktionen jeweils berücksichtigt werden sollten, muss regionalspezifisch beantwortet werden. So ist die Bewertung der Teilfunktion Lebensgrundlage für den Menschen in Gelsenkirchen, wo die Hintergrundwerte sehr häufig die Vorsorgewerte der BBodSchV überschreiten, deutlich wichtiger als in Münster, wo die Hintergrundwerte i.d.R. unterhalb der Vorsorgewerte liegen. Dagegen ist beispielsweise die Teilfunktion landwirtschaftliches Ertragspotential in Münster mit einem Anteil von 49% landwirtschaftlicher Nutzfläche bedeutungsvoller als in Gelsenkirchen (Anteil 15%).

Differenziert sollte auch bei der Skalierung der Bewertung der Teilfunktionen vorgegangen werden. Das zeigt die Teilfunktion Seltenheit (zugehörig zu der naturhistorischen Funktion des Bodens). Die für Gelsenkirchen gewählte Klassierung (Tab. 1) bewertet den Plaggensch bei einem Vorkommen von 0,81 % der städtischen Gesamtfläche mit Stufe 4 (= selten). In Osnabrück, wo der Plaggensch einen Anteil von deutlich mehr als 5% aufweist, wäre dieser

\* FH Osnabrück-Fakultät A&L  
Bodenschutz und Bodensanierung  
h.meuser@fh-osnabrueck.de

Bodentyp in Stufe 1 (= sehr häufig) eingeordnet worden und somit nicht schützenswert. Wollte man auch dort den Plaggensch schützen, müsste die für Gelsenkirchen geltende Klassierung dementsprechend angepasst werden.

Tab. 1: Klassierung der Seltenheit am Beispiel des Plaggenschs für Gelsenkirchen

Stufe	5	4	3	2	1
Bezeichnung	sehr selten	selten	verbreitet	häufig	sehr häufig
Flächenanteil (%)	< 0,1	0,1-1	> 1-3	> 3-5	> 5
Gelsenkirchen (%)		0,81			
bei Übertragung auf Osnabrück (%)					> 5

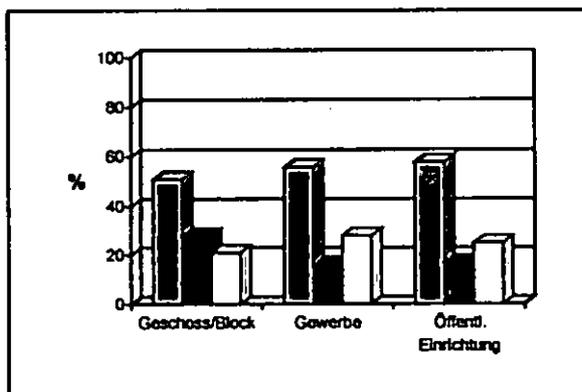
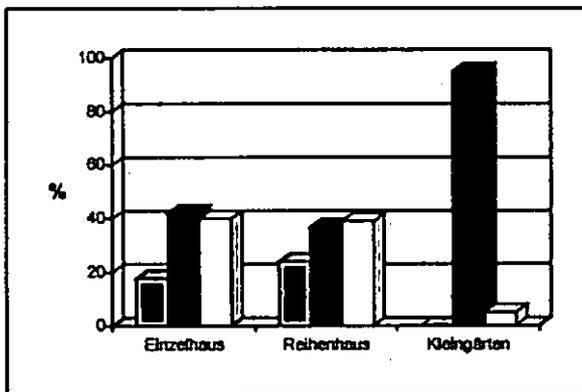
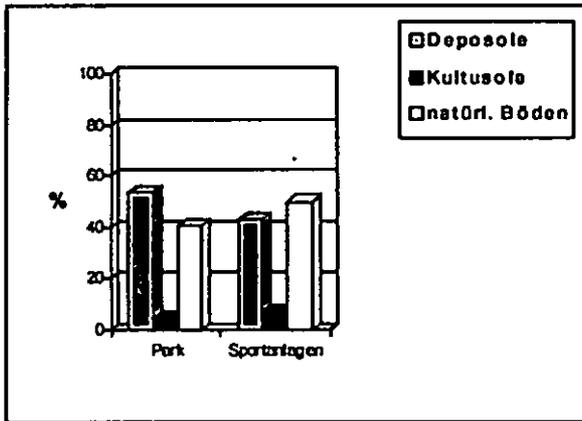


Abb. 2: Anteil (%) der Bodentypen-Hauptgruppen Deposole, Kultusole und natürliche Böden in Abhängigkeit von der Bodennutzung in Münster

Fazit

Im urbanen Raum reichen die vorhandenen Kartengrundlagen nicht aus, um eine **verlässliche Bodenfunktionsbewertung** durchführen zu können; notwendig sind Daten (mindestens) im Maßstab 1:5.000. Stadtbodenkundliche Erkenntnisse, die weit über die Berücksichtigung der Kultusole hinausgehen, sind einzubeziehen. Eine **Feldkartierung** wird in den meisten Fällen der Bodenfunktionsbewertung im Rahmen der Bauleitplanung unerlässlich sein.

Wegen der Vielzahl der Teilfunktionen sollte in jeder Gebietskörperschaft zunächst überlegt werden, welche Teilfunktionen von hoher, mittlerer oder geringer Relevanz sind (regional ausgerichtete **Gewichtungsstufen**). Die dreistufige Untergliederung in hoch, mittel und gering hat sich dabei bewährt. Die ausgewiesenen Teilfunktionen der Stufe hoch sollten bei jedem B-Plan in jedem Fall berücksichtigt werden, die der Stufen mittel und gering nur Fall bezogen und mit gutachterlicher Begründung.

Am Ende sollte ein hierarchisches **Gesamtbewertungsmodell** stehen, um nur mit einem Wert für die Bedeutung des Bodens in der Bauleitplanung zu operieren.

Literatur

Fründ, H.C. und Meuser, H. (2000): Bodenfunktionen. WEKA-Praxislösungen, Bd. 2, Augsburg.  
 Meuser, H. und Greiten, U. (2006): Kartier- und Bewertungsschlüssel für die Bodenfunktionen in Osnabrück. Umweltberichte Stadt Osnabrück.

## **Das Müncheberger Soil Quality Rating (SQR) – ein einfaches Verfahren zur Bewertung der Eignung von Böden als Farmland**

Lothar Müller<sup>1</sup>, Uwe Schindler<sup>1</sup>, Axel Behrendt<sup>2</sup>, Frank Eulenstein<sup>3</sup>, Ralf Dannowski<sup>4</sup>

### **Zusammenfassung**

Das Müncheberger Soil Quality Rating (SQR) ermöglicht die Bewertung von Böden im Feld in der Pedonskala (Bodenprofil, Bohrung) auf ihre Eignung als Ackerland oder Grasland.

Aus 8 empirisch gewichteten Indikatoren wird zunächst additiv ein Basiswert ermittelt. Dann ist aus einer Liste möglicher extrem limitierender Faktoren (*Hazard indicators*, z. B. Versalzung) ein Multiplikator abzuleiten. Endergebnis der Bewertung ist eine Bodengütekennziffer (*SQR score*) in der Spanne von 0 (keine Nutzungseignung) bis 100 (bester Boden). Alle Bewertungen stützen sich auf einfache Grenz- und Orientierungswerte, die von Bodenansprachen nach KA5, FAO-Guidelines, und dem Soil Survey Manual sowie aus agroklimatischen Daten auf der Grundlage eines im ersten Entwurf vorliegenden *SQR-Manuals* abgeleitet werden können.

### **Aufgabenstellung**

Planungen zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der Böden setzen eine vergleichende Bewertung von Bodenfunktionen voraus. Angesichts steigender Weltbevölkerung, endlicher fossiler Energievorräte und sich verändernder Klimabedingungen hat die Eignung der Böden für die Erzeugung von Agrarprodukten eine hohe Priorität.

Bewertungsverfahren der Bodengüte sollten möglichst einfach und praktikabel sein, um auch vor Ort am konkreten Objekt akzeptierbare Bewertungen zu ermöglichen.

Korrelationen der Bodengütekennziffern mit Pflanzenerträgen können Grundlage für Stoffbilanzen und monetäre Bewertungen sein.

In Deutschland erfüllt die altbewährte Reichsbodenschätzung (RBS) diese Kriterien, wenngleich ihr Rahmen an gewisse Grenzen stößt, z.B. bei der Bewertung von Kultursolen. Für Regionen außerhalb des gemäßigten Klimas kann die RBS nicht funktionieren.

In anderen Ländern existieren etliche Ansätze zur Bewertung der Bodengüte, die kaum miteinander vergleichbar sind, da sie unterschiedliche Inhalte (Bodengüte für bestimmte Nutzungen bis hin zur „Land Quality“) und klimatische Bedingungen abdecken. Die FAO hat im Rahmen agrarökologischer Zonen ein GIS-basiertes globales Konzept der Landbewertung erstellt (FAO, 2000), das jedoch im Felde am Pedon nicht anwendbar ist.

Nützlich sein könnte ein Bewertungsverfahren, das ähnlich einfach wie die RBS aufgebaut ist, am Pedon reproduzierbare Aussagen liefert, aber vor allem über größere Regionen vergleichende Bewertungen der Bodengüte ermöglicht.

### **Konzept des Müncheberger Soil Quality Rating**

Das Konzept stützt sich auf Indikatoren (**Abbildung**), die mittels Feldansprache am Pedon (Schürfgrube oder Bohrung) ermittelt werden. Ein Handbuch (Müller u.a., 2007a) ermöglicht die Schätzung dieser Indikatoren in einer fünfstufigen Ordinalskala. Dessen Bewertungstabellen wurden aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden, 2005), den Guidelines for Soil Description (FAO, 2006), dem Soil Survey Manual (USDA, 2005) und anderen Quellen abgeleitet. Endergebnis der Bewertung ist unter anderem eine Bodengütekennziffer im Bereich von 0 bis 100.

### **Erste Ergebnisse**

Der gegenwärtige Entwurf des Manuals beinhaltet Erläuterungen der Indikatoren und Orientierungen für deren Bewertung.

Der Anhang des Manuals enthält weitere Orientierungen für Indikatoren, die sich aus den Definitionen der Boden-Referenzgruppen der WRB (2006) und deren Attributen ergeben.

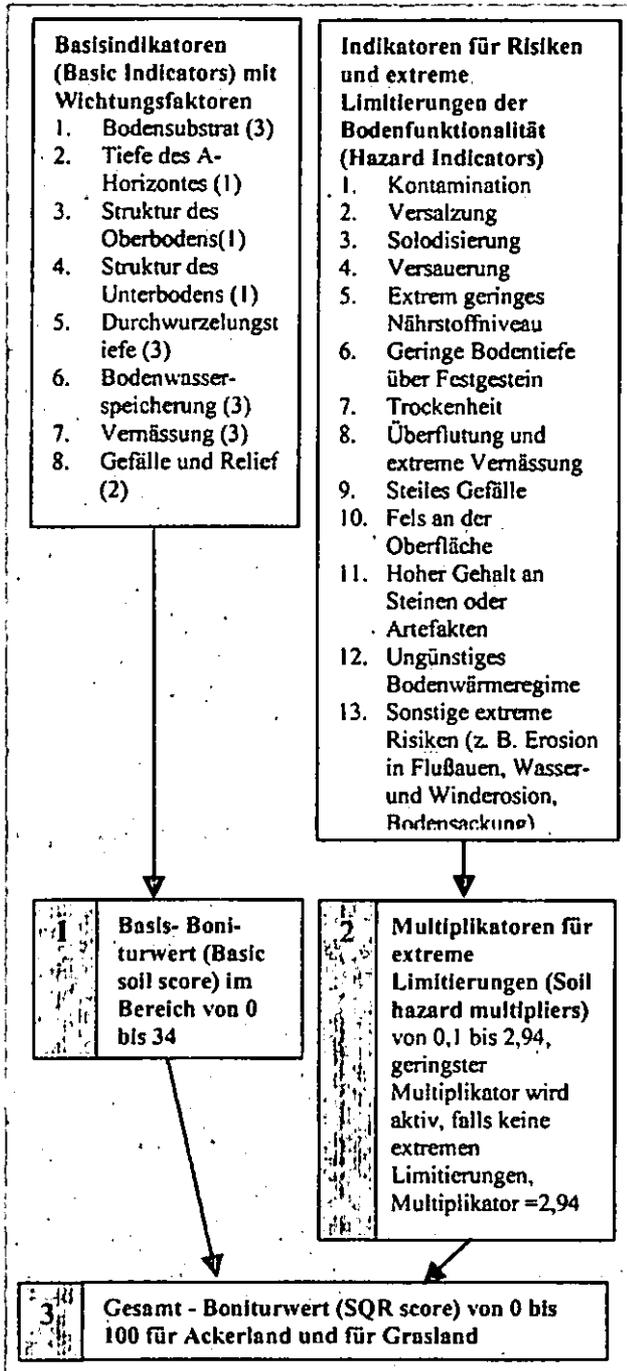
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.,  
15374 Müncheberg, Eberswalder Str. 84

<sup>1</sup> Institut für Bodenlandschaftsforschung,

<sup>2</sup> Forschungsstation Landwirtschaft Standort

Paulinenaue, <sup>3</sup> Institut für Landnutzungssysteme und  
Landschaftsökologie,

<sup>4</sup> Institut für Landschaftswasserhaushalt



Bisherige Anwendung des SQR in einer agroklimatisch relativ einheitlichen Region (Böden in Nordost- und Mitteldeutschland) ergab gute Korrelationen mit Getreideerträgen (Müller u. a., 2004). Die Effizienz der Wassernutzung durch Pflanzenbestände war auf Böden besserer Qualität deutlich höher (Müller u. a., 2007b).

Das SQR- Verfahren charakterisiert wie die altbewährte Bodenschätzung überwiegend den Aspekt der „natürlichen“ (*Inherent*) SQ und ist mit Verfahren zur Bewertung der managementbedingten (*Dynamic*) SQ wie dem *Visual Soil Assessment* (Shepherd, 2000) kompatibel.

## Weiterführende Arbeiten

Das Müncheberger SQR wird gegenwärtig punktuell in unterschiedlichen Regionen erprobt. Neben typischen Böden von Versuchsstandorten oder Beispielsprofilen in Deutschland sind Untersuchungen in Staaten mit größeren klimatischen Gradienten angelaufen (Russland, USA, China, Brasilien, Kanada). Günstig ist die Erprobung im Rahmen von Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten.

Ein ständig wachsender internationaler Beispiels-Datensatz wird künftigen Anwendern weitere Orientierungen der Bodenbewertung geben können. Interessierte Fachkollegen sind eingeladen, vorhandene Datensätze einzubringen und Koautoren dieses Projektes zu werden.

## Literatur

AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung 5. Aufl. (KAS), Hannover, 432 S.

FAO (2000): Global Agro-Ecological Zones - 2000. Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Rome, Italy, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria (<http://www.fao.org/landandwater/agll/gaez/index.htm>)

FAO (2006): Guidelines for soil description, Rome, 4th edition, 95 S.

Müller, L., Shepherd, G., Schindler, U., Eulenstein, F., Behrendt, A. (2005): Test of field methods to assess soil quality under arable and grass land. DBG Mitteilungen Band 107. 507-508.

Müller, L., Schindler, U., Behrendt, A., Eulenstein F., Dannowski, R. (2007a): The Muencheberg Soil Quality Rating (SQR). Manual for Detecting and Assessing Properties and Limitations of Soils for Cropping and Grazing, Manuskript 2007, 58 S.

Müller, L., Schindler, U., Behrendt, A., Eulenstein, F., Haferkorn, U. (2007b): Bodenqualität und Effizienz der Wassernutzung (WUE) von Ackerkulturen. Tagungsbericht der 12. Gumpensteiner Lysimetertagung, 17./18. April 2007, 167-168.

Shepherd, T. G. (2000): Visual soil assessment. Volume 1. Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. Landcare Research, Palmerston North. 84 p.

USDA, (2005): U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service: National Soil Survey Handbook. (<http://soils.usda.gov/technical/handbook/>)

WRB (2006): World Reference Base for Soil Resources 2006, A Framework for International Classification, Correlation and Communication, FAO Rome, 2006, World Soil Resources Reports 103, 145p.

## Pedogenese und Schwermetallbelastung von Spülfeld-Böden in Emden-Riepe, Ostfriesland, aufgespült mit Hafensedimenten des Emdener Hafens

Munir Mustafa\*, Harald Gebhardt\*† und Luise Giani\*

### Einleitung

Die jährlich anfallenden Schlickmengen des Emdener Hafens (4-5 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr) wurden über viele Jahrzehnte im Riepster Hammrich, eine Niedermoormarschlandschaft unweit von Emden, aufgespült. 3 Jahre nach Ende der Aufspülung wurden die Flächen begrünzt, nach weiteren drei Jahren eingesät und nach nochmals 4 Jahren dräniert und der landwirtschaftlichen Nutzung übergeben. Mittlerweile existiert ein Mosaik von unterschiedlichen alten Teilflächen, die es ermöglichen, die initialen Bodenentwicklungsprozesse in chronosequenzieller Untersuchung zu verfolgen. Gegenstand dieser Arbeit war deshalb die Untersuchung von 27 Bodenprofilen in einem Alter von 3 bis 31 Jahren im Hinblick auf Pedogenese, Schwermetallbelastung und Klassifikation.

### Ergebnisse und Diskussion

Chronosequenziell zeigen die Profile in ihrer Morphologie Kennzeichen zunehmender Bodenentwicklung; während nach 3 bzw. 4 Jahren ein 15 cm bzw. 20 cm mächtiger Go-Horizont über Gr-Horizonten ausgebildet war, war nach 19 bzw. 31 Jahren die Oxidation bis in die unteren Aufspülungszonen vorgedrungen. Entsprechend entwickelten sich die Reifungsgrade (n-values nach Pons & Zonneveld, 1995) (Abb.1), die im Oberboden nach 10-20 Jahren bereits weiter

als in Salzmarschböden der südlichen Nordseeküste (Giani, 1992) fortgeschritten war.

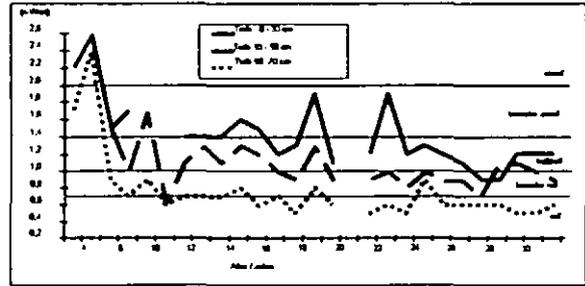


Abb. 1: Reifungsgrade verschiedener Böden 3-31 Jahre nach Aufspülung

Die in gleicher Folge festgestellte Salzabnahme von 38,7 ‰ auf 0,7 ‰ (Abb.2) zeigt, dass bereits nach ca. 20 Jahren das Kriterium eines Salzbodens (2,6 ‰ Salze im Sättigungsextrakt (Rickard, 1954)) nicht mehr erfüllt ist, während Salzmarschböden der südlichen Nordseeküste grundsätzlich zu den Salzböden zu zählen sind (Giani, 1992).

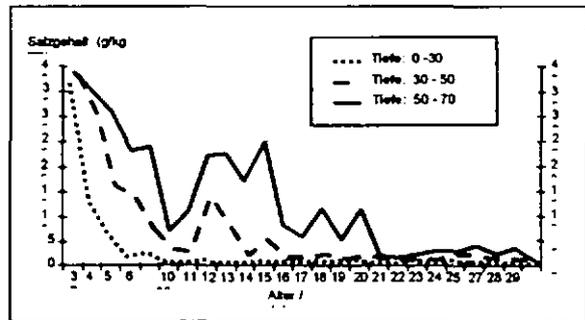


Abb. 2: Salzgehalte verschiedener Böden 3-31 Jahre nach Aufspülung

Gleichzeitig zeigt sich in den prozentualen Zusammensetzung der austauschbaren Kationen (Abb. 3) die Umlegung von Na- zur Ca-Dominanz; bereits nach 4 Jahren war das Ca/Mg-Verhältnis  $\sim 2$ , was für Salzmarschböden der südlichen Nordseeküste selten erreicht wird (Giani, 1992).

Für Salzmarschböden der Nordseeküste sind mit zunehmender Bodenentwicklung beginnende Entkalkungsprozesse und Ab-

\* AG Bodenkunde, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, CvO Universität Oldenburg, Postfach 2503, D-26111 Oldenburg

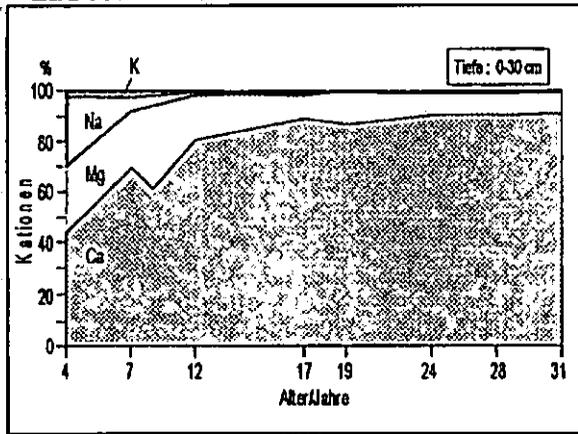


Abb.3: Prozentuale Zusammensetzung der austauschbaren Kationen verschiedener Böden 4-31 Jahre nach Aufspülung

und Umbaureaktionen der organischen Substanz charakteristisch (Brümmer, 19968) (zunehmende C/N-Verhältnisse (Giani, 1993)). Beides konnte für die hier untersuchten Böden nicht bestätigt werden (Abb. 4,5).

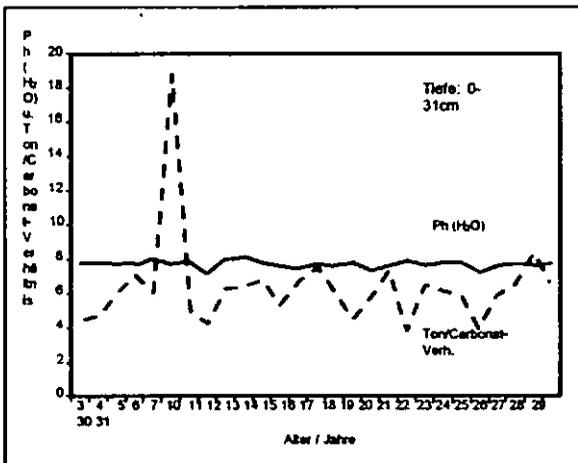


Abb. 4: pH-Werte und Ton/Carbonat-Verhältnisse verschiedener Böden 3-31 Jahre nach Aufspülung

Klassifikatorisch wird für die hier untersuchten Böden eine Zuordnung zu den Marschböden vorgeschlagen, weil das Kriterium der Entwicklung aus Gezeitensedimenten gegeben ist (AG Boden, 2005), und weil sich viele andere Marschen

ebenfalls unter anthropogener Mithilfe entwickelt haben.

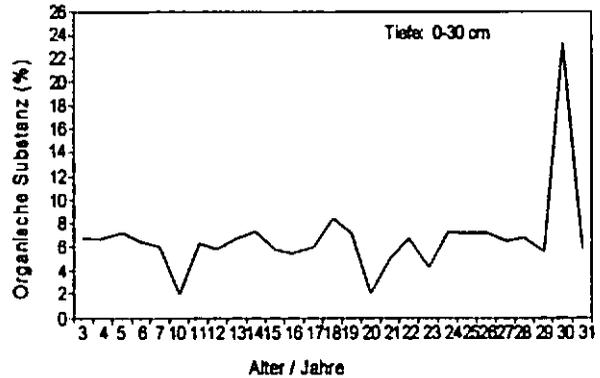


Abb. 5: Organische Substanz verschiedener Böden 3-31 Jahre nach Aufspülung

Alter	Cd		Cu		Pb		Zn	
	mg l <sup>-1</sup> s							
04	0,63	0,02	27,57	13,64	92,78	11,18	198,99	5,89
07	0,59	0,12	24,24	2,90	93,62	16,80	225,76	26,86
12	0,49	0,15	15,87	2,20	65,09	13,17	178,92	25,57
17	0,59	0,13	20,51	3,18	79,71	7,87	215,61	23,20
19	0,54	0,04	23,85	1,20	93,66	3,49	223,93	22,92
24	0,35	0,14	17,93	6,87	57,74	20,55	155,27	47,48
28	0,49	0,09	24,66	2,51	87,80	5,89	214,42	20,42
31	0,48	0,10	16,62	3,22	64,71	9,47	176,96	25,36

In Relation zum geogenen Hintergrund sind die hier untersuchten Böden bezüglich der Schwermetalle Cu, Zn, Pb und Cd um das 1,1-1,5 fache angereichert und überschreiten die Grenzwerte der Klärschlammverordnung nur beim Zn leicht.

Literatur: Munir Mustafa (1994): Bodengese und Schwermetallbelastung in den Spülfeldern der Überschlickungsgebiete Emden-Riepe. Dissertation, Universität Oldenburg.

# Ermittlung des Oberflächenabflusses, der Überschreitung der Feldkapazität und der Fließgrenze bei unterschiedlicher Mächtigkeit der Altstandortabdeckung

B. Penner\*, L. Dimkina\*, W. Burghardt\*

## 1. Einleitung

Nordrhein-Westfalen ist in vielen Landesteilen von einer langen industriellen und bergbaulichen Geschichte geprägt. Sie hat dem Land zu seinem wirtschaftlichen Aufschwung verholfen, aber auch tief greifende Umweltprobleme hinterlassen. Neben Gewässer- und Luftverschmutzung und Grundwasserabsenkung betrachtet man heute die vielen Altlasten als eine nicht zu unterschätzende Gefahrenquelle für Menschen, Tiere und Pflanzen. Zum einen ist die Zahl der Altlasten besonders hoch, zum anderen führt der Wandel der Wirtschaftsstruktur zu Zechen-, Industrie- und Verkehrsbrachen, die für eine neue Nutzung wieder aufbereitet werden müssen.

Häufig geschieht dies durch eine Aufschüttung, wie bei der im Falle dieser Arbeit behandelten Ausgleichsfläche, um eine Kontamination des Grundwassers durch versickernde Niederschläge zu verhindern.

Mögliche Auswirkungen von klimatischen Ereignissen (z.B. starke Niederschläge) auf die Bodenaufschüttung werden häufig außer Acht gelassen. Genau diese Ereignisse sind es, die schwerwiegende Probleme, wie z.B. Erosionserscheinungen, verursachen können.

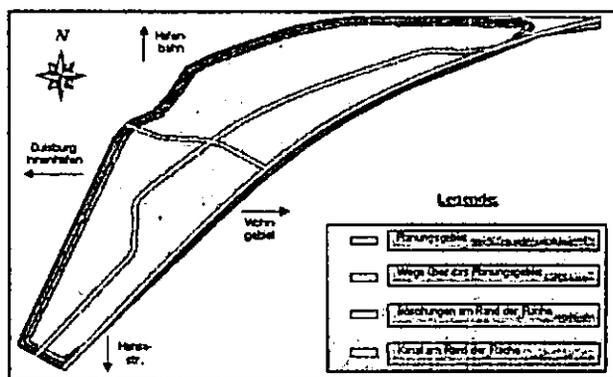


Abb. 1: Skizze der Ausgleichsfläche

\*Abt. Angewandte Bodenkunde  
 Universität Duisburg-Essen  
 Universitätsstr. 5. 45117 Essen  
 wolfgang.burghardt@uni-duisburg-essen.de,  
 B.Penner@web.de

## 2. Lösungsansatz

Der Lösungsansatz lag darin, anhand eines längeren Betrachtungszeitraums klimatischer Rahmenbedingungen zu verdeutlichen, in welchem Zustand sich eine Aufschüttung über einer nahezu wasserundurchlässigen Bodenschicht bei verschiedenen Witterungsverhältnissen befinden könnte. Dazu wurden die Eigenschaften der Beispielfläche bestehend aus einem Bodenauftrag auf dem Altstandort am Parkplatz der IKEA GmbH & Co. KG-Niederlassung Duisburg in Duisburg-Hamborn untersucht, um sie im modellierenden Teil auf die Ausgleichsfläche zu übertragen. Anhand von Klimadaten über 20 Jahre wurden die Wassergehaltszustände bei drei unterschiedlichen Bodenmächtigkeiten der Altstandortabdeckung auf der Ausgleichsfläche HansasträÙe BV Erweiterung A 59, Duisburg-Mitte, berechnet und bewertet.

## 3. Material und Methoden

Das verwendete Material kann in zwei Gruppen unterteilt werden:

### I. Klimadaten für 20 Jahre (1984 – 2004) der Station Oberhausen-Buschhausen:

Aus den Daten konnten die nötigen Informationen über Wassereintrag (Niederschlag) und -austrag (Verdunstung) gewonnen werden. Die Verdunstung über der Ausgleichsfläche wurde dabei aus den gegebenen Messwerten Tageswerte für Temperatur, Niederschlag und Luftfeuchtigkeit berechnet.

### II. Laboruntersuchungsergebnisse der Beispielfläche:

Um eine Prognose über die Eigenschaften der Ausgleichsfläche zu erstellen, wurde eine bereits vorhandene Aufschüttung, die im Rahmen einer bei IKEA in Duisburg auf einige wichtige Bodeneigenschaften untersucht, wie zum Beispiel Wasserdurchlässigkeit, Wasserspeichervermögen und Plastizität.

Tab. 1: wichtige Kenngrößen der Beispielfläche

Bodenart (Bezeichnung)	Rohdichte (g/dm³)	Plastizitätsbereich (Vol.%)	Porenvolumen Luftkapazität (Vol.%)	Porenvolumen nutzbare Feldkapazität (Vol.%)	Porenvolumen nicht nutzbare Feldkapazität (Vol.%)
urzersetzter Humus (Mulchschicht)	193	-	32,2	22,3	35,2
humusreicher Mineralboden (Mutterboden)	1542	16,1-33,8	11,4	13,5	12,9
humusarmer Mineralboden (Unterboden)	1819	36,7-49,7	1,5	13,4	17,1

#### 4. Modellierung

Die bei der Laboruntersuchung gefundenen Wassergehaltszustände für den humusreichen Mineralboden über einer wasserundurchlässigen Lehmschicht wurden auf Mächtigkeiten von 30, 60 und 90 cm hochgerechnet.

**Tab. 2: Wassergehaltsbereiche in mm**

	30 cm	60 cm	90 cm
>Porenvolumen PV (Oberflächenabfluss)	>112,9	>225,8	>338,8
Fließgrenze FG - Porenvolumen PV	101,4-112,9	202,7-225,8	304,1-338,8
Ausrollgrenze AG - Fließgrenze FG	48,4-101,4	96,7-202,7	145,1-304,1
Totwassererfüllung TW - Ausrollgrenze AG	38,8-48,4	77,2-96,7	115,8-145,1
Totwasserbereich (Feinporen <2 µm)	<38,8	<77,2	<115,8

Es wurden drei Szenarien erstellt:

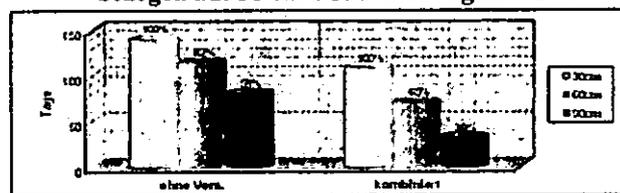
1. Niederschlagswasser kann nicht versickern und entweicht dem Boden nur über Verdunstung oder Oberflächenabfluss.
2. Der pro Tag anfallende Niederschlag, der die Feldkapazität des Bodens überschreitet, wird zur Hälfte durch einen gezielten oberirdischen Ablauf abgeführt. Der restliche Niederschlag bleibt dem Boden erhalten, so dass sich das Porenvolumen mit Wasser füllt bis es, entsprechende Niederschläge vorausgesetzt, bei voller Sättigung zu Oberflächenabfluss kommt (kombinierter Zustand).
3. Der pro Tag anfallende Niederschlag, der die Feldkapazität des Bodens überschreitet, versickert komplett. Dieses Szenarium diente nur als Vergleich, da laut Planungsvorgabe kein Niederschlagswasser versickern sollte.

#### 5. Ergebnisse

Die Tageswerte für Niederschlag und Verdunstung von 1984 bis 2004 wurden auf die Szenarien übertragen. Die Jahresverläufe erstreckten sich von Anfang April bis Ende März des nächsten Jahres, weil für den 1. April von einem Bodenwassergehalt gleich der Feldkapazität ausgegangen wurde.

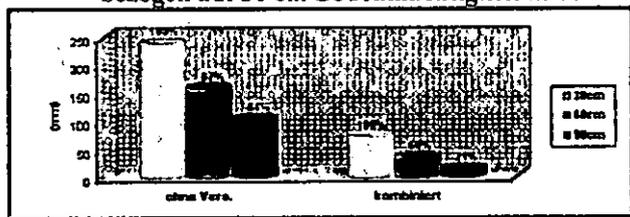
Bei 90 cm Schichtmächtigkeit befand sich der Boden über einen längeren Zeitraum im Plastizitätsbereich als bei 30 cm oder 60 cm Mächtigkeit. Die Tage, an denen eine Stabilität durch zuviel Niederschläge (WG > Fließgrenze) nicht mehr gegeben war, nahmen mit der Mächtigkeit ab. Der kombinierte Zustand verstärkte diese Entwicklungen, und mit Versickerung belief sich der Anteil der Tage, an denen sich der Bodenwassergehalt > FG und PV befunden hätte, sogar gegen null.

Abb. 2: mittlerer Anteil der Tage WG > FG bzw. PV bezogen auf 30 cm Bodenmächtigkeit in %



Eine Verdreifachung der Schichtmächtigkeit ohne Versickerung bewirkte etwas mehr als eine Halbierung des Oberflächenabflusses, während beim kombinierten Zustand die Menge um das Fünffache reduziert wurde. 30 cm Mächtigkeit beim kombinierten Zustand waren sogar wirksamer als 90 cm ohne Versickerung.

Abb. 3: mittlere Oberflächenabflussmengen pro Jahr bezogen auf 30 cm Bodenmächtigkeit in %



#### 6. Schlussfolgerungen

Der Boden wird am besten durch eine prophylaktische Entwässerung größerer Niederschlagsmengen im Zusammenspiel mit einer Schichtmächtigkeit von 90 cm entlastet.

Dadurch, dass die Aufschüttung weitaus seltener gesättigt ist, läuft insgesamt weniger Niederschlagswasser über die Oberfläche, d.h. das Erosionsrisiko sinkt spürbar.

Die vorgesehene Nutzung der untersuchten Fläche als Park- und Grünanlage erfordert eine gute Betretbarkeit, die durch eine Mächtigkeit von 90 cm weitestgehend gegeben ist (Ausnahme: extrem regenreiche Zeiträume).

#### 7. Literatur/Quellen

Helm, R. (2003): Bericht zur Gefährdungsabschätzung hinsichtlich eines Altlastenverdachts Ausgleichsfläche Hansastraße BV Erweiterung A 59, Duisburg-Mitte, Duisburg 05.02.2003, pp. 5-7, 9-12

Helm, R. (2004): Bericht zur Gefährdungsabschätzung Wirkungspfad Grundwasser Ausgleichsfläche Hansastraße BV Erweiterung A 59, Duisburg-Mitte, Duisburg 05.02.2003, pp. 2-5, 7, 10, 21

Haude, W. (1955): Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise, Mitt. Dt. Wetterd., 2 (11), Bad Kissingen

LUA-NRW, LUQS-Daten, CD-ROM, zur Verfügung gestellt von dem Amt für kommunalen Umweltschutz, Untere Bodenschutzbehörde, Stadt Duisburg

Scheffer, F., Schachtschabel, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Aufl., Spektrum Akad. Verl., Heidelberg

Skript zum Laborpraktikum Bodenkundliche Methoden, Angewandte Bodenkunde, Universität Duisburg-Essen, 2005

# Pedodiversity of southern African drylands. Results from the BIOTA transect (Part I)

Andreas Petersen<sup>1</sup>, Alexander Gröngröft<sup>1</sup> & Günter Miehl<sup>1</sup>

## Introduction & Aims

Pedodiversity is a way of measuring soil variation and can be used as an integrative index for comparative diversity analyses. Pedodiversity itself can be regarded under different aspects such as taxonomic, genetic, parametric and functional diversity. In this study, pedodiversity is used as an integrative measure for taxonomic & parametric soil variation of defined areas. Main aims are to develop a comparable soil dataset for pedo- and biodiversity analyses and to test different methods for pedodiversity analyses on this dataset. The sensitivity of methods is compared and tested by correlation analyses with biodiversity data (i.e. phytodiversity).

## Study area

The study is embedded in the BIOTA southern Africa project ([www.biota-africa.org](http://www.biota-africa.org)), an interdisciplinary research approach with focus on monitoring of ecosystem functions under different land-use aspects. The study area is a transect of 2500 km length in Southern Africa stretching from Northern Namibia to the Cape region, which covers all major biomes represented by study sites of 1 km<sup>2</sup> size (biodiversity observatories). The northern part is characterised by subtropical summer rainfall while the southern part is dominated by winter rainfall, each with a range from 50 to 500 mm mean annual precipitation.

## Methods

Each observatory is subdivided in 100 ha plots and sampled by a stratified random selection of 25 profiles. Phytodiversity analyses are surveyed in the same spatial context. The soil data base contains 510 lab analysed profiles and is used for three different approaches to derive pedodiversity indices (see figure 2)

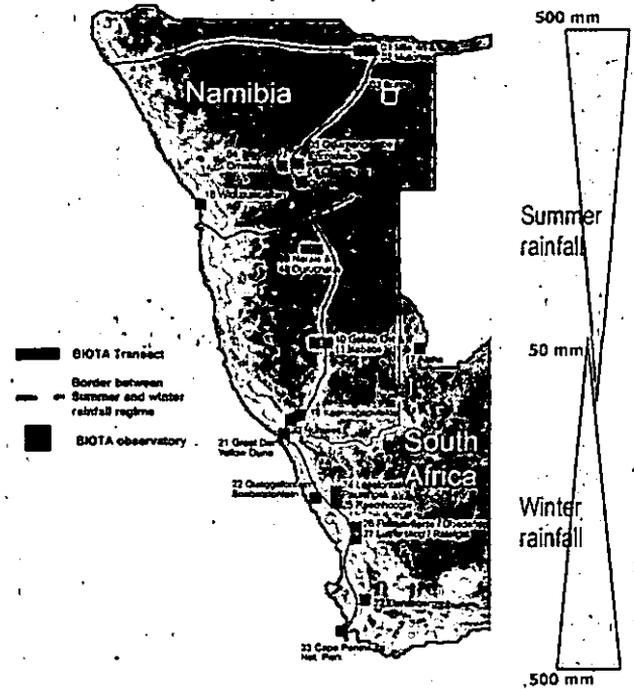


Figure 1 Study area BIOTA southern Africa transect

1. Taxonomic pedodiversity using soil units (WRB 1998) with two qualifiers which allow to calculate indices of richness, evenness and diversity for each observatory.
2. Parametric classification as a new, strictly parameter based classification with 'soil-eco-types' derived by classification of pH, EC, clay & silt content, organic carbon and rooting space. This method to quantify ecological relevant pedodiversity is a system which is solely based on quantified soil properties of ecological relevance. Despite the fact that application of such a new system will produce only abstract names for soil units (in the following named soil-eco-types SET), the strictly parametric database will probably allow a more precise ecological evaluation and grouping of the objects
3. Parametric space pedodiversity by direct use of above mentioned parametric values for the creation of 'environmental envelopes' by convex hulls. Both previous pedodiversity analyses using the WRB and the parametric classification cannot exclude variations around class borders and are therefore susceptible for some bias of the diversity indices. The convex hull is defined for any kind of objects made up of points in a vector space, which may have any number of dimensions.

<sup>1</sup> Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg, Allende-Platz 2, 20146 Hamburg  
A.Petersen@ifb.uni-hamburg.de

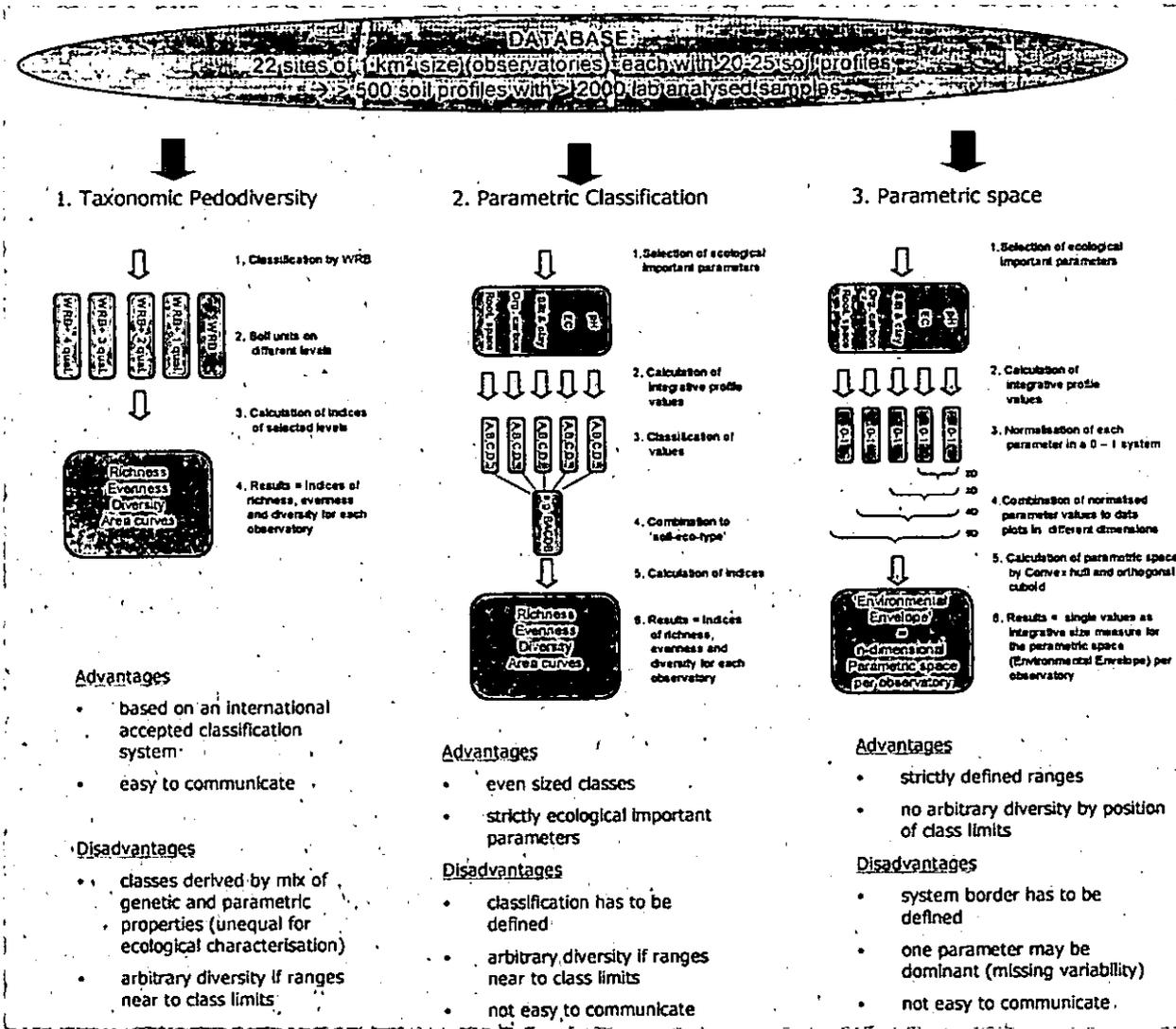


Figure 2 Overview of applied methodology for the three pedodiversity approaches

As a selected result Figure 3 shows the correlation between the WRB system and the parametric space approach for the different observatories indicated by numbers. The parametric space approach gives comparable high values in the observatories #22-27 while the observatories in the northern part of the transect have comparable high WRB unit numbers. The reason is a higher parametric variation in the southern part of the transect which cannot be reflected by the WRB system whereas in the northern part some genetic and / or ecological irrelevant soil features result in higher WRB unit numbers.

For further results of the three approaches and correlation to phytodiversity see → Gröngröft et al. (2007) (this issue)

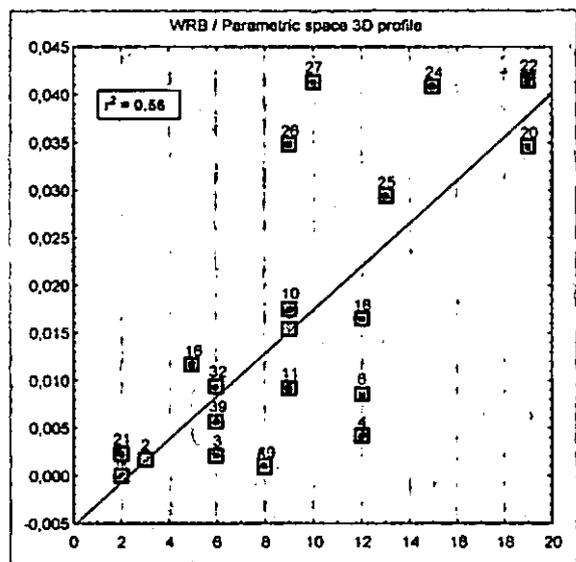


Figure 3: Correlation between WRB (x) and parametric space appr. (y) with 3 parameters (pH, EC, tex.)

## Substrate classification for soil description after FAO

D. Pietsch

### Introduction

The World Reference Base for Soil Resources and the FAO Guidelines for Soil Description are tools to identify, describe and classify a soil by diagnostic horizons, soil properties, materials, and soil features. While bedrock and residual fragments can be defined by their lithology and abundance, the parent material of soil formation is not clearly classified. Therefore a substrate classification was implicated in descriptions of layered soils in semiarid tropical and subtropical regions, since these soils consist mainly of allochthonous, polygenetic and heterogeneous substrates.

### Methods

48 pedons on the Island of Socotra (Yemen) have been identified, analysed and classified. The distribution of the layered soils, mainly Cambisols, Calcisols, Fluvisols and Regosols, was determined by 232 Pürckhauer drillings<sup>1</sup>.

Because the lack of an international substrate classification, a new key was developed by defining terms and parameters of „substrate varieties“.

### Results

The classification key<sup>1,2</sup> is partly based on the FAO-Guidelines, and partly on the German Soil Mapping Guidelines.

“Substrate variety” includes e.g. weathering intensity (Table 1), coarse fragment abundance (Table 2) substrate form and stratigraphical unit.

Table2: Weathering intensity of in situ-regolith

In situ-parent materials	Abbreviation	Weathering intensity
Regolith	R1	Slightly weathered rock
	R2	Moderately weathered rock
	R3	Highly weathered rock
Calcrete	Cp	Proper Calcrete

Table2: Classes of rock fragments abundance (> 2mm)

Abundance	Abbreviation	Class	Description
By volume-%	s0	0	None
	s1	> 0-5	Few
	s2	> 5-15	Common
	s3	> 15-40	Many
	s4	> 40-80	Abundant
	s5	> 80	Dominant

The proposed classification is additionally based on selected parameters such as geogenesis and relief position (Table3 next page).

### Conclusions

The classification key can be used separately from soil description. Soil identification and description become more precise using this classification system, at first was applied to tropical soils on Socotra Island (Table 4).

Table4: Examples of substrate varieties of semiarid tropical and subtropical soils

Substrate variety	Abridgement
Holocene brown loam with few detritus	qh-(i)P-Lb-xs1
Holocene fluvial loam with a common gravel content	qh-(f)W-L-os2
Pleistocene slope floating red loam with an abundant detritus content	qp-(df)Sl-Lr-xs4
Pleistocene residual brown clay without detritus	qp-(i)P-Cb-xs0
Highly weathered claystone (regolith)	R3-SC3

The substrate classification is not only built on the stratigraphical unit, geogenesis and relief position, but also on features such as rock fragment abundance, main texture class and colour.

The application demonstrated that the substrate classification key is easy to handle. The approach should be understood as a first step to an international soil substrate classification<sup>2</sup>.

### Acknowledgements

For financial support thanks to the University of Marburg, Department of Geography (HWP Hesse) and DFG (OP 53-15/1), and Bernhard Lucke (Chair of environmental Planning, University of Cottbus) for discussions.

### References

- Pietsch, D. 2006. Böden der Trockentropen. Prozess- und Strukturindikatoren-gestützte Analyse geschichteter, polygenetischer und degradierter Böden der Insel Socotra (Jemen). Jemen-Studien 17. Wiesbaden (PhD thesis).
- Pietsch, D., Lucke, B. (submitted): Approach to an international substrate classification for soil description and classification (FAO, WRB) – Examples from Yemen and Jordan. European Journal of Soil Science.
- FAO 2006. Guidelines for soil description. FAO, Rome.
- Ollier, C., Pain, C. (1996): Regolith, soils and landforms, Chichester.
- Blümel, W.D. 1981. Pedologische und geomorphologische Aspekte der Kalkkrustenbildung in Südwestafrika und Südostspanien. Karlsruher Geographische Hefte 10. Karlsruhe
- Van Breemen, N., Buurman, P. 2002. Soil formation, Dordrecht.
- Ad-Hoc-AG Boden 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5). Stuttgart.
- Semmel, A. 1988. Geomorphologische Bewertung verschiedenfarbiger Bodenbildungen in Mittel- und Südbrasilien. In: Aktuelle Morphodynamik und Morphogenese in den semiariden Randtropen und Subtropen (eds Hagedorn, J., Mensching, H.G.). Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse, 3/41, 11–21.

Table 3: Substrate classification key

Features of in situ-weathered substrates				Abbreviation
Lithology <sup>1</sup> of parent materials		Granite Rhyolithe, porphyr Claystone, siltstone Limestone		IA1 IA4 SC3 SO1
Weathering intensity and crusts		Regolith <sup>2</sup> Calcrete <sup>3</sup>		R1, R2, R3 Cp
Geogenesis Relief position Abundance of residual material Substrate form of fine material		Slope, plain	Abundance of residual rock by volume-% <sup>4</sup> Residual loam Residual clay	(i) SI, P rx0-rx5 rL rC
Features of coarse cover sediments (> 2 mm)				
Geogenesis Relief position Substrate form		Denudative Slope, plain	Detritus <sup>4</sup>	(df) SI, P x
Geogenesis Relief position Substrate form		Fluvial Wadi terrace, wadi bottom	Gravel <sup>4</sup>	(f) W o
Features of fine cover sediments (< 2 mm), in consideration of embedded coarse fragments				
Geogenesis Relief position		Aeolian Slope, plain		(e) SI, P
Geogenesis Relief position I Coarse fragments		Denudative (floating) Slope	Abundance of rock fragments by volume-% <sup>4</sup>	(df) SI xs0-xs5
Geogenesis Relief position II Coarse fragments		Denudative (floating) Plain	Abundance of rock fragments by volume-% <sup>4</sup>	(df) P xs0-xs5
Geogenesis Relief position Coarse fragments		Fluvial, fluvial-marine Wadi terrace, delta	Abundance of gravel by volume-% <sup>4</sup>	(f), (m-f) W os0-os5
Geogenesis Relief position Coarse fragments		Fluvial-denudative, hillwash Transition foot slope/wadi terrace	Abundance of coarse fragments by volume-% <sup>4</sup>	(d-f), (dh) W, P xs0-xs5
General features				
Stratigraphical unit		Quaternary Holocene <sup>5</sup> Pleistocene <sup>5</sup>		qh qp
Main texture class <sup>1</sup>		Sand Silt Clay Loam		S Si C L
Munsell soil colour		Red <sup>6</sup> Brown <sup>6</sup> White, yellowish	5YR3/8 or 2.5YR4/6 4/8 7.5YR5/6 5/8 7/6 or 5YR4/6 5/6 6/8 2.5Y- or 5Y- or 7.5YR7/6 7/8 8/1 8/2	r b w

# Grossräumige Schwermetallgehalte in den Böden des Schweizer Kantons Thurgau

Kirsten Rehbein<sup>1</sup> und Armin Keller<sup>1</sup>

## 1. Einleitung

Eine Aufgabe der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) der Schweiz ist die Erfassung der landesweiten räumlichen Bodenbelastung. Zu diesem Zweck werden Schwermetallgehalte im Oberboden (0-20 cm) für spezifische Böden, Gebiete und Nutzungsarten analysiert und räumlich ausgewertet. Für eine landesweite Erfassung der diffusen Bodenbelastungen sind vor allem grossräumige Bodengehalte von Interesse, d.h. Gebiete ab einer Grösse von 1 km<sup>2</sup>.

Für die räumliche Interpolation von Schadstoffgehalten in Böden gibt es kein Standardverfahren. Um die Möglichkeiten und Grenzen einer flächendeckenden Bodenschadstoffkartierung im Schweizer Mittelland zu eruieren, wurde eine Fallstudie im Kanton Thurgau am Beispiel von Zink durchgeführt und die erarbeitete Vorgehensweise («external drift kriging» mit robuster Regression) für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Quecksilber angewendet (Rehbein & Keller, 2007a; Rehbein & Keller, 2007b).

## 2. Material und Methoden

Der Kanton Thurgau erstreckt sich über eine Fläche von 863 km<sup>2</sup>. Er verfügt über ausgezeichnete qualitative und quantitative Daten zur Bodenbelastung mit Schadstoffen, insbesondere durch land- und forstwirtschaftliche Untersuchungsraaster. Für die vorliegende Studie wurden Schwermetallgehalte von 934 Acker-, Grünland-, Wald-, Obst- und Gemüsebaustandorten verwendet (Abb. 1).

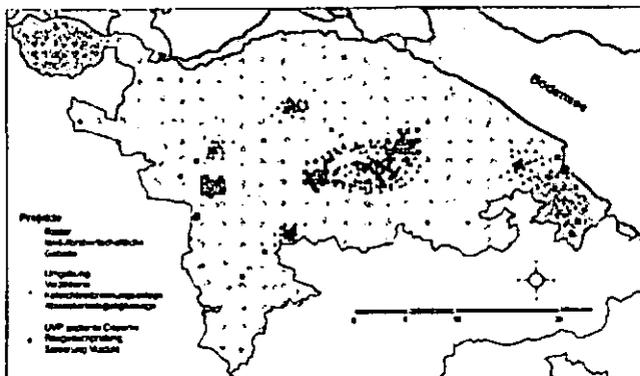


Abb. 1: Standorte der Bodenuntersuchungskampagnen im Kanton Thurgau

Zur Charakterisierung des Untersuchungsgebietes wurden zahlreiche thematische Kartengrundlagen (wie Landnutzung, Bodenregionen oder mittlere Jahresniederschläge) im Geographischen Informationssystem (GIS) zusammengestellt und aus diesen potenzielle erklärende Variablen zur Ursachenanalyse der gemessenen Schadstoffgehalte im Boden definiert.

In der explorativen Datenanalyse wurden die statistischen Kenngrössen der Schwermetallgehalte erstellt, der Zusammenhang zwischen erklärender Variable und Schadstoffgehalt mittels «Box Plots» und Streudiagrammen dargestellt und die räumliche Verteilung der Daten mit Hilfe eines «Bubble Plots» visualisiert.

Für die räumliche Datenanalyse, die digitale Kartierung der grossräumigen Zinkgehalte, wurde das Interpolationsverfahren «Kriging» in Verbindung mit einer robusten multiplen linearen Regression eingesetzt. Ziel der vorgeschalteten Regression ist es, mit den vorliegenden Metainformationen die erklärbaren Streuungen der gemessenen Zinkgehalte zu identifizieren. Die Verwendung eines robusten Verfahrens bedeutet eine automatisierte Einflussbeschränkung (Gewichtung) von lokal stark erhöhten Schwermetallgehalten. Die Genauigkeit der Schätzung wurde anhand der Kennwerte einer Kreuzvalidierung und anhand von Prognoseintervallen beurteilt.

## 3. Ergebnisse

Wichtige Einflussfaktoren auf den Stoffgehalt im Boden waren die Art der Bodennutzung, der pH-Wert und die Niederschlagsmenge; bei den statistischen Analysen (robuste Regressionsmodelle) erklärten sie zwischen 15 % (Blei) und 62 % (Kupfer) der Streuungen der Schwermetallgehalte im Boden.

Die geschätzten Schadstoffkonzentrationen waren mehr oder weniger stark durch die Einflussfaktoren der Regression geprägt. Beispielsweise kann aus dem räumlichen Muster der Chrom-, Kupfer- und Zinkgehalte die Ausbreitung des Waldes mit vergleichsweise geringen Konzentrationen abgelesen werden (Abb. 2: Zink < 40 mg/kg), während sich die Nutzung Obst- und Gemüsebau vor allem auf der Kupfer- und Zinkkarte, abgeschwächt auch auf der Blei- und Cadmiumkarte, mit erhöhten Gehalten widerspiegelte (Abb. 2: Zink = 60-80 mg/kg). Dem räumlichen Muster des pH-Wertes folgten insbesondere die Cadmium- und Kupferwerte.

<sup>1</sup> Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, CH-8046 Zürich, [www.nabo.admin.ch](http://www.nabo.admin.ch)  
[kirsten.rehbein@art.admin.ch](mailto:kirsten.rehbein@art.admin.ch)

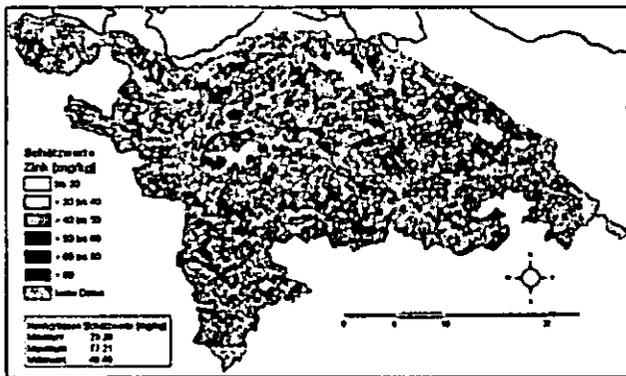


Abb. 2: Geschätzte grossräumige Zinkgehalte in den Oberböden (0-20 cm) des Kantons Thurgau

Das 95 % Prognoseintervall der geschätzten grossräumigen Bodengehalte im Kanton Thurgau zeigte für Chrom, Kupfer und Nickel mögliche Überschreitungen des Richtwertes der schweizerischen Verordnung über Belastungen des Bodens. Bei Chrom und Nickel war dies auf das Ausgangsmaterial der Bodenbildung zurückzuführen, für Kupfer auf Flächen mit Obst- und Gemüsebau. Abbildung 3 zeigt die obere und untere Grenze des Prognoseintervalls am Beispiel von Zink.

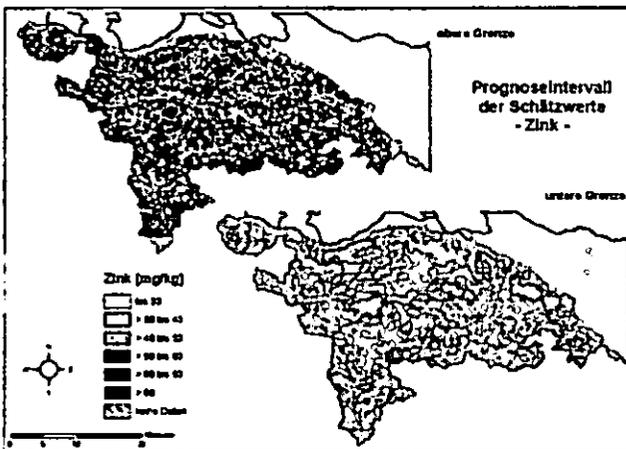


Abb. 3: Obere und untere Grenze des zweiseitigen 95 %-Prognoseintervalls der geschätzten Zinkgehalte

Die besten Schätzergebnisse zeigten die Karten für die Schwermetalle Chrom, Blei, Zink und Nickel. Die grössten Unsicherheiten waren für Quecksilber zu verzeichnen. Im Verhältnis zu den Unsicherheiten, die bei der Probenahme und der Analyse der Schadstoffkonzentrationen in einer Bodenprobe auftreten, können die hier präsentierten Ergebnisse als gut beurteilt werden; alle Unsicherheiten sind in der Breite der Prognoseintervalle enthalten. Nicht berücksichtigt wurde bislang der Fehler der Regression.

#### 4. Anwendungsbereiche der Karten

Da die Karten grossräumige und diffuse Schadstoffbelastungen visualisieren, wird ein Massstab von 1:100'000 empfohlen. Karten in diesem Massstab bieten einen schnellen und anschaulichen Ü-

berblick über die räumliche Verteilung der Bodenschadstoffe und dienen damit dem flächenhaften, vorsorgenden Bodenschutz.

Die Karten können in der Praxis vielseitig eingesetzt werden. Beispielsweise geben sie Hinweise auf Gebiete, in denen die Richtwerte überschritten werden, oder sie ermöglichen die Identifikation von Gebieten mit erhöhten Gehalten im Boden aus dem Ausgangsgestein. Darüber hinaus erlauben sie einen Vergleich neu gemessener Stoffkonzentrationen mit den für die Region typischen Gehalten. Einen Bedarf an räumlichen Bodeninformationen haben aber nicht nur die Bodenfachstellen, sondern auch benachbarte Fachdisziplinen wie die Raumplanung oder der Grundwasserschutz. So können die Karten bei der Ausweisung von Natur- oder Wasserschutzgebieten konsultiert werden. Neben dem Endprodukt Schätzkarte liefert auch die umfangreiche statistische Analyse der Daten wertvolle Erkenntnisse.

#### 5. Schlussfolgerungen

Die für verschiedene Schwermetalle angewendete methodische Vorgehensweise stellt einen viel versprechenden Ansatz dar, um von punktuell gemessenen Konzentrationen auf flächenhafte, grossräumige Gehalte zu schliessen. Die Interpolation macht grossräumige Strukturen der Schadstoffgehalte in den Böden sichtbar.

Da die Gewichtung von lokalen Extremwerten beschränkt wurde, stellen die Schätzwerte grossräumig robuste Gehalte dar. Die grossräumigen Stoffgehalte in den Oberböden von Acker- und Grünland, Wald sowie Obst- und Gemüsebau im Boden liefern sowohl für den stofflichen Bodenschutz als auch für andere verwandte Fachrichtungen eine wichtige digitale Grundlageninformation zum Zustand des Bodens. Die Karten erlauben unter anderem eine regionale Beurteilung der gegenwärtigen Schwermetallbelastung der Böden.

#### Literatur\*

- Rehbein, K. & Keller, A., 2007a. Grossräumige Schwermetallgehalte in den Böden des Kantons Thurgau. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich.
- Rehbein, K. & Keller, A., 2007b. Räumliche Interpolation von Zinkgehalten in den Böden des Kantons Thurgau. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich.

\*beide Berichte verfügbar unter [www.nabo.admin.ch](http://www.nabo.admin.ch)

# Bestimmung von Trockenrohichte, Grobbodenanteil und Feinbodenvorrat skeletthaltiger Materialien

W. Riek

## 1 Problemstellung

Für die Ermittlung von Elementvorräten ist die Kenntnis des Feinbodenvorrates (Bodenpartikel mit Äquivalentdurchmesser < 2 mm; syn.: Feinbodenmenge, Feinerde-masse, ...) notwendig. Für die Berechnung werden Angaben zu Grobbodengehalt (Bodenpartikel ≥ 2 mm; syn.: Skelettgehalt) und Bodendichte benötigt. Besonders im Falle von Ausgangsmaterialien mit hohem Grobbodenanteil ist die genaue Ermittlung der Feinbodenmenge problematisch, da mit der gängigen Stechzylinderbeprobung der Grobbodenanteil oft nicht repräsentativ erfasst werden kann, Volumenersatzverfahren für Serienuntersuchungen zu aufwändig und Schätzverfahren für viele Fragestellungen zu ungenau erscheinen.

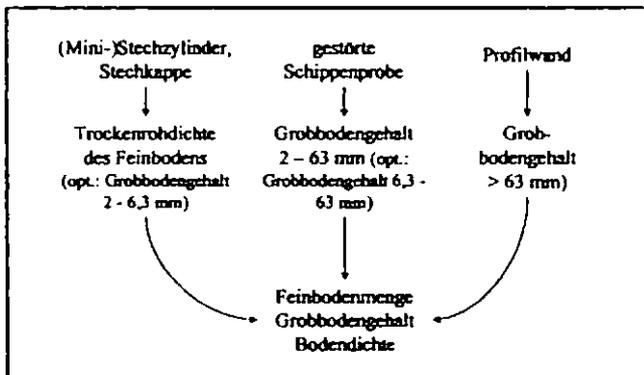
In diesem Beitrag wird ein verfahrenstechnischer und rechnerischer Lösungsansatz vorgestellt, bei dem aus der Kombination von

- (Mini-)Stechzylinderbeprobung,
- Entnahme einer größeren nicht volumengerechten Bodenprobe (Schippenprobe) und
- Schätzung an der Profilwand

quantitativ genauere Aussagen zum Feinbodenvorrat erzielt werden sollen.

## 2 Methodik

- Bestimmung der Trockenrohichte des Feinbodens [g/cm] mittels Stechzylinder (100 cm<sup>3</sup>, 250 cm<sup>3</sup>) oder Mini-Stechzylinder (z.B. 6 cm<sup>3</sup>) bzw. sog. Stechkappen
- Bestimmung des Kies- / Grusanteils (Fraktion 2-63 mm) [Gew.-%] mit Hilfe einer gestörten Probe (je nach Erfordernis 5- >15 kg)
- Schätzung des Stein-, Block- und ggfs. Großblockanteils (Fraktionen >63 mm) am Bodenprofil (Schätzung in Flächen-% der frei präparierten Objekte; näherungsweise Umrechnung in Vol.-% durch Multiplikation mit Faktor 2/3)
- Bestimmung der Dichte des Grobbodens an Teilproben mittels Pyknometer oder Tauchwägung (ersatzweise Verwendung von Näherungswerten möglich, s.u.).



**Anm.:** Die Trockenrohichte des Feinbodens (TRD<sub>FB</sub>) ist von der Trockenrohichte des Gesamtbodens (TRD<sub>ges</sub>; konventionell: Bodendichte, TRD, Lagerungsdichte, Trockenraumgewicht TRG, ...) zu unterscheiden. Letztere ist die bei 105°C getrocknete Masse einer Bodenprobe bezogen auf ihr Volumen in natürlicher Lagerung (d.h. unter Berücksichtigung von Fein- und Grobboden). Die TRD<sub>ges</sub> hat den Nachteil, dass sie bei skeletthaltigen Böden in hohem Maße vom Probenahmegerät bzw. von dessen Bohrerndurchmesser und Beprobungsvolumen abhängig ist. Nur im Sonderfall eines skelettfreien Bodens gewährleistet die Bodendichte nach der konventionellen Definition (TRD<sub>ges</sub>) eine vom Beprobungsvolumen bzw. -gerät unabhängige Vergleichbarkeit der Werte. Es wird empfohlen, grundsätzlich nur Angaben zu der auf den Feinboden bezogenen Bodendichte (TRD<sub>FB</sub>) zu verwenden, die im Zusammenhang mit Angaben zum Grobbodengehalt den Vergleich von Böden für bodenökologische oder -physikalische Zwecke zulässt und reproduzierbar ist.

## 3 Lösungsansatz

### Bestimmung von TRD<sub>FB</sub>:

Das Volumen des Feinbodens ergibt sich aus dem gesamten Beprobungsvolumen (Stechzylindervolumen) abzüglich des Volumens der Skelettfraktion. Die Berechnung von TRD<sub>FB</sub> erfolgt nach Gl.1.

$$TRD_{FB} = \frac{M_{FB}SZ}{V_{FB}SZ} = \frac{M_{ges}SZ - M_{GB}SZ}{V_{ges}SZ - V_{GB}SZ} = \frac{M_{ges}SZ - M_{GB}SZ}{V_{ges}SZ - \frac{M_{GB}SZ}{D_{GB}}} \quad (1)$$

### Volumen und Grobbodenanteil der Schippenprobe:

Bei bekannter Trockenrohichte des Feinbodens, lässt sich das Volumen der entnommenen Schippenprobe in gestörter Lagerung nach Gl.2 ermitteln.

$$V_{ges}SCH = \frac{M_{ges}SCH - M_{GB}SCH + TRD_{FB} \times \frac{M_{GB}SCH}{D_{GB}}}{TRD_{FB}} \quad (2)$$

Damit kann der volumenbezogene Anteil der Grobbodenfraktion 2 – 63 mm am Gesamtvolumen der Schippenprobe berechnet werden (Gl.3).

$$V_{Ant_{GB2-63}SCH} = \frac{M_{GB2-63}SCH}{D_{GB}} \times \frac{1}{V_{ges}SCH} \times 100 \quad (3)$$

### Berechnung des Feinbodenvorrats:

Der Feinbodenvorrat (FBV) errechnet sich im dargestellten Fall nach Gl.4.

Optional zu diesem Vorgehen kann die Fraktion 2 – 6,3 mm (Feinkies /-grus) auch anhand der Stechzylinderprobe bestimmt werden. Die Erfassung der Fraktion 6,3 bis 63 mm mittels Schippenprobe kann dann bei wenig bindigem Material relativ problemlos durch Siebung und Wägung im Gelände erfolgen, wobei zusätzlich der Wassergehalt zu bestimmen und rechnerisch zu berücksichtigen ist. Der Vorteil dieses Vorgehens besteht darin, dass im Gelände sehr große Bodenmengen verarbeitet werden können (Arbeitsschritte: Siebung bei 6,3 und 63 mm Maschenweite; Wägung der 3 Fraktionen). Durch die Berücksichtigung eines großen Bodenvolumens wird eine entsprechend erhöhte Repräsentativität erzielt. Die Gleichung zur Berechnung des Feinbodenvorrates ist in diesem Fall entsprechend zu modifizieren (Gl.5).

$$FBV = TRD_{FB} \times d \times 100 \times \left( 1 - \frac{V_{Ant_{GB>63}} \cdot PROF}{100} - \frac{M_{GB2-63} \cdot SCH}{D_{GB}} \times \frac{TRD_{FB}}{M_{ges} \cdot SCH - M_{GB2-63} \cdot SCH + TRD_{FB} \times \frac{M_{GB2-63} \cdot SCH}{D_{GB}}} \right) \quad (4)$$

$$FBV = TRD_{FB} \times d \times 100 \times \left( 1 - \frac{V_{Ant_{GB>63}} \cdot PROF}{100} - \frac{M_{GB6,3-63} \cdot SCH}{D_{GB}} \times \frac{TRD_{FB}}{M_{ges} \cdot SCH - M_{GB6,3-63} \cdot SCH + TRD_{FB} \times \frac{M_{GB6,3-63} \cdot SCH}{D_{GB}}} - \frac{M_{GB2-6,3} \cdot SZ}{D_{GB} \times V_{ges} \cdot SZ} \right) \quad (5)$$

**Anm. zur Festsubstanzdichte**

Die analytische Bestimmung der Dichte des Grobbodens ( $D_{GB}$ ) ist aufgrund der geringen Sensitivität der dargelegten Gleichung zur Bestimmung des Feinbodenvorrates gegenüber  $D_{GB}$  nicht zwingend notwendig (Abb.1). Vereinfachend kann für  $D_{GB}$  ein konstanter mineral-/substratspezifischer Wert aus der Literatur verwendet werden (Quarz:  $D_{GB} = 2,65 \text{ g/cm}^3$ ).

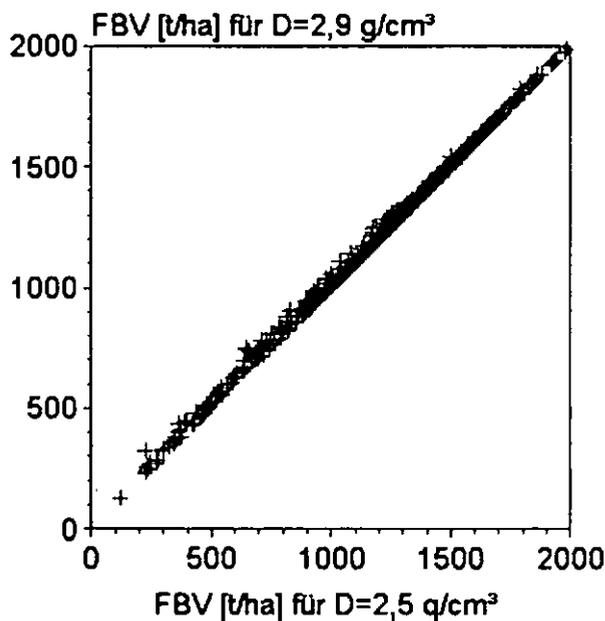


Abb.1: Gegenüberstellung der Feinbodenvorräte (FBV) pro dm Tiefe [t/ha] berechnet unter Annahme  $D_{GB} = 2,9 \text{ g/cm}^3$  und  $D_{GB} = 2,5 \text{ g/cm}^3$

**4 Fazit / Ausblick**

Das vorgestellte kombinierte Verfahren hat sich im Rahmen einer Vorstudie<sup>1)</sup> zur zweiten Bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) als praktikabel erwiesen und konnte für die BZE II empfohlen werden. Durch den Einsatz von Mini-Stechzylindern können nahezu beliebig skeletthaltige Materialien beprobt und dafür repräsentative Elementvorräte ermittelt werden. Das Verfahren wurde in das Handbuch Forstliche Analytik<sup>2)</sup> und das ICP-forests Manual<sup>3)</sup> aufgenommen.

**5 Literatur**

(1) Riek et al. (2006): Evaluierung von Verfahren zur Erfassung des Grobbodenanteils von Waldböden – Erarbeitung von Empfehlungen für die Anwendung dieser Verfahren im Rahmen der Bodenzustandserhebung im Wald. Unveröffentlichte Studie im Auftrag des BMVEL.  
 (2) GAFA (2006): Handbuch Forstliche Analytik, 2. Ergänzung 2006, A 2.7: Trockenrohddichte des

Mineralbodens ( $TRD_{ges}$ ), A 2.8: Trockenrohddichte des Feinbodens ( $TRD_{FB}$ ) und Feinbodenvorrat (FBV). Loseblattsammlung. Gutachterausschuss Forstliche Analytik (Hrsg.). (3) [http://www.icp-forests.org/pdf/Chapt\\_3a\\_2006\(2\).pdf](http://www.icp-forests.org/pdf/Chapt_3a_2006(2).pdf)

**Abkürzungen:**

- d ...Mächtigkeit der Tiefenstufe [cm]
- $D_{GB}$  ...Dichte des Grobbodens [ $\text{g/cm}^3$ ]
- $M_{FB} \cdot SZ$  ...Masse des Feinbodens in der mittels Stechzylinder (bzw. Stechkappe) entnommenen Bodenprobe [g]
- $M_{GB} \cdot SCH$  ...Masse des Grobbodens in der Schippenprobe [g]
- $M_{GB} \cdot SZ$  ...Masse des Grobbodens in der mittels Stechzylinder entnommenen Bodenprobe [g]
- $M_{GB6,3-63} \cdot SCH$  ...Masse des Grobbodens der Fraktion 6,3 mm – 63 mm in der Schippenprobe [g]
- $M_{GB2-63} \cdot SCH$  ...Masse des Grobbodens der Fraktion 2 mm – 63 mm in der Schippenprobe [g]
- $M_{GB2-6,3} \cdot SZ$  ...Masse des Grobbodens der Fraktion 2 mm – 6,3 mm in der Stechzylinderprobe [g]
- $M_{ges} \cdot SCH$  ...Masse der Schippenprobe [g]
- $M_{ges} \cdot SZ$  ...Masse der mittels Stechzylinder entnommenen Bodenprobe [g]
- $TRD_{FB}$  ...Trockenrohddichte des Feinbodens [ $\text{g/cm}^3$ ]
- $V_{Ant_{GB>63}} \cdot PROF$  ...Volumenanteil des Grobbodens der Fraktion > 63 mm nach Schätzung am Bodenprofil [Vol.-%]
- $V_{Ant_{GB2-63}} \cdot SCH$  ...Volumenanteil des Grobbodens der Fraktion 2 mm – 63 mm in der Schippenprobe [Vol.-%]
- $V_{FB} \cdot SZ$  ...Volumen des ungestörten Feinbodens in der mittels Stechzylinder (Stechkappe) entnommenen Bodenprobe [ $\text{cm}^3$ ]
- $V_{GB} \cdot SZ$  ...Volumen des Grobbodens in der mittels Stechzylinder entnommenen Bodenprobe [ $\text{cm}^3$ ]
- $V_{GB2-63} \cdot SCH$  ...Volumen des Grobbodens der Fraktion 2 mm – 63 mm in der Schippenprobe [ $\text{cm}^3$ ]
- $V_{ges} \cdot SCH$  ...Volumen der Schippenprobe in ungestörter Lagerung [ $\text{cm}^3$ ]
- $V_{ges} \cdot SZ$  ...Volumen des Stechzylinders [ $\text{cm}^3$ ]

# BODENBEWERTUNG UND PLANERISCHE FLÄCHEN- BEWERTUNG ALS BEITRAG ZU REFINA

Friedrich Rück\*<sup>1</sup>, Hubertus von Dressler\*, Silke Höke\*, Markus Rolf\*, Klaus Thierer\*  
(\*Osnabrück), Jürgen Schneider<sup>2</sup> (Hannover)

## Was ist und will Refina?

Der Förderschwerpunkt "Forschung für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und ein nachhaltiges Flächenmanagement (REFINA)" des BMBF ist Teil der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung. Im Mittelpunkt dieser Strategie steht ein effizienter Umgang mit Grund und Boden durch

- Reduktion der derzeitigen täglichen Inanspruchnahme von Boden für neue Siedlungs- und Verkehrsflächen auf 30 Hektar pro Tag
- vorrangige Innenentwicklung (Verhältnis von Innen- zu Außenentwicklung = 3:1)
- Flächenmanagement mit der Vision eines Flächenkreislaufs durch Flächenrecycling.

## Anspruch des Förderschwerpunktes REFINA

Es sollen innovative Konzepte für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme entwickelt werden, dabei sind unterschiedliche Ziele, wie Umwelt- und Naturschutz, wirtschaftliches Wachstum aber auch sozialgerechte Wohnversorgung, städtebauliche Qualität und Mobilität in Einklang zu bringen.

Die FH Osnabrück bearbeitet das Projekt „Funktionsbewertung urbaner Böden und planerische Umsetzung im Rahmen kommunaler Flächenschutzkonzeptionen“ (Abb. 1) mit dem Projektpartnern Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) Hannover, EFTAS Fernerkundung Münster und der Stadt Osnabrück, Fachbereiche Städtebau und Umwelt.

## Problematik/ Interessenskonflikt

Die meisten REFINA-Vorhaben forcieren die Innenentwicklung und damit die Bebauung von urbanen Böden mit dem Ziel, den Flächenverbrauch „auf der grünen Wiese“ zu reduzieren.

Andererseits kann und sollte auch eine Lenkung der Bebauung im innerstädtischen Bereich erfolgen und sich orientieren an Bodenqualitäten und -eigenschaften (quantitative und qualitative Optimierung).

Innerstädtische Freiflächen werden ebenfalls benötigt für Ersatz- und Ausgleichsflächen (Naturschutz) sowie Freizeit und Erholung. Schwer vermarktbar Brachen („C-Flächen“) sind insbesondere interessant hinsichtlich ihrer Eignung für Zwischennutzungen („Natur auf Zeit“).

Im Rahmen unseres Vorhabens zur Entwicklung von Flächenschutzkonzeptionen sollen Bodenfunktionen urbaner Böden und deren Funktionserfüllungen bezüglich unterschiedlicher planerischer Anforderungen zusammengeführt werden. Bei Standortentscheidungen soll eine Abwägungs- und Lenkungshilfe durch den Abgleich der Bodenfunktionen urbaner Böden mit den planerischen Anforderungen (Bodeneignungsbewertung) entwickelt werden.

Abb. 2 zeigt eine Gegenüberstellung der Bodenfunktionen, die für einzelne Boden-/Kartiereinheiten im Testgebiet erhoben werden und zwei Planungsszenarien für das Testgebiet mit den zu berücksichtigenden Eignungsfunktionen. Erste Ergebnisse berichten Höke et al. im selben Band. Die Laufzeit des Vorhabens endet Mai 2009.

## Literatur und Links:

Höke, S., Rolf, M., von Dressler, H., Rück, F., & J. Schneider (2007): Die Teilfunktion des Standortpotentials der Böden für Pflanzen auf urbanen Brachen für innovative Flächennutzungskonzepte. Zur Veröffentlichung eingereicht im selben Band.

Schneider, J. (2007): REFINA-Forschung für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und ein nachhaltiges Flächenmanagement. Funktionsbewertung urbaner Böden und planerische Umsetzung im Rahmen kommunaler Flächenschutzkonzeptionen. Zur Veröffentlichung eingereicht im selben Band.

[www.stadtboden-planung.de](http://www.stadtboden-planung.de)  
[www.refina-info.de](http://www.refina-info.de)

<sup>1</sup> Fachhochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Postfach 1940, D-49090 Osnabrück. E-mail: [f.rueck@fh-osnabrueck.de](mailto:f.rueck@fh-osnabrueck.de)

<sup>2</sup> Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. Stilleweg 2, 30655 Hannover

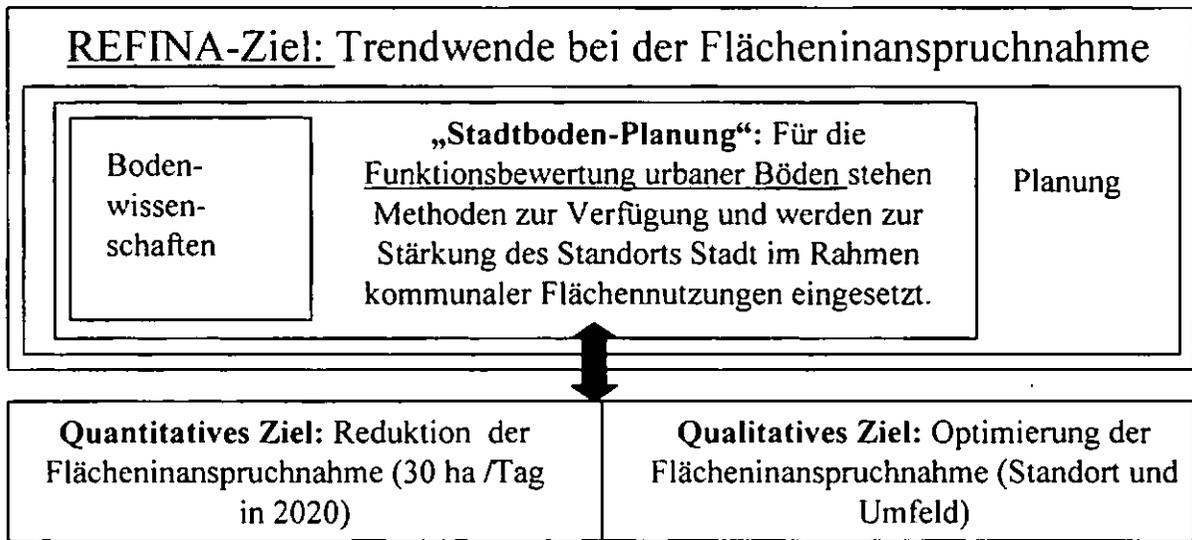
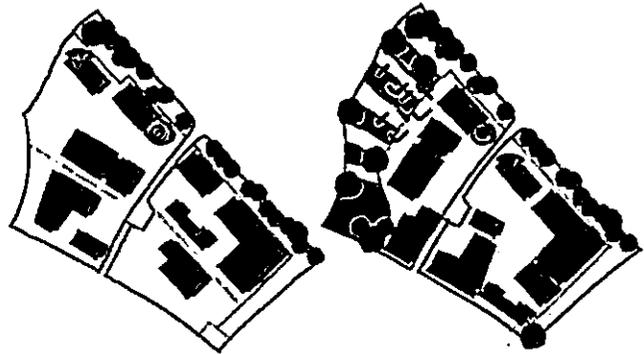
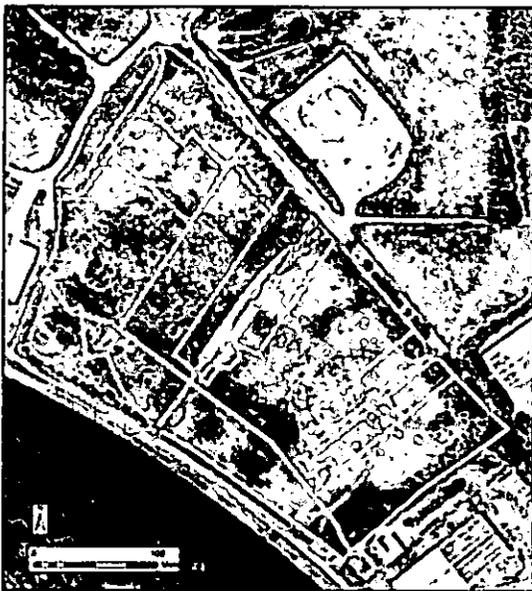


Abb. 1: Integration der „Funktionsbewertung urbaner Böden“ in die REFINA-Ziele



### **BODENEINHEITEN IM TESTGEBIET**

#### **Bodenfunktionen**

**Lebensraum**

**Wasserhaushalt**

**Filter und Puffer**

**Archiv**

Teilfunktionsbewertung ist erforderlich.

Wechselwirkungen mit anderen Schutzgütern müssen berücksichtigt werden.

Entwicklungsprognosen (zeitliche Dynamik) einbeziehen.

**Weitere bei Bedarf:**

Empfindlichkeiten vs. Verdichtung

Empfindlichkeiten vs. Wassererosion

und Verschlammung

Standort für Land- und Forstw. Nutzung

### **PLANERISCHE SZENARIEN / NUTZUNGALTERNATIVEN**

#### **Eignungsfunktionen**

Bewertung der Umweltfaktoren für eine bestimmte Nutzung. Erarbeitung von Planungsszenarien im Fall von Flächenumwidmungen: Abwägungs- und Lenkungsfunktion für Bebauungspläne, Grünordnungspläne, naturschutzfachliche Ausgleichsplanung, Naturschutzflächen.

**Bestgeeignete Flächen von Bebauung freihalten => höchste Funktionserfüllung für andere Schutzgüter!**

#### **Basiseignungsfunktionen**

**Standort für**

- Ausgleichsflächen (Naturschutz, Natur auf Zeit)

- Energieplantagen/ Industriewald

- Erholung / Grünflächen / - PNV u.a.

- Freizeitnutzungen (z.B. Golfplätze, Reitanlagen, Veranstaltungen)

unter Berücksichtigung von:

- Regionalisierungen: welche Umweltziele werden im Planungsgebiet großräumig verfolgt?

- Zwischennutzungen, temporäre / dynamische Bauten

- Stadtklima; Randeffekte wie Lärm

Abb. 2: Gegenüberstellung der Boden-/Kartiereinheiten im Testgebiet mit zu bewertenden Bodenfunktionen und Planungsvarianten mit den zu berücksichtigenden Eignungsfunktionen

## Experimentelle Diagnostik ungestörter Böden mit Thermogravimetrie -Grundlage für ein Fingerprinting?-

Christian Siewert\*

Mit der Globalisierung verändern sich die Ansprüche an die Klassifikation und Bewertung von Böden. An Stelle regionaler Lösungen geht es um Grundlagen, die unabhängig von aktuellen politischen Rahmenbedingungen und kulturellen Erfahrungswerten mit genutzten Böden Bestand haben.

Mit diesem Hintergrund wurden zunächst 50 später über 100 weitere Böden aus weitgehend naturnahen, vom Menschen unbeeinflussten Ökosystemen mehrerer Klimazonen von der Taiga bis zur Halbwüste thermogravimetrisch analysiert und mit über 500 Proben aus land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden verglichen.

Ziel war eine einfache Bestimmung wichtiger Bodeneigenschaften (Siewert, 2004). Die dabei erzielten Ergebnisse wurden nunmehr einer statistischen Sekundärauswertung unterzogen. Letztere sollte in Anlehnung an das „Fingerprinting“ genetischer Informationen bei Organismen zeigen, ob charakteristische Muster in naturnahen Böden als Referenzgrundlage für Veränderungen nachweisbar sind, die sich für eine experimentelle Unterscheidung von Substraten und Böden oder für eine quantitative Bewertung von Bodenveränderungen eignen.

ungen eignen.

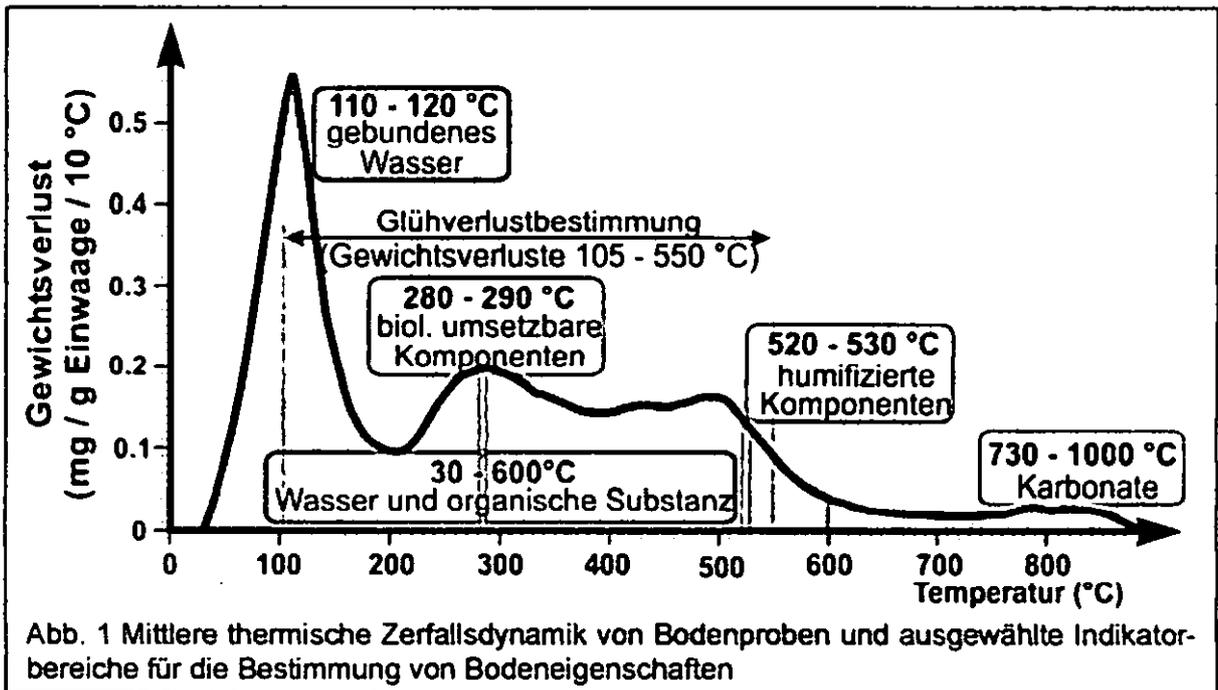
Abbildung 1 zeigt die typische Dynamik von Gewichtsverlusten bei Erwärmung von Bodenproben von 30 °C auf über 950 °C mit einer Heizrate von 5 K/min und einer Luftspülung von > 200 ml/min mit 76% rel. Luftfeuchte (bei 20 °C). Die Probeneinwaage betrug ca. 1 g.

Bei der Auswertung dieser Daten wurde nachgewiesen, dass auf Grund der großen Variabilität der Ergebnisse in allen Temperaturbereichen keine Unterscheidung zwischen natürlichen und genutzten Böden an Hand von Einzelergebnissen möglich ist. Mit anderen Worten sind - analog zur Auswertung genetischer Informationen bei Organismen - thermogravimetrisch (bei Genanalysen chromatographisch oder anderweitig) identifizierbare Komponenten für eine Unterscheidung zwischen veränderten und unveränderten Böden nicht geeignet.

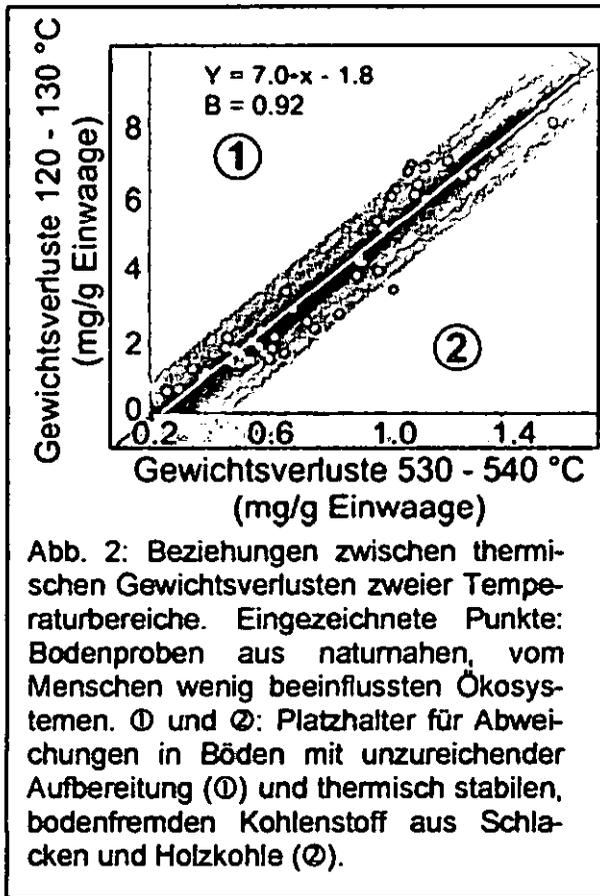
Bei der Gegenüberstellung von Gewichtsverlusten unterschiedlicher Temperaturbereiche in naturnahen Böden wurden jedoch sehr enge Beziehungen gefunden.

Abbildung 2 (folgende Seite) zeigt dazu ein Beispiel der insgesamt nachgewiesenen fünf bilateralen und zwei trilateralen Korrelationen.

Die gefundenen Beziehungen sind logisch plausibel. Sie beschreiben Besonderheiten der Bodenbildung.



\* Institut für Landschaftsarchitektur (ILA) an der Forschungsanstalt für Gartenbau Weihenstephan (FGW). Am Hofgarten 4, 85350 Freising, email: christian.siewert@fh-weihenstephan.de



So ist seit langem bekannt, dass sich humifizierte Substanzen tonabhängig anreichern (Körschens, 1997, Rasmussen et al, 1998). Wegen ihrer chemischen oder physikalischen Stabilisierung werden diese organischen Bestandteile als Gewichtsverluste (GV) oberhalb 450 °C erfasst. Der Tongehalt bestimmt auch die Hygroskopizität des Bodens, d.h. die Menge in luftgetrockneten Proben gespeicherten Wassers (Thron et. al. 1997). Das hygroskopische Wasser wird wegen seiner Bindung an Tone als GV (Gewichtsverlust) oberhalb von 100 °C registriert. Sowohl humifizierte Komponenten (GV bei T > 450 °C) als auch das gebundene Wasser (GV bei T > 100 -150 °C) sind somit vom gleichen Faktor (hier Tongehalt) abhängig. Demnach sollte auch zwischen den beiden Bestandteilen eine Beziehung existieren, die hier mit der Korrelation der GV zwischen 120 und 130 °C zu den GV zwischen 530 und 540 °C in Abb. 2 bestätigt werden konnte.

Abweichungen in Richtung x - Achse wurden in Proben mit thermisch stabilen bodenfremden Kohlenstoff (aus Schlacke, Holzkohle etc.) gefunden. Abweichungen in Richtung höherer Werte auf der Y-Achse waren in genutzten Böden nicht nachweisbar oder aber mit einer ungenügenden Probenaufbereitung (zu starke oder unzureichend Trocknung im Ofen, Mahlen etc.) erklärbar.

Sind diese Ergebnisse methodisch nutzbar? Die für Bodenbildungsprozesse relevanten Beziehungen zwischen einzelnen Bestandteilen können - analog zu den Verteilungsmustern genetischer Informationen bei Organismen - mit relativ einfachen Methoden erfasst werden. Veränderungen der natürlichen Bodenbildung (z.B. durch Beimengungen von Holzkohle oder Schlacke) lassen sich an Hand von Abweichungen von den gefundenen Beziehungen beschreiben.

Eine auf dieser Herangehensweise aufbauende Klassifikation und Bewertung von Böden hätte den Vorteil einer von aktuellen Nutzungen Einsetzbarkeit und überregionalen Anwendbarkeit.

Weiterführende Untersuchungen sollten daher zeigen, ob die gefundenen Beziehungen auch in Böden anderer Regionen gleichermaßen nachweisbar sind.

Für die Entwicklung neuer Methoden der Bodenanalyse scheint unabhängig davon die Einbeziehung von naturnahen, vom Menschen unbeeinflussten Böden hilfreich. Naturnahe Böden könnten - analog zu gesunden Organismen in der Gentechnik - Informationen als Referenzobjekte liefern, die sich in vielfältiger Weise nutzen lassen.

#### Literatur:

- Margaret S. Torn, Susan E. Trumbore, Oliver A. Chadwick, Peter M. Vitousek & David M. Hendricks, 1997: Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. *nature*, vol. 389, p. 170 - 173
- Rasmussen, P. E.; Keith, W. T.; Goulding, J. R.; Brown, P. R.; Grace, Henry Janzen, H.; Körschens, M., 1998: Long-Term Agroecosystem Experiments: Assessing Agricultural Sustainability and Global Change. *Science*. vol. 282, 893 - 896
- Körschens, M., 1997: Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz (OBS) von Standort und Bewirtschaftung sowie ihr Einfluß auf Ertrag und Bodeneigenschaften. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 41, 6, 435 - 464
- Siewert, C., 2004: Rapid scanning of soil properties using thermogravimetry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1656 - 1661
- SIEWERT, C., 2002: Method for determining the qualitative composition of the organic soil substance of mineral soils. App. No.: 09/601,256; PCT Filed: Jan. 30, 1998; PCT Pub. No.: WO99/39180, Aug. 5, 1999; Patent No.: US 6,382,830 B1

## Zur Klima- und Standortindikation rube-fizierter neogener und quartärer (Paläo-) Böden in Österreich

Skowronek, A.<sup>1</sup>, Krupp, A.<sup>1</sup> u. Nestroy, O.<sup>2</sup>

### Einführung

Das Klima Mitteleuropas führte und führt in der Regel zur Ausbildung brauner Böden. Vereinzelt treten jedoch auch rote Bodenbildungen auf. Diese, auf die Existenz von Hämatit zurückzuführende, Bodenfarbe indiziert entweder warme und wechselfeuchte Großklimare oder bestimmte Pedoenvironments.

Zum Beispiel zeigten Untersuchungen an roten Böden in Brandenburg, dass Eisenfreisetzung durch Verwitterung, Eisenanreicherung dagegen durch Podsolierung und Grundwasser erfolgten.

Auch in Österreich kommen vereinzelt rote Böden vor. Alle bekannteren roten, terrestrischen Böden wurden daher hier im Sommer 2004 beprobt (Abb.1). Ihr Alter reicht von Neogen bis Holozän. Folgende Bodenparameter wurden zur Interpretation der Rotfärbung herangezogen: Redness-Rating (RR), Tongehalt sowie  $Fe_o$ ,  $Fe_d$  und  $Fe_t$ . Die Werte wurden miteinander in (statistische) Beziehungen gesetzt.

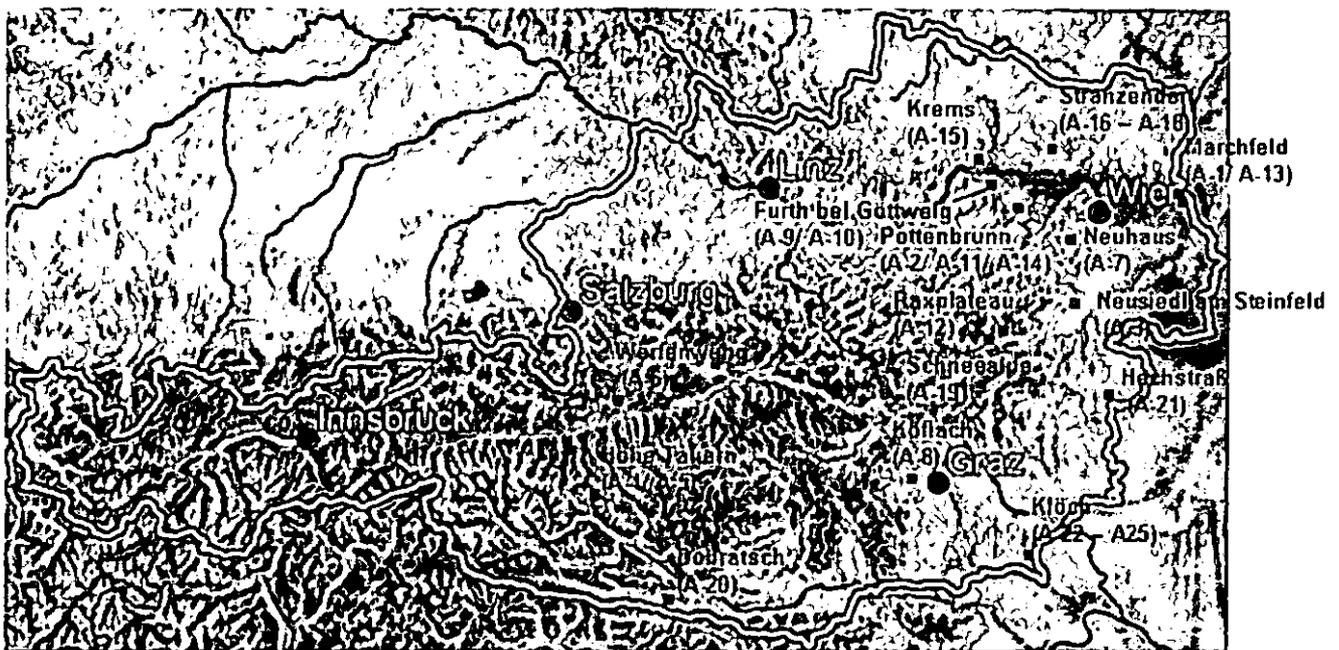


Abb.1: Lage der Standorte

<sup>1</sup>Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz – Bodenwissenschaften, Universität Bonn, Nussallee 13, 53115 Bonn,

E-mail: askowronek@uni-bonn.de

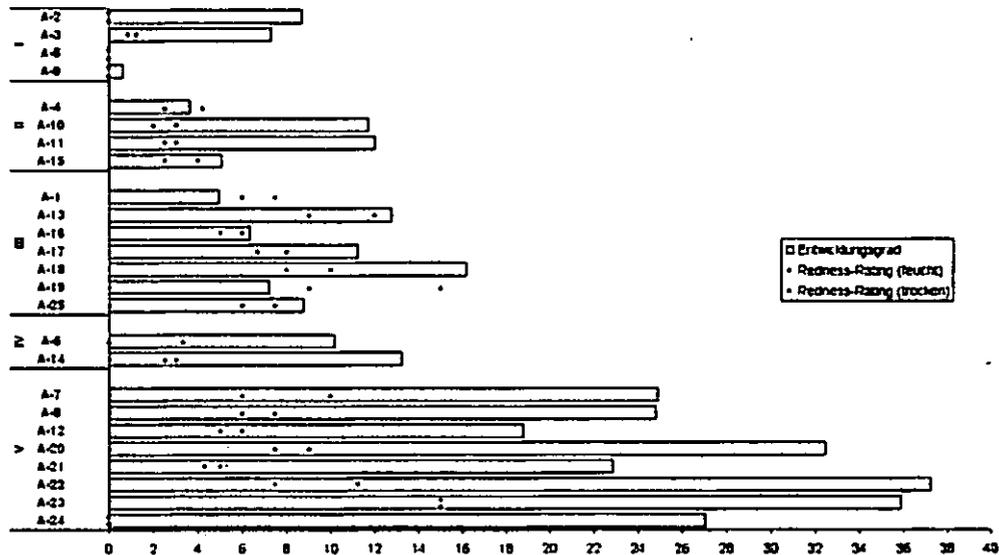
<sup>2</sup>Institut für Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Graz, Rechbauerstraße 12, A-8010 Graz

### Laboranalytische Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt das sog. Redness-Rating, d.h. die Transformation der Munsell-Notation in einen einfachen numerischen Wert und den Index  $(Fe_d - Fe_o) / (Fe_t / \text{Ton})$ , der auch die Vererbung pedogenen Eisens in (Boden-) Sedimenten berücksichtigt. Dieser Index wird ins Verhältnis zum Redness-Rating gebracht (Abb.2).

Tab. 1: Daten zur Eisendynamik und Verwitterungsintensität

Probe	RR (trocken)	RR (feucht)	Ton [%]	Fed-Feo [%]	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>t</sub>	(Fe <sub>d</sub> -Fe <sub>o</sub> )/(Fe <sub>d</sub> /Ton)
A-1	6	7,50	12,02	0,68	0,50	4,95
A-2	0	0	35,73	1,15	0,30	8,70
A-3	0,83	1,25	22,52	0,95	0,43	7,26
A-4	2,50	4,20	5,82	3,17	0,77	3,62
A-5	0	0	0,14	0,10	0,37	0,02
A-6	3,33	0	20,33	2,31	0,53	10,18
A-7	6	10	51,38	1,52	0,54	24,89
A-8	6	7,50	43,70	3,84	0,58	24,80
A-9	0	0	2,93	0,69	0,24	0,65
A-10	2	3	48,88	1,16	0,28	11,72
A-11	2,50	3	39,18	1,15	0,34	12,01
A-12	5	6	48,80	2,33	0,53	18,80
A-13	12	9	25,75	1,24	0,52	12,77
A-14	2,50	3	35,80	1,39	0,44	13,24
A-15	2,50	4	26,37	0,77	0,21	5,06
A-16	5	6	27,43	0,80	0,25	6,33
A-17	6,67	8	38,60	1,04	0,31	11,24
A-18	8	10	45,84	1,43	0,37	16,18
A-19	9	15	12,51	1,10	0,60	7,21
A-20	7,50	9	58,56	2,82	0,57	32,45
A-21	4,29	5	32,58	5,51	0,74	22,86
A-22	7,50	11,25	76,35	4,48	0,56	37,22
A-23	15	15	69,48	5,55	0,57	35,88
A-24	0	0	56,40	4,38	0,51	27
A-25	6	7,50	38,93	2,26	0,34	8,78



- I geringe Verwitterungsintensität; keine bis geringe Rötung
- II geringe Verwitterungsintensität; mäßig starke Rötung
- III geringe bis mäßig starke Verwitterungsintensität; starke Rötung
- IV mäßig starke Verwitterungsintensität; mäßig starke Rötung
- V hohe Verwitterungsintensität, mäßig starke bis starke Rötung

Abb. 2: Klassen der Verwitterungsintensität  $[(Fe_d - Fe_o)/(Fe_d/Ton)]$  und Redness-Rating

**Fazit**

Rubefizierung (Redness-Rating) und Verwitterungsintensität verlaufen nur teilweise parallel. Das bedeutet: Die Intensität der Verwitterung bestimmt nicht zwingend den Grad der Rubefizierung.

Daraus folgt: Die Bodenfarbe wird auch von den jeweiligen Standortfaktoren (Ausgangsgestein, Durchlüftung, „Pedoenvironment“ etc.) bestimmt. Eine Höhenabhängigkeit der Bodenfarbe ist nicht erkennbar.

## **Die Bedeutung des oberflächennahen Untergrundes für Boden und Relief an der Bauland/Odenwald-Grenze**

Esther Schmidt, Tobias Lauer & Erhard Bibus

### **Einleitung**

Die Böden des östlichen Buntsandstein-Odenwaldes und der angrenzenden Gäuflächen (Bauländer Muschelkalk) sind aus periglazialen Deckschichten entwickelt. Der oberflächennahe Untergrund beeinflusst die Mächtigkeit sowie die bodenphysikalischen und bodenchemischen Eigenschaften mehrschichtiger Profile (vgl. BIBUS et al. 1991: 238f.). Ziel der Untersuchungen war es, das Verteilungsmuster der periglazialen Deckschichten zu erfassen, die aus den Deckschichten entwickelten Böden zu kartieren und deren geoökologisches Potential darzustellen. Außerdem konnten über die Verteilung von Haupt-, Mittel- und Basislage sowie durch das Vorfinden einer Paläobodensequenz in einem Lößlehmaufschluss Rückschlüsse über die Reliefgenese, insbesondere die Schichtstufenmorphogenese dieses Teiles der Süddeutschen Schichtstufenlandschaft gezogen werden.

Neben ausführlichen Erhebungen im Gelände wurden dafür im Labor entsprechende Parameter bestimmt. Für die stratigraphische Einordnung der Deckschichten wurden Korngrößenanalysen durchgeführt und Schwermineraluntersuchungen in Auftrag gegeben (Analytiker Prof. Dr. H. Thiemeyer).

Um die Böden geoökologisch einzuordnen wurden neben pH-Werten pflanzenverfügbare Nährstoffe und C/N-Verhältnisse bestimmt.

### **Periglaziale Deckschichten und Böden im östlichen Buntsandstein-Odenwald**

Die Morphographie des östlichen Buntsandstein-Odenwaldes wird neben den markanten Taleinschnitten der zum Neckar oder Main entwässernden Flusssysteme vor allem von den leicht nach SE einfallenden Hochflächen geprägt. Auf diesen sind Basis- Mittel- und Hauptlage ausgebildet.

Die schluffige, LST-führende Hauptlage sowie die dicht gelagerte Basislage sind flächendeckend vorhanden, während die schluffig-tonige Mittellage zu den Rändern der Hochflächen hin auskeilt. Diese Deckschichtenkombination führt zur Ausbildung unterschiedlich stark pseudovergleyter Parabraunerden sowie Parabraunerde-Pseudogleyen und sogar Stagnogleyen. Weite C/N-Verhältnisse (ca. 20), pH-Werte, die bis in den Aluminium-Pufferbereich reichen sowie eine überdurchschnittlich hohe Windwurfgefahr charakterisieren diese Standorte. Es lässt sich feststellen, dass die periglazialen Deckschichten Bodenwasserhaushalt, Lufthaushalt, Gründigkeit, Wärmehaushalt, Durchwurzelbarkeit, Skelettgehalt und Bodenart eines Standorts bestimmen und somit nicht außer Acht gelassen werden können, wenn die geoökologische Standortqualität ermittelt werden soll.

An den Hangbereichen dominiert die Kombination Haupt- über Basislage, welche die Ausbildung von z.T. sauren Braunerden bedingt. An südexponierten Mittel- und Unterhangabschnitten fehlt die Hauptlage dagegen häufig. Alte Landnutzung hat hier zu Erosion der sonst flächendeckend vorhandenen Deckschicht geführt. Lediglich die meist mehrgliedrige Basislage ist flächendeckend vorhanden. Charakteristisch ist eine rote tonige Basislage aus den tonigen Zwischenschichten des sol, die bis in den Unterhangbereich zieht.

### **Relief und Böden im Bauland**

Die Bauland/Odenwald-Grenze wird durch die erzgebirgisch streichende Odenwaldflexur markiert, an der die Röttone des Oberen Buntsandsteins unter den Unteren Muschelkalk abtauchen. An die Odenwaldflexur schließt sich die Schichtstufe des Unteren Muschelkalks, auch Wellenkalkstufe ( $\mu_2$ ) genannt, an (OLBERT 1975). Diese ist im Bereich subsequent verlaufender Täler abschnittsweise markant herauspräpariert. In Wasserscheidenbereichen tritt die Stufe morphologisch dagegen kaum in Erscheinung. Wenige Kilometer östlich folgt der Wellenkalkstufe dann eine weitere Schichtstufe, die des Oberen Muschelkalkes ( $mo_2$ ), auch Hauptmuschelkalkstufe genannt. Über die Verteilung der Deckschichten an der Hauptmuschelkalkstufe konnten Aussagen über die Intensität der quartären Stufenrückwanderung getroffen werden.

Die Untersuchungsgebiete im Bauland werden vor allem von den Böden der Rendzina-Terra fusca-Entwicklungsreihe eingenommen. Im ungestörten Zustand liegt den Terra fuscae die bis zu 45 cm mächtige, weitestgehend skelettfreie Hauptlage auf. Diese ist durch eine hohe LST-Beimengung charakterisiert (> 40 %) und kann somit nach SEMMEL (2003) tephrochronologisch in die Jüngere Tundrenzeit datiert werden. Die Skelettarmut der Hauptlage resultiert aus der holozänen Lösung der carbonatischen Gesteinsfragmente.

In manchen Bereichen weist die Hauptlage an ihrer Basis leichte Toncutane auf (Btv-Horizonte). Hier kann von einer Zweiteilung der Hauptlage ausgegangen werden (vgl. BIBUS & KÖSEL 1997: 39).

Die Tatsache, dass die Hauptlage jedoch beinahe flächendeckend fehlt, verdeutlicht die Intensität der Bodenerosion im Altsiedelgebiet des Baulandes. Die korrelaten Bodensedimente finden sich in Muldenpositionen und den Talauen und haben zu einem Anheben der Tiefenlinien geführt.

An einem Abschnitt der Hauptmuschelkalkstufe (mo<sub>2</sub>) konnte im Liegenden der Hauptlage die nährstoffreiche Mittellage angetroffen werden. Diese lässt sich schwermineralogisch eindeutig von der Hauptlage abgrenzen. Reste vulkanischer Schwerminerale in der Mittellage lassen sich auf biogene Einarbeitung zurückführen (vgl. SABEL 1983, BIBUS et al. 1991: 247). Aus Haupt- und Mittellage haben sich Parabraunerden oder pseudovergleyte Parabraunerden entwickelt. Das Vorfinden der Mittellage am Unterhang der Hauptmuschelkalkstufe verdeutlicht, dass die Stufenrückwanderung seit der Genese der Mittellage zumindest an diesem Stufenabschnitt weitestgehend zum Stillstand gekommen ist. Die gegenwärtige Formungsruhe lässt sich mit der Lage im Wasserscheidenbereich zwischen den zum Main und zum Neckar gerichteten Abflusssystemen erklären.

### **Der Lößlehmaufschluss „Talbuckel“ und seine Bedeutung für die Rekonstruktion der Relieffgenese an der Wellenkalkstufe**

Der Aufschluss Talbuckel (Ziegelei Lafarge, Hainstadt/Buchen), der sich in einer ehemaligen Abbaugrube der anstehenden Röttone befindet, liegt am östlichen Odenwaldrand im Vorland der hier schwach herauspräparierten Wellenkalkstufe und repräsentiert ein vielgliedriges Lößlehm-Profil. In dieser reliefbegünstigten Leelage

konnten sich 410 m ü.NN mächtige Lößlehmepakete ablagern. Mit zunehmender Höhe nimmt die Lößlehmbedeckung auf den Buntsandstein-Hochflächen nach W hin ab.

Der Lößlehm-Aufschluss gibt Auskunft über das Ausmaß der Stufenrückwanderung im Pleistozän. Da der Aufschluss mindestens drei fossile Bodenbildungen enthält, kann davon ausgegangen werden, dass der Muschelkalk in der viertletzten Kaltzeit bereits abgetragen war, da unter dem Lößlehm die Röttone anstehen. Der Stufenrand befindet sich etwas über einen Kilometer vom Talbuckel entfernt. Dies bedeutet, dass die Stufe seit der viertletzten Kaltzeit nicht weiter zurückverlegt worden sein kann.

#### **Literatur:**

BIBUS, E., EBERLE, J., KÖSEL, M., RILLING, K. & THERHORST, B. (1991): Jungquartäre Reliefformung und ihre Beziehung zur Bodenbildung und Bodenverbreitung im Stromberg und Zabergäu (Bl. Brackenheim). - Jh. geol. L.-amt Baden-Württ., 33: 219-261, 12 Abb., 2 Tab.; Freiburg/Breisgau.

BIBUS, E. & KÖSEL, M. (1997): Paläoböden und periglaziale Deckschichten im Rheingletschergebiet von Oberschwaben und ihre Bedeutung für Stratigraphie, Reliefentwicklung und Standort. Exkursionsführer zur 16. Tagung des Arbeitskreises für Paläopedologie der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft vom 8.-10.5.1997 in Biberach a. d. Riss. - Tübinger geowiss. Arb., D 3: 91 S.; Tübingen.

OLBERT, G. (1975): Talentwicklung und Schichtstufenmorphogenese am Südrand des Odenwaldes. - Tübinger geogr. Studien, 64: 121 S., 40 Abb., 4 Tab., 4 Kt.; Tübingen.

SABEL, K. (1983): Schwermineraluntersuchungen an verschiedenen Böden des Rhein-Main-Gebietes. - Geol. Jb. Hessen, 111: 303-313; Wiesbaden.

SEMMEL, A. (2003): Periglaziale Vergangenheit und bodenkundliche Gegenwart in den deutschen Mittelgebirgen. - überarb. Vortrag Festkolloquium Walther Schwanecke, Gernrode (Harz) 2003.

# Landschaftssegmentierung, Repräsentanz und Data Mining – Konzepte zur digitalen Bodenkartierung

K. Schmidt\*, T. Behrens\* und T. Scholten\*

## Einleitung

Die Erhebung hochaufgelöster repräsentativer Daten auf Landschaftsebene erfordert zunehmend den interdisziplinären Einsatz mathematischer, informationstheoretischer und statistischer Verfahren, um effektive bodenkundliche Aufnahmemethoden zu unterstützen. Am Beispiel des Nidda Einzugsgebiets im zentralen Teil Hessens (ca. 1600 km<sup>2</sup>) zeigt diese Studie den Einsatz unterschiedlicher raum-statistischer Verfahren in Kombination mit geophysikalischen und pedometrischen Methoden zur digitalen Kartierung von bodenkundlichen Kennwerten. Zentrale Elemente des schrittweisen Ansatzes sind eine plausible und reproduzierbare Segmentierung, die Ausweisung repräsentativer Teilräume sowie die Ableitung von repräsentativen Transekten. Zur Optimierung insbesondere von linearen geophysikalischen Aufnahmemethoden (Georadar) (GERBER ET AL. 2007) wurde innerhalb eines Teilraums mittels zufallsbasierter Suche die optimal-kürzeste Wegstrecke bestimmt, die eine effektive Regionalisierung von Bodeneigenschaften mittels Data Mining Verfahren ermöglicht (BEHRENS & SCHOLTEN 2006).

## Landschaftssegmentierung

Das Ziel der Landschaftssegmentierung ist die Ausweisung geschlossener, objektiver und homogener Landschaftseinheiten. Die Berechnung erfolgt auf Basis der Bodenkarte (1:50.000) und der Kombination einer speziellen Moving-Window Technik mit einer räumlichen Clusteranalyse. Zu diesem Zweck wurde die Häufigkeitsverteilung der Bodentypen ( $S_1...S_n$ ) innerhalb der Ausschnitte ( $ID_1...ID_n$ ) auf Grundlage unterschiedlicher Flächen-größen (250m,..., 10.000m) berechnet (Abb. 1). Aufsetzend wurden die Ergebnisse als Eingangsdaten für eine k-means Clusteranalyse über 3-10 Klassen verwendet. Der Zersplitterungsgrad bemessen an den Klassifikationsniveaus dient der Ausweisung des Optimums.

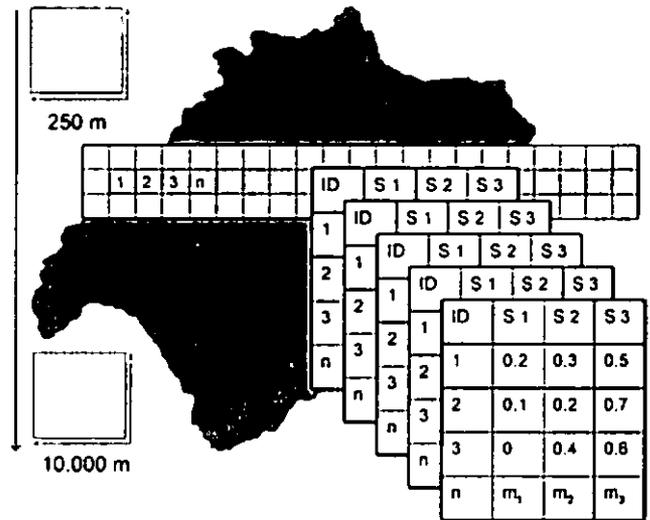


Abb. 1: Methodik der Landschaftssegmentierung - Berechnung der relativen Häufigkeiten für jeden Ausschnitt über das gesamte Untersuchungsgebiet.

Die Ausweisung geschlossener Landschaftseinheiten erfordert die Minimierung des Summenumfangs der Einzelflächen. Neben der optimalen Fenstergröße von 5x5 km ist auf Grundlage der räumlichen Vernetzung die optimale Klassenanzahl von sechs bestimmt worden. Der Vergleich zur existierenden naturräumlichen Gliederung der Landschaft zeigt eine hohe Korrelation, daher wurden folgende Namen vergeben: Unterer und Hoher Vogelsberg (VB), Vorderer Vogelsberg (VVB), Büdinger Wald (BW), Wetterau (W) NO, Wetterau (W) SW, Taunus (TN) (Abb. 2).

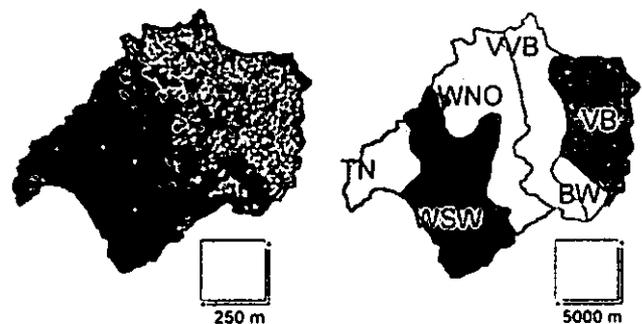


Abb. 2: Klassifikationsergebnisse mit unterschiedlichen Ausdehnungen (250m vs 5000m) bei sechs Klassen und die jeweilige Bezeichnung nach existierender naturräumlicher Gliederung.

## Repräsentative Teilgebiete

Die Bestimmung der repräsentativen Teilgebiete erfolgte innerhalb jeder Landschaftseinheit über eine Bewertung der Häufigkeitsverteilungen. Der Algorithmus ist ähnlich der Landschaftssegmentierung über eine spezielle Moving-Window Technik implementiert. Die Grundlage bildet der  $\chi^2$ -Test, über den der jeweilige Ausschnitt mit dem Landschaftsraum verglichen wird (BEHRENS & SCHOLTEN 2003; BEHRENS ET

\* Universität Tübingen, Geographisches Institut, Rümelinstr. 19-23, 72070 Tübingen, E-Mail: karsten.schmidt@uni-tuebingen.de

AL. 2005). Eine hohe Übereinstimmung bedeutet eine hohe Repräsentativität. Die repräsentativen Teilbereiche sind in der Oberflächendarstellung schwarz gekennzeichnet (Abb. 3). Die Auswahl erfolgte durch die Ausweisung des Gebietes mit der höchsten Ähnlichkeit zum Ursprung.

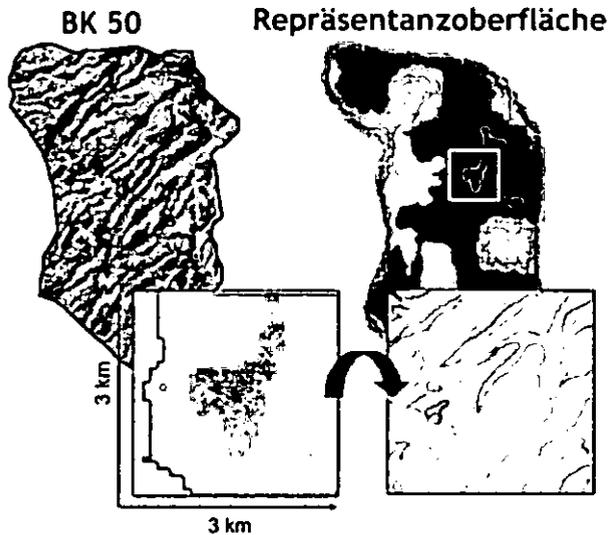


Abb. 3: Berechnung des repräsentativen Ausschnitts - das optimale Testgebiet beschreibt sich über die größte Ähnlichkeit in den Bodenverteilung im Vergleich zum Gesamtgebiet

### Repräsentative Transekte

Zur Ausweisung des optimalen Transekts im Teilgebiet wurde ein randomisierter Nearest-Neighbor Algorithmus entwickelt, der auf den Flächenzentren basiert, die mittels einer neuen Methode über eine Maximierung der Entfernung zu den Flächengrenzen berechnet wurden (Abb. 4) (SCHMIDT ET AL. 2005).

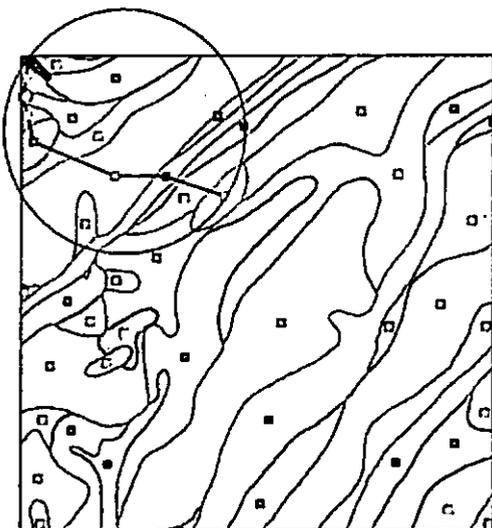


Abb. 4: Lage der Flächenzentren (1) und kürzester Transekt (2) berechnet über einen zufallsbasierten Nearest Neighbor Algorithmus am Beispiel des VB-Teilgebiets

Die Flächenzentren beschreiben somit die Punkte der größten Sicherheit, den korrespondierenden Bodentyp anzusprechen.

Kriterien zur Ausweisung des optimalen Transekts sind:

- Minimierung der Transektlänge,
- Berücksichtigung aller Klassen,
- jede Klasse darf nur einmal vorkommen.

Diese Kriterien sind notwendig, um alle relevanten Bodeninformation über die kleinstmögliche Wegstrecke zu erfassen.

### Ergebnis

Die vorgestellte Methodik beinhaltet drei unabhängige Teilschritte: Landschaftsegmentierung, Repräsentanzanalyse und Transekt Sampling. In der Studie wurden sechs Landschaftseinheiten und darauf aufbauend sechs repräsentative Teilräume sowie Transekte berechnet. Die Länge der Transekte variiert zwischen 1,7 und 4,8 km und ermöglicht den effektiven Einsatz von geophysikalischen Messverfahren zur Aufnahmen bodenkundlicher Parameter. Ein Vorteil der Methodik ist die Eigenständigkeit jedes Arbeitsschritts. Das Framework eröffnet die Möglichkeit, große heterogene Landschaftsräume objektiv und reproduzierbar zu untergliedern. Zur Regionalisierung abgeleiteter bodenkundlicher Parameter werden die als Trainingspunkte dienenden Bodenkennwerte mittels spezieller Data Mining-Verfahren verwendet.

### Literatur

Behrens, T., Scholten, T., Gerber, R., Felix-Henningsen, P. (2005): Representative Study Site Selection for Surveys using Ground Penetrating Radar. Proc. Conf. Multifunctionality of Landscapes, Gießen, 93.

Behrens, T. and Scholten, T. (2003): Computer Aided Sampling - New methods for representative spatial sampling. Proceedings of the Pedometrics 2003 Conference, Reading, UK.

Behrens, T. & Scholten, T. (2006): Digital soil mapping in Germany - a review. J. Plant Nutr. Soil Sci. 169: 434-443.

Schmidt, K., Behrens, T., Scholten, T., Reinhardt, F. und W. Brandtner (2005): Räumliche Zuweisung und Extrapolation von Attributen der Mittelmaßstäbigen Bodenkarte (MMK) in die Bodengeologische Karte (BGK) Thüringens. Mitteiln. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 106: 95-96.

Gerber, R., Salat, C., Junge, A., Felix-Henningsen, P.: GPR-based detection of Pleistocene periglacial slope deposits at a shallow-depth test site. - Geoderma 139, p.346-356, 2007.

## Hochaufgelöste digitale Konzeptkarte auf der Grundlage von Boden-Relief-Beziehungen

Rolf Schmidt<sup>1</sup>, Detlef Deumlich<sup>2</sup>, Joachim Kiesel<sup>2</sup>, Sylvia Koszinski<sup>2</sup>, Michael Sommer<sup>2</sup>

### Problemstellung

Disaggregation von Boden-Übersichtskarten sowie Erarbeitung von Boden-Konzeptkarten stellen ein aktuelles Forschungsfeld der Bodenkunde dar (McBratney et al. 2003, Sommer et al. 2003, Behrens & Scholten 2006). Das hat seine Ursache u.a. darin, dass aufgrund fehlender Ressourcen Flächendeckung nur noch durch Übersichtsaussagen erreicht werden kann, andererseits aber Detaillierung und Lokalisierung von Böden für viele Aufgaben der Bodenforschung, aber auch für Bodennutzung und -schutz unerlässlich sind.

Vor diesem Hintergrund wird mit dem Beitrag eine Fallstudie aus dem Jungmoränengebiet vorgestellt. Ausgehend von einem Untersuchungsgebiet mit relativ hoher Datendichte (Uckermark nördlich Prenzlau, Land Brandenburg) werden die Zusammenhänge zwischen Boden und Relief analysiert, um auf dieser Grundlage eine großmaßstäbige digitale Konzeptkarte zu erstellen und das Ganze so zu sichern, dass Übertragungen auf ähnliche Gebiete möglich sind.

### Vorgehensweise

#### Datengrundlage:

- Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkarte (MMK) 1: 25 000 mit Dokumentationsblättern A (Schmidt & Diemann 1974)
- 800 Bohrstocksondierungen (Trassen mit Reliefbezug)
- 94 analysierte Bodenprofile
- DGM 5 (Grundlage Laserbefliegung 1998 i. A. ZALF)

Die MMK ermöglicht es, die Boden-Relief-Beziehungen zu klären (Tab. 1).

Position Böden	Indifferent, eben	Hangabwärts, Oberhang	Mittelhang	Umlaufhang, Hangfuß	Hangfuß, Mulde
Sand- Durchtragung SD	Selten < 10 %				
Normböden LL, LF	Verbreitet bis überwiegend 30 - 70 %				
Abtragungsböden LLa, RZ		Gering verbreitet bis verbreitet 10 - 50 %			
Auftragungsböden YK, SS/OO-YK				Selten bis gering verbreitet < 10 - 30 %	
Hydromorphe Böden LH-SS, SS, GO				Gering verbreitet 10 - 30 %	
Moore MN					Selten < 10 %

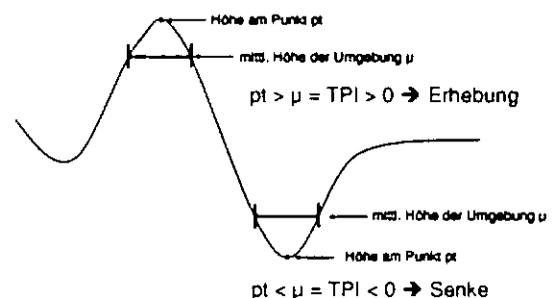
Tab 1: Herleitung der Boden-Relief-Beziehungen aus dem Dokumentationsblatt A der MMK

### Relieffklassifikation

Genutzt wird „the Topographic Position and Landform Analysis“ nach Weiss (2001). Dabei sind zwei grundlegende methodische Schritte zu beachten;

- der Topographische Positionsindex (TPI),
- die Kombination von Nah- und Fernbereich zur Ableitung von Landformen.

Der TPI wird aus dem Vergleich der Höhe eines Punktes zu seiner Umgebung bestimmt. Er kann positive Werte (Erhebung) oder negative Werte annehmen (Senke) (Abb. 1).



Weiss, A.D. (2001)

Abb. 1: Topografischer Positionsindex (Schema)

Die Landformen resultieren aus den TPI in zwei Ebenen (Nah- und Fernbereich) mit ergänzender Ausgrenzung der Ebenen unter Berücksichtigung der Hangneigung. Insgesamt werden zur Charakterisierung des Reliefs die Kriterien

- Landform,
- Hangposition,
- Wölbung

herangezogen.

Auf dieser Grundlage erfolgt die differenzierte Einordnung der Böden in Reliefklassen (Tab. 2)

<sup>1</sup>16225 Eberswalde, S.-Goldschmidt-Str. 1, e-mail: rschmidt@telta.de; <sup>2</sup>Leibniz-Zentrum f. Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Eberswalder Str. 84, 15374 Münchenberg

Reliefkriterien			Bodentyp/-Subtyp								Bodentyp de Konzeptkarte
Landformen	Hangposition	Wölbung	RZ	LL	LL-LF	LF	BB	SS-BB	YK	GG	
Mulde	Berie	konkav					1	2	7		YK
Randmulde	UH/Senke	konkav						3	11	2	YK
Ebene/Sattel	TopOH	konvex	2	1	6	2	5	3			LL, RZ
	Rach	gastrecht	8	4	12	16	7	3	6		LF+LL
	UH/Senke	konkav		1	1	3	6	4			SS-BB, YK
Rachkuppe Kuppe, Hügel	TopOH	konvex	21	1	2		4	1			RZ
	TopOH	konvex	9	1	1						RZ

Tab. 2: Zuordnung von Böden zu Reliefkriterien (Auszug)

Es wird deutlich, dass die Zuordnung der Böden im Vergleich zur MMK-Einstufung wesentlich differenzierter ist, aber auch Unschärfen auftreten. Ausgehend von der Gesamtmatrix mit der Ableitung von insgesamt 16 Bodeneinheiten wird das Reliefmodell mit den ausgewiesenen Böden visualisiert.

**Konzeptkarte**

Die Karte in ihrer bisherigen Form umfasst im Maßstab 1: 5000 etwa 12 km<sup>2</sup> und deckt einen repräsentativen Ausschnitt der Bodendecke der Grundmoränenlandschaft des Pommerschen Stadiums ab. Durch Vergleich mit weiteren 453 Bohrpunkten war es möglich, die Treffgenauigkeit einzuschätzen (Abb. 2).

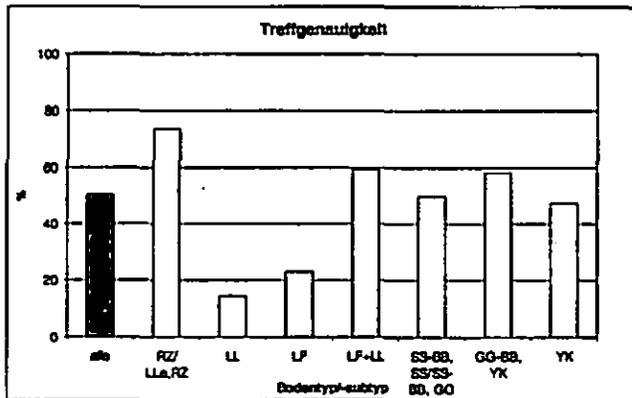


Abb. 2: Anpassungsgüte der Boden(-sub)-typen – Vergleich Modell – Bohrpunkt (n = 453)

Insgesamt sind etwa 50 % der Böden – bei angewandeter Methode - durch die Lage im Relief erklärbar. Bodengruppen (z.B. LL+LF) sind sicherer abzubilden als einzelne Klassifikationseinheiten (LL, LF). Durch Datenanpassung sowie durch ergänzende Interpretationen (Topograph. Feuchteindex, elektrische Leitfähigkeit,

Fernerkundung) ist mit besserer Anpassung zu rechnen.

Das Ergebnis ist reproduzierbar und kann als Grundlage für die Erstellung großmaßstäbiger digitaler Boden-Konzeptkarten im Jungmoränengebiet angesehen werden. Entscheidend sind

- (1) Ausgangsdaten, die die Boden-Relief-Beziehungen relativ eindeutig abzuleiten gestatten, weshalb auf die MMK zurückgegriffen wurde, sowie
- (2) ein Reliefmodell, das die für die Region unerlässliche hohe Auflösung gewährleistet.

**Nutzbarkeit**

Die detaillierte Auflösung von Bodeninformationen kann sicher nicht flächendeckend erfolgen, aber hat aufgabenbezogen in mehrfacher Hinsicht Bedeutung, z.B.

- für die Konkretisierung und Lokalisierung von Bodendaten für prozessrelevante Untersuchungen bzw. Modelle,
- zur Einordnung von Ergebnissen nicht invasiver Verfahren in den landschaftlichen Zusammenhang,
- als Beitrag zur Entwicklung von Schlagkarten z. B. für precision farming.

**Literatur**

Behrens, T. & Scholten, T. 2006: Digital soil mapping in Germany – a review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169, 434-443

McBratney, A. Mendonca, M. & Minasy, B. 2003: On digital soil mapping. *Geoderma* 117, 187-208

Schmidt, R. & Diemann, R. 1974: Richtlinie für die Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung. Akademie der Landwirtschaftswiss., Inst. Bodenk. Eberswalde, 84 S.

Sommer, M., Wehrhan N. Zipprich, M. et al. 2003: Hierarchical data fusion for mapping soil units at field scale. *Geoderma* 112, 179-196

Weiss, A. D. 2001: Topographic Position and Landform Analysis. Poster TNC\_18x22.pdf

## **Bodenkartierung mit verschiedenen Methoden im Bergland von Nordthailand – Ein Methodenvergleich zwischen Maximum Likelihood, gitterbasierter Randomisierung und lokalem Wissen**

Schuler, U., Herrmann, L., Ingwersen, J., Stahr, K.

### **Einleitung und Motivation**

Nach wie vor ist das Bodeninventar des Nordthailändischen Berglands nur sehr unzureichend erfasst. Ausführliche Kartierungen sind auf kleinere Gebiete und Forschungsstationen beschränkt. Im Allgemeinen liegt das Hauptproblem der gegenwärtigen Landnutzung in einem Mangel an Nachhaltigkeit und der daraus resultierenden Bodendegradation. Entsprechend eigenen Beobachtungen übersteigen die Erosionsraten teilweise 2 cm pro Regenzeit, wohingegen es in der Trockenzeit in manchen Teilen zu einem Wassermangel kommt. Zur Lösung dieser Probleme ist eine sinnvolle Landnutzungsplanung erforderlich, diese kann jedoch nur erfolgreich mit Kenntnis des Bodeninventars durchgeführt werden. Daraus leitet sich das Ziel ab, das gesamte Bergland von NW-Thailand bodenkundlich zu kartieren. Ein zusätzlicher Schwerpunkt liegt in der Bodenkartierung auf Dorfskala.

### **Methodik**

Zur Erfassung des Bodeninventars von NW-Thailand wurden drei petrographisch unterschiedliche Gebiete im Bergland von NW-Thailand ausgewählt und petrographisch als auch bodenkundlich kartiert. Die Bodenklassifizierung erfolgte anhand der WRB von 1998. Das Untersuchungsgebiet „Mae Sa Mai“ besitzt eine Fläche von ca. 10,5 km<sup>2</sup> und reicht von 616 m ü. NN bis 1540 m ü. NN. Dieses Gebiet wird seit 1965 von der ethnischen Minderheit der Hmong besiedelt. Gegenwärtig dominiert der Anbau von Litchis unterhalb von 1000 m ü. NN und von Gemüse in den Höhenlagen darüber. Das Gebiet besteht im Wesentlichen aus Migmatit, dieser ist im Norden Granit-dominiert und im Süden Paragneiss-dominiert. Im Westen gibt es ein kleineres Marmorvorkommen.

Das Gebiet „Huai Bong“ besitzt eine Grösse von ca. 5 km<sup>2</sup> und reicht von 700 bis 1060 m ü. NN. Dieser Raum wird schon seit rund 500 Jahren von der ethnischen Minderheit der Karen kultiviert. Diese gründeten um 1960 das Dorf Huai Bong. Die Karen bauen im Wesentlichen Nassreis, Bergreis und Mais an. Das Huai Bong Gebiet besteht hauptsächlich aus Konglomeraten, Brekzien, Sandsteinen, Siltsteinen, Tonsteinen und Mergel. Das Karstgebiet „Bor Krai“ besitzt eine Fläche von rund 8,5 km<sup>2</sup> und reicht von 550 m ü. NN bis 1020 m ü. NN. Das Dorf Bor Krai wurde 1974 von der ethnischen Minderheit der Lahu gegründet. Diese leben zum Grossteil von Viehzucht und Anbau von Bergreis und Mais. Das Gebiet besteht überwiegend aus Kalkstein und Tonstein. Aufgrund der starken Verkarstung gibt es während der Trockenzeit keinen oberirdischen Abfluss. Die Morphologie wird beherrscht von Kalksteintürmen und Karstdepressionen.

Für jedes dieser Gebiete wurde eine Referenzbodenkarte erstellt. Zur Erstellung der Referenzbodenkarten wurden sämtliche zur Verfügung stehenden Informationen verarbeitet. In die Referenzbodenkarte für Mae Sa Mai flossen Informationen von 186 Bohrstockeinschlägen und 14 Bodenprofilen ein. Für Huai Bong wurden 169 Bohrstockeinschläge und 10 Bodenprofile berücksichtigt. Für die Referenzbodenkarte für Bor Krai sind 359 Bohrstockeinschläge und 28 Bodenprofile benutzt. Ferner fand die Information von einer LANDSAT 7 Aufnahme Berücksichtigung. Zusätzlich zu den Referenzbodenkarten wurden Bodenkarten nach der Maximum Likelihood, gitterbasierter Randomisierung und lokalem Wissen erstellt. Zur Erstellung der Bodenkarte nach der Maximum Likelihood Klassifikationsmethode wurde ein digitales Höhenmodell, sowie die Information von LANDSAT 7 und SPOT 5 verwendet. Die Ausweisung der Trainingsgebiete erfolgte mittels zuverlässig eingestufte Untersuchungspunkte. Die Durchführung der Klassifizierung geschah mit der Software ArcGIS 9.1. Die Erstellung einer Bodenkarte basierend auf gitterbasierter Randomisierung erfolgte nur für das Gebiet Bor Krai. Dazu wurde das Gebiet mit einem Gitter bestehend aus 6 Zellen überdeckt und solange mit Zufallspunkten aufgefüllt, bis in jeder Gitterzelle mindestens 3 Zufallspunkte zu liegen kamen. Damit sollte eine Flächenabdeckung gewährleistet werden. Für die Bodenkartierung mittels Ausnutzung lokalen Wissens wurden in jedem Dorf Key-Informanten (Leute mit überdurchschnittlichem regionalem Wissen) ermittelt und interviewt. Entsprechend dem Entscheidungsbaumprinzip wurden die wichtigsten Bodentypen und Bodeneigenschaften ermittelt. Im Anschluss daran wurden die ermittelten Bodentypen bzw. Bodeneigenschaften auf eine topographische Karte übertragen. Als Kommunikationsmittel diente entweder die topographische Karte (Bor Krai) selbst,

ein Luftbild (Mae Sa Mai) oder ein dreidimensionales Model des Dorfgebietes (Huai Bong). Eine Validierung bzw. Modifizierung erfolgte durch eine gemeinsame Feldbegehung mit den Key-Informanten.

### Ergebnisse

Die Pedologie des Mae Sa Mai Gebietes besteht im Wesentlichen aus Acrisolen und Cambisolen. Die Acrisole treten vorwiegend auf gemäßigt steilen Hängen unterhalb von 1300 m ü. NN auf. Die Cambisole finden sich hauptsächlich auf konvexen Hängen und oberhalb von 1300 m ü. NN. Innerhalb des Marmorgebietes gibt es Leptosole. Regosolvorkommen entstanden im Bereich eines botanischen Gartens aufgrund der dort stark auftretenden anthropogenen Aktivität. Im Gebiet von Huai Bong dominieren Luvisole gefolgt von Cambisolen, Regosolen und Leptosolen. Die Luvisole überwiegen auf den gemäßigt steilen Hängen. Die Cambisole befinden sich hauptsächlich auf konvexen Hangbereichen und im Bereich der Talauen. Regosole und Leptosole finden sich dagegen auf sehr steilen Hängen. Zusammen mit relikitären Hochterrassenschottern sind diese Böden ein Indiz für die Hebung dieses Landstrichs. Das Karstgebiet von Bor Krai wird pedologisch gesehen von Luvisolen dominiert. Diese befinden sich auf gemäßigt steilen Hängen unterhalb von 800 m ü. NN. Oberhalb von 800 m ü. NN gehen die Luvisole in Acrisole über. Cambisole treten fleckenhaft auf konvexen Hangpartien und innerhalb von Karstdepressionen auf. Im Bereich der Kalkstein-Aufschlüsse gibt es kleinere Leptosol-Vorkommen. Der Vergleich der auf gitterbasierter Randomisierung basierenden Bodenkarte mit der Referenzbodenkarte ergab für Bor Krai eine Übereinstimmung von 79,5%. Die auf der Maximum Likelihood Methode basierende Bodenkarte zeigte eine Übereinstimmung von 60,7%. Obwohl für Mae Sa Mai und Huai Bong kein SPOT 5 Bild zur Verfügung stand, lag die Übereinstimmung in beiden Fällen bei über 58%. Bei einer Nichtverwendung der SPOT 5 Aufnahme lag die Übereinstimmung für Bor Krai bei nur 40,8%. Die auf lokalem Wissen basierenden Bodenkarten zeigten keine Übereinstimmung zu den Referenzbodenkarten. Im Fall von Bor Krai wurde eine Übereinstimmung zwischen auf lokalem Wissen basierender Bodenkarte und der mit dem Kriging-Verfahren erstellten Chromakarte für den Bereich von 80 bis 100 cm festgestellt. Diese beiden Karten zeigten wiederum eine hohe Übereinstimmung mit der petrographischen Karte. Dies liegt daran, dass die lokale Bodenklassifikation hauptsächlich von der Bodenfarbe abhängt. Die Bodenfarbe wiederum ist für Bor Krai an das Ausgangsgestein gekoppelt.

Böden auf Kalkstein weisen eine rote Bodenfarbe auf. Böden auf Tonstein besitzen hingegen eine gelbe Färbung. Für alle 3 Gebiete war die Bodenfarbe das Hauptunterscheidungsmerkmal, gefolgt von Oberbodenmächtigkeit (Mae Sa Mai), Steingehalt (Huai Bong) und Lagerungsdichte (Bor Krai).

### Schlussfolgerung

Der Arbeitsaufwand der im Wesentlichen auf Transektkartierung basierenden Referenzbodenkarten war sehr hoch. Die Unkosten betragen mehr als 40.000 Euro. Besonderheiten wurden weitestgehend erfasst, allerdings ist diese Art der Kartierung nur für einen Maßstab von > 1: 10.000 realistisch. Der Arbeitsaufwand für die auf gitterbasierter Randomisierung basierender Kartierung fiel etwas geringer aus. Die Verbreitung der wesentlichen Bodentypen konnte wiedergegeben werden. Besonderheiten konnten allerdings nicht erfasst werden. Diese Methode ist jedoch für das tropische Bergland schlecht geeignet, da sich die Zufallspunkte nur sehr schwer mit dem GPS Gerät ansteuern ließen. Die auf der Maximum Likelihood basierende Bodenkartierung konnte die wichtigsten Bodentypen wiedergeben, allerdings nicht mit derselben Genauigkeit wie bei den vorangegangenen Methoden. Die auf Maximum Likelihood basierende Kartiermethode besitzt das Potential zur Kartierung großer Gebiete. Die auf lokalem Wissen basierende Bodenkartierung war mit Abstand (<3000 Euro) am kostengünstigsten. Hier konnten lokale Besonderheiten erfasst werden. Demzufolge kann diese Methode zur Landnutzungsplanung auf Dorfebene verwendet werden. Nachteilig sind die nicht-einheitliche Klassifikation, sowie die große Variabilität der Qualität. Zukünftig ist geplant, die Trainingszonen für die auf Maximum Likelihood basierender Kartierung mittels lokalen Wissens zu ermitteln. Dadurch besteht die Möglichkeit einer Effizienzsteigerung.

### Literatur

- FAO (1998): World Reference Base for Soil Resources, Rome.
- German Geological Mission (GGM) (1979): Geological Map of Northern Thailand 1:250000. Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Germany.
- Schuler, U., Choocharaen, C., Elstner, P., Neef, A., Stahr, K., Zarei, M., Herrmann, L. (2006). Soil mapping for land use planning in a karst area of northern Thailand: Integrating local and scientific knowledge. *J. Plant Nutrition and Soil Science* 169: 444-452.

# Bodensystematische Zuordnung der Schwarzerde-ähnlichen Böden in der küstennahen jungpleistozänen Landschaft Nordostdeutschlands anhand der Zusammensetzung der organischen Bodensubstanzen

von

Thiele-Bruhn S.<sup>1</sup>, P. Leinweber<sup>2</sup>, K.-U. Eckhardt<sup>2</sup>,  
H.K. Siem<sup>3</sup>, H.-P. Blume<sup>4</sup>

## 1 Einleitung

Schwarzerde-ähnliche Böden im küstennahen Raum Nordostdeutschlands sowie südwestlich von Stettin sind schon seit langem beschrieben (Abb. 1). Solche Böden treten lokal gehäuft im Bereich der Ostseeinseln Fehmarn und Poel auf. Insbesondere aufgrund der atypischen Lage wird die Genese und Zuordnung dieser AC-Böden zur Klasse der Schwarzerden kontrovers diskutiert.

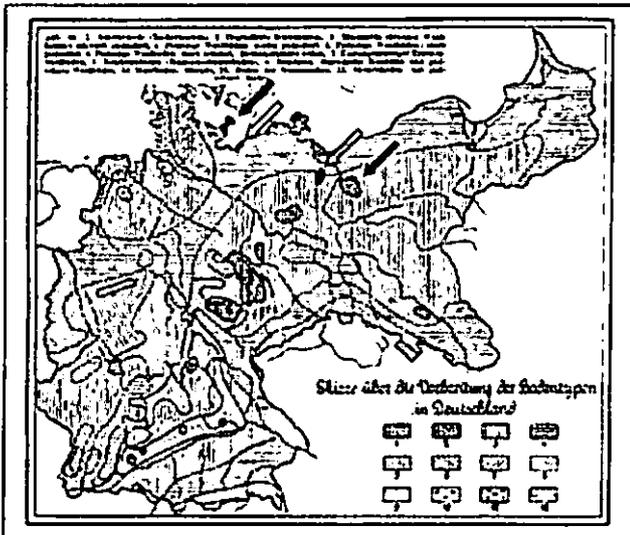


Abb. 1: Bodenkarte Deutschlands aus Schucht (1930, ergänzt) mit Verbreitungsgebieten der Schwarzerden (1) in Nordostdeutschland und Polen nach Stremme (geschlossene Pfeile) sowie im Raum Poel und Prenzlau (offene Pfeile; nicht maßstabsgerecht).

Wesentliches und diagnostisches Merkmal der untersuchten Böden sind die durch organische Bodensubstanzen (OBS) dunkel gefärbten, bioturbat gemischten, mächtigen Oberböden. In typischen Schwarzerden liegen insbesondere Huminstoffe hoher Stabilität und in Form organisch-mineralischer Komplexe vor. Daher wurde die OBS mittels Pyrolyse Feldionisation-Massenspektrometrie (Py-FIMS) analysiert.

<sup>1</sup>Bodenkunde, FB VI, Universität Trier, <sup>2</sup>ILN, Universität Rostock, <sup>3</sup>LaNU Schleswig-Holstein, <sup>4</sup>Inst. für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Universität Kiel  
soeren.thiele-bruhn@uni-trier.de  
peter.leinweber@uni-rostock.de

Auf Basis einer umfangreichen Datenbank von Py-FI Massenspektren wurden Ähnlichkeiten zu Schwarzerden des mitteldeutschen Trockengebietes und anderer Regionen der Welt, zu Böden des Prenzlauer Raumes sowie zu weiteren Bodentypen hoher OBS-Gehalte, wie Kolluvisol, Rendzina und Humusgley mittels Hauptkomponentenanalyse geklärt. Aus diesen Ergebnissen wird eine bodensystematische Zuordnung der untersuchten Schwarzerde-ähnlichen Böden in den Kanon humusreicher Mineralböden abgeleitet.

## 2 Material und Methoden

### Bodenproben

Untersuchung von 322 Bodenproben v.a. aus Mitteleuropa sowie z.T. aus anderen Klimaregionen (Chernozeme, Pseudogleye; Tab.1). Davon 21 Bodenproben von 9 Profilen der Inseln Fehmarn und Poel. Die Oberbodenproben unterschiedlicher Tiefenstufen wurden sämtlich luftgetrocknet, auf 2 mm gesiebt und homogenisiert.

Tab. 1: Anteil von Verbindungsklassen in der OBS (TII %) von Böden der Regionen Poel, Fehmarn und Prenzlau, in Chernozemen und ausgewählten, insbesondere durch Humusakkumulation gekennzeichneten Böden; Bestimmung mittels Py-FIMS.

Datensätze / Bodenproben	Kohlenhydrate	Phenole + Ligninmonomere	Lignindimere	Lipide <sup>1</sup>	Alkylaromaten	N-haltige Verb.	Sterole	Peptide	C <sub>org</sub>	Sand	Schluff	Ton	
Poel	10/10	10.7	9.2	2.5	3.8	7.8	9.1	0.4	5.0	0.8	62	29	9
Fehmarn	11/11	7.7	12.1	4.0	6.1	12.1	8.7	0.5	3.5	2.3	71	20	10
Prenzlau	7/7	9.7	9.5	2.2	3.8	9.2	10.7	0.2	5.0	1.2	47	39	14
Chernozem	10/46	9.1	10.8	2.7	4.4	10.8	8.7	0.5	4.7	2.0	6	71	23
Phaeozem <sup>2</sup>	6/86	8.5	9.3	3.9	7.7	10.3	7.8	2.3	3.5	1.2	75	18	10
Plaggensch	13/19	4.6	4.5	3.9	11.4	6.5	4.0	5.1	2.8	1.8	60	25	16
Anthrosole	4/9	4.4	7.5	6.6	9.5	9.2	5.9	3.3	1.3	1.5	59	28	13
Kippenböden	9/9	8.3	7.0	3.4	5.2	9.2	4.2	1.5	2.7	1.3	31	51	18
hydromorphe B.	2/4	7.1	7.5	3.0	6.2	7.9	7.2	1.8	4.0	1.5			
Moorböden	2/10	6.0	4.2	1.3	9.3	4.6	3.3	7.6	3.8	4.3			
Rendzina	10/10	4.6	6.6	5.9	10.2	9.6	6.4	3.9	2.8	5.8	12	70	18
Lessivé	68/68	12.0	18.8	0.7	2.1	14.1	8.5	0.01	4.1	1.2			
Miscanthus <sup>3</sup>	10/10	10.8	9.8	3.1	4.9	8.0	7.7	1.3	5.0	1.3	64	24	16
div. terrestr. B.	6/23	6.8	5.3	4.0	8.4	6.9	5.1	4.2	3.2	0.9			

<sup>1</sup>Lipide: Fettsäuren, Alkane, Alkene, n-Alkylester

<sup>2</sup>Phaeozem und Kastanozem

<sup>3</sup>Parabraunerden und Fahlerden, langjährig mit *Miscanthus giganteus* in Dauerkultur bepflanzt

### Analysen

Bestimmung allgemeiner Bodenparameter. Analyse der OBS mittels Py-FIMS (731 Hochleistungs-MS, Finnigan MAT, Bremen): Erhitzen von ca. 5 mg Pro-

be von 100 bis 700 °C in 10 °C Schritten je Magnet-Scan über einen Massebereich von 15 bis 900 Dalton. Zuordnung identifizierter Substanzen zu acht Stoffklassen (Tab. 1).

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Die Schwarzerde-Bodenprofile der Inseln Poel und Fehmarn weisen bioturbat durchmischte fAxh-Horizonte auf. Die darüber liegenden Ap- bzw. Ah-Horizonte zeigen eine deutliche Veränderung der OBS-Gehalte; eine Veränderung der Schwarzerde-Ähnlichkeit ist in diesen Horizonten nicht abzuleiten. Die Böden treten in unterschiedlichen Geländepositionen auf (Hangbereich, Senke). Ausgangssubstrate sind v.a. feinsand- und schluffreiche Geschiebemergel und Geschiebedecksande. Über dichtem Geschiebemergel weisen die Profile Merkmale der Pseudovergleyung auf.

Die mittels Py-FIMS bestimmten Muster der OBS-Zusammensetzung können durch Hauptkomponentenanalyse nicht von denen typischer anhydromorpher Schwarzerden der mitteldeutschen Trockengebiete sowie anderer Steppengebiete der Welt getrennt werden (Abb. 2).

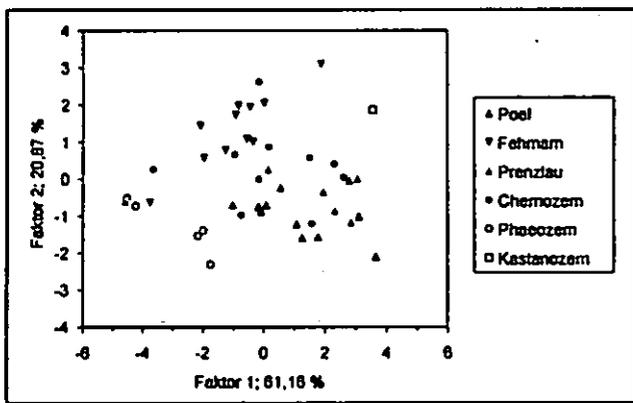


Abb. 2: Auftrennung der Datensätze von Böden Nordostdeutschlands, Chernozemen und ähnlichen Steppenböden mittels Hauptkomponentenanalyse.

Die Muster der OBS-Zusammensetzung von Schwarzerden sind deutlich von denen anderer Böden getrennt (Lessivé, Rendzina, Anthrosole einschließlich Plaggenesch u.a.; Abb. 3). Z.T. liegen Überschneidungen mit der OBS-Signatur von Kippenböden vor, die möglicherweise auf einen Beitrag stabiler kohlebürtiger C-Verbindungen zurückzuführen sind. Z.T. liegen Überschneidungen mit der OBS-Signatur von Böden unter Dauerkultur mit *Miscanthus giganteus* vor. Dies deutet an, dass ein anhaltender erhöhter Eintrag pflanzlicher organischer Substanz zu einer schwarzerde-ähnlichen OBS-Zusammensetzung führen kann.

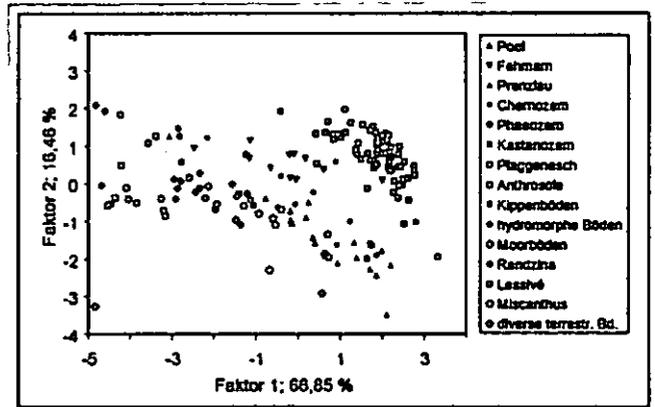


Abb. 3: Auftrennung der Datensätze von Chernozemen und ähnlichen Steppenböden sowie weiteren, durch Humusakkumulation gekennzeichneten Böden mittels Hauptkomponentenanalyse.

### 4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Ähnlichkeit in der Zusammensetzung der OBS ergibt eine Zuordnung der AC-Böden der Inseln Poel und Fehmarn zu den Schwarzerden (Chernozem).

Zur Abgrenzung zu anderen Bodentypen tragen v.a. die Anteile an der OBS von Aliphaten, Kohlenhydraten und Sterolen bei.

Kolluviation als entscheidender bodenbildender Prozess ist auszuschließen. Die Hypothese einer Feuchtschwarzerde-Genese ähnlich den Böden der Hildesheimer Börde (Schimming & Blume, 1993) kann auf Basis des vorliegenden Datensatzes nicht verifiziert werden und wurde für die ähnlichen Böden des Prenzlauer Raumes nicht festgestellt (Fischer-Zujkov, 2000).

Entscheidend für den Erhalt der nicht rezenten (atlantischen) Schwarzerden ist die Faktorenkombination aus Substrat, trockenem Klima (um 500 mm), Bioturbation bzw. landwirtschaftlicher Bodendurchmischung und Zufuhr organischer Substanz.

Der analytische Ansatz ist geeignet, die gewählte Fragestellung zur bodensystematischen Einordnung zu klären, und soll weiter verfolgt werden.

### 5 Danksagung

Wir danken sehr herzlich M. Altermann, Halle, W. Amelung, Bonn, L. Beyer, Itzehoe, K. Billwitz, Greifswald und R. Schmidt, Eberswalde für die Überlassung von Bodenproben.

### 6 Literatur

Fischer-Zujkov U. (2000) Die Schwarzerden Nordostdeutschlands – ihre Stellung und Entwicklung im holozänen Landschaftswandel. Humboldt-Universität Berlin, Dissertation. Schimming C.-G., Blume H.-P. (1993) Landschaften und Böden Ostholsteins. Mitt. Dt. Bodenkundl. Gesellsch. 70, 47-78. Schucht F. (1930) Grundzüge der Bodenkunde. Paul Parey Verlag, Berlin.

## Stark podsolige Terra Fusca-Parabraunerden und Parabraunerde-Rendzinen des östlichen Riesrandes

H.Thiemeyer\*

### Einleitung

Am östlichen Rand des Nördlinger Rieses südlich von Wemding sind Bodenprofile entwickelt, die, abgeleitet von ihrer Horizontierung, extreme pH-Gradienten im/in den obersten Dezimeter/n aufweisen. Grund dafür ist die Substratschichtung, hervorgerufen durch eine dünne Flugsanddecke, die aus dem Flussbett der Wörnitz heraus in die Rahmenhöhen über Malmkalkschutt geweht wurde (vgl. SCHIEBER 1989). Daneben finden sich Profile, bei denen eine mit Kalksteinen versetzte Hauptlage den Flugsand überwandert hat und diesen somit in eine präallerödzeitliche Phase stellt. Die holozäne Bodenbildung läuft in beiden Substraten ab.

Hier werden bodenphysikalische Kennwerte und bodenchemische Gradienten der Profile Wemding p3CF-LL und Wemding LL-RR vorgestellt, sowie die bodensystematische Einordnung und die Frage des reliktschen Charakters der Terra Fusca diskutiert.

### Geländebefund

Im Profil p3CF-LL hat in der über dem Malmkalk liegenden wenige cm bis dm mächtigen Sandauflage Verlehmung, Tonverlagerung und nachfolgend sogar Podsolierung stattgefunden. Im Malmkalkschutt (zumeist die Basislage) ist ein etwa 10 cm mächtiger Tv-Horizont ausgebildet. Die Zeigerpflanzen der Krautschicht bestehen trotz des oberflächennahen Kalks vorwiegend aus Säurezeigern.

Dies wird so interpretiert, dass unter den heutigen (holozänen) Klimabedingungen die Terra Fusca-

Bildung weiterläuft. Der Prozess der Kalklösung wird durch die stete Zufuhr saurer Sickerwässer aufrecht-erhalten. Die CF-Bildung ist somit entgegen der KA5 (2005:224) weder ein reliktsches noch ein fossiles Phänomen, sondern läuft unter bestimmten Randbedingungen auch aktuell ab.

Wo die Sandauflage im Pleistozän durch gelisolifluide Prozesse mit Kalkschutt vermischt wurde (Profil LL-RR), hat die holozäne Bodenbildung nur die durchlässige sandige Matrix erfasst, in der die mehr oder weniger angelösten Kalksteine schwimmen. Diese zeigen deutliche, mit der Tiefe aber an Intensität abnehmende, Verwitterungsrinden.

### Laborbefunde

Bodenphysikalische Kennwerte und bodenchemische Gradienten sind in einigen Graphen dargestellt (Abb. 1 – 4). Die Textur des Feinbodens wird vom eingewehten Flugsand bestimmt, der z.T. auch in den oberen Teil der Basislage eingeschwemmt/eingemischt wurde. Bei beiden Profilen nimmt der Grobschluffanteil (Löss) mit der Tiefe ab.

Die pH-Werte sind im Profil p3CF-LL erwartungsgemäß sauer mit kräftigem Gradienten (von 3,2 bis 6,2 über 40 cm) zum II Tv-Horizont hin. Im Profil LL-RR passen die gemessenen Werte nicht zu den Bodenhorizonten; es wurden Carbonatgehalte bis zu 2,5 % ermittelt. Dies wird indes der Probenahme zugeschrieben, wobei geringe Mengen der Verwitterungssäume der Kalksteine in die ansonsten kalkfreie (Geländetest) Matrix geraten sein dürften. Gleichzeitig lässt sich daraus schließen, dass es auch ausgeprägte pH-Gradienten auf kürzeste Entfernung zwischen Matrix und Bodenskelett gibt.

Die Gradienten der Aktivitätsgrade zeigen ebenfalls erwartungsgemäße Verläufe und belegen die höhere Mobilität der Oxide in den oberen Horizonten.

Tab. 1: Profil LL-RR

Horizont	Mächtigkeit	Farbe	Bodenart	Steingehalt	Gefüge	Durchwurzelung	Kalkgehalt (Matrix)	Humusgehalt	Bemerkungen
Ah	0 – 10	10 YR 2/1	St3	x3	ein – schw. kru	wg3, wf4	-	h4	
?Al-Ah	- 40	10 YR 2/2	St2	x4	ein	wg3, wf4	-	h3	Steine haben dbn Verwitterungsrinde
Ah-Al	- 60	10 YR 3/4	St2	x4	ein	wg2, wf2	-	h1	Steine h. mbn Verwitterungsrinde
Bt	- 70/90	10 YR 4/4	St3	x4	ein	wg2, wf2	-	h1	um Steine grbn Saum im Sand
II Bv	- 100/120	10 YR 4/6	St2	x0	ein	wg1, wf1	-	-	
III cIcV	- 130+	10 YR 4/4	St2	x6	koh	wg1, wf1	c4	-	Skelettboden

Bodenform: LL-RR aus LH (Lösslehm, Kalkstein, Flugsand) über Flugsand über LB (Kalkstein) bzw. anstehendem Kalkstein (Malm); im Gelände war indes nicht eindeutig zu klären, ob der Bt-Horizont in einer eigenständigen Schicht entwickelt ist (dann: IIBt/IIIBv/IVcIcV). Der Steingehalt, insbesondere die Verteilung im Profil lässt dies vermuten.

\* Inst. f. Phys. Geographie, JWGU Frankfurt, 60054 Frankfurt; thiemeyer@em.uni-frankfurt.de

Tab. 2: Profil p3CF-LL

Horizont	Mächtigkeit	Farbe	Bodenart	Steingehalt	Gefüge	Durchwurzelung	Kalkgehalt (Matrix)	Humusgehalt	Bemerkungen
L/Oh	1/2/2	-/10 YR 3/1							
Ahc	- 4	10 YR 4/4	Su2	x0	ein	wf2	-	h2	
Al-Bhv	- 8	10 YR 4/6	Su2	x1	ein	wg2, wf2	-	h1	humusfleckig
Al	- 30	10 YR 4/6	mSfs	x1	ein	wg2, wf2	-	-	
Bt	- 40	10 YR 4/6	St3	x2	ein	wg2, wf2	-	-	
II Tv	- 50	10 YR 6/8	Ts4	x2	pol - sub	wg2, wf3	-	-	
II cIcV	- 80+	10 YR 3/2	Ts2	x4	pol	wg3, wf4	-	-	

Bodenform: p3CF-LL aus LH (Lösslehm, Flugsand) über LB (Kalkstein) bzw. anstehendem Kalkstein (Malm)

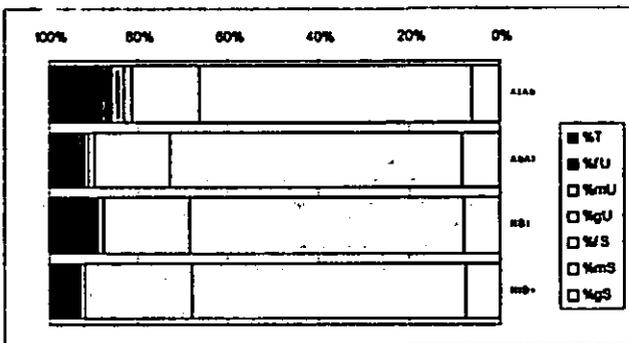


Abb. 1: Korngrößenverteilung Profil LL-RR

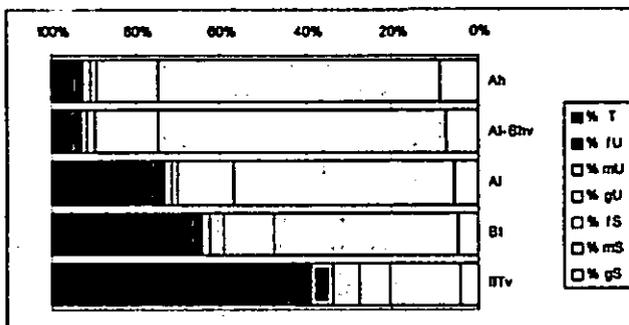


Abb. 2: Korngrößenverteilung Profil p3CF-LL

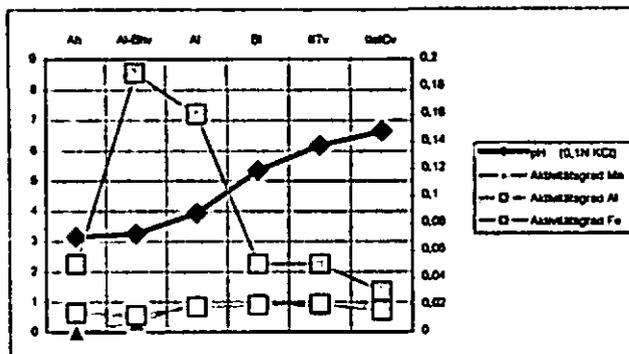


Abb.3: Gradienten p3CF-LL

**Bodensystematische Einordnung**

p3CF-LL: Im Gegensatz zur systematischen Stellung der CF-LL in der KA5 (S. 219) liegen hier keine eigenständigen Böden mit Überprägung älterer Bodenhorizonte übereinander (vgl. auch KA5: Tab 46, Punkt 18), sondern es handelt sich um einen Übergangsbodentyp, da fortdauernde Kalklösung im Untergrund die (Weiter-)Entwicklung des Tv-Horizontes bewirkt, dies also ein aktueller Prozess ist. Voraussetzungen sind nicht neutralisierte Sickerwässer so-

wie eine erhöhte Löslichkeit der Karbonatgesteine im Untergrund, ggf. eine geringere Reinheit der Karbonate. Ähnliches konnte auf Wallresten der keltischen Oppida von Manching und Kelheim, sowie im Flugsand über Cerithienschichten am Sachsenhäuser Berg bei Frankfurt/Main beobachtet werden (Thiemeyer, unpubl.)

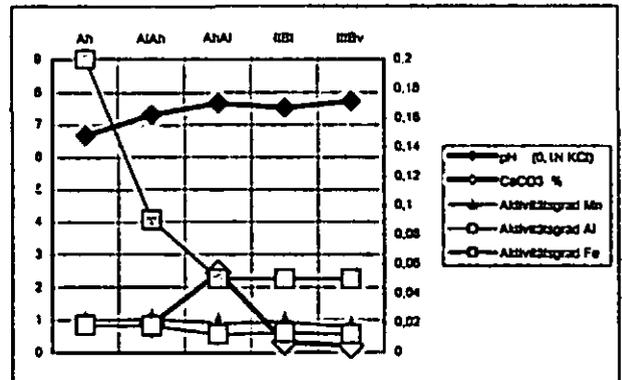


Abb.4: Gradienten LL-RR

LL-RR: Hier sind Entkalkung/Lessivierung in der sandigen Matrix einer Kalksteinschuttdecke abgelauften, wobei die Gradienten von pH und Kalkgehalt sowohl vertikal als auch kleinräumig zwischen Feinboden und Skelett horizontal verlaufen. Die Horizontierung könnte auch Al+cV/Bt+cV lauten. Vermutlich sind solche Böden häufiger in Gebieten mit Kalksteinschuttdecken zu finden. In der KA5 ist dieser Übergangstyp nicht aufgeführt.

**Fazit**

- 1) Terrae Fuscae können auch in Mitteleuropa bei geeigneten Randbedingungen (v.a. Ausgangssubstrat, Klima, Zeit) aktuell entstehen. Dies sollte Berücksichtigung in der deutschen Bodensystematik finden.
- 2) Parabraunerde-Rendzina resp. -Pararendzina sollte als Subtyp in die deutsche Bodensystematik aufgenommen werden.

**Literatur**

Ad-hoc-AG Boden (2005): KA5: 438 S.; Hannover.  
 SCHIEBER, M. (1989): Soil formation in displaced Pleistocene aeolian sands in the Nördlinger Ries.- Catena Suppl., 15: 269-278; Cremlingen.

# Pedotop-Gefügestil der Länder Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg

J. Thiere<sup>1</sup>, J. Kiesel & D. Deumlich

## Ziel

Der Pedotop-Gefügestil kennzeichnet die Anordnungsmuster von Bodenformen in einem kartierten Areal. Die Muster sind bestimmt durch die geologischen Ausgangssubstrate (*Plattengefüge*), durch die Reliefeigenschaften (*Hanggefüge*) und durch die aktuellen und reliktschen Grundwasserverhältnisse (*Senkengefüge*). Durch die Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung (MMK) wurde in den Neuen Bundesländern nur die landwirtschaftliche Nutzfläche nach dem Pedotop-Gefügestil gekennzeichnet (Schmidt & Diemann, 1974). Dieses *komplexe Standortmerkmal* sollte auf die Territorialflächen extrapoliert, topographisch abgebildet und flächenstatistisch dokumentiert werden (s. Tab. u. Bild).

Geologischen Übersichtskarten (BÜK 300/500) und die Digitalen Geländemodelle (DGM25) genutzt.

- Zur Beurteilung der statistischen Sicherheit der Übertragung wurden mehrere Kennziffern in ihrer räumlichen Verteilung bereitgestellt.

## Schlußfolgerung:

Gegenüber abgeleiteten Einzelstandortmerkmalen stellt der Pedotop-Gefügestil ein wesentlich komplexeres Merkmal dar, das Relief-, Substrat- und Hydromorphiebedingungen in ihrer Kombination berücksichtigt. Damit können bezüglich beliebiger Zielkonturen *Wertungen* hinsichtlich Anbau- und Bewirtschaftungseignung, Wassererosions- oder Trockenheitsgefährdung sowie bodenhydrologischer Kennwerte vorgenommen werden. Auf dieser Datengrundlage besteht nunmehr die Möglichkeit, funktionelle Standortbereiche auszugrenzen und *Standortvergleiche* zu realisieren. Ein geeignetes Hilfsmittel

Relativer Anteil von geologischen Substratkonturen am Pedotop-Gefügestil (bezogen auf Territorialfläche)

Substratkontur	P - Plattengefüge	PS - Kombination aus Plattengefüge und Senkengefüge	PH - Kombination aus Plattengefüge und Hanggefüge	S - Senkengefüge	SP - Kombination aus Senkengefüge und Plattengefüge	SH - Kombination aus Senkengefüge und Hanggefüge	H - Hanggefüge	HS - Kombination aus Hanggefüge und Senkengefüge	HP - Kombination aus Hanggefüge und Plattengefüge
DL - sandsteinige (dünne Quarzite) Substrate	11,8 / 11,3	4,7 / 4,5	4,3 / 3,9	11,2 / 8,8	2,7 / 2,6	2,6 / 2,3	1,9 / 2,3	1,1 / 2,4	2,2 / 2,3
DL - sandsteinige (dünne Quarzite) Substrate	8,1 / 16,1	1,1 / 15,9	1,9 / 2,5	9,3 / 1,2	2,2 / 1,9	2,6 / 2,3	2,3 / 2,9	1,9 / 7,2	6,1 / 6,7
DL - sandsteinige (dünne Quarzite) Substrate	2,0 / 0,8		6,1 / 0,0	13,8 / 16,8	0,0 / 0,1	0,0 / 0,4		0,2 / 0,6	
ML - hoch- und tiefgelegte Tertiarreste				4,9 / 0,2	0,1 / 0,0				
AL - aluviale (Baltische Anuvialreste)									
VK - Verwitterungs- und Quarzporphyrane	0,3 / 0,0								

links: BBG/Berlin - rechts MVP

Relativer Anteil von Hydromorphieflächentypen am Pedotop-Gefügestil (bezogen auf Territorialfläche)

Hydromorphieflächentyp	P - Plattengefüge	PS - Kombination aus Plattengefüge und Senkengefüge	PH - Kombination aus Plattengefüge und Hanggefüge	S - Senkengefüge	SP - Kombination aus Senkengefüge und Plattengefüge	SH - Kombination aus Senkengefüge und Hanggefüge	H - Hanggefüge	HS - Kombination aus Hanggefüge und Senkengefüge	HP - Kombination aus Hanggefüge und Plattengefüge
H1 - Durchgehend nichtwasserbestäubt	31,8 / 11,0	6,7 / 6,9	4,3 / 3,9	6,3 / 6,0			1,8 / 2,9	6,3 / 1,7	6,3 / 6,4
H2 - Durchgehend starkwasserbestäubt	7,1 / 2,1	1,2 / 1,6	1,4 / 2,9	9,1 / 6,1			2,3 / 2,3	1,1 / 1,2	2,1 / 2,2
SH1 - Schwach grundwasserbestäubt	0,2 / 1,7	0,4 / 2,8	0,9 / 3,6					0,3 / 1,8	
SH2 - Mäßig grundwasserbestäubt	0,2 / 1,1	0,1 / 0,3							
SH3 - Stark grundwasserbestäubt	0,4 / 2,9	0,0 / 0,7		0,0 / 0,7	0,0 / 1,1			0,0 / 0,1	
H4 - Durchgehend nichtwasserbestäubt	0,0 / 0,0			0,0 / 0,0					
H5 - Stark grundwasserbestäubt	0,0 / 1,0	0,3 / 0,4		0,3 / 0,2	0,3 / 0,1	0,0 / 0,1		0,0 / 1,4	
H6 - Stark grundwasserbestäubt mit Quellwasser	0,1 / 1,8	0,2 / 1,3		0,2 / 0,2	0,2 / 0,7			0,0 / 0,1	
H7 - Grundwasserbestäubt mit Quellwasser		0,0 / 0,2		1,3 / 0,3	0,0 / 0,3				
SH4 - Schwach grundwasserbestäubt	0,0 / 0,0	1,0 / 1,8	4,0 / 0,1	0,7 / 0,3	0,1 / 0,1			0,3 / 0,9	
SH5 - Mäßig grundwasserbestäubt	0,0 / 0,2	0,4 / 1,1		1,1 / 0,7	0,1 / 0,2	0,0 / 0,1		0,1 / 0,2	
H8 - Mäßig grundwasserbestäubt	0,3 / 1,3	0,1 / 0,3		2,0 / 1,9	0,2 / 0,2				
H9 - Stark grundwasserbestäubt	0,1 / 0,0	0,1 / 0,0		19,4 / 13,9	0,0 / 0,1	0,0 / 0,2		0,0 / 0,1	
H10 - Stark grundwasserbestäubt		0,0 / 0,3				0,0 / 0,2			

Relativer Anteil von Neigungstypen am Pedotop-Gefügestil (bezogen auf Territorialfläche)

Neigungstyp	P - Plattengefüge	PS - Kombination aus Plattengefüge und Senkengefüge	PH - Kombination aus Plattengefüge und Hanggefüge	S - Senkengefüge	SP - Kombination aus Senkengefüge und Plattengefüge	SH - Kombination aus Senkengefüge und Hanggefüge	H - Hanggefüge	HS - Kombination aus Hanggefüge und Senkengefüge	HP - Kombination aus Hanggefüge und Plattengefüge
H1 - eben	12,1 / 12,1	2,1 / 0,3		3,9 / 2,3	7,8 / 2,3			0,3 / 0,2	0,0 / 0,1
H2 - hoch	26,1 / 16,4	1,2 / 4,3	0,3 / 1,2	0,0 / 1,1	0,0 / 0,4	0,0 / 0,1	0,0 / 0,3	0,4 / 2,8	0,1 / 0,2
H3 - hoch bis mäßig geneigte Senften	2,0 / 2,9	1,9 / 4,9	2,0 / 0,3		0,0 / 0,1		0,1 / 0,0	0,0 / 1,7	0,0 / 0,2
H4 - hoch bis mäßig geneigte Senften		0,0 / 0,2	1,0 / 0,0		0,0 / 0,1		0,0 / 0,1	1,3 / 2,6	0,1 / 0,1
H5 - mäßig geneigt mit stark geneigten Anhöhen	0,0 / 0,1	0,0 / 0,1	0,3 / 0,3				0,4 / 1,8	0,3 / 1,2	0,1 / 0,2
H6 - eben geneigt									

Relativer Anteil von bodenbedingter Anbauauslegung (AEK) am Pedotop-Gefügestil (bezogen auf Territorialfläche)

Bodenbedingte Anbauauslegung (AEK)	P - Plattengefüge	PS - Kombination aus Plattengefüge und Senkengefüge	PH - Kombination aus Plattengefüge und Hanggefüge	S - Senkengefüge	SP - Kombination aus Senkengefüge und Plattengefüge	SH - Kombination aus Senkengefüge und Hanggefüge	H - Hanggefüge	HS - Kombination aus Hanggefüge und Senkengefüge	HP - Kombination aus Hanggefüge und Plattengefüge
1 - nur hoch Weizen, Zuckerrüben, Kartoffeln keine Anbauauslegung	1,0 / 0,0	0,0 / 4,7	0,0 / 1,7	2,0 / 0,2			0,0 / 1,2	1,3 / 0,3	0,0 / 0,0
2 - hoch Weizen, Zuckerrüben mäßige Ertragsausbeuten für Herbstfrucht	0,0 / 0,2	0,1 / 0,1	0,0 / 0,0	1,0 / 0,5	0,1 / 1,0		0,0 / 0,1	0,1 / 0,0	
3 - hoch Weizen, Getreide - Herbstfrucht stark eingeschränkt	0,0 / 0,1	0,0 / 0,4	0,0 / 0,1	19,0 / 17,0	0,0 / 0,1		0,0 / 0,1	0,0 / 0,2	0,0 / 0,2
4 - mäßig Getreide, Kartoffeln	13,2 / 4,2	1,1 / 3,8	1,0 / 1,8	1,1 / 0,5	0,2 / 0,4		0,7 / 1,2	0,3 / 2,3	0,1 / 0,2
5 - mäßig starke Ertrags für Weizen und Zuckerrüben	7,0 / 0,0	0,0 / 1,0	0,3 / 0,0	14,0 / 0,1	1,2 / 0,2		0,2 / 1,4	0,4 / 1,3	0,2 / 0,1
6 - gering Roggen, Kartoffeln	19,1 / 0,0	2,4 / 1,2	0,0 / 1,0	2,0 / 1,1	0,7 / 0,2		0,1 / 0,3	0,2 / 0,2	

## Methodik

- Es wurde ein *statistisches Näherungsmodell* auf der Basis der Moving-Window-Technologie angewendet.
- Als flächendeckende Zusatzinformationen zur Beurteilung der Bodenbildungsbedingungen des gesamten Territoriums der beiden Länder wurden die

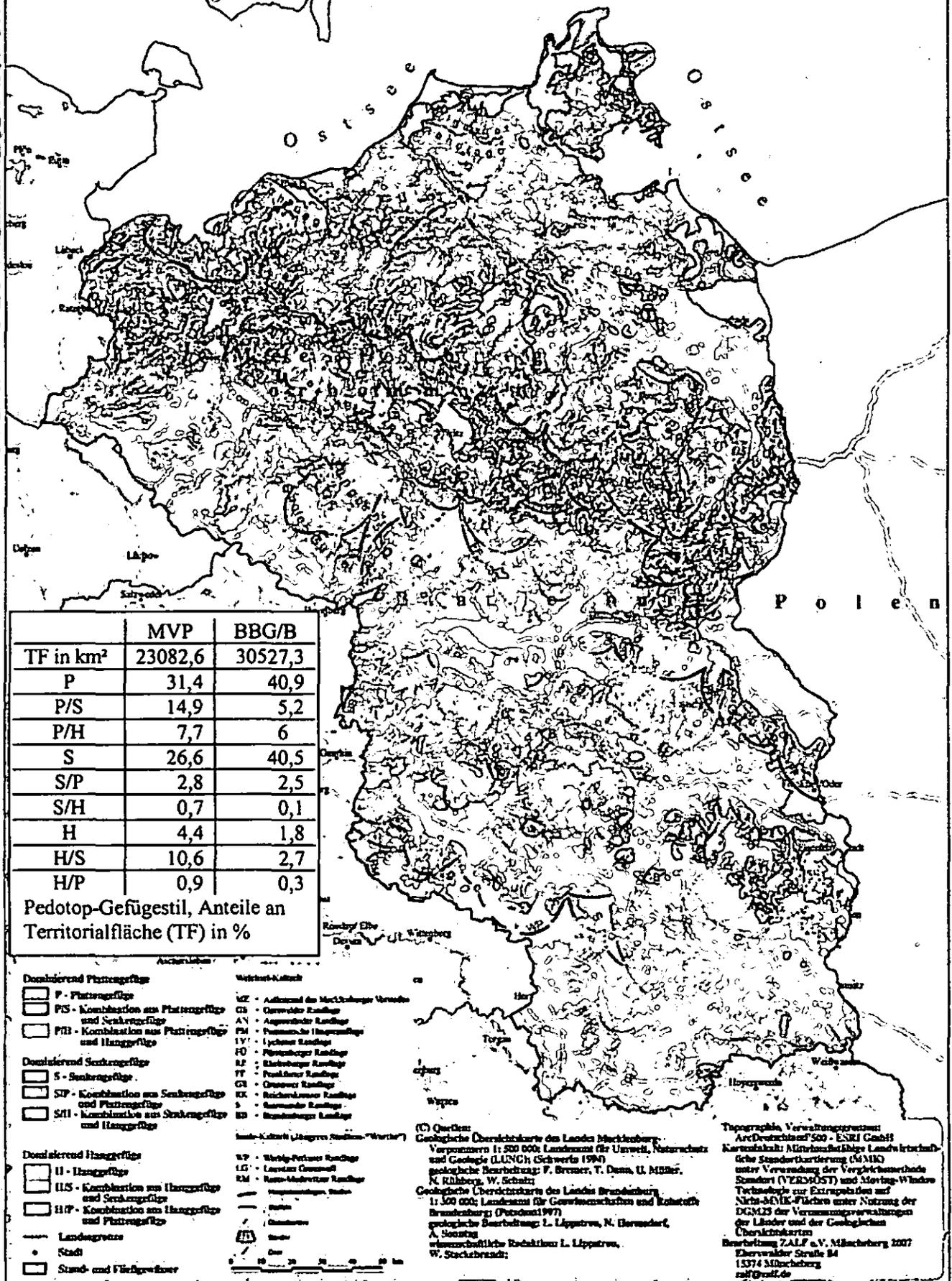
dafür ist die standardisierte und formalisierte „Vergleichsmethode Standort (VERMOST)“ (Deumlich et al. 2004), die einen Satz von Kennziffern für jede einzelne Kontur bereitstellt.

## Literatur:

Schmidt, R & R. Diemann (1994): Richtlinie für die mittelmaßstäbige landw. Standortkartierung der DDR. AdL, Inst. f. Bodenkunde Eberswalde  
 Deumlich, D., R. Funk, J. Kiesel, H.I. Reuter, J. Thiere & L. Völker (2004): Anwendung der „Vergleichsmethode Standort (VERMOST)“ zur Bewertung der Erosionsgefährdungspotenziale als Datenbasis für Förderinstrumente am Beispiel des Landes Brandenburg. Arch. of Agronomy and Soil Science, Taylor & Francis Ltd, Abingdon (UK), 259 -272

<sup>1</sup> Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, e-mail: bo@zalf.de, Tel: 033432-82282

**Pedotop-Gefügestil der Länder Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg nach Hangneigungs-, Hydromorphie- und Substratverhältnissen der MMK (mit Übertragung auf Nicht-MMK-Flächen)**



	MVP	BBG/B
TF in km <sup>2</sup>	23082,6	30527,3
P	31,4	40,9
P/S	14,9	5,2
P/H	7,7	6
S	26,6	40,5
S/P	2,8	2,5
S/H	0,7	0,1
H	4,4	1,8
H/S	10,6	2,7
H/P	0,9	0,3

Pedotop-Gefügestil, Anteile an Territorialfläche (TF) in %

- Dominierend Plattengröße**
- P - Plattengröße
  - P/S - Kombination aus Plattengröße und Senkengröße
  - P/H - Kombination aus Plattengröße und Hanggröße
- Dominierend Senkengröße**
- S - Senkengröße
  - S/P - Kombination aus Senkengröße und Plattengröße
  - S/H - Kombination aus Senkengröße und Hanggröße
- Dominierend Hanggröße**
- H - Hanggröße
  - H/S - Kombination aus Hanggröße und Senkengröße
  - H/P - Kombination aus Hanggröße und Plattengröße
- Landesgrenze**
- Stadt
  - Stand- und Fließgewässer
- Wetter-Klima**
- MZ - Einfluss des Meeresbreezes
  - GI - Gletscher Randlage
  - AN - Alpenrandlage
  - PM - Pannische Höhenlage
  - LY - Lychnen Randlage
  - PO - Pödenrandlage
  - RF - Röhrenrandlage
  - TF - Tuffrandlage
  - GR - Grottenrandlage
  - IK - Karstkarrenrandlage
  - S - Senkengröße Randlage
  - BB - Binnenseenrandlage
- Land-Klima (Längeres Nordsee-Wetter)**
- WP - Weich-Polares Randlage
  - LS - Lapland-Grenze
  - KM - Karst-Mehrwasser Randlage
- Geologische Symbole**
- Gestein
  - Sandstein
  - Ton
  - Sand

(C) Quelle:  
 Geologische Übersichtskarte des Landes Mecklenburg-Vorpommern 1:500 000; Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LÜNG) (Schwerin 1994)  
 geologische Bearbeitung: F. Bremer, T. Demn, U. Mitter, N. Rühlberg, W. Schatz  
 Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1:500 000; Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (Potsdam 1997)  
 geologische Bearbeitung: L. Lippstreu, N. Harwardt, A. Sonntag  
 wissenschaftliche Redaktion: L. Lippstreu, W. Stockbrandt

Topographie, Verwaltungsgrenzen:  
 Arc/Deutschland 500 - ENRI GmbH  
 Kartografische: Altinformatikbrosche Landwirtschafliche Standortkartierung (MMK) unter Verwendung der Vergleichsmethode Sandort (VERMUST) und Moving-Window-Technik zur Extrapolation auf Nicht-MMK-Flächen unter Nutzung der DGM25 der Vermessungsverwaltungen der Länder und der Geologischen Übersichtskarten  
 Bearbeitung ZALF e.V. Mecklenburg 2007  
 Eberwälder Straße 84  
 15374 Müritzerberg  
 zalfo@zalf.de

## Flächenrepräsentative Hintergrundwerte von As, Sb, Be, Mo, Co, Se, Tl, U & V für Böden im bundesweiten Maßstab

Utermann, J.<sup>1</sup>, M. Fuchs, O. Düwel

### 1. Einleitung

Vor dem Hintergrund der zurzeit laufenden Aktualisierung der BBodSchV sollten auf Anfrage des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) für weitere, bisher im vorsorgenden Bodenschutz nicht geregelte Spurenelemente (As, Sb, Be, Mo, Co, Se, Tl, U & V) Hintergrundwerte (HGW) in Ober-/Unterböden und Untergrund abgeleitet werden. Die im länderübergreifenden Maßstab angelegte Auswertung stützt sich auf Daten der Bundesländer und der BGR von ca. 21.000 Profilen. Das methodische Vorgehen orientiert sich an früheren Arbeiten zur Ableitung von HGW für Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb und Zn (Utermann et al. 1999, 2003).

Im Folgenden werden exemplarisch Ergebnisse für Arsen und Uran dargestellt. Arsen ist neben Thallium das Element, für das voraussichtlich in einer aktualisierten BBodSchV Vorsorgewerte ausgewiesen werden. Im Falle von Uran fokussiert die derzeitige Diskussion auf die Frage, inwiefern die Verwendung U-haltiger Phosphordünger zu einer U-Anreicherung in landwirtschaftlich genutzten Oberböden führt.

### 2. Material & Methoden

Die von den Ländern über die Ad-hoc-AG Boden und den stA2 der LABO sowie von der BGR für die Auswertung bereitgestellten Daten mussten einem definierten Mindestdatensatz entsprechen. Die auf den ländlichen Raum bezogene Auswertung folgt einem Stratifizierungskonzept, das für Ober- und Unterböden sowie Untergrund in erster Priorität nach 14 Gruppen von Bodenausgangsgesteinen differenziert. Untergeordnet erfolgt für Oberböden eine Unterteilung nach den Landbedeckungsklassen Acker, Grünland und Forst. Der Punkt-Flächentransfer wurde mit repräsentativen, homogenen Stichproben unter folgenden Prämissen vorgenommen:

- ▶ Übereinstimmung der Stichprobe mit der Flächeninformation im Hinblick auf das Bodenausgangsgestein und die Landnutzung,
- ▶ Ausreißer bereinigte, (log-) normalverteilte Stichproben,
- ▶ Mindeststichprobenumfang je Stratum  $n \geq 20$ .

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Von den insgesamt betrachteten Spurenelementen liegt der umfangreichste Datensatz für Arsen vor. Unter den genannten Prämissen lässt sich damit eine nahezu flächendeckende Belegung von bundesweit relevanten Legendeneinheiten/Straten mit HGW erzielen. In Abb. 1 sind die Ausreißer bereinigten Verteilungen von Arsen in Ober- und Unterböden in Form von Boxplots abgetragen. Diese bilden die Grundlage zur Ableitung der robusten statistischen Kenngrößen und HGW.

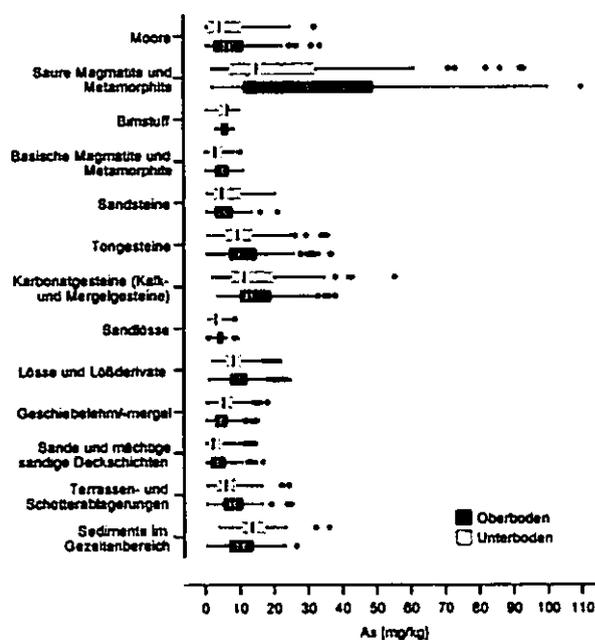


Abb. 1: Boxplots für Arsen in Ober-/Unterböden differenziert nach Bodenausgangsgesteinen

Der derzeit diskutierte Vorsorgewert von 15 mg/kg Arsen für die Bodenarten Lehme/Schluffe wird vor allem bei den Sauren Magmatiten und Metamorphiten geogen bedingt überschritten. Hier treten HGW (90. Perzentilwerte) für Arsen in Oberböden von 46 mg/kg unter Acker und von 110 mg/kg unter Wald auf, während in der Gruppe der Löss und deren Derivaten die Gehalte nutzungsabhängig zwischen 14 mg/kg unter Acker und 19 mg/kg unter Wald liegen.

Für Uran stehen deutlich weniger Daten zur Verfügung, so dass einige Straten nicht mit Werten

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, D-30655 Hannover  
E-mail: Jens.Utermann@BGR.de

belegbar sind. Die 90. Perzentilwerte für Uran bewegen sich zwischen 0,9 und 6,2 mg/kg, wobei die Tongesteine und Sauren Magmatite des Erzgebirges für den oberen Wertebereich stehen. Abb. 2 zeigt die Ausreißer bereinigten Wertebereiche für Ober- und Unterböden.

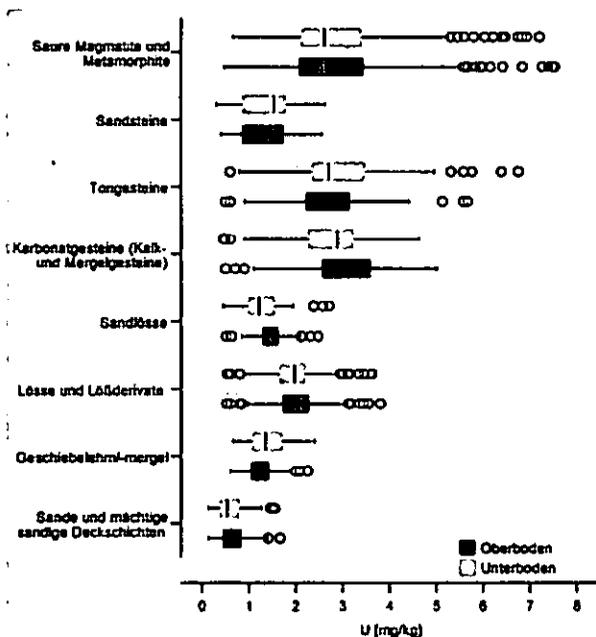


Abb. 2: Boxplots für Uran in Ober-/Unterböden differenziert nach Bodenausgangsgesteinen

Der Frage nach erhöhten U-Gehalten durch den Einsatz uranhaltiger Phosphatdünger auf Ackerböden wurde mit einfacher vergleichender Statistik nachgegangen. In Abb. 3a, b sind die Häufigkeitsverteilungen der profilweise berechneten Differenzen im Urangelalt zwischen den Ober- und Unterböden über alle Straten (ohne Auenstandorte) der forstlich und ackerbaulich genutzten Standorte dargestellt.

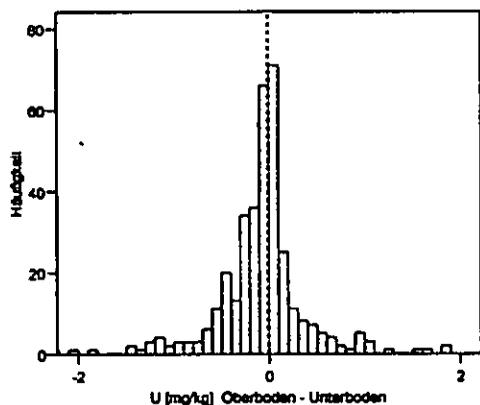


Abb. 3a: Histogramm der Differenzen im U-Gehalt [mg/kg] zwischen Ober- und Unterböden für Forststandorte

Gegenüber Forstböden, für die ein langjähriger U-Eintrag über den Düngerpfad ausgeschlossen

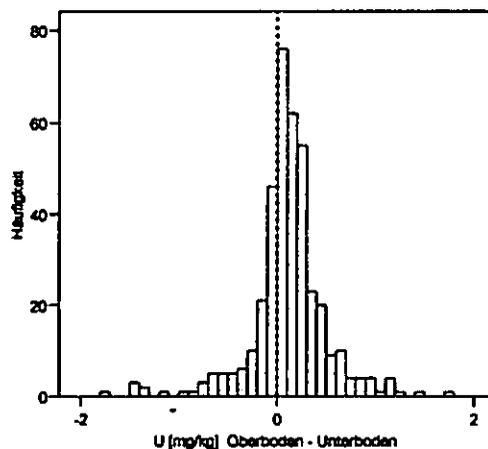


Abb. 3b: Histogramm der Differenzen im U-Gehalt [mg/kg] zwischen Ober- und Unterböden für ackerbaulich genutzte Standorte

werden kann, lässt sich in ackerbaulich genutzten Böden trotz der Verdünnung durch die größere Bezugstiefe (Ap-Horizont) eine leichte Verschiebung zu tendenziell höheren U-Gehalten in Oberböden erkennen. Diese Unterschiede lassen sich aber statistisch nicht absichern.

#### 4. Fazit

Auf der Basis von ca. 21.000 Punktinformationen wurden flächenrepräsentative HGW für As, Sb, Be, Mo; Co, Se, Tl, U & V im bundesweiten Maßstab bezogen auf Gruppen von Bodenausgangsgesteinen abgeleitet. Je nach Element variiert der mit HGW belegbare Flächenanteil zwischen < 60 % bis zu 98 %. Einige Elemente zeigen naturbedingt erhöhte Gehalte (z.B. As, Sb, U → saure Magmatite/Metamorphite). In Ackerböden ist – möglicherweise als Folge des Einsatzes U-haltiger P-Dünger – eine Tendenz zu höheren U-Gehalten in Oberböden erkennbar; diese ist aber statistisch nicht signifikant.

#### Literatur:

- Utermann, J., Fuchs, M., Düwel, O. (2007): Fortschreibung der Vorsorgewerte für Böden nach BBodSchV – Ableitung flächenrepräsentativer Hintergrundwerte für As, Sb, Be, Sb, Co, Se, Tl, U und V in Ober-, Unterböden und Untergrund, Bericht BGR.
- Utermann, J., Raber, B., Düwel, O., Möller, A., Siebner, C.S. (2003): Überprüfung und Fortschreibung der Vorsorgewerte nach BBodSchV. Teilvorhaben I: Ableitung flächenrepräsentativer Hintergrundwerte für anorganische Stoffe in Unterböden und Untergrund. Abschlussbericht zum UBA-F&E-Vorhaben 201 71 242, 126 pp.
- Utermann, J., Düwel, O., Fuchs, M., Gäbler, H.-E., Gehrt, E., Hindel, R., Schneider, J. (1999): Methodische Anforderungen an die Flächenrepräsentanz von Hintergrundwerten in Oberböden. Forschungsbericht 297 71 010, UBA-FB 99-066. UBA Texte 95/99, 141 pp.

## Bodengeneese im Mediterranraum im Vergleich zweier Chronosequenzen auf marinen Terrassen in Süditalien und SW-Sizilien

Stephen Wagner<sup>1\*</sup>, Daniela Sauer<sup>1</sup>,  
Helmut Brückner<sup>2</sup>, Edoardo A.C. Costantini<sup>3</sup>  
und Karl Stahr<sup>1</sup>

### 1. Einleitung und Ziel der Untersuchung

Untersuchungen von Bodenchronosequenzen ermöglichen die Quantifizierung der Raten pedogenetischer Prozesse. Marine Terrassen unterschiedlichen Alters, die einer mehrere Jahrtausende andauernden Hebung unterliegen, sind hierzu besonders geeignet. An den tektonisch aktiven Küsten bei Metaponto/Süditalien und Menfi/SW-Sizilien wird sukzessive frisches Ausgangssubstrat aus dem Meer gehoben, womit ausgezeichnete Bedingungen für eine quantitative pedogenetische Betrachtung vorliegen (Brückner, 1980). In der vorliegenden Arbeit werden Verwitterung und Bodengeneese zweier Bodenchronosequenzen auf marinen Terrassen in den oben genannten Gebieten bei Metaponto und Menfi miteinander verglichen.

### 2. Untersuchungsgebiete und Methoden

Zwei Chronosequenzen bei Metaponto (13 Bodenprofile) und Menfi (fünf Bodenprofile) auf kalkhaltigen marinen Terrassen wurden beschrieben und analysiert. Dabei wurden Fe, Mn, Al und Si im Oxalat- und Dithionit-Extrakt mittels ICP-OES und Elementgesamtgehalte durch Röntgenfluoreszenz gemessen. Die Tonminerale wurden durch Röntgenbeugungsanalyse an Texturpräparaten bestimmt.

Im Einzelnen wurde nach Oberboden (Ap-Horizonte), Abschnitten der Verbraunung und Tonanreicherung (Bv- und Bt-Horizonte) sowie Abschnitten mit Anreicherungen von Sekundärcarbonaten (Bc- und Cc-Horizonte) und dem unverwitterten Ausgangsmaterial (Schotterkörper, marine Sedimente) unterschieden.

Bei feucht-milden Wintern und trocken-warmen Sommern liegen die mittleren Jahrestemperaturen bei 14.7°C in Metaponto und 18.2°C in Trapani (etwa 60 km nordwestlich von Menfi).

Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 487 mm in Metaponto und 516 mm in Trapani. Das Klima kann somit für beide Untersuchungsgebiete als warmgemäßigt-sommertrocken nach Köppen/Geiger bezeichnet werden.

### 3. Ergebnisse

In den Böden der jüngeren Terrassen der Chronosequenz von Metaponto (bis ca. 315 ka) erreicht der  $Fe_d/Fe_t$ -Quotient unabhängig vom Ausgangsmaterial Maxima von 0.39, was auf eine mäßige Verwitterung hinweist. Auf den älteren Terrassen steigt dieser Quotient auf Werte bis zu 0.58 an. Die Eisenoxid-Bildung ist im Schotterkörper und den Bv- bzw. Bt-Horizonten am ausgeprägtesten. Die Böden der Chronosequenz von Menfi erreichen bereits auf den jüngsten Terrassen (ab 100 ka) vergleichbare  $Fe_d/Fe_t$ -Verhältnisse zwischen 0.35 und 0.56. Auf der ältesten Terrasse (ca. 480 ka) weist ein  $Fe_d/Fe_t$ -Verhältnis von 0.79–0.83 auf fortgeschrittene Verwitterung und Eisenoxidbildung hin.

$Fe_o/Fe_d$ -Verhältnisse von <0.20 deuten auf eine hohe Eisenoxid-Kristallinität in den Böden der Metaponto-Chronosequenz hin. Sie nehmen mit höherem Terrassenalter ab und erreichen Werte um 0.03 im Unterboden (ca. 620 ka). In allen Böden ist eine Abnahme des  $Fe_o/Fe_d$ -Quotienten mit zunehmender Tiefe zu erkennen. In den Böden der Menfi-Chronosequenz liegt  $Fe_o/Fe_d$  i.d.R. unter 0.05 und fällt im Unterboden der ältesten Terrasse (ca. 480 ka) auf <0.01, was auf eine besonders hohe Kristallinität und fortgeschrittene Bodenentwicklung hinweist.

Tonmineralogisch zeichnet sich in der Metaponto-Chronosequenz kein eindeutiger Trend ab, wie bereits Fuchs und Semmel (1973) feststellten. Der Kaolinitanteil ist in den Böden aller Terrassen ähnlich hoch (<21 %); auch eine Differenzierung nach Horizonten ist nicht erkennbar. Der Smectitanteil nimmt in den ersten ca. 315 ka der Bodenbildung in den Bv- bzw. Bt-Horizonten und im Terrassenschotter zu, ist jedoch in den Böden der beiden ältesten Terrassen nur im Schotterkörper nachweisbar. In den Böden der Menfi-Chronosequenz erreicht Kaolinit in den drei jüngeren Terrassen (ca. 100–300 ka) Anteile zwischen 14 und 28 % im Unterboden und steigt im Oberboden auf 36 %. Auf den beiden ältesten Terrassen (ca. 360–480 ka) werden Anteile bis zu 40 %, im marinen Sediment der ältesten Terrasse 53 % erreicht. Smectit und Vermiculit nehmen auf den drei jüngeren Terrassen mit der Tiefe zu. Ihr Anteil liegt bei 74 % im Ausgangsmaterial der dritten Terrasse (ca. 300 ka) und fällt in den

<sup>1</sup>Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, Emil-Wolff-Straße 27, 70599 Stuttgart.

<sup>2</sup>Fachbereich Geographie, Philipps-Universität Marburg, Deutschhausstraße 10, 35032 Marburg.

<sup>3</sup>Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Piazza M. D'Azeglio 30, 50121 Florenz, Italien.

\*Kontakt: stwagner@uni-hohenheim.de

Bv- bzw. Bt-Horizonten auf 39 % und im Oberboden auf 20 %. Auf den beiden ältesten Terrassen geht ihr Anteil auf maximal 13 % in den Bv- bzw. Bt-Horizonten zurück.

Entkalkung setzt bereits in den Böden der jüngsten Terrassen ein. Auf Terrassen, die älter als 125 ka sind, ist auch der Schotterkörper vollständig entkalkt, wobei das Verhältnis  $(CaO+MgO)/Al_2O_3$  in den Bv- bzw. Bt-Horizonten in allen Böden der Metaponto-Chronosequenz gut vergleichbar ist, in den Bc- bzw. Cc-Horizonten hingegen mit höherem Terrassenalter weiter abnimmt. In den Böden der Menfi-Chronosequenz sind ausgeprägte Unterschiede zwischen den vollständig entkalkten A- und B-Horizonten und dem Ausgangsmaterial erkennbar.

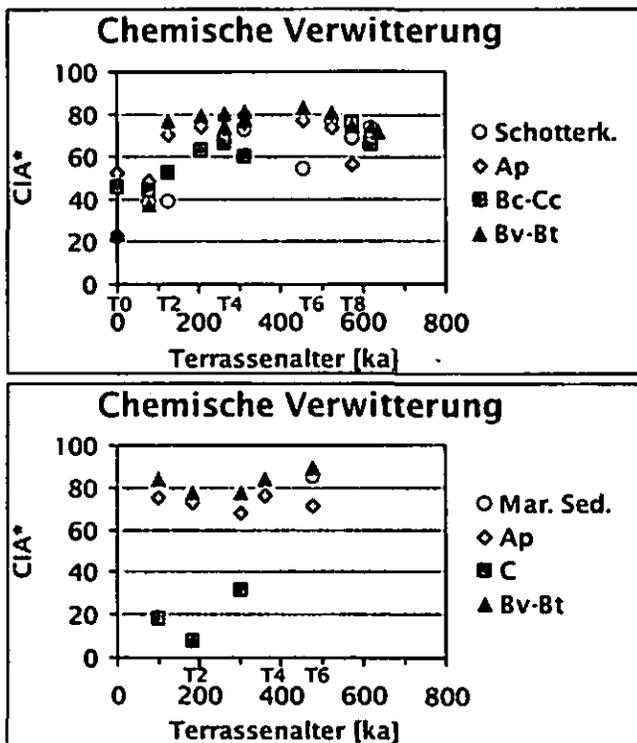


Abbildung 1. Grad der chemischen Verwitterung in den Böden der marinen Terrassen, ausgedrückt durch CIA\*. Oben: Chronosequenz Metaponto. Unten: Chronosequenz Menfi.

Das Ausmaß der chemischen Verwitterung und Tonmineralneubildung wurde anhand des CIA\* (Chemical Index of Alteration:  $100 \times Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$ ) nach Nesbitt und Young (1982, 1984) bestimmt. In der Chronosequenz von Metaponto ist die chemische Verwitterung in den Bv- bzw. Bt-Horizonten am ausgeprägtesten: Hier liegt der CIA i.d.R. zwischen 71 und 83, im Vergleich zu den schwächer verwitterten Bc- bzw. Cc-Horizonten (CIA 52-76) (Abbildung 1, oben). Auf den beiden jüngsten Terrassen (bis zu 80 ka) ist die Verwitterung deutlich weniger fortgeschritten (CIA 22-52) (Abbildung 1, oben). Hingegen ist in den Böden

der Menfi-Chronosequenz ein deutlicher Unterschied zwischen mineralischem Ober- und Unterboden einerseits und dem Ausgangsmaterial andererseits erkennbar (Abbildung 1, unten), was auf ausgeprägte Entkalkungsprozesse oberhalb des Ausgangsmaterials zurückzuführen ist.

#### 4. Diskussion

Höhere  $Fe_d/Fe_t$ - und niedrigere  $Fe_o/Fe_d$ -Quotienten in den Böden der Menfi-Chronosequenz weisen auf intensivere Verwitterung und höhere Kristallinität im Vergleich zu Böden der Metaponto-Chronosequenz hin. Dabei sind die Böden der jüngeren Menfi-Terrassen (ca. 100-360 ka) ähnlich weit entwickelt wie jene der ältesten Metaponto-Terrassen (ca. 525-635 ka).

Die Kaolinit-Gehalte sind im Ausgangsmaterial aller Böden gut vergleichbar, jedoch weisen höhere Anteile in den Ober- und Unterböden der Menfi-Chronosequenz auf Fremdeinträge (äolisch, fluviatil) und/oder Neubildungen von Kaolinit (wärmere Klimabedingungen) hin.

Gut vergleichbar ist der Entkalkungsprozess. Die Entkalkungstiefe nimmt in beiden Untersuchungsgebieten mit dem Terrassenalter zu und stimmt in den Böden der beiden Chronosequenzen sehr gut überein.

Obwohl der Index der chemischen Verwitterung in den Oberböden beider Chronosequenzen ähnlich hoch ist, weisen deutliche Unterschiede zum Ausgangsmaterial in Menfi auf eine intensivere und ausgeprägtere Verwitterung in den Böden der Chronosequenz von Menfi/SW-Sizilien hin. Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Bodengenese in den Böden der Menfi-Chronosequenz weiter fortgeschritten ist.

#### 5. Literatur

- Brückner, H. (1980). Marine Terrassen in Süditalien – Eine quartärmorphologische Studie über das Küstentiefland von Metapont. *Düsseldorfer Geographische Schriften*, Band 14.
- Fuchs, F. und Semmel, A. (1973). Pleistozäne kaltzeitliche Ablagerungen in der Sila und Basilicata (Süd-Italien). *Catena*, 1, 387-400.
- Nesbitt, H.W. und Young, G.M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299, 715-717.
- Nesbitt, H.W. und Young, G.M. (1984). Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 1523-1534.
- Retallack, G.J. (1997). A colour guide to paleosols. New York, John Wiley & Sons, 175 S.

#### 6. Danksagung

Diese Arbeit wurde ermöglicht durch ein Promotionsstipendium des Evangelischen Studienwerks Villigst, Schwerte.

## REhabilitation of deteriorated VOLcanic SOils in Mexico and Chile (REVOLSO) III. (Results of an international and interdisciplinary Project of the European Union)

G. Werner<sup>1</sup>, M. Bravo<sup>2</sup>, J. Espino<sup>3</sup>, J.D. Etchevers<sup>4</sup>, G. Flores<sup>5</sup>, J.F. Gallardo<sup>6</sup>, M.I. González<sup>7</sup>, C. Hidalgo<sup>4</sup>, M. Petri<sup>8</sup>, C. Prat<sup>9</sup>, I. Vidal<sup>10</sup>, E. Zapata<sup>4</sup>, L. Alonso<sup>6</sup>, A. Báez<sup>4</sup>, S. Covalada<sup>6</sup>, M. Ginanni<sup>8</sup>, M. González<sup>6</sup>, B.M. Gutiérrez<sup>4</sup>, M. Haulon<sup>1</sup>, L. Medina<sup>2</sup>, J. Padilla<sup>4</sup>, M.L. Padilla<sup>3</sup>, S. Pajares<sup>6</sup>, R. Risalti<sup>8</sup> y A. Vera<sup>5</sup>.

### Introduction

The REVOLSO-project has already been introduced to the DBG members on the "Jahrestagung der DBG 2005 in Marburg" (WERNER et al., 2005).

The REVOLSO Consortium of the INCO-DEV-Project co-financed by the Commission of the European Union within the Frame Programme 5 (fp5) consists of nine different institutions, five from Latin America and four from Europe, was coordinated by the Justus-Liebig University of Giessen, (Germany). With this paper REVOLSO presents results of his project "Alternative Agriculture for a Sustainable REhabilitation of Deteriorated VOLcanic SOils in Mexico and Chile (REVOLSO)" (Ref.Nr.: ICA4-CT-2001-10052). (<http://revolso.isvo06.org/>). REVOLSO had a lifetime of 4,5 years and ended in 2006 in Mexico with the "4<sup>th</sup> International Symposium on Deteriorated Volcanic Soils" affiliated to the 18<sup>th</sup> World Congress of Soils Science (18<sup>th</sup> WCSS) 2006, Philadelphia, USA.

### Problem

On severely eroded and indurated but reclaimed volcanic paleosoils in Mexico and Chile suitable cultivation practices are identified to prevent erosion and to rehabilitate deteriorated volcanic soils. The effects on different cultivation techniques and agroforestry on the sustainability of the soil fertility, soil structure, erosivity and erodibility are monitored. The socio-economic situation of the rural population including the role of the women and the young people is evaluated. The evolution of

the cultivation techniques by the small holders (campesinos) and the changes of their living conditions are followed up with investigations on sustainability of the measures by the rural population.

### Research hypothesis and actual work

The prosperity of disadvantaged rural regions depends on the integrity and quality of their natural resources (soils, forestry) and their management practices. In a number of rural regions in Mexico and Chile, marginal rural communities are living in mountain areas with deteriorated volcanic soils as a consequence of high population pressure. Subsistence agriculture, small scale production, scarcity of agricultural land, destruction of the environment by deforestation causing soil erosion, and migration to the cities are the reasons of rural poverty. The REVOLSO consortium worked with five different work packages in order to meet this challenge.

### Results

The main results of the REVOLSO project include the improvement of the quality of life of the small holders (campesinos) as well as the rehabilitation and management of the degraded environment of the rural areas. The rehabilitation of the environment is done through sustainable agriculture and agroforestry keeping in mind the real necessities of the campesinos. REVOLSO is involving the campesinos in the research on specific scientific and technological problems to find the best practice for a sustainable agriculture technology. An interpretation of the data obtained by the different work packages of the REVOLSO project up to this moment show e.g., that in Mexico

- a) yields of organic cropping system may reach yields of conventional systems; but on a reclaimed indurated "Tepetate" on the experimental site in the State of Tlaxcala, Mexico, this system produced considerably lower yields in 2003; we do not have an explanation yet. However, on an Acrisol derived by old volcanic material in the Mexican State of Michoacan in Mexico soil losses were slightly diminished by organic agriculture (from 1.36 to 1.03 Mg ha<sup>-1</sup>).
- b) new rehabilitated ("roturated") sites of indurated volcanic ash soils present significant higher erosion rates as sites already rehabilitated some 13 and 15 years ago. pH decreases significantly from 7.5 to 6.3, by losing of exchangeable Na, K, and Mg. By contrast, available (Olsen) P increases from traces till 4 mg kg<sup>-1</sup> after 2 years of rehabilitation, during the last wet-summer periods.
- c) Women and children have to absorb field work of their men and fathers who abandoned their

Dr. Gerd Werner<sup>1</sup>, DBG member nr. 667; Center for International Development and Environmental Research (CIDER), University of Giessen, Otto-Behaghel-Strasse 10 D. D-35394 Giessen, Germany (REVOLSO project co-ordination), Tel.: 0049-641-9912780; Fax: 0049-641-9912719; mail: Gerd.Werner@agr.uni-giessen.de

<sup>2</sup>C.I.R.P.A.C./INIFAP (Uruapan, México); <sup>3</sup>Universidad de Chapingo (Texcoco, México); <sup>4</sup>Colegio de Postgraduados de Montecillo (Texcoco, México); <sup>5</sup>Universidad de Tlaxcala (Tlaxcala, México); <sup>6</sup>C.S.I.C. (Salamanca, España); <sup>7</sup>Universidad de Salamanca (España); <sup>8</sup>C.I.R.A.A. Università di Pisa (Italia); <sup>9</sup>I.R.D. (Francia); and <sup>10</sup>Universidad de Concepción (Chillán, Chile).

villages in margin regions with severe soil erosion searching for other perpetual sources of income in the cities of Puebla, Morelia or Mexico or even emigrated to the USA.

Also in Chile, the overall agricultural system of the farms and their link with the environment still have not been taken into account for the sustainable development. This is a deficiency, specially if we consider that for example in Mexico the soil erosion is partially due to the over-pasture of the community land, and the cut down of its forests to satisfy the need for firewood and arable land. Moreover, since in marginal regions the nourishment of the family cannot be achieved anymore by subsistence agriculture and hence men are working in the cities, the burden of agricultural work is left to the women and young people. For this reason and for this REVOLSO project, an innovative approach including the investigation of the social and economical situation and the effects of the rehabilitation of degraded volcanic soils on the family has been chosen.

The dissemination of the results among the rural communities and the follow up of implementation and the acceptance of the new technology package is an important result to achieve sustainable social and economical development of these communities.

### Output of REVOLSO

The "4<sup>th</sup> International Symposium on Deteriorated Volcanic Soils (ISVO'06)" with more than 100 participants and affiliated to the 18<sup>th</sup> WCSS 2006 was organised in July of 2006 in Morelia and Tlaxcala, Mexico by the REVOLSO consortium (<http://www.isvo06.org>).

262 publications, papers and presentations, 31 graduates (9 PhD, 22 MSc) and 102 visitors of the project have been the numerical output of REVOLSO up to the end of the project.

### Conclusion

The problem of the regions with severe erosion in Latin America is a social one, because soil erosion – especially the erosion on volcanic ash soils- is provoked by men. A research project may show up the problems and give advises of their solutions, but scientists cannot solve them. These are tasks with social preferences for rural regions which urgently have to be solved by the local and federal governments of Chile and Mexico.

### References

Covaleda S., J.F. Gallardo, C. Prat & J.D. Etchevers, (2006). Fertilidad del suelo en un *Acrisol* cultivado mediante técnicas agrícolas sustentables en el eje neovolcánico mexicano (Atécuaro, Michoacán). IV<sup>th</sup> International Symposium on Deteriorated Volcanic Soils, Morelia and Tlaxcala, Mexico, July 2006. (CD)

Etchevers, J. D., A. Báez C. Prat & C. Hidalgo, (2006). Distribución de C en fragmentos y agregados de materiales volcánicos endurecidos habilitados para la agricultura. pp. 477-485. (Tomo II). In: J. F. GALLARDO (Ed.) Medioambiente en Iberoamérica. Visión desde la física y química en los albores del Siglo XXI pp. 793.

Haulon M., G. Flores, A. Vera & G. Werner, (2006). Efecto del manejo y de la edad de rehabilitación sobre la erodibilidad y la estructura de los Tepetates habilitados a la agricultura en Tlaxcala. IV<sup>th</sup> International Symposium on Deteriorated Volcanic Soils, Morelia and Tlaxcala, Mexico, July 2006. (CD)

Medina L., M. Bravo, C. Prat & B. Serrato, (2006). Soil losses in experimental plots in Andosols and Acrisols in the Cointzio Basin, Michoacán. IV<sup>th</sup> International Symposium on Deteriorated Volcanic Soils, Morelia and Tlaxcala, Mexico, July 2006. (CD)

Navarro, H., H. Poupon & M.A. Pérez (eds.), (1998). Aptitud productiva en suelos volcánicos endurecidos (tepetates). ORSTOM. Colegio de Postgraduados de Montecillo, Texcoco (México) 180 pp. I.S.B.N.: 968-839-249-9.

Pajares S., S. Covaleda, J.F. Gallardo, J. Padilla & J.D. Etchevers, (2006). Cambio de propiedades físico-químicas y químicas de los tepetates producidos a corto y mediano plazo por el cultivo. IV<sup>th</sup> International Symposium on Deteriorated Volcanic Soils, Morelia and Tlaxcala, Mexico, July 2006. (CD)

Werner G., Gallardo J., Vidal I., Bravo M., Etchevers J., Zapata E., Queitsch J., Haulon M., Prat C. & M. Mazzoncini (2006). Soil Conservation in Agricultural Volcanic Ash Soils in Mexico and Chile. (Presentation of the research project REVOLSO of the European Union). In: Martínez Casanovas J.A., I. Pla-Sentís, M.C. Ramos Martín y J.C. Balasch Solanes (Ed.): "Soil and Water Conservation under Changing Land Use", Universitat de Lleida, Catalunya, España; I.S.B.N. 10:84-8409-211-9. pp: 313-316.

Vidal, I. & H. Troncoso, (2003). Manejo de rastrojos en cultivos bajo cero labranza. pp 57-80 In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza y Manejo de Rastrojos. Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N°8. 2003. 184 pp. Editor E. Acevedo.

Werner G., (2006). Alternative Agriculture for a Sustainable Rehabilitation of Deteriorated Volcanic Soils in Mexico and Chile (REVOLSO). Final Report of the Co-ordinator of the REVOLSO Project for the Commission of the European Unión, 66 p. Univ. of Giessen, Germany (unpublished).

Zapata Martelo E., B.M. Gutiérrez Garza & A. Flores Hernández, (2006). A walk through the tepetates. The Vision of Women in the Municipal Area of Hueyotlipan, (Mexico). Colegio de Postgraduados de Montecillo, REVOLSO, pp. 313 (México; I.S.B.N. 968-839-492-0).

### Acknowledgement

The authors like to thank the Commission of the European Union for the financial support of the REVOLSO-project within the Frame Programme "FP5" INCO-DEV.

**Flächenrepräsentative Leitprofile und wesentliche Eigenschaften von Moorböden in Versumpfungsmooren**

Michael Zauft<sup>1</sup>, Jutta Zeitz<sup>1</sup> und Albrecht Bauriegel<sup>2</sup>

**Einleitung**

Moore nehmen im Land Brandenburg etwa 220.000 ha Fläche ein. Hiervon entfallen mehr als 30 % auf den hydrologisch-genetischen Moortyp Versumpfungsmoor. Die bisher vorhandenen Leitprofile zu Versumpfungsmooren aus vorangegangenen Forschungsprojekten (Zeitz, Fell und Zauft 2005) beruhen auf Altdaten des Moorarchivs der Humboldt-Universität und weisen Defizite hinsichtlich der Datenhinterlegung auf. Es muss davon ausgegangen werden, dass aufgrund des zum Teil sehr hohen Alters dieser Daten vermutete Standorte stark unterrepräsentiert sind. Um aktuelle Informationen zu gewinnen, wurden Flächen aufgesucht, welche zum Auffinden von flächenrepräsentativen Leitprofilen geeignet waren. Die ersten Ergebnisse aus dieser Arbeit sollen hier vorgestellt werden.

**Standortauswahl**

Große Versumpfungsmoorflächen haben sich in Urstromtälern des Landes Brandenburg gebildet. Herauszustellen sind hierbei das Eberswalder, das Berliner und das Baruther Urstromtal. Bei der Standortauswahl wurden daher speziell diese Urstromtäler berücksichtigt. Auf Grundlage der Moorstandortkarten und der ACCESS Datenbank des HU Moorarchivs wurden für diese Flächen Areale herausgesucht, auf denen potentiell Leitprofile anzutreffen sind. Grundlage für die Profilauswahl war die Arbeit zu flächenrepräsentativen Leitprofilen aus Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern (Zeitz, Fell und Zauft 2005, Abb. 2). In den Mooren Oberes Rhinluch (I), Havelländisches Luch (II) und Belziger Landschaftswiesen (III) wurden insgesamt 10 geeignete Profile als Leitprofile aufgenommen (Abb. 1).

**Ergebnisse**

Von den 10 aufgenommenen Profilen sind 6 vermutet, 2 vererdet und 2 weisen Oberböden im Übergang von vermutet zu vererdet auf. Die Torfmächtigkeiten reichen von 35 cm bis 160 cm. In 6 Profilen wurden geringmächtige Mudden (Fhg, Fmt) vorgefunden, die typisch bei der Bildung von Versumpfungsmooren sind.

Adressen: Michael Zauft ([michael.zauft@agrar.hu-berlin.de](mailto:michael.zauft@agrar.hu-berlin.de)) und Jutta Zeitz ([jutta.zeitz@agrar.hu-berlin.de](mailto:jutta.zeitz@agrar.hu-berlin.de)): Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich- Gärtnerei Fakultät, Fachgebiet Bodenkunde und Standortlehre, Invalidenstr. 42, 10115 Berlin,  
Albrecht Bauriegel ([Albrecht.Bauriegel@lbgr-brandenburg.de](mailto:Albrecht.Bauriegel@lbgr-brandenburg.de)): LBGR Brandenburg, Dezernat Bodengeologie, Stahnsdorfer Damm 77, 14532 Kleinmachnow

Die Oberböden werden in allen Profilen durch Aggregierungshorizonte (nHa) mit amorphen Torfen (Ha) unterschiedlicher Mächtigkeiten unterlagert. Darunter dominieren vorwiegend Seggentorfe unterschiedlicher Zersetzungsgrade, in den Profilen aus dem Standort III dominieren Erlenbruchtorfe. Schilf ist vor allem bei Seggentorfen häufig als Beimengung anzutreffen, reine Schilftorfe wurden jedoch nicht aufgefunden. In Tabelle 1 sind wesentliche Eigenschaften von Substrat-Horizont Kombinationen (SHK) der Standorte aufgeführt.

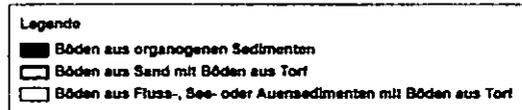
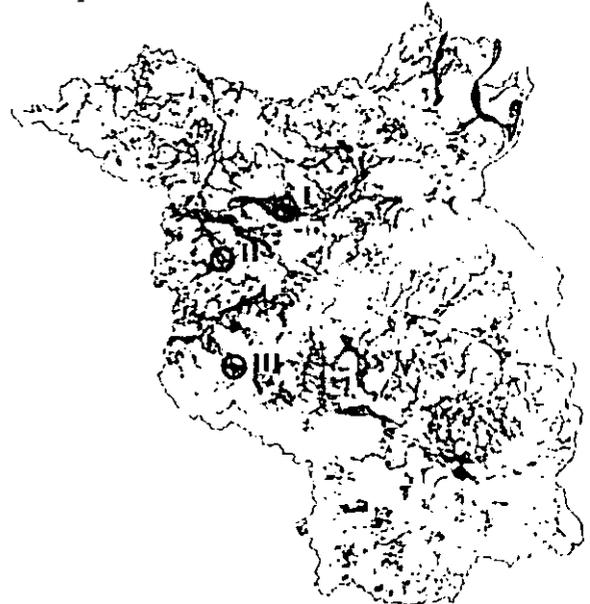


Abb. 1: Moorübersichtskarte Brandenburg mit Lage der Untersuchungsstandorte I-III (Kartengrundlage BÜK 300)

Bodenform KM: og-Hn//f-s			
Schurfe 20			
Tiefe [dm]	Horizont	Substrat	ZG
1	nHmp	Ham	10
2			
3			
4	nHa	Haa	10
5			
6			
7	nHt	Hnr o.	5-6
8		Hnp	
9			
10	Gr	s	
11			
12			

Abb. 2: Flächenrepräsentatives Leitprofil für die Versumpfungsmoore Mecklenburg- Vorpommerns (Zeitz, Fell und Zauft, 2005)

Tab. 1: Wesentliche Eigenschaften von ausgewählten SHK der aufgenommenen Profile

SHK	KAK eff/pot	TRD	GV	pH	TN	C/N	TS
	(eq/100g TB)	g/cm <sup>3</sup>	%	CaCl <sub>2</sub>	%	%	%
mHp-nHm: og-Hn(Ha)	80,2		91,4	5,0	2,91	14,8	0,65
mHp-nHm: og-Hn(Ha)	70,8	0,51	54,1	5,2	1,46	16,8	0,62
mHp-nHvm: og-Hn(Ha)	89,6	0,43	51,8	5,9	1,87	13,9	0,81
mHp-nHmv: og-Hn(Ha)	64,6	0,50	52,6	4,7	1,93	13,8	0,64
nHv: og-Hn(Ha)	97,3	0,40	53,4	5,8	2,03	12,4	0,45
nHa: og-Hn(Hnr)	115,9	0,30	81,6	4,9	2,43	15,5	1,74
nHt: og-Hn(Hnr)	157,2	0,19	82,0	5,2	2,84	14,4	0,81
nHt: og-Hn(Hnr)	83,0	0,15	75,9	4,9	1,71	23,6	1,94
nHt: og-Hn(Hnr)	108,8	0,15	84,3	3,7	2,78	17,8	2,73
nHw: og-Hn(Hnr)	149,0		87,6	5,5	1,85	24,6	1,41
nHw: og-Hn(Hnr)	74,2		64,2	4,7	1,44	23,2	2,08
nHr: og-Hn(Hnr)	153,5		74,0	5,4	1,59	24,1	1,46
nHr: og-Hn(Hnr)	73,1		74,4	5,1	1,59	25,1	2,12
nHa: og-Hn(Hnle)	82,8	0,23	42,5	4,6	1,12	18,5	1,52
nHt: og-Hn(Hnle)	84,9		40,1	4,3	1,03	19,6	1,50

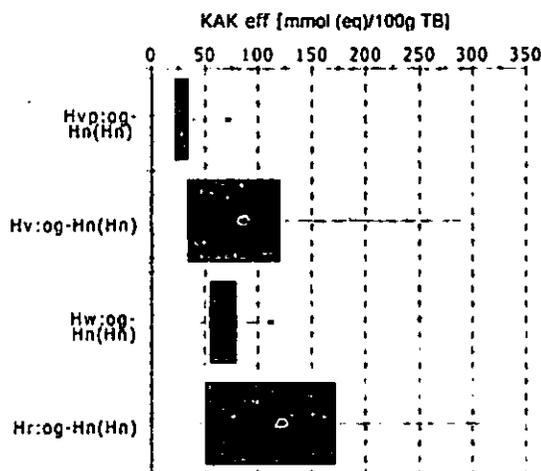


Abb. 3: KAK<sub>eff</sub> von SHK aus dem Flächenbodenarchiv Brandenburgs (Boxplots) und Mediane der SHK aus den aufgenommenen Profilen

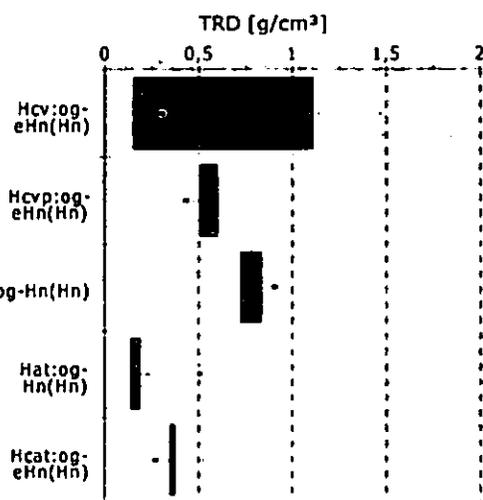


Abb. 4: TRD von SHK aus dem Flächenbodenarchiv Brandenburgs (Boxplots) und Mediane der SHK aus den aufgenommenen Profilen

**Diskussion**

Die Versumpfungsmoore Brandenburgs sind überwiegend flachgründig und weisen selten Torfmächtigkeiten über 1,5 m auf. Durch die intensive Nutzung der Standorte sind diese sehr stark degradiert.

Stellt man die aufgenommenen Profile den bereits vorhandenen Leitprofilen (statistisch abgeleitet) gegenüber, so ist festzustellen, dass die Profile die Versumpfungsmoore Brandenburgs hinsichtlich ihrer Mächtigkeit, Bodenentwicklung und Substrataufbau sehr gut repräsentieren. Die Profile decken den Bereich von sehr geringmächtigen bis zu den mächtigen Versumpfungsmooren vollständig ab. Im Gegensatz zu den vorhandenen Leitprofilen aus Altdaten sind vermulmte Standorte dominierend, vererdete Standorte sind nur noch in tiefgründigeren Bereichen von Versumpfungsmooren anzutreffen. Im Gegensatz zu den Leitprofilen für das Land Mecklenburg-Vorpommern (Abb. 2) treten Mudden im Initialstadium der Versumpfungsmoorbildung wesentlich häufiger auf. Die Mudden zeigen eine kurze Verlandungsphase zu Beginn der Moorbildung an und sorgen eine Abdichtung zum mineralischen Untergrund (dies trifft insbesondere für die Tonmudden (Fmt) zu, die z.B. im Havelländischen Luch häufig anzutreffen sind).

Stellt man den Laborergebnissen Daten aus Mecklenburg-Vorpommern und dem Flächenbodenarchiv Brandenburgs gegenüber, so ergeben sich gute Übereinstimmungen. Die Kohlen- und Stickstoffgesamtgehalte entsprechen den erwarteten Werten. Die C/N Verhältnisse stehen in engen Zusammenhang mit dem Zersetzungsgrad der Torfe. Die hoch zersetzten Torfe (H10) der Oberböden weisen die geringsten C/N-Verhältnisse auf, die gering zersetzten Seggentorfe (H3-H5) die weitesten. Die stark zersetzten Erlenbruchwaldtorfe (H6-7) liegen zwischen diesen und verdeutlichen damit den Zusammenhang (Tab.1). Dieser Zusammenhang trifft auch auf die KAK<sub>eff</sub> zu, d.h. mit fortschreitender Mineralisierung der Torfe sinkt die KAK<sub>eff</sub>. Beide Effekte stehen eng im Zusammenhang mit der Degradierung der Standorte infolge intensiver Nutzung und sind Teil einer starken Eutrophierung genutzter Versumpfungsmoore.

Die Trockenrohdichten und die KAK<sub>eff</sub> weichen teilweise von den vorhandenen Daten aus Brandenburg ab (siehe Abb. 3 und 4). Die geringfügigen Abweichungen sind mit dem bisher begrenzten Umfang an vorhandenen Daten zu begründen. Insgesamt konnte mit diesem Projekt die Datenhinterlegung deutlich verbessert werden.

Die aufgenommen Profile werden in das Flächenbodenarchiv Brandenburgs aufgenommen und können als flächenrepräsentative Leitprofile für die Versumpfungsmoore Brandenburgs genutzt werden.

**Literatur:** Jutta Zeitz, Holger Fell und Michael Zauft: Entwicklung einer Methode zur Beschreibung flächenrepräsentativer Leitböden der Moore, 122 S., unveröffentlicht

**MITTEILUNGEN**  
**DER**  
**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN**  
**GESELLSCHAFT**

**Referate Kommission V mit Kommission VII,  
sowie Kommission V mit Kommission VIII**

Band 110

Heft 2

2007



## Zur Kennzeichnung und Gliederung von periglaziär bedingten Differenzierungen in der Pedosphäre

Manfred Altermann <sup>1)</sup>, Klaus-Dieter Jäger <sup>2)</sup>,  
Dietrich Kopp <sup>3)</sup>, Alojzy Kowalkowski <sup>4)</sup>,  
Dieter Kühn <sup>5)</sup>, Walther Schwanecke <sup>6)</sup>

Bereits 1863 wurde von BEHRENDT der „Geschiebedecksand“ des Tieflands erwähnt und damit erstmals auf die lithogene Differenzierung an der Oberfläche hingewiesen. ERDMANNSDÖRFER beschrieb etwa 50 Jahre später die Blockströme der Mittelgebirge, und MORTENSEN vertrat als erster deren periglaziale Genese. Nach heutigem Kenntnisstand entstanden die periglaziär bedingten Differenzierungen innerhalb der Böden durch folgende Prozesse:

- **Kryoklastik** (Frostverwitterung) – Teilprozesse: Kongelifraktion, Desquamation, Verlösung;
- **Kryotranslokation** (kryogene, laterale Materialverlagerung) die im Profilbild durch aufeinanderfolgende Decken mit unterschiedlicher substanzialer Zusammensetzung (Stoffbestand, Körnung) und Einregelung sowie Dichte widergespiegelt wird. - Teilprozesse: äolische Akkumulation, Solifluktion, Anspülung, fluviale Akkumulation;
- **Kryoperstruktion** (kryogener Strukturumbau), im Profilbild durch Zonen abgebildet. - Teilprozesse: Destratifikation, Kryolithotropie, Kryoturbation;
- **Kryopedogenese**, im Profilbild durch Horizonte dokumentiert, die meistens in warmzeitlichem Milieu überprägt wurden. - Teilprozesse: Karbonatdynamik, Ton-, Schluffmigration, Aggregation, Akkumulation organ. Substanz, Verbraunung, Podsolierung, Vergleyung, Bleichung, Pseudovergleyung.

Die von den verschiedenen Autoren vorgenommene unterschiedliche Wichtung der Prozesskomplexe zur Kennzeichnung und Deutung der periglaziär bedingten Differenzierungen in der Pedosphäre führte zu verschiedenen Gliederungs- und Deutungskonzepten (Perstruktions- bzw. Umlagerungszonen, Folgen, Schutte, Decken, Lagen), die sich

generell in zwei Richtungen differenzieren lassen: Decken- bzw. Lagengliederung sowie Gliederung nach Perstruktionszonen. Die Glieder einer periglaziären **Lagenabfolge** (nach KA4, KA5) weisen eine unterschiedliche Substratzusammensetzung (Körnung, Mineralspektrum) und/oder Gefügeunterschiede sowie eine differenzierte Färbung auf. Sie werden **primär** nach der Substratzusammensetzung charakterisiert und differenziert. **Perstruktionszonen** sind **primär** nach Unterschieden in der Struktur, Farbe und Bodenhorizontausbildung charakterisiert. Der **entscheidende Unterschied** zwischen beiden Richtungen besteht darin, dass bei der Kennzeichnung und Gliederung des „Zonenprofils“ sedimentär bedingte Substratunterschiede nur mittelbar und als Hilfskriterium herangezogen, dagegen nach dem „Decken/Lagenkonzept“ die sedimentären Prozesse als dominante Ursachen der heute vorliegenden vertikalen Substratdifferenzierung angesehen werden, wobei hier den syn- und postsedimentären periglaziären Umbildungen entscheidender Anteil am Deckenbildungsprozess beigemessen wird, der zur zusätzlichen Vertikaldifferenzierung innerhalb der jeweiligen Decke führen kann.

Bei der Definition der Decken/Lagen sind bisher – abgesehen von der Kryoturbation – die anderen Teilprozesse der Kryoperstruktion nicht enthalten. Das betrifft insbesondere die **Destratifikation** (Entschichtung, Homogenisierung) und **Kryolithotropie** (Skelett-Umsortierung). Für die Zusammenführung der unterschiedlichen Ansätze zur Gliederung, Kennzeichnung und Deutung der substratdifferenzierenden Periglazialphänomene in einem Arbeitskonzept wird ein entsprechender Vorschlag unterbreitet (siehe Abb. 1), denn es ist nicht haltbar, von **regional abgegrenzten** Gebieten der Entstehung von periglaziären Decken einerseits und von Kryoperstruktionszonen andererseits zu sprechen. Im periglaziären Milieu wirkten die jeweils **unterschiedlich dominanten Vorgänge** kontinuierlich im Komplex.

Die verschiedenen Profilgliederungen, die auf Grund der variierenden Prozessdominanz vorgeschlagen wurden, sind nur teilweise kongruent. Das bedeutet, dass im Gesamtprofil Tiefeneinheiten mit verschiedenen Begrenzungen durch unterschiedliche Prozesse auftreten können. Dies kann durch die **differenzierte prozessbezogene Profilgliederung** mittels Detailprofilabfolgen folgendermaßen ausgedrückt werden (siehe Abb. 1):

- **Kryotranslokationsprofil:** detaillierte Kennzeichnung des durch Kryotranslokation akkumulierten Deckenmaterials sowie durch Anteile von Lokal-[Untergrund-]Material geprägten Substratprofils (z.B. Kennzeichnung nach der KA 5),
- **Kryoperstruktionsprofil:** Ausweisung der Perstruktions- bzw. Umlagerungszonen, ggf. mit detaillierter Kennzeichnung der jeweils prägenden Kryoperstruktionsprozesse,

<sup>1)</sup> Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz, Wilhelm-Raabe-Str. 9, 06118 Halle; <sup>2)</sup> Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Prähistorische Archäologie, Brandbergweg 23c, 06099 Halle; <sup>3)</sup> Dömitzer Str. 3, 19303 Tews-Woos; <sup>4)</sup> Os. Na Stoku 63 m 6, PL 25-408 Kielce; <sup>5)</sup> Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Stahnsdorfer Damm 77, 14532 Kleinmachnow; <sup>6)</sup> Theodor-Neubauer-Str. 11, 99427 Weimar-Schöndorf

- **(Kryo-)horizontprofil:** Ansprache der periglaziär vorgeprägten und extraperiglaziär nachgezeichneten Bodenhorizonte - d. h. im gegenwärtig erfassbaren Horizontprofil spiegeln sich sehr häufig Relikte des Kryohorizontprofils wider.

Darüber hinaus ist die integrierte und landschaftsübergreifende Kennzeichnung und Gliederung der periglaziären Differenzierungen in der Pedosphäre unbedingt erforderlich, um die bisher gebräuchlichen Gliederungen nach Decken bzw. Lagen einerseits und Kryoperstruktionszonen andererseits zu kombinieren. Dies erfordert allerdings bei der Profilgliederung nach Lagen (gemäß KA4, KA5) und nach Perstruktionszonen/Umlagerungszonen jeweils eine stärkere Differenzierung als bisher üblich.

Die bisherige Lagendefinition der KA5 beinhaltet nicht alle Teilprozesse der Kryoperstruktion (s.o.). Konsequenterweise kann deshalb zur übergeordneten Gliederung und Kennzeichnung der periglaziär bedingten Profildifferenzierungen in der Pedosphäre nur ein neuer Begriff die Beteiligung des gesamten Prozesskomplexes ausdrücken. Dafür wird „Segment“ (bzw. periglaziäres Segment) vorgeschlagen, denn dieser Begriff ist hinsichtlich Kryoperstruktions-, Kryotranslokations- und Kryohorizontprofil neutral, und stellt auch keine Prozessabläufe in den Vordergrund. Bei der Weiterverwendung der Bezeichnung „Lagen“ im Sinne des vorgeschlagenen Neubegriffs „Segmente“ (bzw. periglaziäre Segmente) ist also nicht nur für erstere eine neue Begriffsbestimmung erforderlich, sondern darüber hinaus auch eine Klarstellung, dass die so ergänzt definierten Lagen nach allen genannten Prozesssystemen gekennzeichnet sind. Sofern dies mit allen Konsequenzen allgemein verbindlich würde, könnte allerdings der Lagenbegriff mit dem Zusatz „Lage - ergänzt definiert“ auch weiterhin angewandt werden.

**Periglaziäre Segmente (kurz: Segmente) oder Lagen - ergänzt definiert** - sind im periglaziären Milieu im Bereich der Pedosphäre durch

- Substratbereitstellung infolge Frostverwitterung (Kryoklastik) und Kryotranslokation [äolische Akkumulation und/oder (Geli-)Solifluktion bzw. Anspülung] aus den jeweils anstehenden Gesteinen sowie aus unterschiedlichen Anteilen allochthonen Materials und
- durch Kryoperstruktion (Entschichtung und Homogenisierung, Umsortierung des Skelettanteils und Kryoturbation) sowie
- kryopedologische Prozesse (periglaziäre Vorprägung oder sogar Prägung der pedogenen Horizontabfolge) entstanden.

Die Vertikalabfolge der periglaziär bedingten Differenzierung der Bodendecke wird gegliedert in das bisher nur lokal im Bergland sicher nachgewiesene Obersegment bzw. in die Oberlage - ergänzt definiert, außerdem in das fast flächendeckend an der Oberfläche verbreitete Hauptsegment, bzw. Hauptlage - ergänzt definiert, das von einem häufig unterteilten Mittelsegment (oberer Teil und unterer Teil) bzw. Mittellage - oberer Teil und unterer Teil - ergänzt definiert unterlagert sein kann. Über dem periglaziär kaum oder nicht beeinflussten Untergrund folgt fast überall das Basissegment bzw. die Basislage - ergänzt definiert, das u. a. nach Zusammensetzung, Strukturmerkmalen sowie ggf. nach der Altersstellung differenziert werden kann.

prozessbezogene Gliederung der periglaziär geprägten Profildifferenzierung		Vorschlag zur integrierten, landschaftsübergreifenden Kennzeichnung u. Gliederung der periglaziären Differenzierungen in der Pedosphäre durch Ausweisung <u>periglaziärer Segmente</u> bzw. von <u>Lagen - ergänzt definiert</u>	
Substratprofil aus kryotransloziertem und ortsbürtigem Material	Kryoperstruktionsprofil	(Kryo-)Horizontprofil	
Kennzeichnung der Substratzusammensetzung nach Anteilen von ortsbürtigem (Lokal-) bzw. Untergrundmaterial (Ansprache n. KA5 oder KOPP ET AL. 2007)	γ-Zone gamma-Zone	Ae	Obersegment(e) bzw. Oberlage(n) - ergänzt definiert <b>LeO</b>
	δ-Zone delta-Zone	Bv Ae-Bv; Bv-Ae; Bs; Bsh; Bvs; Sw; Axh	Hauptsegment bzw. Hauptlage - ergänzt definiert <b>LeH</b>
	ε-Zone epsilon-Zone	A(e) Bv; Bt+Al; C; (e)C(c); S(e)w Bt Bbt; Al+Bt; (Bt-)Bv; (e)C(c); Sd	Mittelsegment(e) bzw. Mittellage(n) - ergänzt definiert <b>LeM</b>
	ζ-Zone zeta-Zone	Bt Bt-Cv; Cv; (e)C(c); Cv; Bt-Cv; (e)C(c)	Basissegment(e) bzw. Basislage(n) - ergänzt definiert <b>LeB</b>
	η-Zone		
		Übergangsegment(e)/Übergangslage(n) <b>LeÜ</b>	Mittelsegment ob. Teil bzw. Mittellage - oberer Teil <b>LeMo</b>  Mittelsegment untl. Teil bzw. Mittellage unterer Teil <b>LeMu</b>
			Basissegment 1 bzw. Basislage 1 <b>LeB1</b>  Basissegment 2 bzw. Basislage 2 <b>LeB2</b>
			periglaziär kaum oder nicht beeinflusster Gesteinsuntergrund

Abb. 1: Vorschlag zur prozessbezogenen Gliederung der periglaziären Differenzierungen in der Pedosphäre durch Kennzeichnung des Substrat-, Kryoperstruktions- und (Kryo-)Horizontprofils sowie zur integrierten, landschaftsübergreifenden Kennzeichnung durch Ausweisung von „periglaziären Segmenten“ bzw. „Lagen - ergänzt definiert“

**Literatur:**

ALTERMANN, M., JÄGER, K.-D., KOPP, D., KOWALKOWSKI, A., KÜHN, D., SCHWANECKE W. (2007): Kennzeichnung und Gliederung von periglaziär bedingten Differenzierungen in der Pedosphäre - Beitrag zum Stand der Diskussion. - Eiszeitalter und Gegenwart, Hannover (Drucklegung 2007 vorgesehen) - mit weiteren Literaturangaben.

## Bodenkundliche Aspekte auf den Binnensalzstellen Brandenburgs

A. Bauriegel<sup>1)</sup>, M. Facklam<sup>2)</sup>, J. Hering<sup>1)</sup>, H. Rössling<sup>3)</sup>, E. Lück<sup>4)</sup>

### Problemstellung:

Die Kenntnis der über einhundert im Land Brandenburg beschriebenen Binnensalzstellen beruht größtenteils auf geobotanischen Quellen (Müller Stoll & Götz 1962). Ihr geologisch-bodenkundlicher Hintergrund beruht auf dem Aufstieg von salzbeeinflussten Grundwässern. Diese Salzwässer sind durch Leckstellen im Rupelton bedingt, welcher grundsätzlich die salzigen Zechsteinwässer zu den hangenden Süßwasser-Stockwerken abtrennt (Hannemann & Schirrmeyer 1998). Nichtwenige dieser historisch bekannten Binnensalzstellen sind insbesondere durch meliorationsbedingte Grundwasserabsenkungen in ihrer botanischen Ausprägung gefährdet. Die vorgestellten Untersuchungen binden sich ein EU-Life Projekt ein, welches die räumliche und qualitative Entwicklung zerstörter und beeinträchtigter Binnensalzstellen zu Aufgabe hat. Ziel der bodenkundlichen Untersuchungen ist es zunächst, diese Standorte bodenchemisch und bodenphysikalisch zu charakterisieren und die Dynamik der Salzzakkumulation zu klären, um hieraus Empfehlungen für die Sanierung dieser Standorte ableiten zu können.

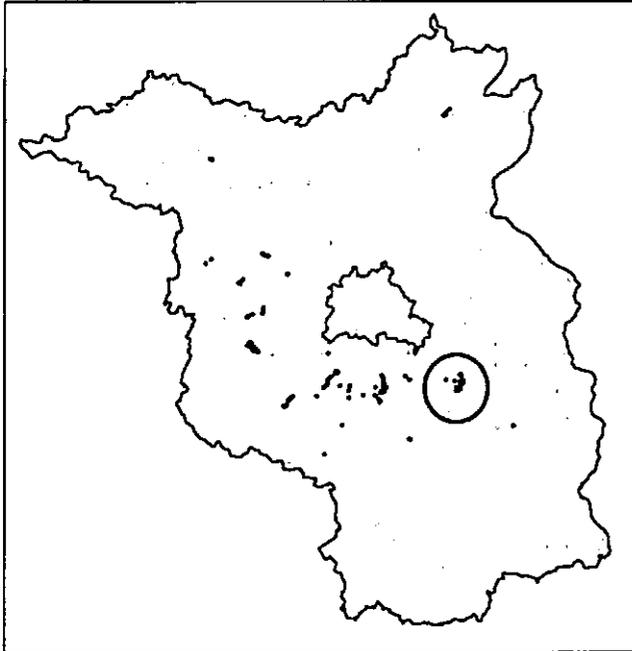


Abb. 1:  
Verbreitung der Binnensalzstellen im Land Brandenburg

Kennzeichnend für die Binnensalzstellen ist, dass sie sich fast ausschließlich in vermoorten Niederungsgebieten befinden (Abb. 1). Hinsichtlich der Pedogenese ist daher von einer Grundwasserversalzung auszugehen.

### Kennzeichnungsprobleme:

Unabhängig der tatsächlichen Versalzung der Standorte gibt es in der deutschen Bodensystematik (AK Bodensystematik, Bd. 86 1998; AG Boden 2004) nur sehr begrenzte Möglichkeiten die Versalzung zu kennzeichnen. Anders als in der WRB (2006) und der USDA (1994) gibt es für die Versalzung keine eigenen bodensystematischen Einheiten i.S. eines Solonchaks oder Solonetz. Lediglich auf Varietätenniveau kann die Versalzung angegeben werden. Das Kriterium von 0,75mS/cm entstammt auch eher Fragestellungen der Beregnung als pedogenetischen Effekten. Die in der WRB angegebenen >15mS/cm entsprechen mit dem Blick auf die bekannten Standorteffekte bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen und Gehölzen (>4mS/cm) realeren Abgrenzungskriterien.

### Ergebnisse:

Von den bisher 30 untersuchten Standorten werden die Projektgebiete Storkow und Philadelphia vorgestellt. Ihre Wertespannen können exemplarisch für die anderen Binnensalzstellen gelten.

Um die Dynamik der Versalzung erfassen zu können, wurden an den Standorten metrisch alle 10cm und zu verschiedenen Zeitpunkten innerhalb und außerhalb der Vegetations- bzw. Verdunstungsperiode die Leitfähigkeiten im Bodensättigungsextrakt (BSE), sowie die Ionenkonzentrationen gemessen. Mit dem Blick auf die Meßergebnisse (Abb. 2 und 3) zeigt sich, dass die Leitfähigkeit und damit die Versalzung jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen sind. Diese können als Aufsalzungs- und Ausstüßungsphasen gedeutet werden, die mit den Verdunstungs- Vegetationsperioden weitgehend synchron laufen.

Hinsichtlich der Intensität der Versalzung zeigt sich, dass zumindest der Standort Philadelphia über den Jahresgang hinweg sich durch Leitfähigkeiten von >15mS/cm auszeichnet und nach WRB als Solonchak anzusprechen ist.

- 1) Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Stahnsdorfer Damm 77, 14532 Kleinmachnow  
email: [albrecht.bauriegel@lbg-berlin.de](mailto:albrecht.bauriegel@lbg-berlin.de)
- 2) Technische Universität Berlin, Institut f. Ökologie
- 3) Landesumweltamt Brandenburg, Abt. Großschutzgebiete/  
Raumentwicklung
- 4) Universität Potsdam, Institut Geowissenschaften



Abb. 2: Profil Storkow Leitfähigkeiten (mS/cm) im Sättigungsextrakt (grau) und Differenzen zur mittleren Leitfähigkeit (schwarz)

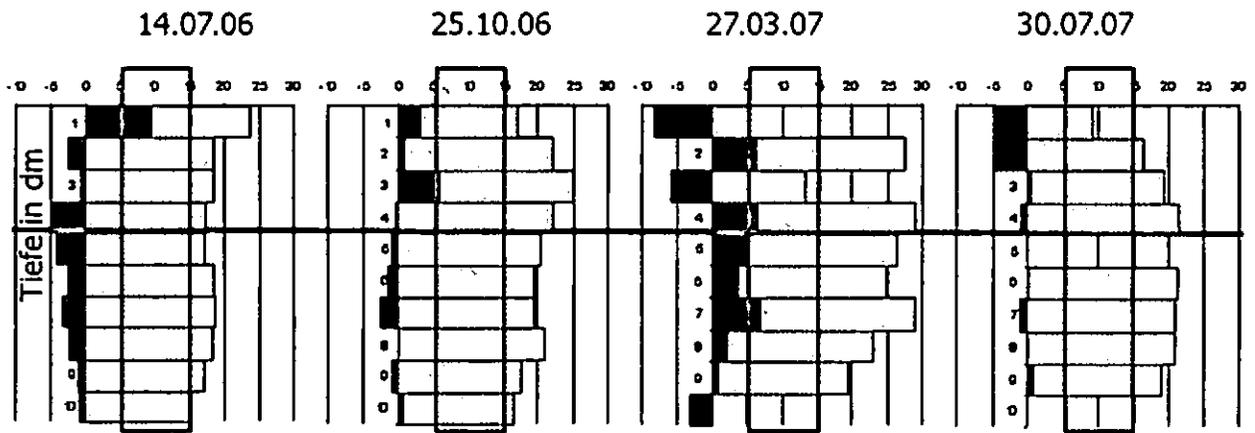


Abb. 3: Profil Philadelphia Leitfähigkeiten (mS/cm) im Sättigungsextrakt (grau) und Differenzen zur mittleren Leitfähigkeit (schwarz)

**Ausblick:**

Die Untersuchungen zur Dynamik der Aufsatzungs- und Ausblüßungsphasen soll an den 30 Projektstandorten fortgesetzt werden. Im Fokus steht dabei nicht nur die Leitfähigkeit, sondern auch die Dynamik der einzelnen Ionenkonzentrationen.

Die bodensystematische Diskussion im Sinne des Bedarfs eines Solonchaks, von Salzgleyen oder Salzmooren in der deutschen Bodensystematik wird weiter verfolgt.

**Literatur:**

AG BODEN (2004): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

AK BODENSYSTEMATIK (1998): Systematik der Böden und der bodenbildenden Substrate Deutschlands. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., Bd. 86: 180.

HANNEMANN, M. & W. SCHIRRMESTER (1998): Paläohydrogeologische Grundlagen der Entwicklung der Süß-/Salzwassergrenze und Salzwasseraustritte in Brandenburg. Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 5, Heft 2, Kleinmachnow

MÜLLER-STOLL, W.R. & H.-G. GÖTZ (1962): Die märkischen Salzstellen und ihre Salzflora in der Vergangenheit und Gegenwart. Wiss. Z. Päd. Hochsch. Potsdam, 7, 1/2 Potsdam

# Auswertung der Bodenschätzungsdaten in NRW - ein Methodenvergleich im Stadtgebiet Münster

Hans Joachim Betzer, Dirk Elhaus,  
Winfried Hornig, Heinz-Peter Schrey und Stefan  
Schulte-Kellinghaus

## Einleitung und Zielsetzung

In NRW wurden bisher ca. 70% der landwirtschaftlich genutzten Landesfläche im Maßstab 1 : 5 000 vom Geologischen Dienst NRW (GD NRW) bodenkundlich aufgenommen (BK5). Wo die BK5 fehlt, soll für großmaßstäbige Fragestellungen u. a. auf die Bodenschätzungsdaten zurückgegriffen werden. Diese wurden vom GD NRW zwischen 1952 und 2006 bodentypologisch und geologisch interpretiert und als Sonderausgabe des Deutschen Grundkartenwerks (DGK5Bo) vom Landesvermessungsamt NRW herausgegeben (MÜCKENHAUSEN et al. 1988). Jedem Kartenblatt ist dabei eine individuelle Legende aus Profilsäulen zugeordnet. Zur Validierung und Aktualisierung der Übersetzungsschlüssel dieser analogen Daten liegen erste Erfahrungen u. a. aus dem Münsterland vor (BETZER et al. 2002). In einem bodenkundlich und geologisch sehr kleinstrukturiertem Raum bei Münster wurden diese nun großflächig vertieft.

## Untersuchungsgebiet und Methoden

In Kooperation mit der Stadt Münster wurde die Grafik von 92 DGK5Bo-Blättern digitalisiert und den Klassenflächen die entsprechenden Attribute (Klassenzeichen, Wertzahlen, Nummer der Legendeneinheit) zugeordnet. Im Gegensatz zu älteren Übersetzungen wurden nicht Einzelflächen unter Verwendung der individuellen Grablochbeschriebe übersetzt, sondern Grundlage der Digitalisierung sind die Legendeneinheiten, für die der Bearbeiter der analogen Karte seinerzeit im Mittel 7 Klassenflächen aggregiert hatte. Hierzu wurde nun unter Verwendung hunderter bodenartlich nach KA4 analysierter Musterstücke ein

substratspezifischer Übersetzungsschlüssel entwickelt. Dadurch konnten unter Benutzung der GK25 und BK50 z. B. fehlende Attribute in den Grablochbeschrieben (Skelettgehalt, Humusgehalt, Carbonatgehalt) bei der Dateneingabe ergänzt werden. Staunässegrad und Grundwasserstufe wurden vom diagnostizierten Bodentyp abgeleitet. Die DGK5Bo-Blätter um Münster entstanden überwiegend in den 60er Jahren. Im Rahmen der Validierung war nun ein Abgleich mit eng abgebohrten BK5-Verfahren aus den 70er Jahren auf über 7 000 ha möglich. Über erste Ergebnisse dieses Datenabgleichs haben die Autoren 2007 in Mainz (DBG-Mitt. im Druck) berichtet.

## Ergebnisse

Entsprechend der großflächigen Geschiebesand-/Geschiebelehmflächen dominieren im Referenzgebiet laut BK5 Pseudogleye mit 45 %, es folgen Plaggenesche mit 17 %, Gleye aus Bachablagerungen mit 17 %, Podsole 7 %, Braunerden 5 %, Löss-Parabraunerden 4 %, Pelosole 2 % und Auenböden mit 1 %. Der Vergleich auf Ebene des Haupttyps ergab 61 % Übereinstimmung. Die Einzelergebnisse sind in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1:  
Übereinstimmung einiger Haupttypen in Flächen-% der Verbreitung des jew. Haupttyps auf der BK5

Haupttyp der BK5	Übereinstimmung des Haupttyps der BK5 mit der DGK5Bo in %
Pseudogley	67
Plaggenesch	55
Gley	70
Podsol	25
Braunerde	50
Parabraunerde	90
Pelosol	65
Auenboden	50

Die häufigsten Fehlübersetzungen sind in Tab. 2 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Schätzer Hydromorphiemerkmale nur bei deutlicher Ausprägung in den Grablochbeschrieben vermerken, während die Bodenkunde wesentlich früher Staunässehorizonte anspricht und dabei auch maskierende Substratfarben berücksichtigt. Allein so ging auf 15 Flächen-% (1000 ha) die Übereinstimmung verloren. Wegen der seit den 60er Jahren deutlich verbesserten analogen

Tab. 2:  
Häufigste Unstimmigkeiten des Haupttyps in %  
der Gesamtfläche (7 000 ha)

Haupttyp BK5	Haupttyp DGK5Bo	Flächen-%
Pseudogley	Braunerde	11
Pseudogley	Parabraunerde	4
Podsol	Gley	3
Plaggenesch	Braunerde	3
Pseudogley	Gley	2
Braunerde	Pseudogley	2

DGK5Bo-Bearbeitung und dem Wissensfortschritt haben jüngere Karten eine höherwertige Aggregation der Klassenflächen und somit bessere Übereinstimmung - besonders bei den Bodentypen (vgl. Tab. 1). Da bei der Übersetzung von Einzelflächen mit 50 bis 70 % auch keine wesentlich bessere Übereinstimmung erreicht werden konnte, spielt die Aggregation allerdings nicht die dominierende Rolle. Wegen des Aufwands von 10 : 1 zu dem Vorgehen auf Legendenebene scheidet die Einzelflächenbearbeitung somit als ineffizient aus.

Die Tendenz zur Unterschätzung der Staunässe in der Bodenschätzung zeigt sich auch bei der Auswertung des Staunässegrads nach KA5 Tab. 61 (s. Tab. 3).

Tab. 3:  
Vergleich der Ansprache des Staunässegrads  
BK5/DGK5Bo in % Gesamtfläche (7 000 ha)

Verhältnis der Staunässegrad- Ansprache BK5/ DGK5Bo	Verbreitung in Flächen-%
Übereinstimmung	58
BK5 eine Stufe nasser als DGK5Bo	18
BK5 zwei Stufen nasser als DGK5Bo	7
BK5 drei und mehr Stufen nasser als DGK5Bo	8
BK5 eine Stufe trockener als DGK5Bo	4
BK5 zwei und mehr Stufen trockener als DGK5Bo	5

Bei der Ansprache der Grundwasserstufe geht die DGK5Bo oft von höherem Grundwasser aus (s. Tab. 4). Die häufigen Abweichungen bei einer Stufe Differenz (12 %) sind z. T. auf Meliorationsmaßnahmen zwischen den Aufnahmezeitpunkten zurückzuführen, die 11 % Abweichung um vier Stufen auf Fehldiagnosen

vermeintlicher Grundwasserböden in der DGK5Bo.

Tab. 4:  
Vergleich der Ansprache der Grundwasserstufe  
BK5/DGK5Bo in % Gesamtfläche (7 000 ha)

Verhältnis der Ansprache der Grundwasserstufe BK5/ DGK5Bo	Verbreitung in Flächen- %
Übereinstimmung	60
BK5 eine Stufe tiefer	12
BK5 zwei Stufen tiefer	2
BK5 drei Stufen tiefer	4
BK5 vier und mehr Stufen tiefer	11
BK5 eine Stufe höher	5
BK5 zwei Stufen höher	3
BK5 drei und mehr Stufen höher	3

Die K-Faktoren der Bodenabtragsgleichung liegen zu 75 % innerhalb einer Abweichung von  $\pm 0,1$  - hier ist die Ackerkrumenervertiefung zwischen Schätzung und Kartierung zu berücksichtigen; die nFKWe liegt zu 50 %  $\pm 20$  mm, zu 65 %  $\pm 30$  mm und zu 78 %  $\pm 40$  mm. Der von der Schätzung nicht diagnostizierte Schluffanteil der Niederterrassen- und Uferwallsedimente ist ein begrenzender Faktor.

### Fazit

Die händische Komplettüberarbeitung der DGK5Bo auf Legendenebene mittels Substratschlüssel, BK50 und GK25 etc. wird bei vertretbarem Aufwand als der zukünftige Weg der bodenkundlichen Aufarbeitung der Schätzungsdaten in NRW angesehen. Der vorliegende Vergleich zeigt Optimierungswege auf. Unterschiedliche Aufnahmezeitpunkte und die Grafik der Schätzung verursachen ca. 20 Flächen-% Unstimmigkeit.

### Literatur

BETZER, H. J., & ELHAUS, D., & SCHREY, H. P. (2002): Zur Vertrauenswürdigkeit von aus der Bodenschätzung abgeleiteten Bodenparametern am Beispiel der „Bodenkarte 1 : 5 000 auf der Grundlage der Bodenschätzung“ in Nordrhein-Westfalen. - Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., 99: 101-102, 2 Abb.; Oldenburg.

MÜCKENHAUSEN, E., & MERTENS, H., & DUBBER, H. J. (1988): Die Bodenkarte 1 : 5 000 auf der Grundlage der Bodenschätzung. 4. Aufl.: 40 S., 5 Abb., Düsseldorf. - (Hrsg.: Landesauschuß f. landwirtsch. Forsch., Erziehung und Wirtschaftsberatung beim Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen)

# Substrate und Gliederung periglazialer Deckschichten auf Muschelkalk im östlichen Thüringer Becken.

H. Bullmann<sup>1</sup> & J. Heinrich<sup>1</sup>

## Einleitung und Problemstellung

Auf Gesteinen mit hohem Karbonatgehalt (Kalkstein, mergelige Kalke, Mergelkalke mit 75-95% CaCO<sub>3</sub>) können periglaziale Decksedimente größerer Differenzierung auftreten als auf quarz- und silikatreichen Standorten (vgl. Altermann & Rabitzsch 1976), was u.a. eine Parallelisierung der Substrate erschwert (Apel & Fiedler 1994).

Ziel ist es daher, i) Modellvorstellungen über Aufbau und Entwicklung des oberflächennahen Untergrundes im späten Pleistozän in Abhängigkeit von Gestein und Relief zu entwickeln sowie ii) eine lagenbezogene Gliederung (AG Boden 2005) anzuwenden, die bislang für periglaziale Substrate auf Muschelkalk im Thüringer Becken noch nicht befriedigend gelungen ist (Apel & Fiedler 1996, Fiedler & Hofmann 1991).

## Material, Methoden, Untersuchungsgebiet

Untersuchungsraum ist das östliche Thüringer Becken. Die bewaldeten Untersuchungsgebiete befinden sich nördlich/nordwestlich des Tannrodaer Sattels südlich von Weimar bzw. von Erfurt (Höhenlage 380-470m NN, 670-700mm/Jahr, 7,5°C im Jahresmittel). Sie erfassen alle Folgen der Muschelkalkformation mit ihren (reliefbildenden) petrologischen Unterschieden sowie besondere morphologische Formen (Delle, Trockentälchen).

Die Ergebnisse basieren auf umfangreichen Bohrstockkartierungen sowie der Aufnahme (KA4/ KA5) von 34 Bodenprofilen. Körnung, pH-Wert, eLf, Karbonat, an ausgewählten Profilen: C-Gehalt, pedogene Oxide und Totalgehalt des Eisens, Schwerminerale sowie Bodendichte wurden ermittelt.

## Ergebnisse und Diskussion

Die periglazialen Deckschichten besitzen abhängig von Gestein, Relief und relativer Reliefposition eine hohe Variabilität hinsichtlich Gründigkeit und Schichtung. Am Aufbau sind kalksteinbürtige Substrate: Kalksteinschutte, Kalksteinbraunlehm (und -rotlehm) sowie Lössderivate und Mischsubstrate beteiligt (vgl. Tab.1). Es überwiegen flach- bis mittelgründige Profile (Tab.2). Ausgeklammert bleiben hier zunächst die Steilhangeschutte (g in Tab.1).

Abhängig vom Tongehalt können zwei Hauptlagentypen unterschieden werden (a, b in Tab. 1), deren Ausprägungen jedoch nicht nur reliefabhängig (Neigung, Exposition) sind (Tab.2). Für ihre Entstehung müssen - bei Ausschluss flächenhafter, z.T. gleichmäßiger Erosion - weitere Faktoren (heterogene Vegetationsentwicklung im periglazialen

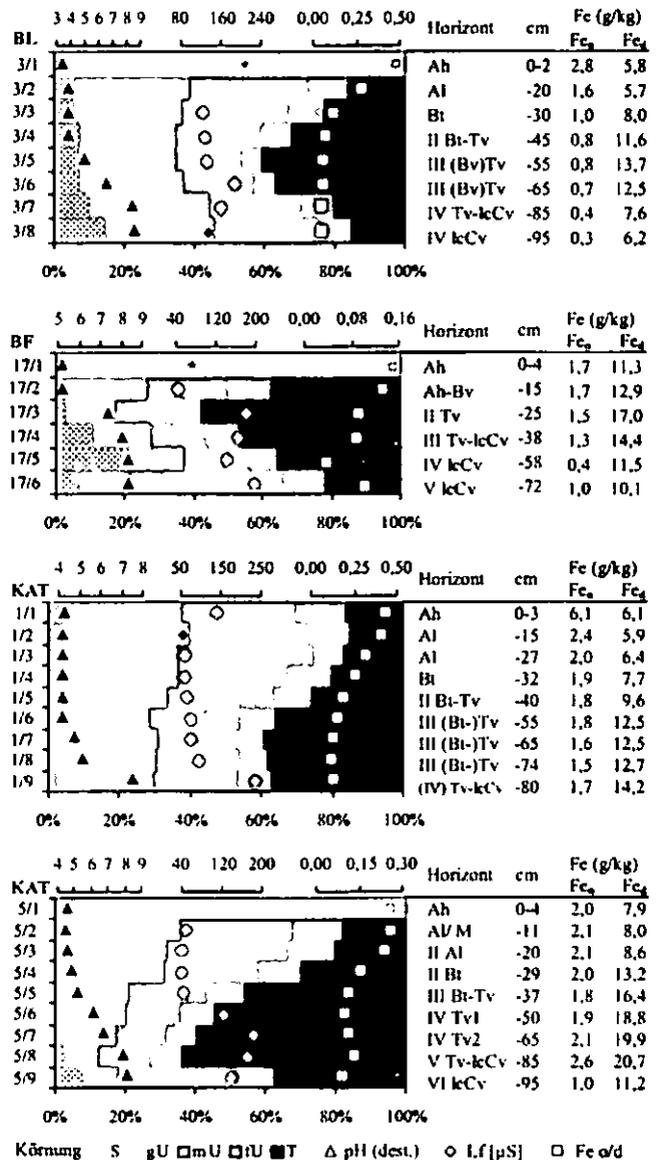


Abb. 1 Körnung, pH-Wert, Leitfähigkeit und pedogene Oxide ausgewählter Profile (BL 3, BF 17, KAT 1, KAT 5)

Milieu, Karstholformen, Pelomixtion) herangezogen werden. Die tonreiche Hauptlage (30-40% Ton) ist ein Mischsubstrat aus Lösslehm und solifluidal/ kryoturbar bzw. pelomixtiv eingearbeitetem Kalksteinbraunlehm aus dem Liegendem. Aufgrund des fehlenden Skelettgehaltes ist die Unterscheid-



Abb. 2 links: Parabraunerde aus LH (Lösslehm) (und LM) über KBL über KBL-Schutt über Anstehendem; rechts: Braunerde-Terra fusca aus lössbeeinflusstem KBL über KBL-Schutt und Kalksteinschutten

<sup>1</sup> Institut für Geographie, Universität Leipzig  
email H. Bullmann: hbullm@rz.uni-leipzig.de

Tab. 1 Substrate der periglazialen Deckschichten auf Muschelkalk

Substrat	Substratart	Lage*	Faziesmerkmale**	Bodenhorizont	Bodenart	Ton (%)	Kalk	Bodenskelett	Ge-füge	Ld	Bodenfarbe (trocken)
a Decklöss/Lösslehm	pky-II(Lo) / pfl-II(Lol)	LH	a, m, l, k	Al Bt	Ut3 Ut4	15-25	c0	0 0	pla pla	1 1-2	10YR7/3-8/3 10YR7/4-6/4
b Lösslehm	pfl-ut1(^kTr,Lol)	LH	a, d, l-p, v(k)	Bv (-Tv)	Tu3-2	35-45	c0	0 - fG1	sub	2	10YR7/6-6/6
c Lösslehm	pfl-ut1(^kTr,Lol)	LM	s, d, p, v(k)	Bt-Tv	Tu3	30-40	c0	0	koh	3-4	10YR6/6 + 7,5YR5/4
d Kalksteinbraunlehm (KBL)	pfl-(c)-lt1(Lo,^kTr) / cc-(c)-lt1(Lo,^kTr)	KBL	a, d, p, v	Tv / r/rTv	Tu2-Tt	50-75	c0-1	fG1-2 (mG1)	pol (koh)	2-4	7,5YR4/3-3/3 7,5YR5/6-4/6
e Kalksteinbraunlehmschutt	pfl-c-zk4(^kTr,^k) / pky-c-zk4(^kTr,^k)	LB	s, d, p/a, o	Tv-lcCv	Tu3-2, Tt; Lts	35-70	c4	mgG4-5 (+fO2)	koh	3-4	7,5YR4/3-4/4
f Kalksteinschutt	pfl-nz5-c(^k) / pky-nz5-c(^k)	LB	s, m, p/a, o	lcCv	Ut2-Us, Uls; Lu	<25	c6	gGr5-6 (fX5)	-	-	10YR8/2-7/3; 2,5YR8/3-8/6
(g) Hangschutt	uhg-(^k)	-	-	Ah-/Bv- / lcCv	-	-	-	-	-	-	-

\* LH... Hauptlage, LM... Mittellage, BL... Basislage \*\*strukturelle und fazielle Merkmale nach KAS (amorph (a), strukturiert (s), monomiktisch (m), diamiktisch (d), autochthon (u), parautochthon (p), allochthon (l), äolische Komponente: ohne (o), vorhanden (v), überwiegend bis ausschließlich (k))

Tab. 2 Schematisierte Substratschichtungstypen

Substratschichtung (vgl. Tab.1)	Bodentyp	Gründigkeit	Reliefposition
G1 c-e-f	(RR bis) BB-RR	1-3 dm	0°/ 10-20°, Hangversteigung
G2 d-c-f	(RR bis) CF-RR	1-2 dm	0°/ 10-20°, Hangversteigung
G3 c-d-e-f	CF-BB	3-4 dm	0°/ 5-10°, Mittelhang
G4 (c)-d-d-e-f	BB-CF	5-8 dm	5-10°, konkaver Hangfuß
G5 a-b-d-e-f	CF-LL	6-10 dm	0-5°, Verebnung, Mittelhang

Ung von Hauptlagen und Kolluvien nach diagnostischen Merkmalen im Gelände im Einzelfall schwierig (hier: C<sub>org</sub>-Gehalte).

Die oft als Bt-Tv-Horizont ausgewiesene Schicht (c) weist eine erhöhte Lagerungsdichte, diamiktischen Charakter und zumeist kryoturbate Strukturen auf. Sie wird deshalb der Mittellage zugeordnet. Die Tongehaltsdifferenz zwischen Al (a) und Bt-Tv (c) ist in erster Linie faziiell bedingt (vgl. auch Merkmale). Ein Teil dürfte jedoch auch auf Lessivierung zurückzuführen sein (Hinweise darauf geben Illuvationscutane auf Aggregatoberflächen und Zunahme des Fe<sub>o</sub>, Abnahme Fe<sub>d</sub>, vgl. Abb.1) (vgl. auch Biermayer & Rehfuess 1985).

Die Kalksteinschutte bilden die (mehrgliedrigen) Basislagen, obgleich ein Einregelungsnachweis an den rundlich verwitternden Schutten oft nicht möglich ist. Der Kalksteinbraunlehmschutt (e) entstand durch Einarbeitung von aufliegendem Kalksteinbraunlehm und anschließender Verlagerung. Ein höheres Alter, insbesondere des Kalksteinschuttes (f) ist nicht auszuschließen. Vereinzelt ist ein schwacher Anstieg von Fe<sub>o</sub> bzw. des Aktivitätsgrades im Tv-lcCv zu beobachten, was auf ältere Bildungen hinweisen könnte.

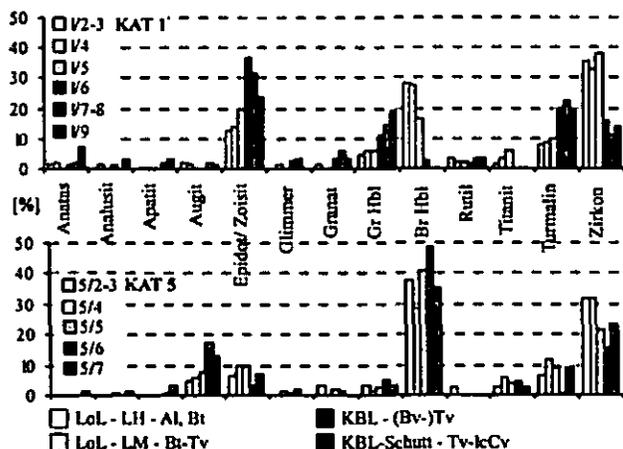


Abb. 2 Schwerminerale [%] von KAT 1 (Schaumkalk - muS, eben) und KAT 5 (Mittlerer Wellenkalk - muWM, Mittelhang)

Der Kalksteinbraunlehm (KBL) tritt in den Untersuchungsgebieten ubiquitär mit Mächtigkeiten zwischen 1-3 dm auf. Er entstand nach Bildung der Basislagen wahrscheinlich durch laterale Ausspülung und enthält immer einen erkennbaren äolischen Anteil (solifluidal/ kryoturbat eingebracht). Der Kalksteinbraunlehm stellt somit eine skelettfreie bis skelettarme Fließerde (in Hanglage) zwischen Mittellage und Basislage dar.

Die Schwermineralspektren (Abb. 2) der Profile KAT 1 (Verebnung auf Schaumkalkbank) und KAT 5 (mittel geneigter Mittelhang auf Mittlerem Wellenkalk) mit einer Distanz von ca. 300 m zeigen ein sehr differenziertes Bild. Während Epidot, (br) Hornblende (und Granat) den äolischen Einfluss (auch im KBL und KBL-Schutt!) anzeigen, deutet der hohe Anteil stabiler Minerale (besonders Zirkon, Turmalin) auf eine Aufarbeitung älterer Verwitterungsbildungen bzw. spezifische Lokal(löss)anteile hin (KAT 1). Bei KAT 5 ist diese Verteilung nicht zu erkennen. Der hohe Anteil br Hornblende dürfte jedoch auch geogene Ursachen haben.

Fazit und Ausblick

Bei den am Aufbau der periglazialen Deckschichten können hauptlagen-, mittellagen- und basislagenähnliche Bildungen unterschieden werden. Jedoch treten mit tonreichen Mischsubstraten (tonreicher Lösslehm) bzw. dem lösslehmhaltigem Kalksteinbraunlehm (Abb. 1, 2) eine größere Substratdifferenzierung auf. Die Bedeutung von "Ortslösungen" (Unger & Kahlke 1995) am insgesamt nur noch lückenhaften Eintrag ist noch zu prüfen (Schwerminerale).

Die Arbeit wurde gefördert durch ein HWP-Stipendium des Landes Sachsen. Dank an E. Kramer, Dr. B. Schneider und Hilfskräften (Uni Leipzig) sowie Dr. D. Bergmann-Dörr (Uni Frankfurt/ M.) für die Unterstützung bei den laboranalytischen Arbeiten sowie an M. Guddat-Seipel für die Bestimmung der Schwerminerale.

Literatur

Altermann & Rabitzsch (1976): Quartäre Deckschichten im Raum Elbingerode, Rübeland (Harz). Hercyna N.F. 13, H.3: 295-331.  
 Apel & Fiedler (1996): Waldböden auf Muschelkalk am Nordrand des Thüringer Beckens. Chem. Erde 56: 159-170.  
 Biermayer & Rehfuess (1985): Holozäne Terra fusca aus Carbonatgesteinen in den Nördlichen Kalkalpen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 148: 405-416.  
 Fiedler & Hofmann (1991): Bodenformen über Muschelkalk im Thüringer Becken. Mitt. Dt. Bodenk. Gesellsch. 64: 49-77.  
 Unger & Kahlke (1995): Thüringen. In: Benda [Hrsg.] Das Quartär Deutschlands.

## Genese von tonreichen Unterbodenhorizonten in Böden aus Kalksteinverwitterungsmaterial mit Deckschichten aus Löss in Norddeutschen Berg- und Hügelländern

(am Beispiel der Göttinger Muschelkalkscholle)  
A. Fier<sup>1</sup>, K. Mueller<sup>1</sup>, R. Jahn<sup>2</sup>

### Einleitung

Im norddeutschen Berg- und Hügelland stehen oberflächennah häufig karbonatische Festgesteine mit Deckschichten aus Löss als Ausgangsmaterialien der Bodenbildung an. Die daraus entstandenen Böden weisen oftmals einen tonärmeren Oberbodenhorizont über einem deutlich tonreicheren Unterbodenhorizont auf, dessen Entstehung bislang ungeklärt ist. Grundsätzlich kommen sowohl Tonauswaschungsprozesse aus der Lössauflage als auch Tonanreicherung durch die Bildung von Lösungsrückstand aus dem sich auflösenden Kalkstein in Frage. Auch primär geogen bedingte Tongehaltsdifferenzen sind in Erwägung zu ziehen. Ziel dieses Projektes ist die Klärung der Entstehung der tonreichen Horizonte. Insgesamt wurden an 4 Standorten (Teutoburger Wald, Eggegebirge, Göttinger Wald, Eichsfeld) 8 Waldböden beschrieben und untersucht. Drei Profile im Göttinger Wald werden hier z.T. eingehender betrachtet. Analysiert wurden sowohl die einzelnen Horizonte wie auch der unterliegende Kalksteinverwitterungsschutt. Wobei die Fraktion <2mm (Feinmaterial) und der massive Kalkstein ab 1,8 cm getrennt analysiert wurden. Untersucht wurden chemische und physikalischen Parameter wie z.B. Humus- und Karbonatgehalte, pH-Werte, KAK, pedogene Oxide und -Korngrößen. Mittels Röntgendiffraktometrie wurden Quarzgehalte quantitativ erfasst. Außerdem wurden Röntgenfluoreszenzanalysen (RFA) zur Elementgehaltsbestimmung durchgeführt und Bodendünnschliffe angefertigt. Die wichtigsten Ergebnisse werden im Folgenden vorgestellt.

### Ergebnisse und Diskussion

Die Quarzgehalte wurden mittels Röntgendiffraktometrie an gemahlene Pulverpräparaten gemessen. Im Mittel der 8 Böden weisen die Oberböden (Ah-Horizonte) 45 % Quarz auf, der tonreiche Horizont 26 und der Lösungsrückstand der Kalksteine 22 %.

Diese Differenzen sind sehr gering. Es kann eine Vermischung von Lösungsrückstand mit Löss stattgefunden haben oder Lessivierung hat zu einer Quarzabreicherung im tonreichen Horizont geführt.

Bessere Hinweise liefert die Korngrößenanalyse von den Bodenhorizonten und dem Kalkstein nach der Zerstörung von Kalk und Humus (Tab. 1).

Tab. 1: Gemittelte Texturergebnisse aller 8 Böden

%	T	fU	mU	gU	S	gU/fU
Oberb.	38	9	19	31	3	4,7
Stabw.	15	3	4	17	2	5,1
tonr. Hor.	65	8	10	16	1	2,2
Stabw.	8	1	3	6	0	1,1
Feinm. <2	70	9	10	10	1	1,4
Stabw.	11	3	3	9	2	1,6
Kalkstein	63	16	15	5	1	0,3
Stabw.	8	2	5	3	1	0,2

Die Tongehaltssprünge zwischen dem Oberboden und dem tonreichen Horizont betragen bei 6 Böden 20 Prozentpunkte und mehr und liegen im Schnitt bei 28 Prozentpunkten. Eine norddeutsche Fahlerde kommt maximal auf 20 % Tongehaltsunterschied (BLUME et al. 2002). Lessivierung allein kann für diese Tongehaltssprünge somit nicht verantwortlich sein. Weiterhin enthält das Feinmaterial 5 % mehr Ton als der Lösungsrückstand. Das ist wahrscheinlich auf eine frostmechanische Verwitterung des Kalksteinschutts zurückzuführen (THÖLE & MEYER 1979) und hat auch zur Erhöhung des Tongehaltes im tonreichen Horizont beigetragen. Von besonderer Bedeutung sind die Grobschluffgehalte (gU). Im tonreichen Horizont ist deutlich mehr gU als im Rückstand des Steins vorhanden, Lessivierung würde zu einer Abreicherung von gU führen. Das spricht eindeutig für eine Einmischung von Löss in den Lösungsrückstand. Auch der Quotient aus gU (typisch für Löss) durch fU (verstärkt in tonigeren Sedimenten vertreten) nach ALAILY (1984) zeigt das deutlich, liegt er doch im tonreichen Horizont höher als im Kalkstein. Ob zusätzlich Tonverlagerung stattgefunden hat, kann mit diesen Daten nicht festgestellt werden.

Wird die mittels RFA bestimmte Elementverteilung betrachtet, zeigen die Böden im Durchschnitt eine Anreicherung von Silizium und Natrium im Oberboden während Elemente wie Al, Fe, K, Mg im tonreichen Horizont angereichert sind. Wäre diese Verteilung allein auf Lessivierung zurückzuführen, sollte der Quotient aus z.B. Aluminium und dem Tongehalt (Abb. 1) in allen Horizonten eines Profils ungefähr gleich bleiben. Allerdings zeigen gerade die tiefgründigen Profile eine Zunahme des Quotienten, was auf den zunehmenden Anteil von Lösungsrückstand im tonreichen Horizont zurückzuführen ist.

<sup>1</sup> Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Fachhochschule Osnabrück, Oldenburger Landstr. 21, D-49090 Osnabrück; E-mail: a.fier@soil-science.eu

<sup>2</sup> Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, - Bodenkunde und Bodenschutz, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Weidenplan 14, D-06108 Halle (Saale)

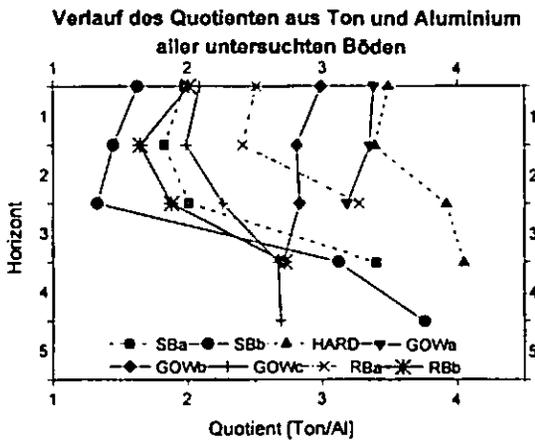


Abb. 1: Quotient aus Ton und Aluminium

Die Auswertung der pedogenen Eisenoxide ergibt ansteigende oxalatlösliche wie auch dithionitlösliche Eisengehalte in den tonreichen Horizonten, während der Aktivitätsgrad ( $Fe_o/Fe_d$ ) mit zunehmender Tiefe sinkt. Dies ist durch überproportional steigende dithionitlösliche Fe-gehalte zu erklären und weist auf einen hohen Anteil an Lösungsrückstand im tonreichen Horizont hin, der wahrscheinlich ein älteres Bildungsdatum aufweist und so mehr pedogene Eisenoxide bilden konnte.

Ob Tonverlagerung ein profilprägender Prozess ist, kann mit Hilfe von Dünnschliffen festgestellt werden. Die wichtigsten mit Tonverlagerung in Beziehung stehenden Merkmale wurden nach STOOPS (2003) beschrieben und der Flächenanteil am Schliff visuell abgeschätzt. Alle Profile bis auf ein flachgründiges am Göttinger Berg zeigen mit zunehmender Tiefe verstärkt auftretende Lessivierungsmerkmale, meist über 10% am gesamten Schliff im tonreichen Horizont. Wobei zusätzlich aber auch horizontinterne Verlagerungen, wie bereits von KUBIĚNA (1953) in Terra fuscen beschrieben, mit in Betracht gezogen werden müssen. Am häufigsten treten Toncutanbruchstücke und verfüllte Poren auf, gefolgt von Toncutanen an Poren. Toncutanen an Aggregaten sind selten und treten auch makroskopisch kaum auf. Oft finden sich kleine Aggregate mit Material aus dem tonreichen Horizonten in den oberen Horizonten, was hauptsächlich auf Bioturbation, Hangfließen und Baumwürfe zurückgeführt wird. Es liegt z.T. eine Materialvermischung in zwei Richtungen und fast immer eine nennenswerte Tonverlagerung vor.

Für den Göttinger Wald wird die Zusammensetzung der tonreichen Horizonte über den Grobschluffgehalt und mit Hilfe von Vergleichslöss aus dem Leinetalgraben nahe Göttingen mit 62 % gU (GÄTH 1987), Methode nach ALAILY (1972), berechnet. Die Abschätzung ergibt, dass der tonreiche Hori-

zont sich zu ca. 70 % aus Lösungsrückstand zusammensetzt. Zu beachten ist hierbei allerdings, dass sowohl kryoklastische Verwitterung als auch Lessivierung den Grobschluffanteil im tonreichen Horizont vermindert. So dass der Anteil an Lösungsrückstand sehr wahrscheinlich etwas überschätzt wird. Der durch Tonverlagerung erzeugte Fehler kann über die an den Dünnschliffen abgeschätzten Mengenanteile grob herausgerechnet werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl Tonverlagerung als auch Rückstandsakkumulation aus dem Kalkstein an der Entstehung der tonreichen Horizonte beteiligt sind. Lössmaterial ist in allen Böden bis in den tonreichen Horizont mit eingearbeitet, der Anteil schwankt von Pedon zu Pedon. Eine Lessivierung ist ebenfalls in allen Böden, bis auf einen sehr geringmächtigen Boden nachzuweisen. Für die bodensystematische Einordnung der Profile wird vorgeschlagen die tonreichen Horizonte als Bt-Tv bzw. Bv-Tv zu bezeichnen, auch wenn die Tongehalte über 65% liegen, da ein deutlicher Lösseinfluss vorhanden ist. Die Profile können analog als Parabraunerde-Terra fusca oder Braunerde-Terra fusca angesprochen werden, sofern die tonreichen Horizonte innerhalb der ersten 3 dm beginnen.

### Zusammenfassung

Die tonreichen Horizonte sind in unterschiedlichem Ausmaß Mischhorizonte aus Residualton und Löss, wobei der Residualton dominiert. Auch Lessivierungsprozesse haben oft zur Erhöhung des Tongehaltes beigetragen.

### Danksagung

Dieses Projekt wurde von der DFG gefördert (MU 1799/1-2).

### Literatur

- ALAILY, F. (1972): Entstehung von Decklehmen auf Lias  $\alpha$ -Schichtflächen in Südwestdeutschland und deren Veränderung durch Bodenbildung. Dissertation, Universität Hohenheim.
- ALAILY, F. (1984): Heterogene Ausgangsgesteine von Böden. Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, Nr.25. Berlin.
- BLUME, H.-P.; BRÜMMER, G. W.; SCHWERTMANN, U.; HORN, R. et al. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- GÄTH, S. (1987): Böden aus Löss in ihrer hydrologischen differenzierten Gesellschaft in Börde- und Hügellandschaften Südniedersachsens. Dissertation, Universität Göttingen.
- KUBIĚNA, W. (1953): Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. 392 S., Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- STOOPS, G. (2003): Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. Soil Sci. Soc. Am, Madison, Wisconsin, USA.
- THÖLE, R.; MEYER, B. (1979): Bodengenetische und -ökologische Analyse eines Repräsentativ-Areals der Göttinger Muschelkalk-Scholle als Landschaftsökologische Planungsgrundlage. Göttinger Bodenkundliche Berichte, 59.

# Substrat-spezifische Bestimmung des Wassergehaltes aus zero-offset Georadarmessungen

ROLF GERBER<sup>1</sup>, CHRISTIAN ALBRECHT, PETER FELIX-HENNINGSEN

## Einleitung

Im Rahmen der Kartierung der Mächtigkeit und Verbreitung von periglaziären Lagen im Lahn-Dill Bergland (Rheinisches Schiefergebirge, Hessen) mittels Georadar wurden zur korrekten Laufzeit-Tiefen Umwandlung die Wellengeschwindigkeiten einzelner Schichten ermittelt (Gerber et al, 2005). Diese substratspezifischen Geschwindigkeiten korrelieren im Wesentlichen mit dem Wassergehalt der Substrate zum Zeitpunkt der Messungen (Topp, 1980). Daher wurden, analog zu vorangegangenen Untersuchungen auf einem Testfeld (Gerber et al. 2007), substratspezifische Korrelationen zwischen Dielektrizitätszahl und Wassergehalt aufgestellt. Die Messungen wurden dazu an Bodenprofilen aus dem Lahn-Dill Bergland durchgeführt und nicht an aufgeschütteten Substraten auf einem Versuchsfeld. Ziel ist es, diese Korrelationen als regional gültige Kalibrierungen für Georadarmessungen zu nutzen. Dadurch ist es möglich, dass bei bekannter Wellengeschwindigkeit und Bodenart der Wassergehalt einer Schicht bestimmt werden kann bzw. in der Umkehrung des Verfahrens bei bekanntem Wassergehalt und Substrat, die Wellengeschwindigkeit abgeschätzt werden kann.

## Untersuchungsgebiet

Untersuchungsgebiet ist das Dill-Einzugsgebiet welches mit 690 km<sup>2</sup> flächenmäßig den größten Teil des Lahn-Dill Berglandes umfasst. Das Lahn-Dill Bergland ist Teil des südöstlichen Rheinischen Schiefergebirges. Die Mittelgebirgsregion wurde während des Pleistozäns mit Ausnahme der Auenbereiche fast flächendeckend durch periglaziäre Lagen überdeckt. Daher stehen für die Bodenbildung überwiegend pleistozäne, periglaziäre Lagen und holozäne Kolluvien als Substrate zur Verfügung.

## Georadar und bodenkundliche Kartierung

Die Georadar-Messungen im Gelände erfolgten mit einem SIR-2 Georadar-System mit einer 400 MHz Antenne und konstantem Abstand zwischen Sender und Empfänger (zero-offset).

Entlang der 12 Catenen, die Längen von 350 bis 700 m aufweisen, wurden je 3 Bodenprofilen angelegt und nach AG Boden (2005) aufgenommen. Die volumetrischen Wassergehalte wurden mittels TDR sowohl entlang der Catenen (alle 50 m in einer Tiefe von 30-40 cm), als auch als Tiefenprofil in den Bodenröhren gemessen.

## Substrat-spezifische Geschwindigkeitsbestimmungen

Zur exakten Bestimmung der Geschwindigkeiten der elektromagnetischen Wellen in den einzelnen periglaziären Lagen bzw. Substraten sind Kalibrierungen an einzelnen Bodenprofilen notwendig. Dies ermöglicht eine lagenabhängige Zeit-Tiefen-Umrechnung. Zur Durchführung einer Kalibrierung wurde in einem Bodenprofil ein Bohrstock rechtwinklig zur Front der Profilgrube und zur Georadarmessung sowie oberflächenparallel an den jeweiligen Schichtgrenzen eingeschlagen. Weiterhin konnten, natürliche, im Boden bereits vorhandene Reflektoren (z. B. Steine) für eine Hyperbel-Adaption genutzt werden. Die Öffnungsweite der Hyperbel, die durch den Bohrstock oder einen Stein in der Radaraufnahme erzeugt wird, erlaubt über die Anpassung einer Hyperbel (Hyperbel Adaption) die Berechnung der durchschnittlichen Wellengeschwindigkeit für den Bereich oberhalb des Bohrstocks durch

$$v_r = 2 \sqrt{\frac{x_{n-1}^2 - x_0^2}{t_{n-1}^2 - t_0^2}} [m \cdot ns^{-1}] \quad (\text{Daniels, 2004}).$$

Die Bestimmung der Geschwindigkeit wird in verschiedenen Tiefen wiederholt, um für jede Schicht bzw. Lage eine charakteristische Geschwindigkeit zu erhalten.

## Ergebnisse

Aus den Geländeaufnahmen und Laboruntersuchungen konnten mittlere Zusammensetzungen der Substrate für die am häufigsten auftretenden Schichten bestimmt werden (Abb. 1).

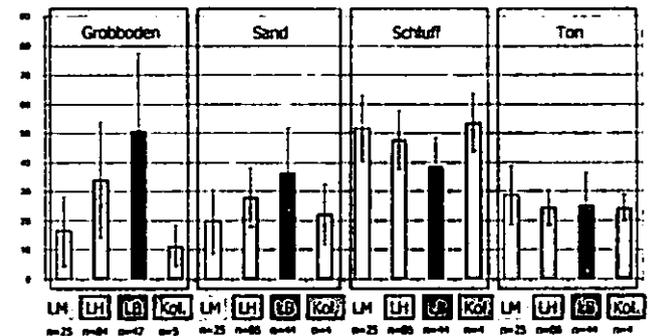


Abb. 1 Mittlerer Anteil an der Gesamtbodenart von Schichten im Lahn-Dill Bergland (LH=Hauptlage, LM=Mittellage, LB=Basislage, Kol.=Kolluvium); ermittelt aus 12 Catenen mit je 3 Bodenprofilen

Die Korrelationen für die einzelnen Messpunkte aus Dielektrizitätszahl und volumetrischem Wassergehalt der jeweiligen Schicht sind, in Anlehnung an Peplinski (1995 a, b), auf der Basis von Exponentialfunktionen erstellt und für Kolluvium und periglaziäre Lagen in Abbildung 2 dargestellt.

<sup>1</sup> Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung  
Heinrich-Buff-Ring 26-32  
35392 Gießen  
rolf.gerber@agrar.uni-giessen.de

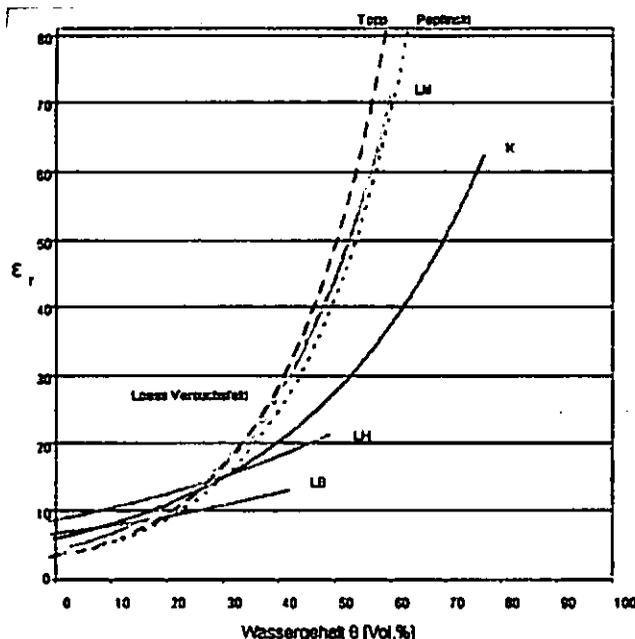


Abb. 2 Korrelation zwischen Dielektrizitätszahl und Wassergehalt für Kolluvien (K) und periglaziäre Lagen (LH, LM, LB) aus substratspezifischen Geschwindigkeitsbestimmungen im Lahn-Dill Bergland; Modelldaten (schwarz gestrichelt) nach Topp (1980) und Peplinski (1995 a, b) sowie Lößlehm aus den Versuchsfeld-Daten (Gerber et al., 2007) als Vergleich (hellgrau gestrichelt).

Die Öffnungsweite der einzelnen Kurven ist am geringsten für die skelettärmste Lage – die Mittellage – und am größten für die Basislage als die Lage mit den im Durchschnitt größten Skelettgehalten. Das Kolluvium weicht davon ab und zeigt eine Funktion mit einer Steigung zwischen LM und LH, obwohl es den geringsten mittleren Skelettgehalt aufweist.

### Bestimmung des Wassergehaltes

Werden die regional- und substrat-spezifischen Funktionen genutzt, so lassen sich aus Georadar-Messungen ohne vorherige Kalibrierung Wassergehalte ableiten (Abb. 3), wenn eine Geschwindigkeitsbestimmung an natürlichen Reflektoren möglich ist.

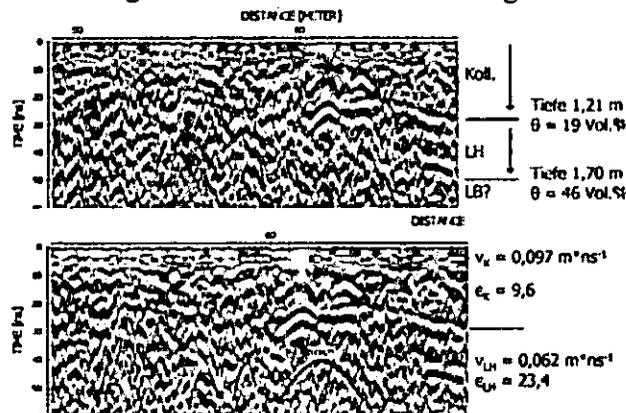


Abb. 3 Ableitung der Wassergehalte für einzelne Schichten in einer Georadar-Messung (oben) mittels Schichtbezogener Hyperbel-Adaption an vorhandenen Reflektoren (unten).

Dabei muss die durch Hyperbel-Adaption ermittelte mittlere Wellengeschwindigkeit für die Substrate bis

zu einer Tiefe umgerechnet werden in eine schichtbezogene Geschwindigkeit. Daraus kann die Dielektrizitätszahl und somit, über die jeweilige Korrelation (Abb. 2), der Wassergehalt abgeschätzt werden.

### Fazit

Dieser Beitrag stellt erste Auswertungen und einen Lösungsansatz zur Bestimmung des Wassergehaltes aus zero-offset Daten vor. Mit den an ungestörten Bodenprofilen gemessenen Dielektrizitätszahlen und Wassergehalten konnten Korrelationen für die einzelnen Substrate erstellt werden. Dadurch besteht die Möglichkeit die Korrelationen auf andere Standorte innerhalb der Region zu übertragen und somit Wassergehalte aus Hyperbel-Adaptionen abzuleiten ohne Bodenprofile anlegen zu müssen. So wird zusätzlich zu den Georadar-Messungen lediglich eine z. B. durch Bohrungen bestimmte Substratansprache benötigt, um den mittleren Wassergehalt einer Schicht zu ermitteln. Sind für eine Schicht allerdings Substrat und Wassergehalt bekannt so kann dieses Verfahren in der Umkehrung des Verfahrens dazu genutzt werden, Wellengeschwindigkeiten für eine Laufzeit-Tiefen Umwandlung abzuschätzen. Die Validierung und Fehlerabschätzung dieser Korrelationen sowie die Entwicklung eines Modells, welches die Komponenten des Bodens (Groboden-Feinboden-Wasser-Luft) berücksichtigt, sind anstehende Schritte, um zu einer Kalibrierungsfunktion für ungestörte Böden zu gelangen.

### Danksagung

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung des SFB 299.

### Literatur

AG BODEN, 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung. Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten, 5. Aufl., 438 S., Hannover.

DANIELS, D. J., 2004. Ground penetrating radar. 2. ed., Institution of Electrical Engineers, London.

GERBER, R., FELIX-HENNINGSSEN, P., BEHRENS, T. & SCHOLTEN, T. 2005. Zerstörungsfreie Kartierung der Mächtigkeit periglaziärer Lagen mittels Georadar. Mitteiln. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 107, 327-328.

GERBER R., SALAT, C., JUNGE, A., FELIX-HENNINGSSEN, P., 2007. GPR-based detection of Pleistocene periglacial slope deposits at a shallow-depth test site. Geoderma 139, 3-4, 346-356.

PEPLINSKI, N. R., ULABY, F. T. AND DOBSON, M. C., 1995a. Dielectric properties of soils in the 0.3–1.3 GHz range, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 33(3), 803–807.

PEPLINSKI, N. R., ULABY, F. T. AND DOBSON, M. C., 1995b. Corrections to "Dielectric properties of soils in the 0.3–1.3 GHz range," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 33(6), 1340.

TOPP, G. C. 1980. Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines. Water Resources Research, 16 (3), S. 574–582.

## Die polnische Bodenschätzung und Möglichkeiten der ökologischen Interpretation ihrer Ergebnisse

Michael Link<sup>1)</sup>, Alojzy Kowalkowski<sup>2)</sup>, Arkadiusz Niewiadomski<sup>3)</sup> und Tamas Harrach<sup>4)</sup>

### Einleitung

Im Gegensatz zu den anderen Staaten des ehemaligen Ostblocks dominierte in der Landwirtschaft Polens der private Sektor. Besonders im ehemaligen polnischen Kernland war und ist die Landwirtschaft überwiegend kleinbäuerlich strukturiert. Mit dem Ziel einer „gerechten Besteuerung“ ordnete die Regierung im Januar 1957 die landesweite Durchführung einer Bodenschätzung an (DOBZAŃSKI & ZAWADZKI 1995 sowie STRZEMSKI et al. 1973).

Die Bonitierung der Acker-, Grünland-, Wald- und Wasserflächen erfolgte flächendeckend von 1956 bis 1967 auf der Basis von „Katasterwirtschaftskarten“ der Gemeindegebiete im Maßstab 1 : 5 000 primär für fiskalische Zwecke.

### Aufbau der polnischen Bodenschätzung

Die polnische landwirtschaftliche Bodenschätzung basiert auf einem abgestuften System. Zur Ermittlung der Bodenbonität wurden im Gelände leicht erkennbare Bodeneigenschaften, u. a. (1) Textur, (2) Bodentyp, (3) Humusstatus, (4) Tiefe des Grundwasserspiegels und (5) Bodenreaktion, erfasst. Die Bodenbonitätsklassen des Ackerlandes wurden wie folgt benannt:

- I beste Ackerböden
- II sehr gute Ackerböden
- IIIa gute Ackerböden
- IIIb gute bis mittlere Ackerböden
- IVa mittlere Ackerböden
- IVb mittlere bis schlechte Ackerböden
- V schlechte (schwache) Ackerböden
- VI sehr schlechte (schwächste) Ackerböden
- VI RZ Böden für (potenzielle) Bewaldung

In einer zweiten Arbeitsphase flossen zusätzliche Standortgegebenheiten ein. Unter Einbeziehung von (1) Bodentyp, (2) Bodenart, (3) physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften, (4) Kulturstufe, (5) Ertragsniveau, (6) Klima, (7) Relief und (8) Bodenfeuchte wurde aus der Bodenbonität die Standortbonität entwickelt. Die Bezeichnung der so generierten Bonitätsklassen lautete ursprünglich „Bodenkomplexe“. Diese kommen jedoch im eigentlichen Sinne „Nutzungseignungsklassen“ gleich. Es erfolgte eine Differenzierung nach Acker- und Grünland, wobei das Ackerland in Flach-

land (Tiefeland u. Hochebenen) sowie Gebirge unterteilt wurde.

Die Benennung der Nutzungseignungsklassen gründete sich auf die anspruchsvollste Kulturpflanze des jeweiligen Standorttyps. Die Nutzungseignungsklassen des Flachlandes wurden z. B. wie folgt bezeichnet:

- 1 sehr gut für Weizen geeignet
- 2 gut für Weizen geeignet
- 3 geringe Eignung für Weizen
- 4 sehr gut für Roggen (Roggen-Kartoffeln) geeignet (sehr geringe Eignung für Weizen)
- 5 gut für Roggen (R.-K.) geeignet
- 6 geringe Eignung für Roggen (R.-K.)
- 7 sehr geringe Eignung für Roggen (R.-K.)
- 8 gute Getreide-Feldfutterbau-Eignung
- 9 geringe Getreide-Feldfutterbau-Eignung

Die Bodenschätzungskarten enthalten als Basisinformation die Flächen der Bodenbonität (Bodenbonitätsklassen werden mit römischen Zahlen gekennzeichnet). Die im zweiten Arbeitsschritt abgegrenzten Flächen der Standortbonität = Nutzungseignungsklassen werden mit arabischen Zahlen benannt. Den Nutzungseignungsklassen folgt jeweils in Form eines Kürzels der Bodentyp bzw. -subtyp sowie die Bodenart in drei Tiefen (50, 100 u. 150 cm unter GOF):

5 *Bw pgmp-plz:pl* bedeutet gut für Roggen geeignete, ausgelaugte sowie saure Braunerde mit der Bodenartenschichtung schluffig, stark lehmiger Sand (0-50 cm) / (normaler) Schluff (50-100 cm) / lockerer Sand (100-150 cm).

7 *Bw pl* – sehr geringe Eignung für Roggen, ausgelaugte, saure Braunerde, lockerer Sand bis 150 cm unter GOF.

### Möglichkeiten einer ökologischen Interpretation der Bodenschätzungsdaten

Die Ertragsfähigkeit des Bodens wird im Wesentlichen über die nutzbare Wasserkapazität (nFK) im Wurzelraum bestimmt. Das Wasserspeichervermögen des Bodens bildet darüber hinaus eine ausschlaggebende Größe für die Bewertung weiterer ökologischer Bodenfunktionen wie das Nitrattrückhaltevermögen, die Grundwasserneubildung und das Arten- und Biotopschutzpotenzial (HARRACH 1998, LINK 2005 sowie SAUER & HARRACH 2000). Die nFK stellt einen besonders wichtigen Parameter für die ökologische Interpretation von Bodenschätzungsdaten dar. Es wäre zu begrüßen, auch für Polen eine bodenfunktionsbezogene Auswertung von Bodenschätzungsdaten durchzuführen. Die vorliegende Untersuchung hat das Ziel, an dem Beispiel einer Altmoränenlandschaft Mittelpolens zu prüfen, ob dies methodisch und praktisch möglich ist.

### Bestimmung der nFKdB

Die nFK des Wurzelraumes kann quantitativ bestimmt, aber auch durch Schätzung mit hoher Treff-

<sup>1)</sup> Justus-Liebig-Universität Gießen, Inst. für Geographie, michael.link@geogr.uni-giessen.de

<sup>2)</sup> EIPOS, Akademia Świętokrzyska, Kielce (Polen)

<sup>3)</sup> Universität Łódź (Polen)

<sup>4)</sup> JLU Gießen, Inst. für Bodenkunde u. Bodenerhaltung

sicherheit ermittelt werden. Zur Ermittlung von nFKdB benötigt man (1) die nFK der einzelnen Bodenhorizonte, die vor allem nach der Körnung geschätzt werden kann, und (2) die Durchwurzelbarkeit der Horizonte (HARRACH et al. 2005).

**Vergleich der Textur nach deutschem und polnischem System**

Die für die polnische Bodenschätzung maßgebliche Korngrößeneinteilung (zugrunde gelegt ist die Systematik der Polnischen Bodenkundlichen Gesellschaft, PTG, aus den 1950er Jahren) weicht stark von der Einteilung nach KA 5 ab (Abb. 1). Es fällt auf, dass bei der PTG-Einteilung der Bereich zwischen 1 und 2 mm der Kornfraktion Kies / Grus zugeordnet wird. Viel schwerer wiegt jedoch, dass die Tonfraktion des PTG-Systems bis an die Grenze zwischen Mittel- und Grobschluff (0,02 mm) reicht. Dies hat zur Folge, dass die deutschen und polnischen Bodenarten nur bedingt vergleichbar sind.

Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (KA 5) 2005	Äquivalentdurchmesser in mm	Polnische Bodenkundliche Gesellschaft (PTG) 1957/1989	Grob- boden (Skellit)
Grobsand	2.0	Kies / Grus (zvir)	Feinboden
	1.0	Grobsand (piasek gruby)	
Mittelsand	0.63	Mittelsand (piasek sredni)	
	0.5	Feinsand (piasek drobny)	
Feinsand	0.25	Grobstaub (pyl gruby)	
	0.2	Feinstaub (pyl drobny)	
Feinstaub	0.125	Grobstaubton (il pytowy gruby)	
Grobschluff	0.1	Feinstaubton (il pytowy drobny)	
	0.063	Feinstaubton (il pytowy drobny)	
Mittelschluff	0.05	Feinstaubton (il pytowy drobny)	
	0.02	Feinstaubton (il pytowy drobny)	
Feinschluff	0.02	Feinstaubton (il pytowy drobny)	
	0.0063	Feinstaubton (il pytowy drobny)	
Ton	0.005	Feinstaubton (il pytowy drobny)	
	0.002	Kolloidalton (il koloidalny)	

Abb. 1: Vergleich der deutschen und polnischen Korngrößeneinteilung

**Beziehung zwischen Nutzungseignung und nFKdB**

In sechs mittelpolnischen Testgebieten haben wir an insgesamt 27 Standorten die nFK des Wurzelraumes nach dem deutschen und nach dem polnischen Ansatz im Gelände geschätzt. Die nFK-Werte für die polnischen Bodenarten wurden primär über die Auswertung von Literaturangaben und – soweit möglich – mittels Angleichung der deutschen und polnischen Bodenarten über einen Übersetzungsschlüssel ermittelt. Die Tiefe des Wurzelraumes wurde für den deutschen und polnischen Ansatz gemeinsam, d. h. einheitlich, abgeschätzt.

Wie Abbildung 2 zeigt, besteht zwischen den polnischen Nutzungseignungsklassen und der nFKdB

sowohl bei der Schätzung nach polnischem ( $R = 0,92^{***}$ ) als auch nach deutschem Ansatz ( $R = 0,93^{***}$ ) eine enge Korrelation.

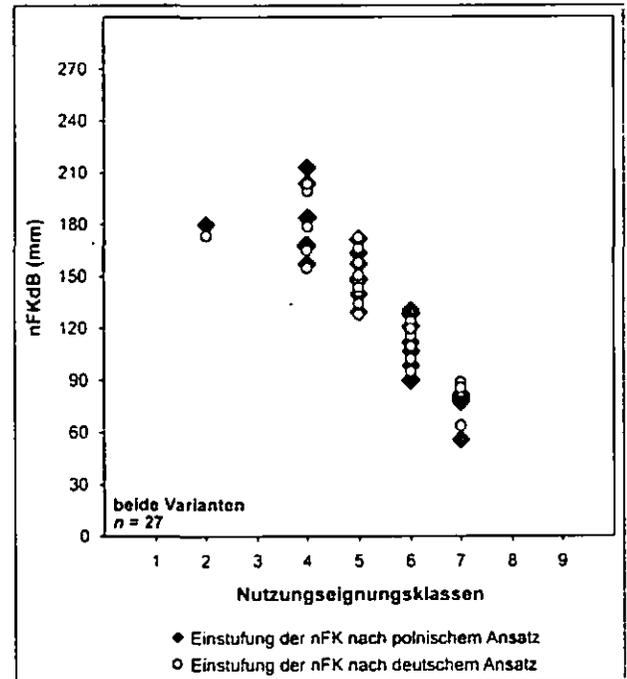


Abb. 2: Beziehung zwischen Nutzungseignung und nFKdB nach polnischem und deutschem Ansatz

**Schlussfolgerung und Ausblick**

Die Klasseneinteilung der polnischen Bodenschätzung korreliert erfreulicherweise mit der nFK des Wurzelraumes. Eine ökologische Interpretation der polnischen Standortbonität ist sowohl methodisch als auch praktisch umsetzbar. Hierfür sollte jedoch die Datenbasis für die nFK der polnischen Bodenarten ergänzt bzw. vervollständigt werden. Außerdem sind die Geländeuntersuchungen auf weitere, verschiedenartige Naturräume auszudehnen.

**Literatur**

DOBZRAŃSKI, B. & S. ZAWADZKI (Hrsg.) (1995): Gleboznawstwo. 3. Aufl. – PWRiL, Warschau, 562 S. u. Anhang.

HARRACH, T. (1998): Nutzung der Bodenschätzungsdaten für nichtsteuerliche Zwecke – Chancen und Grenzen in Mittelgebirgslandschaften. – Mitt. Deutschen Bodenkundl. Ges. 88, S. 265-267, Oldenburg.

HARRACH, T., W. ERNST, B. KEIL & L. SCHRADER (2005): Drei Ansätze zur Standortbewertung landwirtschaftlich genutzter Böden im Amöneburger Becken. – Mitt. Deutschen Bodenkundl. Ges. 105, S. 193-196, Oldenburg.

LINK, M. (2005): Einflussgrößen, Zustand und Möglichkeiten der Sicherung biologischer Vielfalt in der Agrarlandschaft Mitteleuropas. – Treffp. Biolog. Vielf. V, S. 137-143, Bonn.

SAUER, S. & T. HARRACH (2000): Rooting and available water capacity of soils as regulators of ecological soil functions. – Mitt. Deutschen Bodenkundl. Ges. 93, S. 200-203, Oldenburg.

STRZEMSKI, M., J. SIUTA & T. WITEK (1973): Przydatność rolnicza gleb Polski. – PWRiL, Warschau, 284 S.

## Catenare Bodendifferenzierung an einer Buntsandstein-Schichtstufe im Burgwald bei Marburg

Opp, Ch.\* (Marburg) & Gerber, R. \*\* (Gießen)

### Einleitung und Problemstellung

Bodencatenen sind bekannt und als relief-bedingte, räumliche Abfolgen von Böden beschrieben worden, lange bevor der Catena-Begriff durch MILNE (1935) und VAGELER (1940) in die Bodenkunde eingeführt und durch TROLL (1939) und HAASE (1961) auf komplexe landschaftsökologische Wechselwirkungsbeziehungen angewandt wurde (vgl. OPP 1983, 1985, 1993, 2007).

Nach wie vor gibt es jedoch keine Bodenkartenerwerke, welche die catenare Differenzierung in Flächen berücksichtigen. Die mittelmaßstäbige Bodenkarte von Hessen, 1:50 000, umfasst zwar eine differenziertere Kenzeichnung der Böden, einschließlich ihrer Substrate und ihre Vergesellschaftung als vergleichbare Kartenwerke anderer Bundesländer. In Catena-Gefügen angeordnete bzw. verbreitete Böden weist aber auch dieses Kartenwerk nicht auf. So wurden sowohl für das Untersuchungsgebiet i.w.S., den Burgwald, als auch i.e.S., eine Buntsandstein-Schichtstufe am westlichen Burgwaldrand, „Braunerden und Podsol-Braunerden aus 3-6 dm Fließerde (Hauptlage) über Fließschutt (Basislage) mit Sand bis Tonstein (Buntsandstein)“ als mit > 90% Flächendominanz die am meisten verbreiteten Böden ausgewiesen. Da sich am westlichen Burgwaldrand im Forstrevier Münchhausen ein > 150 m langer, konvex-gestreckt-konkav gewölbter Hang an einer Schichtstufe zwischen der Hardeggen- und der Detfurth-Folge befindet, galt es zu untersuchen, welche gesteins- und reliefbedingte Differenzierung und Abwandlung die in der Bodenkarte ausgewiesenen Böden entlang einer Catena aufweisen. Die Untersuchungen ließen sich von der Hypothese leiten, dass es zu einer lateralen Differenzierung und Abwandlung gegenüber der Hochflächen- bzw. Top-Situation der Catena kommen muss.

Diese gründet sich auf

- den unterschiedlichen Gesteinseigenschaften der beiden Folgen des Mittleren Buntsandsteins
- der Schichtung in den periglaziären Lagen,
- den lateralen Bodenbildungsprozessen am Hang, einschließlich der
- kolluvialen Überprägung und der Nutzung (Schneise zur Verhinderung der Waldbrandausbreitung)

### Untersuchungsgebiet und Untersuchungsansatz

Das Untersuchungsgebiet i.w.S. wurde bei KUPFAHL & ANDRES (1983) sowie OPP (2005) beschrieben und im Rahmen einer DBG-Exkursion während der 2005er Tagung in Marburg vorgestellt.

Von der Hochfläche bis zum Hangfuß wurden insgesamt 7 Bodenschürfe angelegt und nach AG BODEN (1994, 2005) aufgenommen. Die Laboranalysen wurden in Anlehnung an SCHLICHTING, BLUME & STAHR (1995) durchgeführt. Die Sondierung mit dem Pürckhauer-Bohrstock zur Erfassung der Übergänge zwischen den Bodenprofilen erwies sich wegen des zum Teil beträchtlichen Skelettgehalts und dem Gehalt an porösen, trockenen Sand als schlecht geeignet. Um trotzdem ein Bild von der Tiefenausdehnung der aufgenommenen Schichten zu erhalten, wurde die Catena mit Georadar (Antennenfrequenz 400 MHz) detektiert (vgl. GERBER et al., 2005, 2007)

### Ergebnisse

Folgende Böden wurden von der Hochfläche bis zum Hangfuß in der Nähe eines Vorfluters aufgenommen:

- 1) BB-SS: pfl LH-(n)s/c-l(^sa)
- 2) BB-PP: pfl LH-(n)s/pfl LB-(n)s/c-s(^sa)
- 3) YK-PP: uk-s+uk-(S)o/PP: pfl LH-s/pfl LM-s(^sa)
- 4) BB: pfl LH-(n)s/pfl LB-(n)s/c-s(^sa)
- 5) BB-PP: pfl LH(n)s (Asc)/LB(n)s//c-s(^sa)
- 6) BBI-BB: vu-Asc/c-(n)s(^sa)
- 7) p2BBn: uk-s(^sa,Lo)+pfl LH-s(^sa,Lo)/SS: pfl LM-l/pfl LB-l/c-s(^sa)

Für die folgende Ergebnisdarstellung werden aus Platzgründen lediglich die Böden **2 (Oberhang)**, **3 (Mittelhang)** und **5 (Unterhang)**, welche sich direkt am Steilhang befinden, berücksichtigt.

Bei **Profil 2** handelt es sich um einen Braunerde-Podsol aus schuttführendem Fließsand der Hauptlage aus Sandstein (Buntsandstein) über schuttführendem Fließsand der Basislage über Verwitterungssand aus Sandstein (Buntsandstein) der Hardeggenfolge des  $s_m$ , mit folgender Horizontabfolge: L+Of/Ah(Oh)/Ahe/Ahe-B(f)v/B(f)v(Bs)/II Bs/III imCv1/imCv2. Damit weist das Oberhang-Profil eine typische Schicht- und Horizontkonstellation auf. Die Textur des Bodens wird durch Mittel (mS)- und Feinsand (fS) dominiert, wobei mit der Tiefe eine leichte mS-Abnahme und fS-Zunahme zu verzeichnen sind. Der durchschnittliche Sandgehalt beträgt 80,1%, Ton 6,0%. Die pH-Werte (KCl) sind stark sauer. Sie schwanken zwischen 2,9 und 3,4 in den O- und A-Horizonten und liegen um 4,0 in den B- und C-Horizonten. Die Kationenbelegung des sanddominierten Profils ist sehr gering, wobei die „höchsten“ Werte beim K, Mg und Ca jeweils im Ah(Oh)-Horizont, beim Na im Cv1-Horizont auftreten. Die höchsten  $KAK_{pot}$ -Werte treten im Ah(Oh)-Horizont, die höchsten C- und N-Werte im Oberboden auf. Zwischen 0 und 65 cm Tiefe schwankt das C/N-Verhältnis zwischen 23 und 28.

**Profil 3** stellt einen Kolluvisol-Podsol aus Kolluvialsand und Kolluvialgrobhumus über Podsol aus Fließsand der Hauptlage aus Sandstein (Buntsandstein) über Fließsand der Mittellage und Basislagenrest, über Sandsteinbank der Hardeggenfolge des  $s_m$  dar, mit folgender Horizontabfolge: L+Of+Oh/M-Ae/II M-Ahe (Of,Oh)/ III Ae1/Ae2/IV fBh-Ahe/fAhe-Bh/

\* opp@staff.uni-marburg.de

\*\*rolf.gerber@agr.uni-giessen.de

V fBhs-imCv/imCv. Über die gesamte Profiltiefe dominiert an diesem Profil die fS-Fraktion mit Werten zwischen 41,4 und 49,1%. Der mS-Anteil schwankt zwischen 28,2 und 40,0%. Mit Ausnahme des fAhe-Bh-Horizontes (13,3) treten Tongehalte unter 6% auf. Mit der Vielschichtigkeit geht eine gestufte Zunahme der pH(KCl)-Werte von 3,3 auf 3,9 mit der Tiefe einher. Die höchste Kationenbelegung liegt in den kolluvialen Auflagen. Die Unterschiede in der Kationenbelegung zwischen den Auflagehorizonten und den Horizonten im Liegenden sind bei den einwertigen Kationen deutlicher ausgeprägt. Erstere weisen ebenfalls die relativ höchsten  $KAK_{pot}$ , C-, N- und C/N-Werte auf.

**Profil 5** repräsentiert einen schwach verbrauchten Lockerbraunerde-Podsol aus schuttführendem Fließsand (Sandstein, Vulkanaschen der Laacher See-Tephra) der Hauptlage über schuttführendem Fließsand der Basislage über tiefem Verwitterungssand der Detfurthfolge (Mittl. Buntsandstein) mit folgender Horizontabfolge:

L+Of-Oh/Ahe1/Ahe2/II Bh(Bfv)/Bs/III Bs-ilCv/ilCv1/IV ilCv2. Es wird ebenfalls durch die mS- und fS-Fraktionen dominiert, die in etwa in gleichen Anteilen zwischen jeweils 38 und 49% vertreten sind. Die pH-Werte liegen im Durchschnitt zwischen 3,3 und 4,4 etwas höher als an den zuvor beschriebenen Profilen. Die höchste Na- und K-Belegung tritt in den C-Horizonten, die höchste Mg- und Ca-Belegung im Oberboden auf. Die  $KAK_{pot}$  hat im Oberboden ihr Maximum; C-Werte sind dort hoch, wo sie vor Auswaschung (durch Überdeckung) geschützt sind.

Im Vergleich der drei Profile im Kontext der *Catena* können hinsichtlich der Tiefenverteilung und der lateralen Differenzierung der Korngrößen folgende Regeln festgestellt werden: Der Sandgehalt nimmt am Oberhang und am Unterhang mit der Tiefe sowie lateral in den Oberboden- und Unterbodenhorizonten sowie in den Verwitterungsschichten vom Oberhang zum Unterhang zu. Der Schluff- und der Tongehalt nehmen lateral generell ab; erhöht sind sie aber in Anreicherungshorizonten. Eine auffällige und seltsame Erscheinung ist die große Mächtigkeit von Ahe-Horizonten am Mittelhangprofil, an dem zugleich Bs-Horizonte fehlen. Da unterhalb, am Profil 4 und 5, mächtige Bs-Horizonte ausgebildet sind, konnten an diesem Schichtstufensteilhang laterale Podsolierungsprozesse nachgewiesen werden. Die Vielschichtigkeit und kolluviale Überprägung am Mittelhang - trotz Hangneigungen zwischen 30° und 35° - konnten zunächst nicht erklärt werden. Nachdem Bohrstocksondierungen zwischen den Profilen wegen des trockenen und porösen Substrats sich als nicht geeignet erwiesen, dieses Phänomen aufzuklären, wurden an Teilen der Hochfläche (ab Profil 1) und am Steilhang (bis einschließlich Profil 5) Georadarmessungen durchgeführt. Die Witterungs-, Sand-, Poren- und Steilhang-bedingten äußerst geringen Bodenfeuchtegehalte (< 5M%) während der Geora-

darmessung gewährleisteten Eindringtiefen bis über 2,60 m und eine gute Qualität der Aufnahmen. Aus den Georadar-Aufnahmen konnte die Oberkante des festen Sandsteins und somit die Mächtigkeit der Bedeckung durch die Lockersubstrate entlang der Catena bestimmt werden. Weiterhin konnten die Mächtigkeiten der periglaziären Haupt- und Basislagen visualisiert werden. Die festen Sandsteinbänke zeigten sich fast über den gesamten Steilhang als deutlich gestuft. Durch diesen Sachverhalt konnte nachgewiesen werden, dass die Stufung des Untergrundes verantwortlich für die bedeutende Sedimentakkumulation auf den Stufenflächen und die dort mächtigen Ahe-Horizonte ist.

## Literatur

- AG Boden (1994, 2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. 4./5. Aufl. Hannover: 392/438 S.
- Gerber, R., Felix-Henningsen, P., Behrens, T. & Scholten, T. (2005): Zerstörungsfreie Kartierung der Mächtigkeit periglaziärer Lagen mittels Georadar. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 107, 327-328.
- Gerber, R., Salat, C., Junge, A., Felix-Henningsen, P. (2007): GPR-based detection of Pleistocene periglacial slope deposits at a shallow-depth test site. *Geoderma*, 139, 3-4, 346-356.
- Haase, G. (1961): Hanggestaltung und ökologische Differenzierung nach dem Catena-Prinzip. Eine Untersuchung am Beispiel des Nordwest-Lausitzer Berglandes. *Peterm. Geogr. Mitt.* 105, 1: 1-8.
- Kupfahl, H.-G. & W. Andres (1983): Die geologische und geomorphologische Entwicklung des Burgwaldes. *Allgemeine Forstzeitschrift* 35: 876-879.
- Milne, G. (1935): Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African Soils. *Bodenkundliche Forschungen* 4: 183-198.
- Opp, Ch. (1982): Zur Entwicklung der Catena-Konzeption unter besonderer Berücksichtigung der Catena-Prozesse. *Diss. Math.-Nat. Fak., Univ. Halle-Wittenberg*.
- Opp, Ch. (1983): Eine Diskussion zum Catena-Begriff. *Hallesches. Jb. F. Geowiss.* 8: 75-81.
- Opp, Ch. (1985): Bemerkungen zur Catena-Konzeption unter besonderer Berücksichtigung der eine Catena ausbildenden Prozesse. *Peterm. Geogr. Mitt.* 125, 1: 25-32.
- Opp, Ch. (1993): Zur Entwicklung der landschaftsökologischen Forschung in Deutschland, dargestellt unter besonderer Berücksichtigung geowissenschaftlicher Aspekte und der Entwicklung der Catena-Konzeption. *Z. geol. Wiss.* 21, 5/6, 677-684.
- Opp, Ch. (2005): Bodenentwicklung und Bodenvergesellschaftung auf Buntsandstein im Burgwald. *Exkursionsführer, Mitt. DBG* 105: 178-181.
- Opp, Ch. (2007): Development of landscape ecology in Germany - Basics, examples, perspectives. In: University of Warsaw (Ed.): *The Role of landscape studies for sustainable development*. Warsaw 2007, 167-179.
- Schlichting, E., Blume, H.-P., & K. Stahr (1995): *Bodenkundliches Praktikum*. Hamburg.
- Troll, C. (1939): Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. *Erdkundliches Wissen* 12: 241-298.
- Vageler, Paul (1940): Die Böden Westafrika vom Standpunkt der Catena-Methode. In: *Gruppe Deutscher Kolonialwirtschaftlicher Unternehmungen*, Jg. 2, S. 69-107.

## **Die neue WRB: Änderungen und Anwendungen**

Peter Schad<sup>1</sup>

### **Einleitung**

Auf dem Bodenkundlichen Weltkongress 2006 in Philadelphia wurde die 2. Auflage der Internationalen Bodenklassifikation World Reference Base for Soil Resources (WRB) vorgestellt. Herausgeber ist die Arbeitsgruppe WRB der Internationalen Bodenkundlichen Union (IUSS) unter Leitung von Erika Michéli (Gödöllő, Ungarn), Peter Schad (Freising) und Otto Spaargaren (Wageningen, Niederlande). Sie ist bei der FAO erschienen (IUSS Working Group WRB, 2006) und kann dort heruntergeladen werden:

<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsr103e.pdf>

Eine korrigierte Fassung aus dem Jahr 2007 wird in Kürze auf der homepage der FAO eingestellt. Eine deutsche Übersetzung, die von P. Schad erstellt wurde, ist demnächst bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe erhältlich.

### **Die Geschichte der WRB**

Die WRB geht einerseits zurück auf die Legende zur Weltbodenkarte der FAO aus dem Jahre 1974 sowie auf deren revidierte Fassung von 1988. Andererseits basiert sie auf den Vorschlägen, welche die Arbeitsgruppe International Reference Base for Soil Classification (IRB) der damaligen Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft (ISSS) in den Jahren 1982 und 1990 gemacht hat. Auf dem Bodenkundlichen Weltkongress 1998 in Montpellier wurde dann die 1. Auflage der WRB veröffentlicht und sogleich sowohl von der ISSS als auch von der FAO als deren jeweiliges Bodenklassifikationssystem anerkannt.

### **Der Zweck der WRB**

Die WRB will eine weltweite gemeinsame Sprache zur Bodenklassifikation sein. Bodenkundler aus aller Welt klassifizieren ihre Böden zweimal, zum einen gemäß ihrem nationalen System (sofern vorhanden), und zum anderen gemäß der WRB. Vor einer einfachen Übersetzung der Namen von Bodentypen vom einen System ins andere kann nicht genug gewarnt werden. Zu unterschiedlich sind die Systeme im Aufbau und bei ihren Grenzwerten. Daher ist ein Rückgriff auf zumindest einige Bodenmerkmale nötig, ehe ein Boden in einem anderen System benannt werden kann.

### **Die Struktur der WRB**

Es gibt zwei taxonomische Ebenen, die Reference Soil Groups (RSGs) und die Second Level Units. Mit Hilfe eines Schlüssels wird ein Boden einer der 32 RSGs zugeordnet. Die Namen der Second Level Units werden gebildet, indem den Namen der RSGs Adjektive als Präfix- und Suffix-Qualifier hinzugefügt werden. Die derzeit 179 Qualifier sind in einer gemeinsamen Liste definiert. Einige von ihnen können mit vielen, andere nur mit wenigen RSGs kombiniert werden. Zu jeder RSG gibt es Listen der zugelassenen Präfix- und Suffix-Qualifier. Zur korrekten Klassifikation eines bestimmten Bodens müssen aus den beiden zugehörigen Listen alle zutreffenden Präfix- und Suffix-Qualifier dem Namen der RSG hinzugefügt werden. Die meisten Böden benötigen zu ihrer Klassifikation mehrere Präfix- und mehrere Suffix-Qualifier. Somit gibt es mehrere Tausend Kombinationsmöglichkeiten von RSGs und Qualifiern, weshalb die aus der FAO-Legende geläufigen Bodentypen mit nur einem Qualifier (z.B. Dystric Cambisol) der Vergangenheit angehören. Grundlage der Definitionen sowohl der RSGs im Schlüssel als auch der Qualifier sind diagnostische Horizonte, diagnostische Eigenschaften und diagnostische Materialien.

### **Die Neuerungen des Jahres 2006**

Durch Einführung der Technosole und Stagnosole wurde die Zahl der RSGs auf 32 erhöht.

Zu den Technosolen gehören Böden aus technogenen Substraten ohne fortgeschrittene Bodenentwicklung. Sie gliedern im Schlüssel nach Histosolen und Anthrosolen aus. Ihre

---

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Bodenkunde  
Wissenschaftszentrum Weihenstephan  
für Ernährung, Landnutzung und Umwelt  
Technische Universität München  
85350 Freising-Weihenstephan  
schad@wzw.tum.de

Definition ist auf zwei diagnostische Materialien gestützt, die Artefakte und das Technische Festgestein. Unter Artefakten versteht man zum einen vom Menschen hergestellte oder stark veränderte Substanzen (z.B. Ziegelsteine, Kunststoffe, Glas) und zum anderen vom Menschen aus der Tiefe an die Oberfläche gebrachte Materialien (z.B. Rohöl, Pflastersteine). Technisches Festgestein ist ein festes Material, das von einem industriellen Prozess herrührt (z.B. Beton, Asphalt). Ein Boden ist ein Technosol, wenn eine der drei folgenden Bedingungen erfüllt ist:

1. in den obersten 100 cm unter der Bodenoberfläche oder bis zu kontinuierlichem Fels oder einer verhärteten oder verkitteten Lage mindestens 20 Volumenprozent (gewichteter Mittelwert) Artefakte; oder
2. eine kontinuierliche, sehr langsam oder gar nicht permeable, künstliche Geomembran beliebiger Mächtigkeit, die innerhalb von 100 cm unter der Bodenoberfläche beginnt; oder
3. technisches Festgestein, das innerhalb von 5 cm unter der Bodenoberfläche beginnt und mindestens 95 Prozent der horizontalen Bodenfläche einnimmt.

Breiten Raum in der aktuellen Diskussion nimmt die Frage ein, wie die Technosole tatsächlich auf Böden ohne fortgeschrittene Pedogenese beschränkt werden können. Hier werden wohl in der nächsten Auflage der WRB zusätzliche Ausschlusskriterien definiert.

Böden mit Stauwasser waren bislang über verschiedene RSGs verteilt. Nur im Falle der Planosole, welche durch Stauwassermerkmale in Verbindung mit einer abrupten Tongehaltszunahme definiert waren (und sind), war Stauwassereinfluss ein Kriterium für die Ausscheidung einer RSG. Zur einheitlicheren Erfassung der Stauwasserböden ohne solche abrupte Tongehaltszunahme wurden nun die Stagnosole eingeführt.

Etwas ungewohnt für deutsche Bodenkundler ist allerdings die Priorität der Albeluvisole sowohl vor den Planosolen als auch vor den Stagnosolen. Albeluvisole sind Böden mit einem diagnostischen argic Horizont (Tonanreicherungshorizont), in den von oben zungenförmig der Eluvialhorizont hineingreift. Ausmaß und Merkmale dieser Zungen sind in der diagnostischen Eigenschaft „albeluvisol“

definiert. Zu den Albeluvisolen gehören u.a. diejenigen unserer Fahlerden, deren Bt+Al die Definition des albeluvisol erfüllt. Der Name „Albeluvisol“ ist allerdings etwas unbefriedigend, da er ja auf das Kennmerkmal der Albeluvisole, die Zungen, überhaupt nicht Bezug nimmt. Viele Albeluvisole haben einen markanten Stauwassereinfluss, so dass man sie auch zu den Stagnosolen stellen könnte. Der WRB-Schlüssel gibt in diesem Fall jedoch den Albeluvisolen Priorität. Zur Klarstellung sei noch betont, dass das albeluvisol für die obersten 10 cm des argic Horizont definiert ist. Die in Sd-Horizonten auftretende Marmorierung, die in größerer Tiefe manchmal auch den Eindruck von Zungen vermitteln kann, ist hierfür nicht relevant.

Neben der Einführung zweier neuer RSGs beinhaltet die 2. Auflage noch zahlreiche weitere Neuerungen. Hierzu gehören die Einführung vieler neuer Qualifier sowie deren schon erwähnte Aufteilung in Präfix- und Suffix-Qualifier. Welche Qualifier Präfixe und welche Suffixe sind, ist allerdings nicht unumstritten geblieben. Hier wird in der 3. Auflage der WRB mit Änderungen zu rechnen sein. Fast alle Definitionen der WRB wurden stark überarbeitet und dabei präzisiert und konkretisiert. Die WRB enthält nun auch einen kleinen Anhang, in dem die für die Klassifikation relevanten Labormethoden kurz beschrieben sind. Gleichzeitig mit der WRB kamen 2006 bei der FAO auch neue Guidelines for Soil Description heraus (FAO, 2006). WRB und Guidelines sind so aufeinander abgestimmt, dass eine Verwendung der Guidelines die Erhebung aller für eine WRB-Klassifikation erforderlichen Geländeparameter sicherstellt.

## Literatur

FAO (2006): Guidelines for Soil Description. 4th edition. FAO, Rom.

IUSS Working Group WRB (2006): World Reference Base for Soil Resources 2006. World Soil Resources Reports 103. FAO, Rom.

# Großmaßstäbige Bodenfunktionsbewertung im Rahmen der UVU zur Fahrrinnen- anpassung der Tideelbe

S. Schwank, K. Grabowsky & A. Grönröft

## 1 Einleitung

Nach §2 Abs. 1 UVPG sind die Auswirkungen einer Fahrrinnenanpassung der Tideelbe an die Containerschifffahrt auch hinsichtlich des Schutzgutes Boden zu prüfen. Im Auftrag der Träger des Vorhabens erfolgte 2004 – 2006 die Erstellung eines Gutachtens zum Schutzgut Boden am IfB Hamburg. Im Rahmen der Bodenfunktionsbewertung wurde ein angepasstes Hamburger Verfahren (HOCHFELD et al. 2003) angewendet, das nachfolgend hinsichtlich der Methodik sowie der Anwendbarkeit in Grundzügen vorgestellt wird.

## 2 Geplante Maßnahme

Im Zuge der Maßnahme ist vorgesehen, die Fahrrinne zwischen dem Hamburger Hafen und der Außenelbe um 0,5 – 1,8m zu vertiefen wie auch seitlich zu verbreitern. Dabei fallen insgesamt ca. 38 Mio m<sup>3</sup> Baggergut an, die überwiegend innerhalb des Gewässers abgelagert und nur zum geringen Teil landverbracht werden. Bei den deponierten Sedimenten handelt es sich neben geogen anstehendem Klei und Geschiebemergel überwiegend um absolut gering belastete sandige Sedimente.

Die mit der Fahrrinnenanpassung verbundenen Änderungen des hydrodynamischen Systems der Tideelbe führen zu Änderungen der Tidekennwerte sowie der Strömungsgeschwindigkeiten von Flut- und Ebbströmung.

## 3 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets

Das Untersuchungsgebiet (UG) umfasst die potentiell betroffenen Deichvorländer der Tideelbe bis zur Staustufe Geesthacht sowie ihre Nebenflüsse, soweit diese tidebeeinflusst sind. Hinsichtlich der Abgrenzung des Schutzgutes Boden gegenüber dem Schutzgut Wasser, Teilbereich Sedimente, wurden vegetationsbestandene Wattböden in den Betrachtungsrahmen miteinbezogen.

## 4 Auswirkungen auf das Schutzgut Boden

Direkte Auswirkungen auf Böden erfolgen in Form von Überdeckung mit Baggergut im Uferbereich sowie auf bestehenden Altpflüfeldern.

Indirekte Auswirkungen resultieren aus Änderungen der Überflutungshäufigkeit, Grundwasserdynamik, der Erosions- und Sedimentationsdynamik im Deichvorland sowie aus der Verschiebung der Brackwassergrenze stromauf.

## 5 Methodik

### 5.1 Anforderungen an das Untersuchungsverfahren

Die Untersuchung war ausschließlich anhand bereits bei Ämtern und Institutionen vorliegenden digitalen (Boden-) Daten durchzuführen. Das zu entwickelnde GIS-Datenmodell hatte dabei insbesondere im Uferbereich eine hohe Auflösung zu erreichen, um auch kleinräumig flächenscharfe Prognoseaussagen treffen zu können.

## 5.2 GIS-Datenmodell

### a) Geometrie

Die Datenverarbeitung wurde unter ArcMap (ESRI 2005) durchgeführt. Als digitale Kartengrundlage wurde eine bereits 1995 aus den amtlichen BK25 erstellte Digitale Bodenkarte 1 : 25.000 (MIEHLICH et al. 1997) zugrunde gelegt, die bzgl. folgender Punkte aktualisiert wurde:

- Klassifikatorische Anpassung der Bodeneinheiten gem. AG BODEN 2005 (u.a. Strände, Roh-, Kalkmarschen, Salinität).
- Ergänzung weiterer Geometrien: zusätzliche Bodeneinheiten nach BÜK50, (Gruppen- u. Grabenstruktur, Nebenflüsse) nach DBWK2, Archäolog. Denkmäler (Wurten).
- Aktualisierung der MTHW und MTNW-Linie im Maßstab 1 : 2.000 (Grundlage: Einmessung der aktuellen MTHW-Linie im 10-jährigen Mittel sowie aktuelle Peilungen).

Die aktualisierte Digitale Bodenkarte weist 25 Bodensubtypen aus und differenziert diese weiter nach:

- Körnungsklassen (3 Klassen)
- Grundwasserstufe (3 Klassen)
- Lokal auftretenden Sonderformen,

so dass insgesamt 62 Bodenvarietäten abgebildet werden.

### b) Attributierung

Die Attributierung der Geometrien erfolgte durch Mittelung der für die betreffenden Flächen vorliegenden bewertungsrelevanten Profildaten, wobei diese zunächst auf Repräsentativität geprüft wurden. Die auftretenden Bodeneinheiten werden insgesamt durch 43 Leitprofile charakterisiert (Die Salinität blieb bei der Bildung der Referenzprofile unberücksichtigt)

Die zugrunde liegende Datenbasis umfasst insgesamt Profildaten von 240 Profilaufnahmen sowie 22 Oberbodenproben (1.584 Datensätze). Hieraus ergibt sich eine mittlere Dichte von etwa 1,3 Bohrpunkten/ha. Diese wird für ein Bodenbewertungsverfahren als ausreichend erachtet, da Bodenlandschaften der Marsch über weite Bereiche einen homogenen Bodenaufbau aufweisen. Übergänge zu benachbarten Einheiten erfolgen in der Regel fließend

Weitere bewertungsrelevante Daten (z.B. Nutzung, Natürlichkeit) wurden durch Verschneiden mit der Biotoptypkartierung in das Datenmodell integriert, so dass das Datenmodell einen Maßstab von 1 : 5.000 erreicht.

## 5.3 Verfahrensentwicklung u. -Anpassung

Die Bewertung der Böden im UG erfolgte mit Hilfe eines angepassten Hamburger Verfahrens zur Bodenfunktionsbewertung (HOCHFELD et al. 2003) unter Berücksichtigung des Leitbilds für den Untersuchungsraum. Demnach wird das UG als eine naturnahe Landschaft verstanden, die durch Kulturtätigkeit des Menschen geprägt ist. Dabei handelt es sich vor allem um Veränderungen des Bodenwasserhaushalts durch Anlage eines Gruppensystems und Entwässerung.

### a) Bewertete Bodenfunktionen

Das Leitbild orientiert sich an den für einen intakten Naturraum grundlegenden Funktionen Dabei handelt es sich vor allem um die Lebensraumfunktion (LRF), die Archivfunktion (AF), die Funktion als Bestandteil des Naturhaushalts

(BNH) sowie um die Funktion als Abbau- Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen (AAA). Die Nutzungsfunktion der Böden für die land- und forstwirtschaftliche Produktion ist vor dem Hintergrund des Leitbilds von nachrangiger Bedeutung und wurde nicht bewertet. Im Einzelnen wurden folgende Teilfunktionen unter Berücksichtigung der angegebenen Parameter bearbeitet:

**LRF1: Lebensgrundlage für den Menschen**

Grundlage der Einstufung sind die Vorsorge- und Prüfwerte nach BBodSchV. Da die Schadstoffbelastung der Deichvorländer der Tidelse unterhalb des Hamburger Hafens eine Verdünnungsreihe in Richtung Nordsee darstellt, erfolgte die Bewertung von LRF1 abschnittsweise (s. Abschnitt 1) sowie für die einzelnen Körnungsklassen (s. Abschnitt 5.2) getrennt. Für vegetationsbestandene Wattböden war dabei die Belastung der rezenten Elbsedimente maßgeblich.

**LRF2: Lebensgrundlage für Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen.**

Die Einstufung erfolgt nach der Seltenheit der Standorteigenschaften (Feuchte- und Nährstoffsituation, Bodenreaktion) sowie nach der Naturnähe (Biotoptyp). Bei der Integration zu LRF ist die schlechtere Einstufung der einzelnen Teilfunktionen maßgeblich.

**BNH1: Bestandteil im Wasserkreislauf**

**BNH2: Bestandteil im Nährstoffkreislauf**

Einstufung der BNH-Einzelfunktionen erfolgt nach Biotoptyp. Die Gesamteinstufung von BNH entspricht dem gerundeten arithmetischen Mittel

**AAA1: Filter- und Puffereigenschaften für Schwermetalle**

**AAA2: Filter- und Puffereigenschaften für organische Schadstoffe**

**AAA3: Abbaumedium für organische Schadstoffe**

**AAA4: Pufferung von Säuren**

Grundlage der Einstufung der Teilfunktionen AAA1 bis AAA4 erfolgt nach pH, Humusgehalt, Bodenart, Horizontsymbol, -lage, -mächtigkeit, Rohdichte, Kalkgehalt. Die Gesamteinstufung AAA entspricht dem gerundeten arithmetischen Mittel der einzelnen Teilfunktionen.

**AF1: Archiv der Naturgeschichte**

Die Bewertung erfolgt nach der Seltenheit der natürlichen Bodentypen im Untersuchungsgebiet (Flächenanteile). Anthropogene Böden wurden nicht bewertet.

**AF2: Archiv der Kulturgeschichte**

Die Bewertung erfolgt anhand der Lage zu Bereichen ehemaliger Kulturtätigkeit (Deiche, Wurtten, archäologische Fundstätten) und anhand des Erhaltungszustands der charakteristischen Beetstrukturen.

Die Einstufung der Funktion AF entspricht der besseren Einstufung der einzelnen Teilfunktionen.

**b) Ableitung von Schutztyp und Bodenwertstufe**

Die Einzelfunktionen werden dem Leitbild entsprechend unter besonderer Berücksichtigung der Lebensraum- und der Archivfunktion bewertet. Je nach wertbestimmender Funktion erfolgt die Einstufung in verschiedene Schutztypen und Gesamtwertstufen (s. Tab.1).

**Tab. 1: Ableitung von Schutztypen und Wertstufen**

Boden-Wertstufe	Schutztyp	Wertstufen der integrierten Bodenfunktionen			
		LRF	AF	AAA	BNH
5	5a	-	5	-	-
	5b	5	-	-	-
4	4a	4	-	-	-
	4b	-	4	-	-
3	3a	3	-	-	-
	3b	-	3	-	-
2	2a	-	-	5 oder 4	-
	2b	-	-	-	5 oder 4
1	1	-	-	-	-

(Wertstufe 5 = beste Einstufung)

**6 Ergebnisse**

Das gewählte Verfahren zeichnet sich bei der Beurteilung maßnahmenbedingter Auswirkungen auf die Böden durch eine hohe Sensitivität aus, die bei der Darstellung des Ist-Zustands hoch auflösende und plausible Ergebnisse liefert.

Eine direkte Auswirkung auf die Böden stellt die Ablagerung von Baggergut auf semiterrestrische Böden und vegetationsbestandene Wattböden dar. Die Änderungen der Bodenfunktionen und ihrer Wertigkeiten werden zuverlässig und nachvollziehbar abgebildet.

Indirekte Auswirkungen auf die Böden durch Änderungen der Hydrodynamik sind gradueller Natur und haben keine Auswirkungen auf die Bodenwertstufen.

Eine Ausnahme stellt die maßnahmebedingte Zunahme der Ufererosion dar, wobei die hier auftretenden irreversiblen Boden- und Wertverluste quantifiziert werden konnten.

**Abkürzungen**

BÜK50: Bodenübersichtskarte Niedersachsen 1 : 50.000

DBWK2: Deutsche Bundeswasserstrassenkarte 1 : 2.000

**Quellen**

AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl., Schweizerbart, Stuttgart.

BBodSchV [1999]: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, BGBl I 1999, 1554, geändert d. Art. 2 V v. 23.12.2004.

ESRI – Environmental Systems Research Institute (2005): ArcViewGIS9.2, deutsch.

Hochfeld, B., Gröngröft, A. & Miehlich, G (2003): Großmaßstäbige Bodenfunktionsbewertung für Hamburger Böden. Hrsg.: Behörde f. Gesundheit und Umwelt Hamburg.

Miehlich, G.; Kiene, A.; Gröngröft, A.; Neuschmidt, O.; Franke, S. & Graack, G. (1997): Umweltverträglichkeitsuntersuchung zur Anpassung der Fahrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt. Materialbd. 5: Fachgutachten Schutzgut Boden. Unveröff. Gutachten an das WSA Hamburg und die Wirtschaftsbehörde Hamburg.

**MITTEILUNGEN**  
**DER**  
**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN**  
**GESELLSCHAFT**

**Referate, Poster Kommission VI**

Band 110

Heft 2

2007



## 18 Jahre Wasserhaushaltsuntersuchungen auf den Testfeldern der Deponie Hamburg-Georgswerder

Klaus Berger, Stefan Melchior,  
Volker Sokollek & Bernd Steinert

### Einleitung

Mehrschichtige Abdichtungssysteme sind Stand der Technik für die Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten. Ihr Wasserhaushalt und ihre Wirksamkeit über lange Zeiträume unter dem Klima des Standorts sind wichtige Kriterien für den Entwurf. Seit 1988 wird daher in mehreren Forschungsvorhaben am IfB sowie im Rahmen der Überwachung der Deponie Georgswerder durch die BSU an mehreren Großlysimetern (Testfelder) der Wasserhaushalt unterschiedlich aufgebauter Abdichtungssysteme im Feldmaßstab in unterschiedlichem Umfang und mit unterschiedlicher Dauer gemessen.

### Material und Methoden

In die Obere Abdeckung der Deponie Georgswerder wurden 1987 sechs Testfelder integriert (Abb. 1, 2). Jedes Feld ist 50 m in Gefällerrichtung lang und 10 m breit, drei sind 4 % geneigt, drei 20 %. Alle Felder haben eine Rekultivierungsschicht mit einer Grünlandvegetation (einheitlich bis 1995) und darunter eine Dränschicht. Drei Dichtungstypen werden untersucht: a) bindige mineralische Dichtschicht (BMD, Testfelder F1, S1); b) Kombinationsdichtung mit einer Kunststoffdichtungsbahn aus HDPE über einer BMD wie in a) (F2, S2, F3); c) erweiterte Kapillarsperre (S3). Um repräsentative Ergebnisse zu erhalten, wurden die Testfelder aus den gleichen Materialien und mit den gleichen Geräten gebaut wie die Obere Abdeckung.

Das Messprogramm umfasst folgende Reihen: 1) Abflüsse aus den Schichten, 2) bodenhydrologische Parameter, 3) meteorologische Parameter,

4) chemische, bodenphysikalische und mineralogische Parameter, 5) Sonderuntersuchungen (z.B. Tracerversuche), 6) Aufgrabungen.



Abb. 1: Deponie HH-Georgswerder (1995)

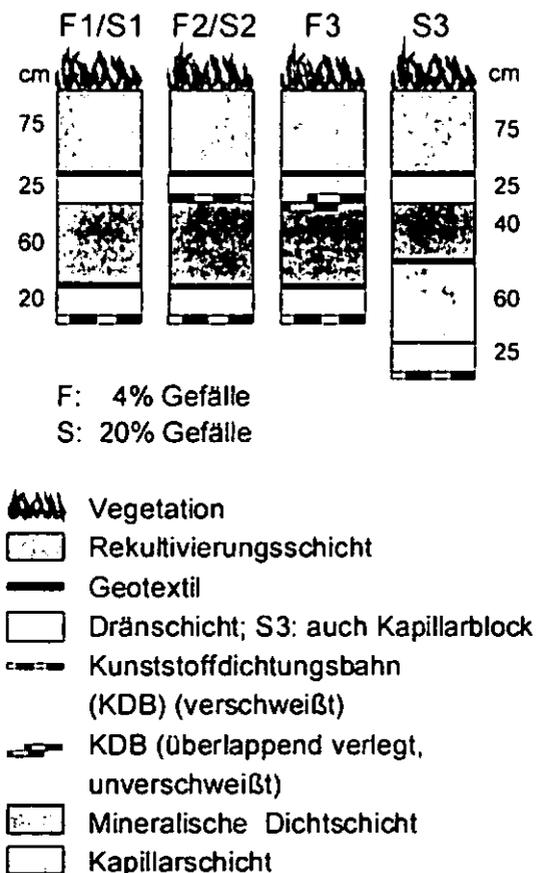


Abb. 2: Aufbau der Testfelder

Dr. Klaus Berger, Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg, Allende-Platz 2, 20146 Hamburg; e-mail: [k.berger@ifb.uni-hamburg.de](mailto:k.berger@ifb.uni-hamburg.de)

Dr. habil. Stefan Melchior, Dr. Bernd Steinert, melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft, Karolinenstr. 6, 20357 Hamburg; e-mail: [melchior@mplusw.de](mailto:melchior@mplusw.de), [steinert@mplusw.de](mailto:steinert@mplusw.de)

Dr. Volker Sokollek, Behörde für Stadtentwicklung u. Umwelt (BSU), Billstr. 84, 20539 Hamburg; e-mail: [Volker.Sokollek@bsu.hamburg.de](mailto:Volker.Sokollek@bsu.hamburg.de)

### Ergebnisse und Diskussion

#### 1.) Jährlicher Wasserhaushalt (exemplarisch für Testfeld F1: s. Abb. 3)

Der um systematische Messfehler korrigierte Niederschlag beträgt im Jahresmittel 1988 - 2005 859 mm (Minimum 632 mm, Maximum 1148 mm). Der Oberflächenabfluss (1988-1995) ist bei geschlossener Grasdecke vernachlässigbar gering (meist 1 - 2 mm/a). Die reale Verdunstung ist die

größte Ausgabegröße (im Mittel ca. 500 – 550 mm/a), bei intakter Dichtung gefolgt vom Dränabfluss (ca. 160 – 540 mm/a). Dieser versiegt im Sommer infolge der Verdunstung meist für bis zu 6 Monate.

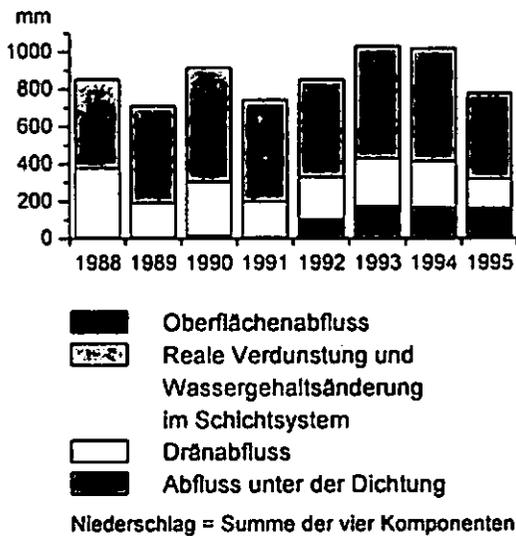


Abb. 3: Jährlicher Wasserhaushalt von Testfeld F1 mit bindiger mineralischer Dichtschicht

## 2.) Langzeitverhalten der Dichtungssysteme (Abb. 4)

Die bindigen mineralischen Dichtungen (F1, S1) haben durch Austrocknung und Schrumpfrissbildung v. a. in den trockenen Sommern 1989 und 1992 ihre Wirksamkeit weitgehend verloren. Die Kombinationsdichtungen (F2, F3, S2) wirken nach wie vor sehr gut. Bei der erweiterten Kapillarsperre (S3) kommt es bei hohen Zuflüssen zeitweilig zu Durchbrüchen (Abfluss im Kapillarblock), die Wirksamkeit stellt sich jedoch bei geringeren Zuflüssen wieder ein.

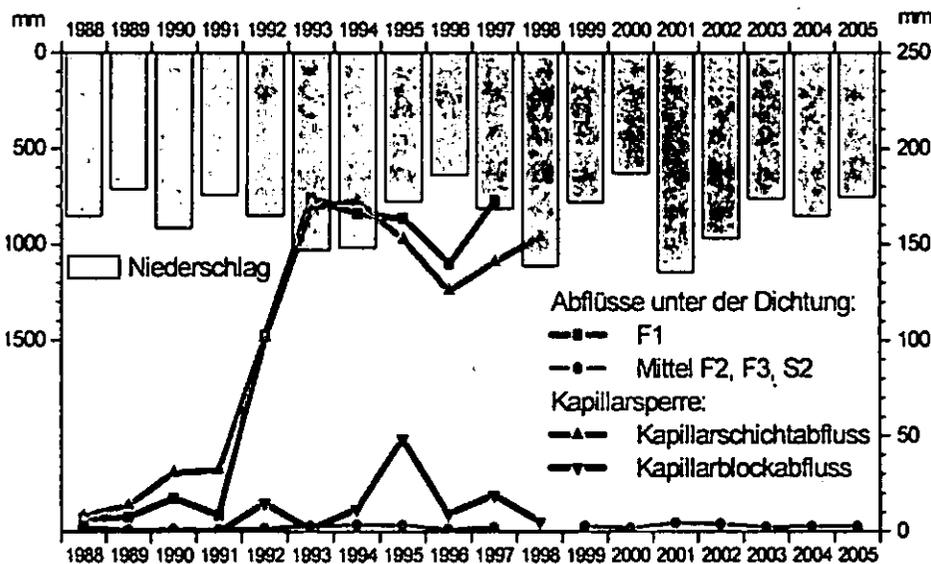


Abb. 4: Jährliche Abflüsse unter den Dichtungen und Jahresniederschläge

## 3.) Einfluss der Vegetation auf den Wasserhaushalt

Bei Grünlandbrache (S2, seit 1998 nicht mehr gemäht, noch nicht verbuscht, Bedeckungsgrad von 98 % auf 80 % gesunken) sinkt die Verdunstung um ca. 45 mm/a gegenüber Grünland (F3, 2 Mahden im Jahr), bei Gehölzbestand (F2, gepflanzt 1996, 2005 ca. 2,5 m hoch) steigt sie ab dem fünften Jahr nach Pflanzung um ca. 75 mm/a.

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Wirksamkeit von bindigen mineralischen Dichtungen ist durch Austrocknung und Bildung von Schrumpfrissen gefährdet, Kombinationsdichtungen sind langfristig wirksam. Weiterer Untersuchungsbedarf besteht u. a. zur Alterung von Kapillarsperren, zur Übertragbarkeit der Testfelderergebnisse auf die gesamte Abdeckung sowie zur Modellierung des Wasserhaushalts und zur Validierung von Wasserhaushaltsmodellen.

## Literatur

- MELCHIOR, S., 1993: Wasserhaushalt und Wirksamkeit mehrschichtiger Abdecksysteme für Deponien und Altlasten. Hamburger Bodenkundliche Arb. 22
- MELCHIOR, S.; BERGER, K.; SOKOLLEK, V., 2001: Wasserhaushalt von Oberflächenabdichtungssystemen. In: HÖSEL, G. et al. (Hrsg.): Müll-Handbuch, Kennzahl 4338, E. Schmidt Verlag, Berlin, 26 S.
- SOKOLLEK, V.; MELCHIOR, S.; BERGER, K.; STEINERT, B., 2006: Achtzehn Jahre Testfelderuntersuchungen auf der Deponie Georgswerder / Hamburg. In: Hochschule Zittau/ Görlitz (FH) (Hrsg.): Deponieworkshop Zittau – Liberec 2006, 2.-3. Nov. 2006, Wissenschaftliche Berichte Heft 91, S. 221-238

# Einfluss experimenteller Randbedingungen auf die Schadstoff-Freisetzung bei Säulenperkolationsversuchen

W. Berger, U. Kalbe, J. Eckardt, G. Christoph, A. Grabner, H.-P. Walzel

## Einleitung

Zielsetzung einer Sickerwasserprognose auf der Grundlage der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) [1] ist es, die Gefahren, die von kontaminierten Standorten für das Schutzgut Grundwasser ausgehen, zu beurteilen. Es soll vorausgesagt werden, in welchem Ausmaß Schadstoffe im Boden oder aus Ablagerungen durch das Sickerwasser mobilisiert und in das Grundwasser transportiert werden können. Eine Sickerwasserprognose kann auf der Grundlage verschiedener Vorgehensweisen durchgeführt werden, z.B. kann mit Hilfe von Laboruntersuchungen die Quellstärke kontaminierter Materialien ermittelt werden, welche dann in Stofftransportmodellierungen Eingang findet. Es werden Ergebnisse von Säulenperkolationsversuchen unter Berücksichtigung variierender Randbedingungen (Schichthöhe der eingesetzten kontaminierten Materialien, Kontaktzeiten zwischen Eluent und untersuchtem Probenmaterial) vorgestellt.

## Material und Methoden

Bei den Säulenversuchen wurden drei von der BAM hergestellte Referenzmaterialien (RM) eingesetzt (kontaminierter Boden, Bauschutt, Hausmüllverbrennungssasche) [2, 3].

Tab. 1: Ausgewählte Parameter der untersuchten Materialien

Parameter	Dimension	RM Boden	RM Bauschutt	RM HMVA
Befeuchte	Gew.-%	0,3	2,4	3,7
pH (H <sub>2</sub> O)	-	8,3	11,9	11,3
Leitfähigkeit	mS/cm	K.A.	3,3	2,0
DOC	Gew.-%	0,3	0,6	0,3
Kohlenstoffgehalt	Gew.-%	3,6	3,3	3,4
Glasverlust	Gew.-%	0,6	1,8	2,0
Korngröße	g/cm <sup>3</sup>	2,46	3,57	2,6
n <sub>2</sub> -Wert	m/s	9,3E-06	3,3E-06	1,7E-06
Korngröße	mm	2	4	4
<b>Schwermetalle im Feststoff</b>				
Cr	mg/kg	-	16,3	67
Cu	mg/kg	-	20,2	1637
<b>PAK im Feststoff</b>				
Summe 16 PAK	mg/kg	03,4	11,8	-
US EPA				

Untersucht wurde das Auslaugverhalten von Schwermetallen, Sulfat, Chlorid und polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK). Als begleitende Parameter wurden der pH-Wert, der DOC-Gehalt, die Leitfähigkeit und die Trübung analysiert. Die Schichthöhen der eingesetzten Materialien variierten zwischen 12,5 cm und 100 cm. Die Fließgeschwindigkeit des Eluenten betrug ca. 0,2 ml/min. Damit ergaben sich Kontaktzeiten bis zu

einem Flüssigkeits-/Feststoff-Verhältnis von ca. 5 l/kg je nach Schichtdicke von ca. 10 h (12,5 cm) bis ca. 75 h (100 cm). Ermittelt wurde die kumulative Freisetzung der untersuchten Stoffe, welche sich aus dem Verhältnis von Volumen und der Konzentration des betreffenden Bestandteils in der jeweiligen Eluatfraktion zur Trockenmasse des eingesetzten Probenmaterials in der Säule ergibt. Die Versuche wurden abgedunkelt bei ca. 18 °C durchgeführt.

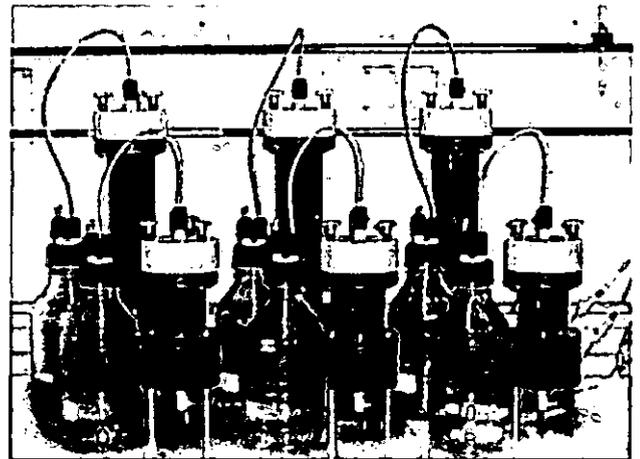


Abb. 1: Säulenperkolationsanlage mit Säulen von 12,5 cm und 25 cm Schichthöhe

## Ergebnisse

Die Ergebnisse der Säulenperkolationsversuche mit den unterschiedlichen Referenzmaterialien sind exemplarisch in den Abbildungen 2 bis 4 dargestellt.

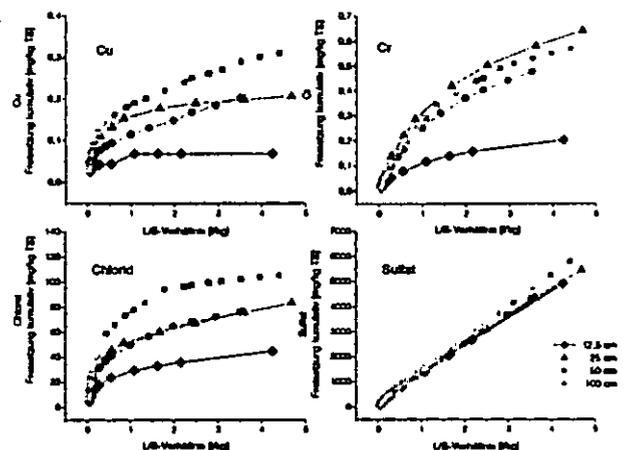


Abb. 2: Ergebnisse der Säulenversuche mit verschiedenen Schichthöhen für das RM Bauschutt

Abbildung 2 zeigt die kumulative Freisetzung der Schwermetalle Kupfer und Chrom sowie der Anionen Chlorid und Sulfat aus dem RM Bauschutt für die Schichthöhen 12,5 bis 100 cm. Während beim Cu und den Anionen die kumulative Freisetzung in den Säulen mit 100 cm Schichthöhe offensichtlich in Folge der längsten Kontaktzeiten am größten ist, wird Cr in den Säulen mit 50 cm Schichthöhe am meisten freigesetzt.

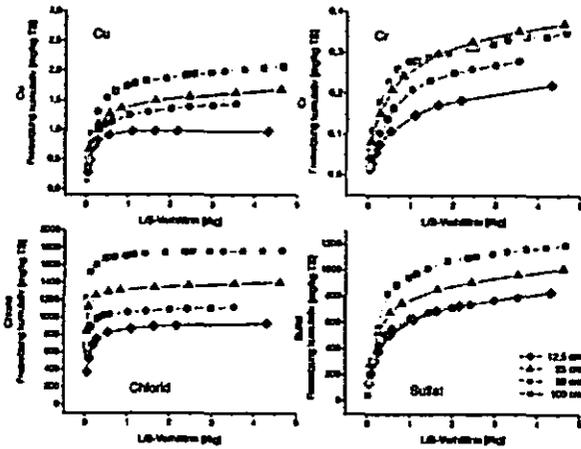


Abb. 3: Ergebnisse der Säulenversuche mit verschiedenen Schichthöhen für das RM HMVA

In Abb. 3 ist die kumulative Freisetzung der Schwermetalle Kupfer und Chrom sowie der Anionen Chlorid und Sulfat aus dem RM HMVA für die Schichthöhen 12,5 bis 100 cm dargestellt. Hier ist ein ähnlicher Trend wie beim Bauschutt nur mit unterschiedlichen Konzentrationsniveaus der Inhaltstoffe zu beobachten.

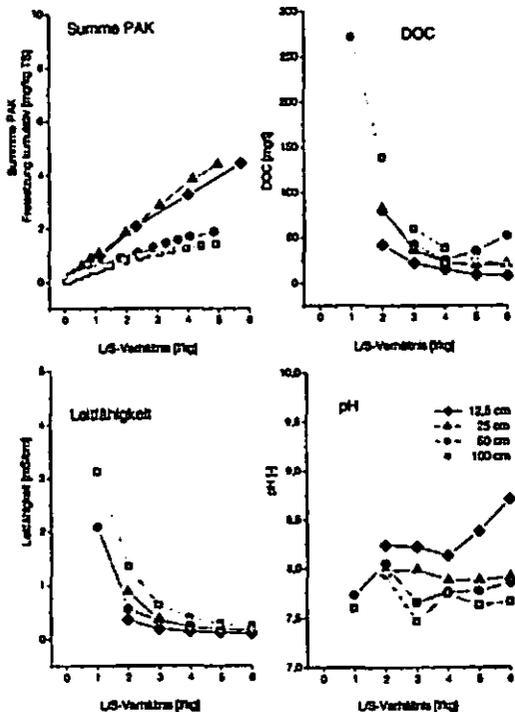


Abb. 4: Ergebnisse der Säulenversuche mit verschiedenen Schichthöhen für das RM Boden

Die kumulative Freisetzung der Summe der PAK nach US EPA sowie das Verhalten der begleitenden Parameter DOC-Gehalt, elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert für das RM Boden sind in Abb. 4 enthalten. Bei den PAK zeigt sich, dass bei den geringer dimensionierten Säulen (12,5 und 25 cm Schichthöhe) scheinbar die größte Freisetzung stattfindet.

Allerdings sind dies die Säulen mit den geringsten Kontaktzeiten, so dass hier offenbar auch ein geringerer biologischer Abbau von PAK im Verlauf der Versuchsdurchführung stattfand. Ein Vergleich der PAK-Verteilungsmuster bei den unterschiedlichen Säulen lässt erkennen [3], dass insbesondere bei den größeren Schichthöhen die niedermolekularen PAK deutlich abnehmen. Dies bestätigt auch die Annahme eines mikrobiellen Abbaus, wie er bereits von [4, 5] beim RM Boden festgestellt wurde.

### Diskussion

Aufgrund der Durchströmung der Säulen bei gleicher Fließgeschwindigkeit des Eluenten ergaben sich bei den verschiedenen Schichthöhen der RM unterschiedliche Kontaktzeiten. Aus diesem Grunde ist zumeist bei den Schwermetallen, insbesondere Kupfer, und den Anionen Sulfat und Chlorid die kumulative Freisetzung bei den RM Bauschutt und HMVA in den Säulen mit 100 cm Schichthöhe am größten und bei 12,5 cm Schichthöhe am geringsten. Die Säulen mit 50 cm Schichthöhe ordnen sich nicht in diesen Trend ein (Abb. 2 und 3). Bei der Bewertung der kumulativen Freisetzung von PAK aus dem RM Boden ist zu beachten, dass bei längeren Kontaktzeiten ein nicht unbeträchtlicher biologischer Abbau stattfindet (Abb. 4).

### Ausblick

Es werden Säulenversuche mit unterschiedlichen Schichthöhen der zu eluierenden Materialien bei gleichen Kontaktzeiten, d.h. mit daraus resultierenden unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten der Eluenten durchgeführt. Außerdem soll versucht werden, den mikrobiellen Abbau zu erfassen und zu quantifizieren.

### Literatur

- [1] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV): BGBl. I, 1554ff (16.07.1999)
- [2] Berger, W., Kalbe, U., Eckardt, J., Fischer, H. & Jansky, H. J. (2004): Aufbereitung von Referenzmaterialien zur Untersuchung der Eluierbarkeit von Schadstoffen.- Aufbereitungstechnik 45 (11), S. 37-43
- [3] Berger, W., Kalbe, U., Eckardt, J. (2005): Aufbereitung von Referenzmaterialien für die Ableitung von Verfahren zur Sickerwasserprognose.- Fachlicher Schlussbericht zum BMBF-Vorhaben FKZ 02WP0143, Januar 2005, 31 S.
- [4] Mahro, B.; Henke, J. Kloth, K. (2003): Biologische Aktivität muss bei der Sickerwasserprognose mit DIN V 19736-Testsäulen berücksichtigt werden.- Altlastenspektrum, 6, S. 291-294
- [5] M. Stieber, S. Kraßnitzer, A. Tiehm (2007): Bedeutung biologischer Selbstreinigungsprozesse in der ungesättigten Bodenzone für die Sickerwasserprognose - Teil 1: Modell-Säulenexperimente zur Elimination von PAK.- Altlastenspektrum, 3, S. 111-118

## Mögliche Folgen des Klimawandels auf den Nitrat- und Sulfataustrag in die ungesättigte Zone landwirtschaftlich genutzter Böden in Nordostdeutschland

EULENSTEIN, F.<sup>1</sup>, M. WILLMS<sup>2</sup>, U. SCHINDLER<sup>3</sup>,  
L. MÜLLER<sup>3</sup>, W. MIRSCHEL<sup>2</sup>

### 1 Problemstellung

Sollten die derzeit diskutierten Szenarien wahr werden, dann sind auch für mitteleuropäische Regionen wie Brandenburg Veränderungen des Klimas zu erwarten (GERSTENGABE et al., 2003). Entsprechend liegt die Frage nach zukünftigen Landnutzungen, insbesondere der landwirtschaftlichen Produktion, nahe. Um die Adaptionsfähigkeit der Landwirtschaft an den Klimawandel beurteilen zu können, sind sowohl die pflanzliche als auch die tierische Produktion zu berücksichtigen, da beide Bereiche maßgeblich von den klimatischen Verhältnissen bestimmt werden. Bereits unter den heutigen Rahmenbedingungen (derzeitiges Management in der Pflanzenproduktion, verfügbare bzw. angebaute Kulturpflanzen etc.) ist der pflanzliche Ertrag in Brandenburg im wesentlichen vom pflanzenverfügbaren Wasser während der Vegetationsperiode abhängig. Die Wasserverfügbarkeit hängt von der Höhe und Verteilung der Niederschläge, von der Wasserspeicherkapazität der Böden sowie von der Steuerbarkeit des Landschaftswasserhaushaltes insgesamt ab.

Gemäß der genannten Klimaszenarien dürfte es vor allem in den Bundesländern Brandenburg und Sachsen-Anhalt zu einer weiteren Verknappung des Wasserdargebots kommen. Die schon jetzt sehr angespannte Wasserversorgungssituation würde sich demnach in diesen Regionen zukünftig für alle Fruchtartengruppen verschärfen.

Um die Konsequenzen der prognostizierten Klimaveränderung für den Wasser- und Stoffhaushalt von landwirtschaftlich genutzten Flächen und die pflanzliche und tierische Produktion aus dem heutigen Blickwinkel unter Berücksichtigung der pedohydrologischen und meteorologischen Rahmenbedingungen beurteilen zu können, wurden Simulationsrechnungen und Abschätzungen bezogen auf eine für Brandenburg repräsentative Agrarlandschaft für den Zeitraum von 2046 bis 2055 durchgeführt. Das Untersuchungsgebiet liegt im Landkreis Märkisch-Oderland und umfasst 54.000 ha. Grundlage für die Kalkulationen bilden neben eigenen Methoden und Expertenwissen die am ZALF verfügbaren schlaggenauen Erhebungen zu den angebauten Fruchtarten, den Erträgen

und der Düngung von insgesamt 54 Landwirtschaftsbetrieben.

Für das definierte Klimaszenario wurde der Zeitabschnitt von 1993 bis 2001 als Referenzperiode genutzt. Entsprechend wurde hier ebenfalls dieser Zeitraum in die Betrachtungen einbezogen. Im Einzelnen gilt es zunächst aber folgende Fragestellungen zu klären:

1. Wie ändern sich die Komponenten der „Klimatischen Wasserhaushaltsbilanz“ unter den Bedingungen des Klimaszenarios im Vergleich zum Referenzzeitraum?
2. Welche Auswirkung hat das auf die ökologisch relevanten Stoffausträge (Nitrat und Sulfat) unter landwirtschaftlich genutzten Flächen und welche Sickerwasserkonzentrationen sind zu erwarten?
3. Welche Veränderungen der Erträge landwirtschaftlicher Kulturpflanzen können sich unter veränderten Klimaverhältnissen ergeben?

### 2 Ergebnisse und Diskussion

#### 2.1 Klimatische Wasserbilanz

Aus diesen Berechnungen ist abzuleiten, dass sich laut Szenario unter den mittleren zukünftig zu erwartenden Klimaveränderungen die durch das Wasserdargebot bedingten Stresssituationen für Pflanzenbestände erhöhen werden. Die Verdunstung gerade in den Wintermonaten wird demnach bedingt durch Temperaturerhöhung wahrscheinlich ansteigen. Grundsätzlich wird sich der Wassermangel für landwirtschaftliche Kulturpflanzen eher moderat verschärfen. Daher dürften die negativen Konsequenzen für die Ertragsbildung unter mittleren Verhältnissen eher gering sein. Entscheidend ist aus der Sicht der Landwirtschaft vielmehr die Häufigkeit des Auftretens von Extremwetterlagen, wie etwa 2003 (Sommertrockenheit) oder 2002 (niederschlagsbedingte Überschwemmungen). Die Häufung derartiger Extremjahre könnte zum eigentlichen Problem für die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion werden.

Tab. 1: Komponenten des Wasserhaushaltes im Untersuchungsgebiet für das heutige Klima und ein Klimaszenario nach Gerstengarbe (2003)

Klima	Niederschlag	aktuelle Evapotranspiration	Sickerwasser	Vorratsänderung
	in mm/a			
IST-Klima 1993–2001	569	417	143	9
Klima-Szenario 2046–2054	457	437	12	8

Entsprechend ist aus diesen Berechnungen abzuleiten, dass sich laut Szenario unter den mittleren zukünftig zu erwartenden Klimaveränderungen die durch das Wasserdargebot bedingten Stresssituationen für Pflanzenbestände erhöhen werden. Die Verdunstung gerade in den Wintermonaten wird demnach bedingt durch Temperatur-

1 ZALF Münchenberg, Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie, Eberswalder Straße 84, 15374 Münchenberg, feulenstein@zalf.de

2 ZALF Münchenberg, Institut für Landschaftssystemanalyse

3 ZALF Münchenberg, Institut für Bodenlandschaftsforschung

erhöhung wahrscheinlich ansteigen. Grundsätzlich wird sich der Wassermangel für landwirtschaftliche Kulturpflanzen eher moderat verschärfen. Daher dürften die negativen Konsequenzen für die Ertragsbildung unter mittleren Verhältnissen eher gering sein. Entscheidend ist aus der Sicht der Landwirtschaft vielmehr die Häufigkeit des Auftretens von Extremwetterlagen, wie etwa 2003 (Sommertrockenheit) oder 2002 (niederschlagsbedingte Überschwemmungen). Die Häufung derartiger Extremjahre könnte zum eigentlichen Problem für die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion werden.

**2.2 Stoffausträge in die ungesättigte Zone**

Entsprechend der Klimaszenarien wird zunächst ein niedrigerer Stickstoffaustrag prognostiziert. Dies erklärt sich vor allem dadurch, dass infolge geringerer Sickerwasserraten Stickstoff und Schwefel nicht so schnell in den Untergrund verlagert werden und sich somit letztlich der Vorrat an diesen Stoffen in der oberen, 2 m tiefen Bodenschicht zunächst anreichert. Dieser Prozess dauerte während der Simulationszeit noch an. Späterhin ist mit einem drastischen Anstieg des Austrages zu rechnen, denn die akkumulierten Mengen an Stickstoff und Schwefel werden zeitverzögert in den tieferen Untergrund verlagert. Die dann steigenden Raten des Stoffaustrages können dabei zu erhöhten Nitratkonzentrationen von bis zu 900 mg/l im Sickerwasser führen.

Tab. 2: Komponenten des Wasserhaushaltes im Untersuchungsgebiet für das heutige Klima und ein Klimaszenario nach Gerstengarbe (2003)

	1993-2001	2046-2054	Differenz 2046-2054- minus 1993-2001
N-Aufnahme durch Pflanzen (kg N/ha)	108	118	+ 10
Sulfatkonzentration im Sickerwasser (mg/l)	49	132	+ 83
Theoretische NO <sub>3</sub> -Konzentration im Sickerwasser	232	751	+ 519

Neben dem rein quantitativen Effekt der Reduktion der Grundwasserneubildung ist sehr deutlich auch der qualitative Aspekt in den Fokus der Betrachtung zu stellen. Hierbei ist besonders herauszustellen, dass die Speisung ökologisch wertvoller Feuchtgebiete in dieser Region überwiegend aus dem Gebietsabfluss von landwirtschaftlich genutzten Flächen erfolgt.

Unter der Berücksichtigung der Tatsache, dass landwirtschaftliche Flächennutzung aus ihrem Abfluss nicht nur Grundwasserleiter, sondern auch ökologisch wertvolle Feuchtgebiete speist, ist zu erwarten, dass diese natürlichen Standorte in erheblichen Umfängen der Gefahr der Eutrophierung ausgesetzt sein können.

**2.3 Erträge**

Das ZALF hat für die regionale Ertragschätzung einen Modellansatz entwickelt und durch Integration in das Spatial Analysis and Modelling Tool (SAMT) zu einem raumbezogenen Simulationstool ausgebaut. Die mit Hilfe dieses Tools für das Untersuchungsgebiet vorgenommenen Berechnungen ergeben eine Ertragsdepression zwischen 14% bei Kartoffeln und ca. 5% bei den Hauptgetreidearten Gerste, Weizen, Roggen und Triticale.

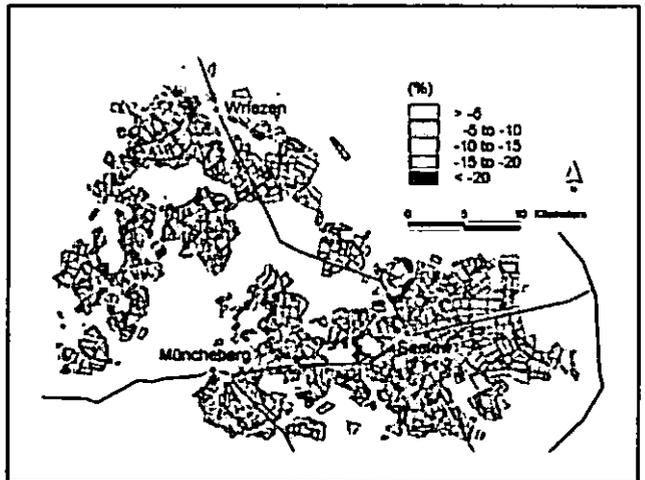


Abb.2: Ertrags-Differenz 2046-2054- minus 1993-2001

Unter Berücksichtigung der aus anderen Untersuchungen (etwa das sog. FACE-Experiment etc.) bekannten Wirkungen erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen sind die geschätzten Ertragsrückgänge bei allen Kulturen kleiner als 10% und vor allem bei den im Anbauumfang dominierenden Getreidearten marginal.

**3 Weiterführende Literatur**

[1] EULENSTEIN, F.; OLEJNIK, J.; WILLMS, M.; CHOJNICKI, B. H.; SCHLINDWEIN, S. L.; SCHINDLER, U.; MÜLLER, L. (2005a): Possible effects of climate changes on land use in North Central Europe and consequences for land use planning. - *Eisforia*.3 (1): 16-32

[2] EULENSTEIN, F.; OLEJNIK, J.; WILLMS, M.; CHOJNICKI, B. H.; URBANIAK, M. (2005b): The influence of land use on soil water balances under present and future conditions in North-Eastern Central Europe. - In: *Integrated land and water resources management : towards sustainable rural development ; 15-19 May 2005, Frankfurt (Oder), Germany and Slubice, Poland ; Proceedings ; 21st European Regional Conference of the International Commission on Irrigation and Drainage : 1-10; Müncheberg (ICID German National Committee).*

[3] EULENSTEIN, F.; OLEJNIK, J.; WILLMS, M.; SCHINDLER, U.; CHOJNICKI, B.; MEIBNER, R. (2006): Mögliche Auswirkungen der Klimaveränderungen auf den Wasserhaushalt von Agrarlandschaften in Nord-Mitteleuropa. - *Wasserwirtschaft*.96 (9): 32-36

[4] WIGGERING, H. [HRSG.]; EULENSTEIN, F. [HRSG.]; AUGUSTIN, J. [Hrsg.] (2005): *Entwicklung eines integrierten Klimaschutzmanagements für Brandenburg : Handlungsfeld Landwirtschaft ; (DS 3/6821-B) 76 S. ; Müncheberg (Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung*

# Interaktionen von Fließgewässern, Grundwasser und Entwässerungsgräben im Norddeutschen Tiefland

Nicola Fohrer, Britta Schmalz\* & Pina Springer

## 1 Einleitung

Tieflandgebiete sind durch geringe hydraulische Gradienten, oberflächennahes Grundwasser mit intensiver Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser sowie hohe Wasserretentionspotenziale durch Moore und Seen charakterisiert. Zahlreiche anthropogene Einflüsse (Pumpstationen, Flussregulierungen, Dränagen, etc.) stellen eine Veränderung des natürlichen Wasserhaushaltes und damit auch der Wasserqualität dar.

Es werden zwei generelle Strömungsverhältnisse unterschieden:

- a) Exfiltration; effluente Bedingungen: Grundwasserspiegel ist höher als Oberflächengewässer; Grundwasser speist Oberflächengewässer
- b) Infiltration; influente Bedingungen: bei Hochwassersituationen speisen Oberflächengewässer das Grundwasser

## 2 Ziel

Ziel des Projekts ist die Prozessaufklärung von Interaktionen zwischen Grundwasser, Entwässerungsgräben und Fließgewässern als Grundlage eines nachhaltigen Managements von Flussniederungssystemen in Tiefland-Einzugsgebieten.

## 3 Untersuchungsgebiet und Methoden

Das Untersuchungsgebiet liegt im Norddeutschen Tiefland Schleswig-Holsteins, 15 km südöstlich von Flensburg im Einzugsgebiet der Kielstau. Das Gebiet ist durch einen Niederschlag von 876 mm/a und eine mittlere jährliche Temperatur von 8,2°C gekennzeichnet. Eine dränierte Flussniederung im Zentrum des Kielstau-Einzugsgebietes wurde detailliert untersucht. Sie ist ca. 750 x 230 m groß und als Niedermoorstandort beschrieben. Dieser dränierte Abschnitt ist eine Grünlandfläche und wird ein- bis zweimal im Jahr geschnitten. Elf Gräben entwässern in die Kielstau, die am südlichen Rand der Fläche verläuft. Im folgenden werden exemplarisch die Ergebnisse aus Graben 4 vorgestellt (Abb. 1). Dieser ist 230 m lang und 80 cm tief. Zur detaillierten Analyse der Prozesse auf der lokalen Skala wurden zwei Pegel im Graben (Pegel C flussfern und Pegel D flussnah) sowie drei Grundwasserrohre direkt im Grabenrand-

bereich (BR4 flussfern, BR5 mittig, BR6 flussnah) installiert. Der Untersuchungszeitraum umfasst sechs Monate (Okt. 2005 - März 2006).

Es fanden folgende Messungen und Untersuchungen statt:

- 1) Messung der Wasserstände im Grundwasser, Gräben und Fluss wöchentlich
- 2) Messung des Grabenabflusses in die Kielstau wöchentlich
- 3) Messung der Wasserqualität im Grundwasser, Gräben und Fluss wöchentlich zur Analyse auf Temperatur, Sauerstoff, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Nitrat\_N, Ammonium\_N, Phosphat\_P, Chlorid, Sulfat
- 4) Untersuchungen zu Boden und Grabenmorphologie

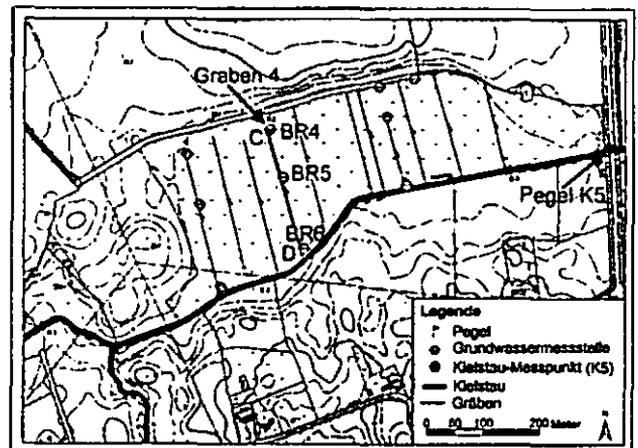


Abb. 1: Untersuchungsgebiet (Kartengrundlage DGK5, Blätter 534066, 536066)

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Grundwasserstände

Die Ergebnisse zeigen, dass die Dynamik des oberflächennahen Grundwassers vom Niederschlag abhängig ist. Die Höhe der Grundwasserstände kann in zwei Fälle unterteilt werden. Im ersten Fall zeigen die drei Messstellen abfallende Grundwasserstände im Verlauf vom flussfernen zum flussnahen Bereich. Während einer längeren Feuchtperiode und einem starken Niederschlagsereignis kommt es zu einem Wechsel dieser Abfolge. Hochwasser im Fluss bewirkt einen Rückstau im Graben. Die höheren Grabenwasserstände können im Bereich der Grabenmündung zu einer Infiltration von Oberflächenwasser ins Grundwasser führen.

### 4.2 Grabenwasserstände

Auch die Graben- und Flusswasserdynamik ist abhängig vom Niederschlag. Während einer Trockenperiode liegt der flussferne Grabenwasserstand höher als der flussnahe Grabenwasserstand. Während einer feuchteren Periode kann der Graben nicht das ge-

\* Fachabteilung Hydrologie & Wasserwirtschaft, Ökologie-Zentrum, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstr. 75, 24118 Kiel  
bschmalz@hydrology.uni-kiel.de

samte anfallende Wasser seines Einzugsgebietes abführen, da ein Rohr am Auslass die zu entwässernde Wassermenge begrenzt. Die Entwässerung findet also nur verlangsamt statt und es kommt zu einem Rückstau von Wasser im Graben im Bereich der Grabenmündung. Zu diesen Zeitpunkten liegt der Grabenwasserstand an der Mündung höher als am flussfernen Grabenanfang.

### 4.3 Interaktion

Der Vergleich der Grabenwasserstände der Pegel (C, D) mit den korrespondierenden Grundwasser-Messpunkten (BR 4, 6) im Graben 4 ergibt unterschiedliche Bedingungen für den flussfernen bzw. den flussnahen Bereich: Der flussferne Grundwasserstand ist während des Beobachtungszeitraums jederzeit höher als der Grabenwasserstand im gleichen Bereich; es handelt sich also zu jeder Zeit um Exfiltration. Im flussnahen Bereich wird ein Wechsel zwischen Ex- und Infiltration - mit überwiegend Infiltration - im gleichen Zeitraum festgestellt (Abb. 2). Für die Grundwasserstände und die Wasserstände der korrespondierenden Pegel für Graben 4 kann nach Spearman ( $p < 0,05$ ) eine hohe Korrelation berechnet werden: 0,805 für das flussferne Paar BR4-C und 0,804 für das flussnahe Paar BR6-D.

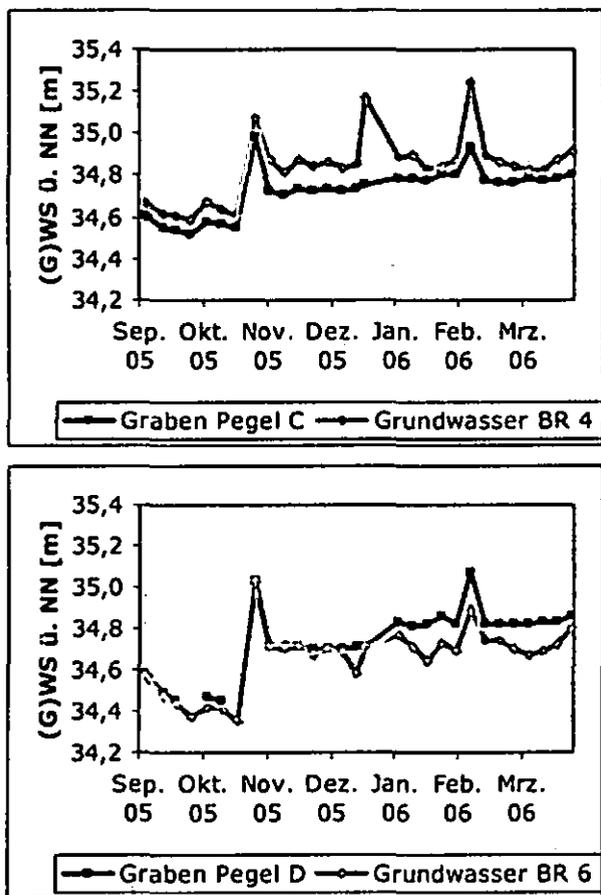


Abb. 2: Vergleich der Grundwasserstände mit den Wasserständen in Graben 4

### 4.4 Wasserqualität der Graben-Grundwasser-Paare und Kielstau

Im Vergleich aller Parameter kann für die Wasserqualität kein genereller Trend abgeleitet werden. Nur die elektrische Leitfähigkeit zeigt für den Fluss (Pegel K5) gegenüber Graben- und Grundwasser den höchsten Median-Wert. Generell zeigen die Gräben die höchsten Variationen über die Zeit.

Für den flussnahen Bereich des Grabens 4 gilt, dass die elektrischen Leitfähigkeiten im Graben und Grundwasser ähnlich sind (399 bzw. 428  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Nitrat\_N zeigt höhere Konzentrationen im Graben (0,49 mg/l) als im Grundwasser (0,20 mg/l), in beiden jedoch deutlich geringere Werte als im Fluss (4,33 mg/l, Pegel K5). Die Ammonium\_N-Werte sind im Grundwasser (1,70 mg/l) höher als im Graben (0,82 mg/l), wobei der Graben den Level des Flusses (0,86 mg/l) erreicht. Bei Phosphat\_P werden im Graben (0,100 mg/l) höhere Konzentrationen als im Grundwasser (0,004 mg/l) erreicht, aber geringere als im Fluss (0,142 mg/l).

Bei Betrachtung des zeitlichen Verlaufs der Nitrat\_N-Konzentrationen zeigt sich flussfern (im nahegelegenen Graben 1) eine ähnliche Dynamik zwischen Graben- und Grundwasser, die scheinbar in Kontakt miteinander stehen. Flussnah zeigen sich in Graben 4 konstant niedrige Konzentrationen im Grundwasser, im Graben jedoch einige hohe Werte, so dass vermutlich kein oder nur ein eingeschränkter Kontakt besteht. Der Graben wurde seit 15 Jahren nicht geräumt, so dass sich an der Grabensohle eine Kolmationschicht ausgebildet hat.

### 5 Zusammenfassung und Ausblick

In der untersuchten Flussniederung im Norddeutschen Tiefland konnte eine intensive Interaktion zwischen oberflächennahem Grundwasser und Oberflächenwasser festgestellt werden. Das System ist niederschlagsgesteuert. Es zeigte sich eine hohe jahreszeitliche Variabilität. Zudem wiesen die Gräben -im Vergleich zum Grundwasser und Flusswasser- die höchsten zeitlichen Variationen bezüglich der Wasserqualität auf.

Bei den Strömungsverhältnissen herrschten meist effluente Bedingungen mit höheren Grundwasser- als Flusswasserständen, nur zu Hochwasserereignissen kehrten sich die Verhältnisse zu influenten Bedingungen um. Eine weitere Unterscheidung gab es in Bezug auf die lokale Entfernung zum Fließgewässer: So ist die Graben- und Grundwasser-Qualität ähnlich an den flussfernen Grabenbereichen, aber deutlich unterschiedlich an den Grabenmündungen (flussnah). Diese Erkenntnisse sind von entscheidender Bedeutung für ein zukünftiges nachhaltiges Graben- und Dränmanagement, welches die unterschiedlichen Strömungsverhältnisse und Grabencharakteristika berücksichtigen sollte.

## Einfluss der Bodenheterogenität auf den landwirtschaftlichen Ertrag infolge von Überstauereignissen

Harald Frauenknecht<sup>1</sup>, Thomas Gaiser und Karl Stahr

### Einleitung

Allein nach dem Hochwasser 2002 entstanden laut Schätzungen des deutschen Bauernverbandes Ernteeinbußen in Höhe von ca. 200 Mio. Euro. Durch den Klimawandel werden die Überflutungsereignisse in Zukunft weiter zunehmen. Deshalb ist es wichtig, den Einfluss von Überflutungen auf den Ertrag von Ackerfrüchten näher zu untersuchen und dabei die Zusammenhänge zwischen Dauer und Zeitpunkt der Überflutung, sowie die Rolle des Bodens besser zu verstehen.

Bisher wurden aufgrund fehlender Untersuchungen meist Vereinfachungen angenommen, die größtenteils darauf zielen, dass durch den Überstau der zum Zeitpunkt stehende Aufwuchs bei einer Überstaudauer von 1 bis 2 Wochen voll geschädigt wird (BMBF 2004). Aber gerade die Ereignisse, bei denen die Dauer weniger als zwei Wochen beträgt, überwiegen in der Summe und führen oft nicht zu einem Totalausfall der Ernte sondern zu einer Ertragsreduzierung.

### Zielsetzung

Entwicklung standortabhängiger Lösungen zur Minimierung der Auswirkungen von Überstauereignissen auf die landwirtschaftliche Nutzung innerhalb von Hochwasserrückhalteflächen. Hierbei werden die direkten Folgen des Überstaus auf den landwirtschaftlichen Ertrag infolge der Wassereinwirkung betrachtet.

### Material und Methoden

Für das 62 ha große Rückhaltebecken (RHB) Winterbach im Einzugsgebiet der Rems 30 km östlich von Stuttgart wurde eine detaillierte Boden- und Landnutzungskarte (Abb.1,2) erstellt um den Ist-Zustand zu ermitteln. Für die Bodenkarte wurden mehr als 150 Löcher gebohrt und 5 Leitprofile aufgegraben. Von jedem Horizont der Profile wurden Bodenproben entnommen und im Labor auf chemische und physikalische Eigenschaften hin untersucht. Die ermittelten Werte dienen für die Kalibrierung des für die Überstaumodellierung

verwendeten Pflanzenwachstumsmodells EPIC. Um die Modellergebnisse zu validieren müssen zusätzlich Überstauversuche im Freiland durchgeführt werden. Bei den Versuchen soll es sich um Topfversuche im Freiland handeln. Es besteht die Absicht, vorpräparierte Töpfe oder Eimer mit den Böden aus dem Untersuchungsgebiet des Rückhaltebeckens Winterbach zu füllen, in dafür passende, am Gelände der Universität gegrabene, Löcher einzusetzen, mit der entsprechenden Kultur zu bepflanzen und anschließend zu verschiedenen Zeitpunkten und Dauern zu überstauen. Die Quantifizierung des Ertrages erfolgt dann über die Bestimmung der Gewichte der Kommasse der überstauten Töpfe im Bezug zu der Kommasse von den nicht überstauten Referenztöpfen.

### Erste Ergebnisse

#### Bodenverbreitung im RHB

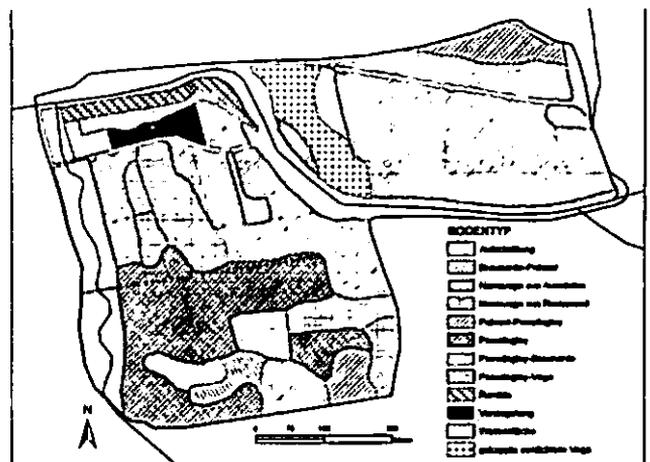


Abb. 1: Bodenverbreitung im RHB Winterbach

Die zwei überwiegenden Bodentypen im RHB (Abb.1) sind die hauptsächlich in Flussnähe anzutreffende Vega und der Pseudogley, der im südlichen Teil des Rückhaltebeckens dominiert. Die Verbreitung der Bodentypen beschränkt sich im Rückhaltebecken aber nicht nur auf die Vegen und die Pseudogleye, sondern auch auf weitere, bei denen es sich meistens um Subtypen dieser Böden handelt. So findet man auch Pelosol-Pseudogleye, Pseudogley-Vegen und Braunerde-Pseudogleye aber auch Auenrohböden (Ramblen) und Kolluvisole.

<sup>1</sup> Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, harryfr@uni-hohenheim.de

## Landnutzung im RHB

Von der 62 ha großen Gesamtfläche des Rückhaltebeckens wurden im Jahre 2006 76% landwirtschaftlich genutzt (Abb.2). Die restliche Fläche beanspruchen hauptsächlich Brache, Wasserflächen und ein Kieswerk. Bei der landwirtschaftlich genutzten Fläche stellt das Grünland mit 42,5% den größten Anteil. Mit großem Abstand folgt Hafer mit 12,7 % und Winterweizen mit 12,0%.

Des Weiteren wird Wintergerste (7,1%), Silomais (5,8%), Sommerweizen (5,7%), Futtergräser (4,6%), Sommergerste (3,8%) und Raps (3,7%) angebaut. Die zwei Kulturen mit der geringsten Anbaufläche bilden das Gemüse mit 1,8% und die Kartoffeln mit 0,3%.

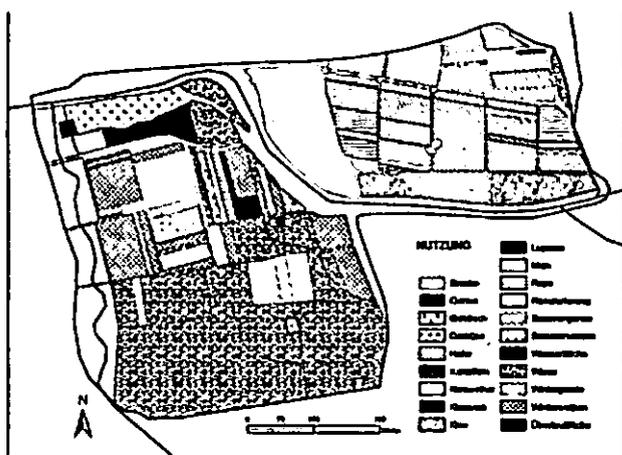


Abb. 2: Landnutzung im RHB Winterbach 2006

## Überstaumodellierung

Bei der Sensitivitätsanalyse für das EPIC-Modell zeigte sich, dass die Überstaudauer und der Zeitpunkt des Überstaus die entscheidenden Parameter bei der Simulation der Ertragsverluste darstellten. Es konnten aber auch Unterschiede bei der Simulation mit verschiedenen Bodentypen festgestellt werden. So zeigte sich bei den tonigen Pseudogleyen am Anfang der Überstauphase ein niedrigerer Ertrag als auf den sandig-lehmigen Auenböden, während sich mit zunehmender Überstaudauer das Verhältnis zugunsten des Pseudogleys umkehrte (Abb.3). Eine mögliche Erklärung hierfür ist vielleicht die gesteigerte Toleranz der Pseudogleye gegenüber der Vegen in Bezug auf die auftretenden Stressfaktoren. Des weiteren zeigten die Simulationen, dass Zuckerrüben und Kartoffeln sehr empfindlich auf einen Überstau reagieren. So ist bereits unabhängig vom Zeitpunkt des Überstaus nach einer Überstaudauer von 2 Tagen mit einem Totalausfall

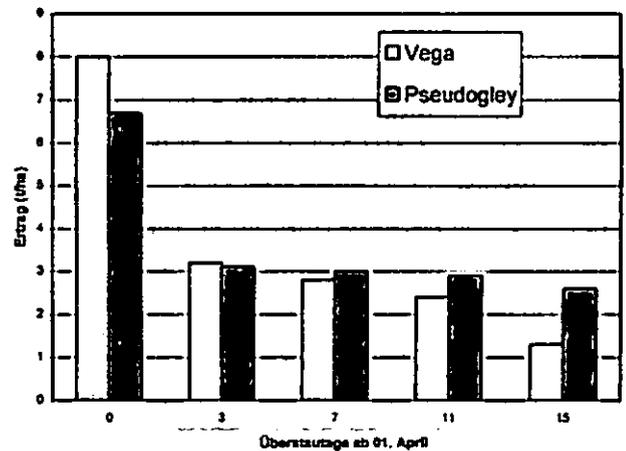


Abb. 3: Simulierte Erträge von Winterweizen auf einer Vega und einem Pseudogley als Funktion der Dauer der Bodensättigung

der Ernte bei den Hackfrüchten zu rechnen. Dies führt wegen der hohen Hektarerlöse zu meist gravierenden Erlöseinbußen bei den Landwirten. Die Getreidevertreter hingegen überstehen einen Überstau im Winter von bis zu 10 Tagen relativ unbeschadet, während im Frühjahr und Sommer bereits nach 1 Woche mit bis zu 50% Ertragsverlusten zu rechnen ist.

## Ausblick

Mit den geplanten Topfversuchen im Freiland soll einerseits die Datengrundlage im Bereich der Auswirkungen von Überstauereignissen auf den Ertrag von landwirtschaftlich genutzten Flächen verbessert werden und andererseits sollen die Ergebnisse der Versuche für die Kalibrierung und Validierung des Pflanzenwachstumsmodells EPIC verwendet werden.

## Literatur

Bronstert, A. (2004): Möglichkeiten zur Minderung des Hochwasserrisikos durch Nutzung von Flutpoldern an Havel und Oder. Schlussbericht zum BMBF- Projekt im Rahmen des Vorhabens „Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel“. Brandenburgische Umweltberichte 15. 225 S.

## Das Schadeinheitenmodell zur Identifikation und Bewertung von Altlastenstandorten

Stefan Gäth und Justus Brans<sup>1</sup>

### Einleitung und Problemstellung

Alte Industriestandorte sind häufig dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl verschiedener Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen in unterschiedlichen Konzentrationen und mit unterschiedlicher Verteilung in den Böden vorliegen und das Grundwasser gefährden, so dass Sanierungsmaßnahmen ergriffen werden müssen.

Zur Gefahrenabwehr werden in diesem Zuge häufig Maßnahmen ergriffen, die zum Ziel haben, den mehr oder weniger kompletten Grundwasserleiter zu sanieren.

Die damit verbundenen hohen Kosten und hohen Verbräuche an Ressourcen (Energie, Betriebsmittel,..) führen zu der Frage, ob die Sanierung auf einzelne Standorte (hot spots) und/oder Stoffgruppen beschränkt werden kann.

Ziel des vorliegenden Beitrages ist es, beispielhaft für den Industriestandort Frankfurt Hoechst die Anwendung eines Schadeinheitenmodells vorzustellen, das erlaubt, die komplexe Gefährdung eines Grundwasserleiters und dessen Sanierung differenziert zu bewerten.

### Der Industriestandort Frankfurt-Hoechst

Der Industriepark Frankfurt-Hoechst ist ein historisch gewachsener Industriestandort, dessen Geschichte eng mit der Entwicklung der ehemaligen Hoechst AG verbunden ist:

- ca. 4 km<sup>2</sup> Standortgröße
- Chemiestandort seit 1863
- Bis zur Neuordnung der Hoechst AG zwischen 1994 und 1997 170.000 Mitarbeiter weltweit
- Heute ein Industriepark mit eigener Standortverwaltungsgesellschaft, der Infraseriv GmbH
- Vielfältige Produktionspalette

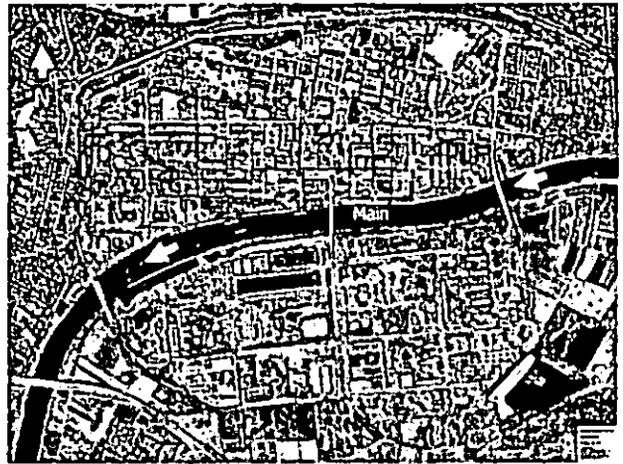


Abb. 1: Industriepark Frankfurt Hoechst

Seit Beginn der Produktion wurden Abfälle verschiedenster Form und Konsistenz auf dem Standort flächenhaft abgelagert, um den Standort aus dem Mainwasserspiegel dauerhaft zu heben und den Chemiestandort schrittweise zu erweitern.

Auf diese Weise kommen in den Böden eine Vielzahl unterschiedlicher Stoffe/Stoffgruppen vor, die zur Belastung des Grundwassers beitragen, so dass ein Grundwassersanierungsplan geschaffen wurde.

Folgende Maßnahmen wurden bislang in diesem Zusammenhang getroffen:

- ca. 250 Grundwassermessstellen
- 30 Förderbrunnen werden betrieben
- Grundwasseraufbereitungsanlage für ~ 340 m<sup>3</sup>/h
- Insgesamt liegen > 950.000 Einzelanalysen vor
- Bestimmung von ca. 190 Einzelparametern in den Wasserproben

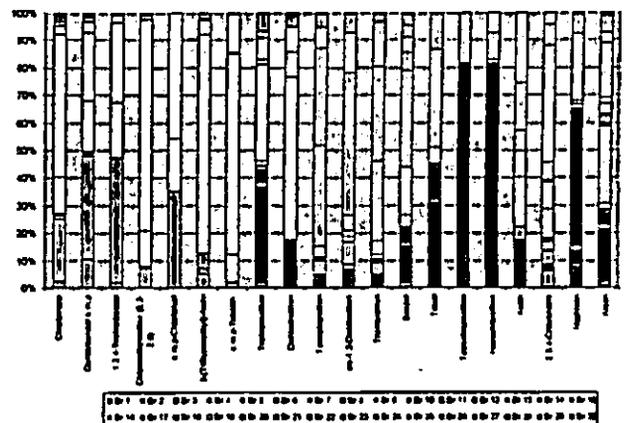


Abb. 2: Prozentualer Anteil ausgewählter organischer und anorganischer Schadstoffe in den 30 Förderbrunnen

Wie Abbildung 2 zeigt, treten in den verschiedenen Brunnen ganz unterschiedliche Schadstoffmuster auf. Eine vergleichende Bewertung der Umweltrelevanz einzelner Brunnen bzw. Grundwasservorkommen ist nicht möglich.

<sup>1</sup> Professur für Abfall- und Ressourcenmanagement  
Prof. Dr. Stefan Gäth & Dipl.-Ing. Justus Brans  
Heinrich-Buff-Ring 26-32, 3592 Giessen  
Stefan.a.gaeth@agrar.uni-giessen.de

### Das Schadeinheitenmodell

Ziel des Schadeinheitenmodells ist die vergleichende Bewertung von Brunnen bzw. Grundwasservorkommen mit unterschiedlichem Schadstoffinventar und unterschiedlichen Schadstoffkonzentrationen (Gl. 1). Dabei wird davon ausgegangen, dass die Schadstoffe additiv wirken.

$$(1) \quad C_{SE} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_i^{Referenz}}}{1}$$

$C_{SE}$  - Konzentration an Schadeinheiten, SE/l  
 $C_i$  - Konzentration des Stoffes i,  $\mu\text{g/l}$   
 $C_i^{Referenz}$  - Referenzkonzentration des Stoffes i,  $\mu\text{g/l}$

Bei dem Ansatz werden – wie bei den Toxizitätsäquivalenten der Dioxine – die gemessenen Konzentrationen eines Stoffes i durch dessen Referenz- oder Grenzwert dividiert.

Als Referenzwerte werden die Geringfügigkeitsschwellenwerte GFS der LAWA (2004) herangezogen, die von der Umweltministerkonferenz 2004 eingeführt wurden. Die GFS liegen für eine Vielzahl anorganischer und organischer Stoffe vor, wobei zur Ableitung der GFS das in Abb. 3 definierte Vorgehen gewählt wurde. Damit ist die Möglichkeit gegeben, dass für unbekannte Stoffe GFS-Werte nachträglich definiert werden können.

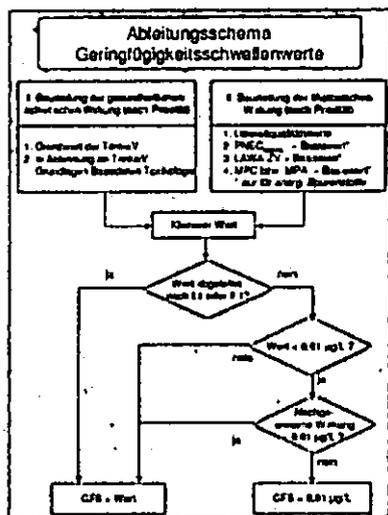


Abb. 3: Ableitungsschema für Geringfügigkeitsschwellenwerte (LAWA, 2004)

Das Ergebnis, die Anzahl Schadeinheiten des Stoffes i, werden auf 1 Liter bezogen (Tab. 1).

Die Aufsummierung der Schadeinheiten für die berücksichtigten Stoffe ergibt dann die Konzentration an Schadeinheiten  $C_{SE}$  in dem betrachteten Wasser.

Tab. 1: Beispiel zur Berechnung der Konzentration an Schadeinheiten für Chlorbenzol und Arsen

Stoff	C	$C_{GFS}$	$C_{SE}$
Chlorbenzol	454 $\mu\text{g/l}$	1 $\mu\text{g/l}$	454 SE/l
Arsen	320 $\mu\text{g/l}$	10 $\mu\text{g/l}$	32 SE/l

Unter Berücksichtigung der Durch- oder Abflussmenge kann die Schadeinheitenfracht  $F_{SE}$  berechnet werden, was notwendig ist, wenn bspw. unterschiedliche Förderraten vorherrschen (Gl. 2).

$$(2) \quad F_{SE} = C_{SE} \cdot Q$$

$F_{SE}$  - Schadeinheitenfracht, SE/Zeit  
 $Q$  - Durchflussmenge, l/Zeit

### Ergebnisse

Abbildung 4 zeigt, dass in dem gewählten Beispiel 8 Brunnen für 90% der Schadeinheiten im Grundwasser verantwortlich sind.

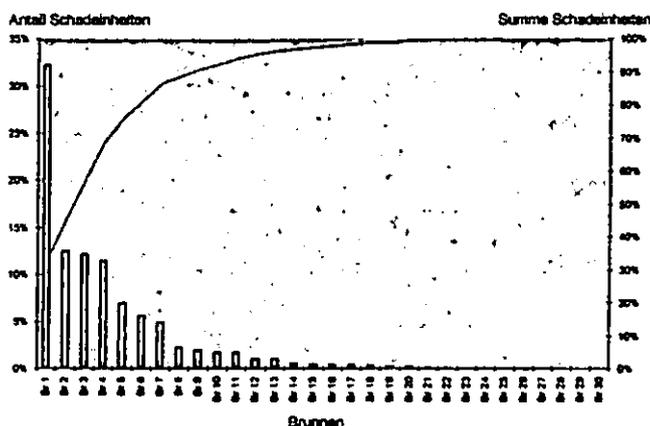


Abb. 4: Prozentualer Anteil der Schadeinheiten in den 30 Förderbrunnen

Das bedeutet, dass Sanierungsmaßnahmen in den ersten Brunnen als effizienter bewertet werden müssen. Das gleiche gilt für die Einzelsubstanzen: Von den 190 untersuchten Einzelsubstanzen erklären 15 90,3 % der Schadeinheiten, 28 Einzelsubstanzen 97,8 %. D.h., die Anwendung des Schadeinheitenmodells erlaubt eine quantifizierte Beurteilung der Belastung einzelner Brunnen und einzelner Stoffgruppen, was in Abb. 2 nicht gelang.

### Fazit

- Das Schadeinheitenmodell ist geeignet, Altlastenstandorte mit breitem Schadstoffinventar vergleichend zu bewerten.
- Das Schadeinheitenmodell hilft, Schadstoffcluster zu identifizieren und Sanierungsmaßnahmen kosten- und nutzeffizient zu steuern.
- Voraussetzung des Schadeinheitenmodells ist, dass die einzelnen Schadstoffe additiv wirken.

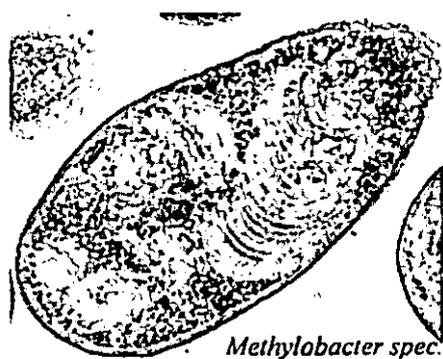
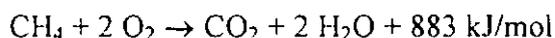
# BMBF-Verbund MiMethox: Mikrobielle Methanoxidation in Deponieabdeckschichten

J. Gebert<sup>1</sup>, J. Streese-Kleeberg<sup>2</sup>, J. Berger<sup>3</sup>,  
S. Melchior<sup>4</sup>, E.-M. Pfeiffer<sup>1</sup>

## 1. Einführung

Deponien sind in Europa nach der Landwirtschaft die zweitgrößte Quelle anthropogener Methanemissionen (EEA 2006). Methan ist explosibel und trägt gegenüber Kohlendioxid mit der 23fachen Wirkung zum Treibhauseffekt bei (Wuebbels and Edmonds 1991). Die Nutzung oder Abfackelung deponiebürtigen Methans ist bei älteren Deponien aufgrund des verminderten Gasaufkommens in der Regel nicht mehr möglich. Von den zahlreichen Altdeponien geht daher auch noch Jahrzehnte nach Abschluss der Deponierung ein erhebliches Gefährdungs- und klimawirksames Potenzial aus.

Eine wirksame und kostengünstige Möglichkeit zur Verminderung dieser Emissionen stellt die mikrobielle Oxidation von Methan in Biofiltern oder Deponieabdeckschichten dar. Sie erfolgt durch methanotrophe Bakterien nach folgender Gleichung:



Obwohl das Potenzial der mikrobiellen Methanoxidation zur Verminderung von Schwachgasemissionen vielfach erkannt wurde (z.B. Huber-Humer 2004; Barlaz et al. 2004; Bogner et al. 2005), fehlen bislang Empfehlungen für den

technischen Aufbau von entsprechend optimierten Deponieabdeckschichten sowie ein Methoden-Set zur Quantifizierung der Methanoxidationsleistung.

## 2. Ziele

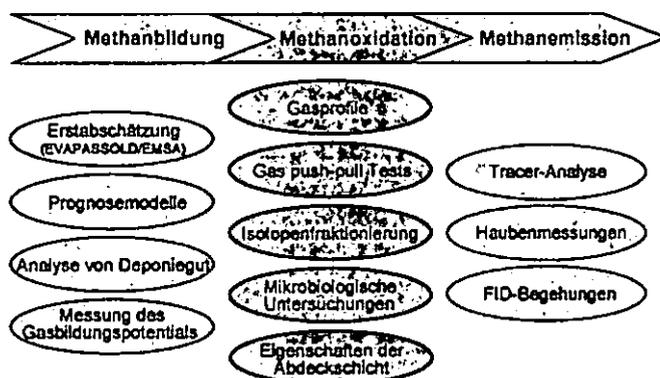
*MiMethox* verfolgt drei übergeordnete Ziele:

- Entwicklung von optimierten Rekultivierungsschichten zur nachhaltigen Verringerung von Methanflüssen aus Deponien
- Entwicklung und Validierung einer Methode zur Bilanzierung des Methanhaushalts ganzer Deponien
- Bereitstellung der Ergebnisse für die Praxis in Form von zwei technischen Leitfäden.

## 3. Untersuchungskonzept

Das Projekt gliedert sich in zwei Phasen: *baseline studies* auf bestehenden Deponien einerseits und die Untersuchung definiert entwickelter Abdecksysteme in Testfeldern andererseits.

Das dabei verfolgte Untersuchungskonzept verknüpft Methoden aus den Feldern der Abfallwirtschaft, der Mikrobiologie, der Bodenkunde, den atmosphärischen Wissenschaften und der Modellierung:



### Phase I (2007-2009)

#### Prozessstudien an Altdeponien

Fünf repräsentative Altdeponien werden wie folgt charakterisiert:

- Methanbildung im Deponiekörper
- Methanoxidation in der Abdeckschicht
- Methanemission in die Atmosphäre
- Aufbau und Eigenschaften der Abdeckschicht.

<sup>1</sup>Universität Hamburg, Institut für Bodenkunde, Allende-Platz 2, 20146 Hamburg, [J.Gebert@ifb.uni-hamburg.de](mailto:J.Gebert@ifb.uni-hamburg.de)

<sup>2</sup>Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für AbfallRessourcenManagement

<sup>3</sup>Technische Universität Darmstadt, Institut WAR, Fachgebiet Abfalltechnik

<sup>4</sup>melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft

### Prozessstudie auf einer MBA-Deponie

Auf einer Deponie für mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle (MBA) wird in Testfeldern eine kombinierte Oberflächenabdichtung aus Kapillarsperre und Rekultivierungsschicht gebaut.

### Phase II (2010-2012)

#### Praxisnahe Validierung in Testfeldern

Die aus Phase I abgeleiteten Entwicklungsziele für den optimierten Aufbau von Deponieabdeckungsschichten werden auf einer Altdeponie in mehreren Testfeldern großmaßstäbig validiert.

#### Erstellung technischer Leitfäden

Der abfallwirtschaftlichen Praxis wird ein Leitfaden zur Bilanzierung von Methanflüssen auf Deponien und ein Leitfaden zum optimierten Aufbau von Deponieabdeckungen für die Methanoxidation bereitgestellt. In beiden Phasen wird zudem die Fachöffentlichkeit in Form von Workshops in die Weiterentwicklung des Vorhabens eingebunden.

### 4. Perspektiven

Der Anwendungsbereich der biologischen Methanoxidation umfasst Deponien in der Anfangsphase der Ablagerung, Altdeponien und Deponien mit geringem Gasbildungspotenzial. Weiterhin kann die mikrobielle Methanoxidation zur Reduktion der nach der Durchführung von in-situ Belüftungsverfahren verbleibenden Emissionen eingesetzt werden.

Die Behandlung von Schwachgas-Emissionen wird in Zukunft noch bedeutsamer, da gemäß Abfallablagerungsverordnung seit Juni 2005 nur noch vorbehandeltes, in seiner Aktivität deutlich reduziertes Material deponiert werden darf. Es besteht daher die dringende Notwendigkeit, Instrumente zur nachhaltigen Verringerung nicht nutzbarer Methanflüsse aus Deponien für die Praxis zu entwickeln.

### 5. Projektpartner



Universität Hamburg

Universität Hamburg  
Institut für Bodenkunde (Koordination)  
[www.geowiss.uni-hamburg.de/i-boden](http://www.geowiss.uni-hamburg.de/i-boden)



Technische Universität Hamburg-Harburg

Technische Universität Hamburg-Harburg  
Institut für AbfallRessourcenWirtschaft  
[www.tu-harburg.de/aws](http://www.tu-harburg.de/aws)



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Technische Universität Darmstadt  
Institut WAR, FG Abfalltechnik  
[www.abfalltechnik.net](http://www.abfalltechnik.net)



melchior + wittpohl  
Ingenieuresellschaft

melchior+wittpohl Ingenieuresellschaft  
[www.mplusw.de](http://www.mplusw.de)

### 6. Literatur

- European Environment Agency 2006. Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2006. EEA Report No 9/2006.
- Huber-Humer M., 2004. Abatement of landfill methane emissions by microbial oxidation in biocovers made of compost. Doctoral Thesis at the University of Natural Resources and Applied Life Sciences Vienna, Institute of Waste Management, Vienna 2004.
- Barlaz M., R. Green R., J. P. Chanton, C.D. Goldsmith, and G. R. Hater G.R., 2004. Biologically active cover for mitigation of landfill gas emissions. *Environmental Science & Technology* 38, p. 4891- 4899.
- Bogner J., K. Spokas, J. Chanton, D. Powelson, J. Fleiger, and T. Abichou, 2005. Modeling landfill Methane Emissions from Biocovers: A combined theoretical-empirical Approach. *Proceedings Sardinia '05 – Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*, 3 – 7 October 2005, CISA, Cagliari, Italy.
- Wuebbles D., Edmonds, J 1991. *Primer on greenhouse gases*. Lewis Publishers Inc., Chelsea, Michigan, USA.

# Preparation and Characterization of Nanoparticulate Zeolitic Tuff

Ayoub Ghrair<sup>1</sup>, Joachim Ingwersen<sup>1</sup> & Thilo Streck<sup>1</sup>

## Introduction

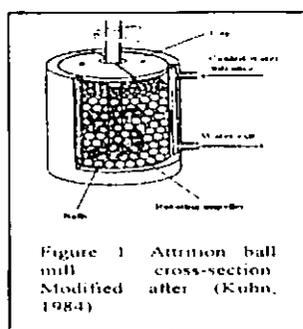
Nanoparticles from natural materials provide new opportunities in many agricultural and environmental fields. During the last decades, natural zeolitic tuff has been proposed for immobilizing heavy metals in soil. The chemically modified zeolite has higher sorption capacity than the natural one (Athanasiadis, 2005). We prepared Na-zeolitic tuff particles in the nano-range to enhance its metal immobilizing potential. A nanoparticle is defined as particle with average characteristic dimension less than 100 nm (Dutta, 2000). Nanoparticle materials are seen as important auxiliary materials for soil remediation because of their large surface area and other physical and chemical properties. The objectives of this study are: (1) to produce and characterize Na-zeolitic tuff in the nano-range, (2) to stabilize the Na-zeolitic tuff nanoparticle in suspension and (3) to investigate the role of Na-zeolitic tuff nanoparticles in sorption-desorption of Cd.

## Materials and Methods

Zeolite consists of secondary minerals which can be defined as crystalline hydrated aluminosilicates of alkali and alkaline earth cations having infinite three-dimensional framework (Mumpton, 1977). In Jordan, zeolitic tuff deposits were discovered first by Dwairi in 1984 (Dwairi, 1987). Zeolitic tuff sample was brought from Tell Rimah volcano, which is located close to the northern boundary to Syria. The sample was crushed and sieved to sizes between 0.5 and 0.125 mm. The zeolitic tuff is strongly alkaline with a pH value of 8.8. The major exchangeable cations are Ca, Mg, K and Na.

The mill used in this study is an attrition ball mill manufactured by Siemens. It has a vertical, rotating central shaft with horizontal arms. The milling process takes place by a stirring action of the agitator. The grinding vessel is jacketed for cooling (Figure 1). The rotation rate was set to 1300 rpm. The milling media were Al-oxide beads (1-2.6 mm) and fine zirconia beads (100 µm). Ethanol was used as solvent.

The particle size is a critical issue in the characterization of nanoparticles. Zeolitic tuff nanoparticles do often form agglomerates. We observed two characteristic diameters (Figure 3-A). One is the diameter of a single particle; the other one is the diameter of agglomerates. The size of separated nanoparticles was determined by transmission electron microscope (TEM). TEM studies were performed using a JEOL100CX II Transmission electron microscope (TEM) at



200 kV and 200,000 magnification. The nanoparticles were dispersed on a copper grid for TEM observation. The zeta potential was determined by an electroacoustic method. X-ray powder diffraction (XRD) patterns were recorded using Cu Kα radiation source on a Scintag X1 powder diffractometer (Siemens D-500). Ultrasonic processor UP 200S was used for dispersion of nanoparticles. Fifty gram of the zeolitic tuff sample (0.5-0.125 mm) was added to 1200 g of a mixture of Al-oxide beads (1-2.6 mm). The mill was operated for 8 hours not continuously (divided for two stages) using mixed beads size in each run (Bilgili, 2004).

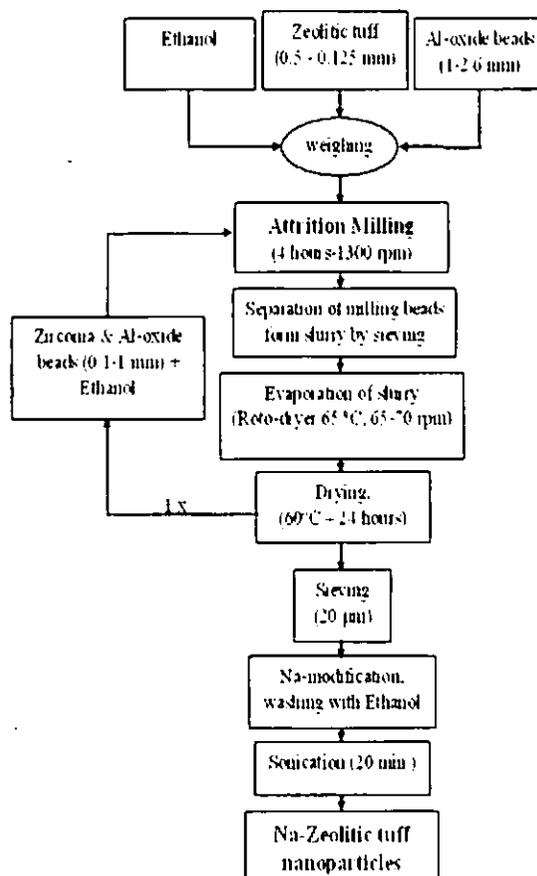


Figure 2 Schematic diagram of the method used for preparing Na-zeolitic tuff nanoparticles.

At the first stage, the comminuting process lasted for four hours. After that, the milling media was separated from slurry via a sieve chain and was subsequently dried in a vacuum evaporator. Completely dried powders were obtained after 15 h of drying at 60 °C in a drying oven. The processed powder was applied to another run of comminuting for four hours. Here, a mixture of fine zirconia Al-oxide beads (0.1-1.0 mm) was utilized. Finally, the slurry was separated from the milling media, then ethanol was separated from the sample in a vacuum evaporator to be used again. The powder was dried in oven over night. The processed powders were then sieved to obtain nanoparticle powder. The powder was treated with 1 M NaCl solution over a period of 24 h. Afterwards, it was washed with ethanol. To obtain stabilized suspension it was sonicated at 100% amplitude and 1 cycle for 20 minutes.

<sup>1</sup> University of Hohenheim (310d) Institute of Soil Science and Land Evaluation (310), Section of Biogeophysics D-70599 Stuttgart Email ghrair@uni-hohenheim.de

## Results and discussion

TEM imaging of the nanoparticles revealed a mean particle diameter of 47.6 nanometers. 50% of the particles had diameters below 41.8 nanometers (Figure 3-B).

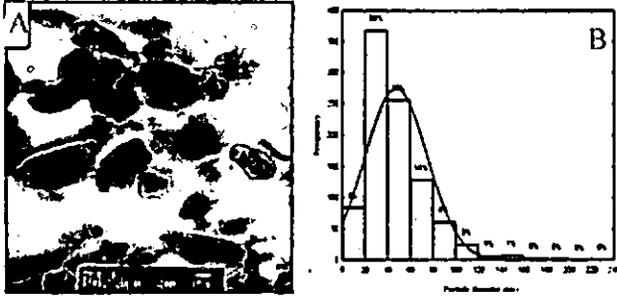


Figure 3. (A) TEM image of zeolitic tuff nanoparticles. (B) Histogram of zeolitic tuff nanoparticles size distribution. The size of the particles was measured using the software Image Tool.

Zeta potential measurements showed that the surface of the zeolitic tuff nanoparticles has a negative charge in water at the investigated pH values within the pH range from 3.8 to 9.3 (Figure 4). This shows that the suspensions are stable over a wide range of pH. The suspension of zeolitic tuff nanoparticles at pH 8.6 has a zeta potential of -46.3 mV. Modification of the nanoparticles to the Na-form produces particles that, when suspended in water, are negatively charged and have a zeta potential of -64.6 mV at pH 8.6. According to Riddick (1968), the stability of the Na-zeolitic nanoparticles is high to very good at pH values above eight, where the zeta potential is lower than -60 mV. The suspension is reasonably stable at pH values between five and eight.

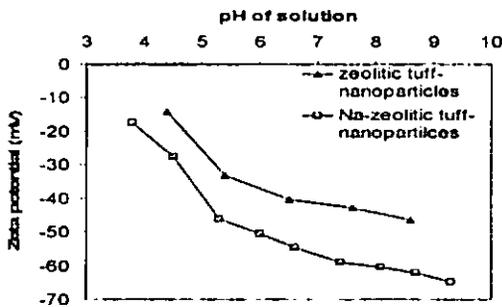


Figure 4. Zeta potential of natural and Na-modified zeolitic tuff nanoparticles.

The XRD patterns showed that the mineral content is Phillipsite, Chabazite, Faujasite, Calcite, Smectite (Figure 5). This de-

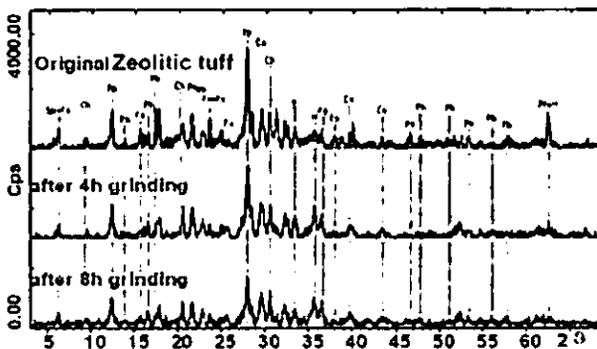


Figure 5. X-ray diffractometer patterns show the change of zeolitic tuff during milling. Ph: Phillipsite, Sm: Smectite, Ch: Chabazite, Fa: Faujasite, Fo: Forsterite, Ca: Calcite, H: Hematite.

monstrates that the zeolitic tuff nanoparticles are in the nano-crystalline phase. To investigate the ability of Na-zeolitic tuff nanoparticles to immobilize Cd, a sorption experiment was carried out at various pH values and Cd concentrations. Figure 6 demonstrates that the Cd isotherms make a shift towards higher sorption as pH increases and vice versa.

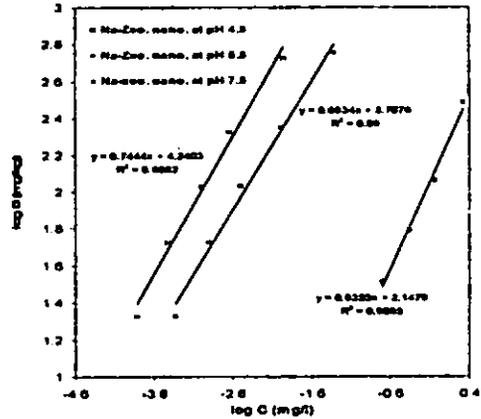


Figure 6: Cadmium adsorption isotherms were performed for Na-zeolitic tuff nanoparticle (Na-zeo.nano.) at various pH.

## Conclusions and outlook

A method for producing and stabilizing zeolitic tuff in the nano-range was established. The surface of zeolitic tuff nanoparticles has negative charge in water at the investigated pH values. The suspensions are stable over a wide range of pH. Na-zeolitic tuff nanoparticles are a crystalline material. Na-zeolitic tuff nanoparticles immobilize Cd much stronger than traditional zeolitic tuff does.

## References

- Athanasiadis, K., Helmreich, B. (2005). Influence of chemical conditioning on the ion exchange capacity and on kinetic of zinc uptake by clinoptilolite. *Water Research* 39, 1527-1532.
- Bilgili, E. Hamey, R., Scarlett, B. (2004). Production of pigment nanoparticles using a wet stirred mill with polymeric media. *China Particuplogy*, 2, 93-100.
- Dutta, M.K., Pabi, S.K., Murty, B.S. (2000). Thermal stability of nanocrystalline Ni silicides synthesised by mechanical alloying. *Mater. Sci. Eng.*, A284, 219-225.
- Dwairi, I. (1987). A chemical study of the palagonitic tuffs of the Aritain area of Jordan, with special reference to nature origin and industrial potential of the associated zeolite deposits. Ph.D thesis. Hull University, UK. 408p.
- Kuhn, E. (1984). *Powder Metallurgy*. ASM Handbook, ASM International: Materials park, OH. Vol. 7, pp. 56-70.
- Mumpton, F.A. (1977). *Mineralogy and geology of natural zeolites*. Mineralogical Society of America, Southern Printing Company.. Vol. 4, pp. 1- 15.

## **Wirkung von Bodenzusätzen auf die Mobilität und Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen in Gartenböden**

Rita Haag\*, Ingo Müller#, Bernd Marschner\*

### **Zusammenfassung**

In den Ballungsgebieten NRW finden sich flächenhafte, aber eher mäßige Schwermetallbelastungen in Kulturböden, die aber vielerorts die Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV überschreiten und somit Handlungsbedarf aufzeigen. In einem Pilotversuch wurden 2004 in 12 Schrebergärten in Duisburg und Wuppertal verschiedene Bodenzusätze in Versuchspartellen einmalig eingebracht und über drei Jahre mit insgesamt sieben Kulturen bepflanzt.

Als Bodenzusätze wurden Metasorb® (ein kommerzielles Schichtsilikat), Wasserwerksschlamm, Phosphat (als TSP), Zeolith, Tonminerale und einzelne Kombinationen dieser Zusätze mit Aufwandsmengen von 2-8 kg m<sup>-2</sup> in die obersten 30 cm eingearbeitet. Zu jedem Erntetermin wurden die Böden auf pH, mobile Schwermetallgehalte (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Extrakt) und die verzehrbaren Pflanzenteile nach küchenfertiger Aufbereitung auf SM-Gesamtgehalte hin analysiert.

Während die mobilen Cd- und Zn-Gehalte in den meisten Böden vor allem durch Wasserwerksschlamm allein oder in Kombination mit TSP deutlich verringert wurden, zeigte die Pflanzenaufnahme weniger klare Effekte. Die Gehaltsminderungen lagen in der Regel bei weniger als 30% und waren wegen großer Standardabweichungen oft nicht gegenüber den unbehandelten Kontrollen statistisch absicherbar. Dennoch zeigen sich bei einzelnen Kulturen wie Sellerie und Kopfsalat positive Wirkungen der Bodenzusätze Wasserwerksschlamm und vereinzelt auch von Metasorb®. Hier kam es neben Minderungen der Cd-Gehalte auch zu verringerten Pb-Gehalten.

Als besonders wirksam erwies sich die synthetische Verbindung Trimercapto-triazin®, die allerdings erst im Jahr 2006 zum Einsatz kam. Weiterhin verringerten einige der Bodenzusätze die über ein in-vitro Magen-Darm System ermittelte Resorptionsverfügbarkeit von Pb und Cd um bis zu 80%. Die Ergebnisse werden vor dem Hintergrund der Bodenheterogenität in den Gartenanlagen und der Anwendbarkeit für die Praxis diskutiert.

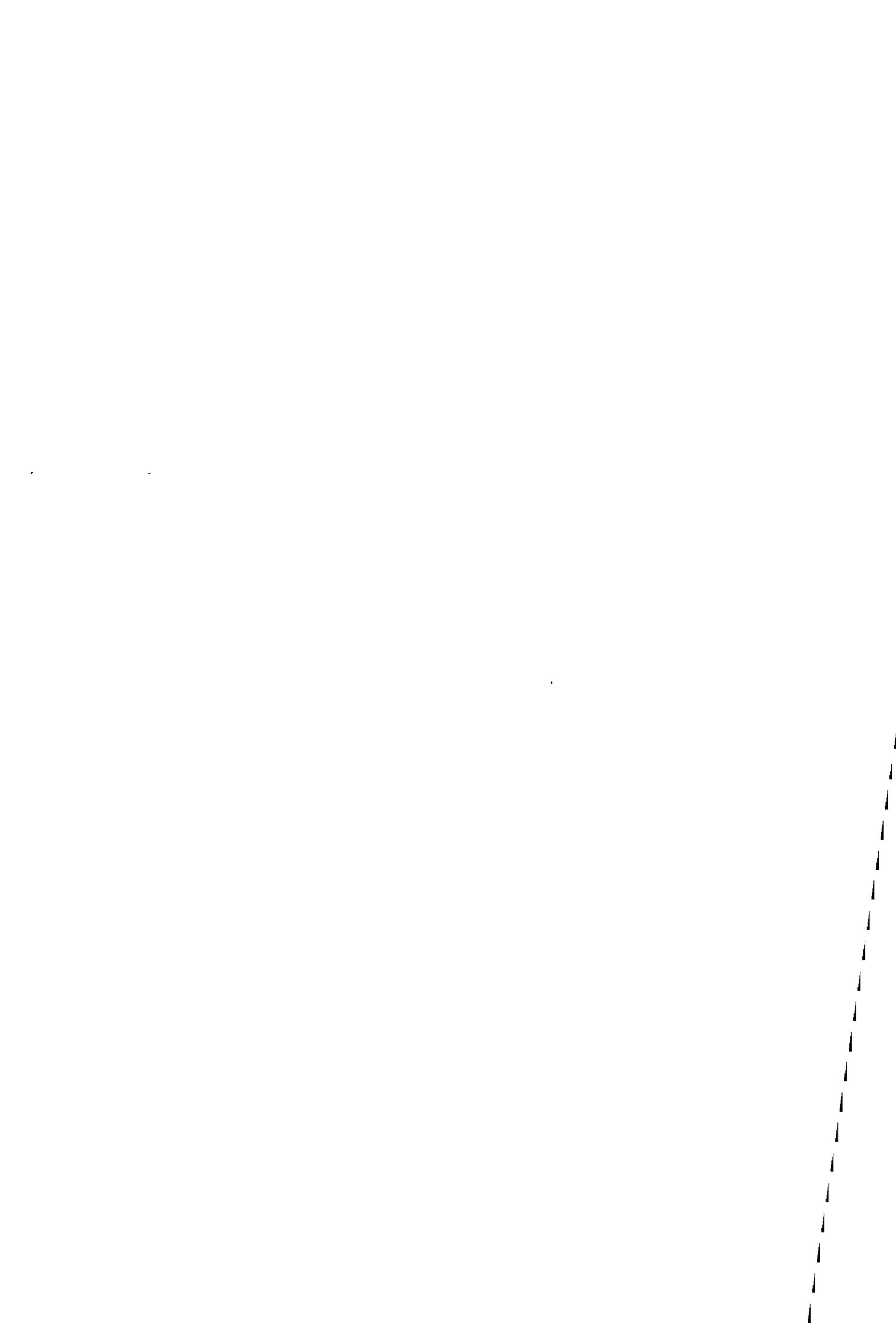
### **Danksagung**

Die noch laufenden Arbeiten werden vom Ministerium für Umweltschutz, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert.

---

\* Ruhr-Universität Bochum  
Geographisches Institut  
Bodenunde/Bodenökologie  
bernd.marschner@rub.de

# Sächsisches Landesamt für Umweltschutz und Geologie  
Abteilung Bodenschutz  
ingo.mueller@smul.sachsen.de



### Ableitung flächenscharfer bodenkundlicher Informationen für den Oberboden

Klaus-Jörg Hartmann<sup>1</sup>, Thorsten Behrens<sup>2</sup>, Horst Domsch<sup>3</sup> & Christian Marchsreiter<sup>4</sup>

#### Hintergrund

Ökonomische, politische und ökologische Aspekte führen zu einem steigenden Anteil teilflächenspezifisch bewirtschafteter Flächen (precision farming). Methoden, Algorithmen und technische Lösungen zur Steuerung von Bodenbearbeitungsgeräten, Sämaschinen oder Düngerstreuern liegen vor. Zur Prozesssteuerung über Bordrechner benötigen diese Verfahren u. a. digitale, flächenscharfe, bodenkundliche Informationen. In Hinblick auf Umfang und Aufwand ist eine konventionelle großmaßstäbige Kartierung dieser Flächen nicht möglich. Arbeiten der letzten Jahre beschäftigen sich zur Erhebung der erforderlichen Informationen mit verschiedenen geoelektrischen und -physikalischen Verfahren (BOESS 2004; 2007). In der Regel werden Messwerte im Zusammenhang mit bodenkundlichen Informationen interpretiert und in der Fläche dargestellt. Hierbei gilt es den Aufwand für die bodenkundlichen Datenerhebung zu optimieren und zu minimieren.

Zu diesen Verfahren der Datenerhebung zählt die scheinbare Elektrische Bodenleitfähigkeit (EC) in mS/m. Die EC bzw. ihre reziproke Größe, der elektrische Bodenwiderstand, gestatten es räumliche Veränderungen geologischer und bodenkundlicher Strukturen zu erkennen. Die Parameter, die die elektrische Leitfähigkeit des Bodens (EC) beeinflussen, sind bekannt (Tab. 1).

Tab. 1: Faktoren, die die elektrische Leitfähigkeit im Boden beeinflussen (DOMSCH 2002)

Faktor	Bemerkung
Trockenrohdichte	Einfluss vernachlässigbar bei Feldkapazität konstant
Wassergehalt	
Leitfähigkeit der Bodenlösung	wenig veränderlich
Bodentemperatur	bestimmbar
Kationenaustauschkapazität	variabler Faktor
Tongehalt	

Neben den Faktoren, die konstant gehalten werden können, beeinflussen über die Kationenaustauschkapazität Ton- und Humusgehalte den EC-Wert. Nach Kalibrierung, z.B. auf Grundlage einer Regressionsfunktion, kann aus EC-Messwerten ein mittlerer Tongehalt geschätzt werden. Im wesentlichen lassen sich zwei Verfahren und

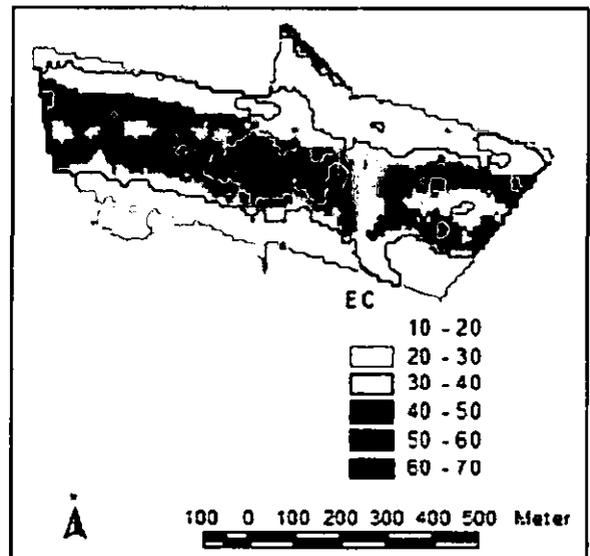
Geräte unterschieden. Das induktive Verfahren arbeitet mit dem Gerät EM 38 und liefert reproduzierbare Aussagen, die bis zu einer Tiefe von 150 cm. reichen. Das geoelektrische Verfahren mit dem Gerät VERIS nimmt parallel mindestens zwei Messtiefen auf und bietet so Informationen zu Bodenartenwechsel und Schichtung zwischen Ober- und Unterboden (DOMSCH 2002).

#### Ergebnisse und Diskussion

Für einen 54 ha großen Schlag liegen in zwei Messtiefen nach dem geoelektrischen Verfahren (VERIS) aufgenommene EC-Werte vor. Die Bodenart im Klassenzeichen der Bodenschätzung besteht im wesentlichen aus Lehm (L) und schweren Lehm (LT). Der südliche Teil des Schlages, dessen EC Werten zwischen 10 – 30 mS/m liegt, besteht aus Löss. Der nördliche Teil, mit höheren EC-Werten, setzt sich aus diluvialen, z. T. lössbeeinflussten Sedimenten über Verwitterungsmaterial zusammen. Bei dem Verwitterungsmaterial handelt es sich um Keuperton oder jurassische Gesteine. Das Gebiet im Nordosten, mit EC-Werten zwischen 20 – 30 mS/m, besteht aus aluvialen Material.

Die für einzelne Punkte vorliegenden Messwerte wurden in die Fläche interpoliert (Abb. 1). Des weiteren wurden aus dem Oberboden (0 bis 3 dm) 60 georeferenzierten Proben genommen und Analysen der einzelnen Kornfraktionen, Humusgehalte sowie pH-Werten durchgeführt.

Abb. 1: Regionalisierte Elektrische Leitfähigkeit



Mit Bezug auf die interpolierten EC-Werte erfolgte unter Einsatz der Analysen eine Schätzung und Regionalisierung der Schluff- und Tongehalte (Abb. 2). Das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  zwischen EC-Messwerten und den einzelnen Fraktionen der Bodenartenanalysen beträgt im Oberboden für Sand 0,07, Schluff 0,63 und Ton 0,7.

<sup>1</sup> Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, joerg.hartmann@lagb.mw.lsa-net.de

<sup>2</sup> Eberhard-Karls-Universität Tübingen

<sup>3</sup> Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.

<sup>4</sup> proagrum, Vatterstetten

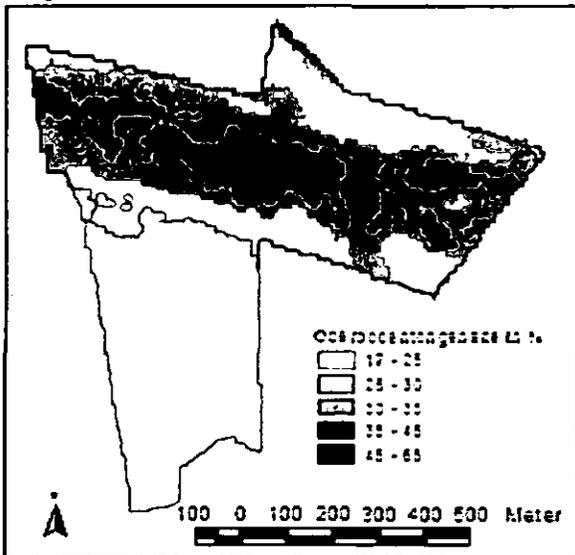


Abb. 2: Regionalisierte Oberbodentongehalte (Grundlage Analysen)

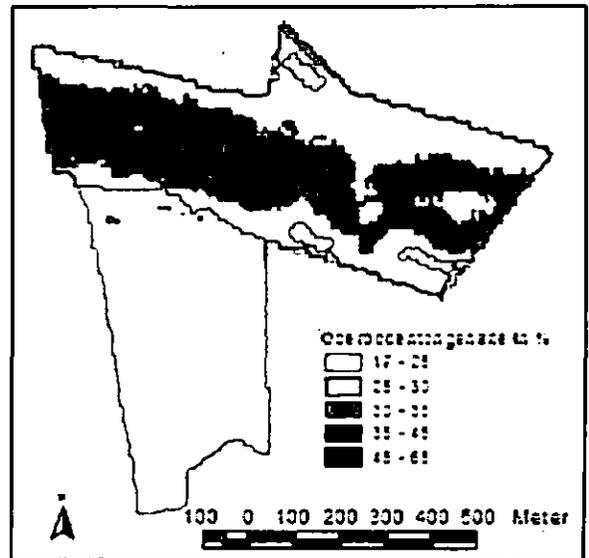


Abb. 3: Regionalisierte Oberbodentongehalte (Grundlage Grablochbeschriebe)

Die Schluff- und Tongehalte erlauben die Ableitung der Bodenart. Der Bodenart lassen sich verschiedenartige Kennwerte Austauschkapazität zuweisen (AD-HOC-AG BODEN 2005).

Der für derartige Betrachtungen erforderliche Humusgehalt beträgt im Mittel für die 60 analysierte Proben 3% (Mittelwert 1,74% Cges, Median 1,75% Cges). Eine weitere Differenzierung kann durch eine Regionalisierung der analysierten Humusgehalte erfolge. Im vorliegenden Fall ist dies nicht erforderlich. Bei den 60 Proben liegt der Humusgehalt jeweils nur einmal unter 2% bzw. über 4%.

Des weiteren können diese Informationen als Grundlage für die Anwendung von Methoden und Bewertungsalgorithmen dienen. Bspw. benötigt ein Algorithmus von VOSSHENRICH (2004), zur Steuerung der Bearbeitungstiefe, räumlich aufgelöste Angaben zur Bodenart bzw. Tongehalt. Nach diesem Algorithmus kann die gesamte Fläche mit einem Tongehalt > 12 % flach, d. h. zwischen 8 und 10 cm, bearbeitet werden.

Alternativ zu den Analysen lassen sich, in den Sprachgebrauch der Kartieranleitung übersetzte, Schichtbeschriebe der Bodenschätzung einsetzen (Abb. 3). In dem Gebiet liegen 21 Grablöcher. Als Eingangswert für die Berechnung dienen die Klassenmitten der einzelnen Fraktionen der Bodenarten.  $R^2$  beträgt im Oberboden für Schluff 0,54 und Ton 0,4. Das räumliche Bild zwischen Analysen und Bodenschätzung (Abb. 2/3) ist ähnlich und führt hier für 75% der Fläche zu einer mit auf Basis von Analysen geschätzten Tongehalten vergleichbaren Einstufung.

Bei der Betrachtung verschiedener Schläge liegt  $R^2$  im Oberboden für Ton zwischen 0,4 und 0,78 und für Schluff zwischen 0,23 und 0,91. BOESS (2007) kommt auf Grundlage geschätzter Tongehalte zu einem  $R^2$  zwischen 0,37 und 0,66.

### Zusammenfassung und Ausblick

Mit Hilfe von EC-Werten und Analysen bzw. Schichtinformationen übersetzter Grablochbeschrieben lassen sich Bodenarten im Oberboden regionalisieren, Kennwerte zuweisen und Methoden anwenden. Hierbei gilt es Probennahme und -umfang zu optimieren. Es muss geklärt werden, ob ein Zusammenhang zwischen Analysen und übersetzten Grablochbeschrieben besteht. Sofern dies der Fall ist, könnten Grablochbeschriebe einen Teil der Analysen ersetzen.

Des weiteren gilt es dieses, für den Oberboden erprobte, Verfahren bei verfügbaren EC-Werten auch für den Unterboden zu erschließen.

### Literatur

- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl., Hannover
- BOESS, J. (2004): Konzept zur Erstellung einer hoch auflösenden Bodenkarte für eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung, Arb.-H. Boden, 2004/5, 21-33
- BOESS, J. (2004): Nutzung geophysikalischer Verfahren zur Verbesserung hoch auflösender Bodenkarten für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung, Z. dt. Ges. Geowiss. 158/1, S 165-176
- DOMSCH, H. (2002): Kartierung der elektrischen Bodenleitfähigkeit in ihr Beitrag zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, Z. Angew. Geol., 3/2002, 9-11
- HARTMANN, K.-J., BEHRENS, T., BOESS, J., DOMSCH, H., SCHOLTEN, T. (2006): Konzept zur integrierten Daten-basierten Modellierung räumlich hochauflösender bodenkundlicher Informationen, Bodenbericht Sachsen-Anhalt 2006, Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen von Sachsen-Anhalt, 11, 99-104
- VOSSHENRICH, H.-H. (2004): Ortschaftspezifische Bodenbearbeitung. Arb.-H. Boden, 2004/5, S.65-69

## Entwicklung eines Decision Support System zum Wasserressourcenmanagement in Syrien: Überprüfung der "Soil Moisture Method" des WEAP-Systems mit externen Bodenwasserhaushaltsmodellen

Volker Hennings<sup>1</sup>, Johannes Wolfer<sup>1</sup> und Markus Huber<sup>1</sup>

### Veranlassung

Im Rahmen der Technischen Zusammenarbeit mit dem "Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands" (ACSAD) in Damaskus/Syrien entwickelt BGR ein "Decision Support System" (DSS) zum Wasserressourcenmanagement für ein exemplarisches Einzugsgebiet im syrischen Antilibanon. Als Ergebnis einer internationalen Software-Recherche wurde für den Projekteinsatz das WEAP-System ("Water Evaluation and Planning") des STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE (2005) ausgewählt, da es Nutzern in Entwicklungsländern kostenlos zur Verfügung steht. WEAP enthält einfache, nicht-mechanistische Modellkomponenten, die vom Ablauf der beteiligten hydrologischen Prozesse z.T. stark abstrahieren.

Im Projekt wird WEAP mit externen Modellen gekoppelt, u.a. mit dem Modell MODFLOW zur Simulation der Grundwasserverhältnisse. Zur Simulation des Bodenwasserhaushalts enthält WEAP mit dem Modul "Soil Moisture Method" ein sehr einfaches Bodenwasserhaushaltsmodell, das nur wenige Boden- und Pflanzen-Parameter als Input-Variablen verwendet und die Sickerwasserrate als Output liefert. Um die WEAP-Ergebnisse verifizieren, eine realistische Abschätzung von Evapotranspiration und Grundwasserneubildung im Projektgebiet vornehmen und bestmögliche Werte der Boden- und Pflanzenparameter für den Routinebetrieb bereitstellen zu können, werden externe, prozessbasierte Simulationsmodelle des Bodenwasserhaushalts zum Vergleich eingesetzt.

### Methodik

Das 165 km<sup>2</sup> große Projektgebiet, ein intramontanes Becken im Antilibanon-Gebirge, umfasst das obere Einzugsgebiet des Barada-Flusses mit Höhenlagen zwischen 1100 und 2500 m ü. NN. Das Spektrum der Böden reicht von tiefgründigen Tonböden in Tallagen (Calcaric Fluvisols) bis zu flachgründigen, skelettreichen Regosols und Lithic Leptosols in Hanglagen. Bei Niederschlägen zwischen 400 und 1100 mm an den genannten Standorten hat das Gebiet überragende Bedeutung für die Wasserversorgung des Großraums Damaskus und stellt zugleich eines der wichtigsten Obstanbaugebiete des Nahen Ostens dar.

Unter Verwendung von Geologie-, Relief- und Landnutzungsinformationen wurde eine Konzeptbodenkarte erstellt und für eine bodenkundliche Grobkartierung des Projektgebietes genutzt. Die für den WEAP-Einsatz benötigten Bodenkennwerte wurden zunächst mit Pedotransferfunktionen abgeleitet (Feldkapazität und gesättigte Wasserleitfähigkeit des Oberbodens), die Pflanzenkennwerte (crop coefficient, leaf area index) wurden internationalen Richtlinien z.B. der FAO entnommen. Zum besseren Prozessverständnis der WEAP-internen Modelle wurde eine Sensitivitätsanalyse mit Variation der Boden- und Pflanzenparameter durchgeführt. Die Größenordnung von aktueller Evapotranspiration und Grundwasserneubildung wurde in erster Näherung mit einem empirischen Recharge-Koeffizienten geschätzt, anschließend mit WEAP unter Verwendung obiger Parameterwerte und zu Vergleichszwecken mit prozessbasierten Modellen des Bodenwasserhaushalts (SWAP, KROES & VAN DAM 2003; CROPWAT, CLARKE et al. 1998) ermittelt.

### Ergebnisse

Die Feldkapazität im obersten Profilmeter der Böden im Projektgebiet reicht von wenigen mm im Bereich geringmächtiger Rohböden und verkarsteter Landoberflächen bis zu Maximalwerten von 475 mm im Fall tiefgründiger Tonböden in Tallagen. Bei Dominanz der Bodenarten Tu4 bis Tu2 sind mittlere kf-Werte von 5 – 10 cm/d zu veranschlagen. Nach Befunden der Sensitivitätsanalyse ist die gesättigte Wasserleitfähigkeit des Oberbodens unter den vier Variablen des WEAP-Modells der mit Abstand wichtigste Input-Parameter (Abb. 1); nur Werte von  $\leq 1$  cm/d führen bei Anwendung der "Soil Moisture Method" unter den örtlichen Klimabedingungen zu realistischen Ergebnissen für Evapotranspiration und Grundwasserneubildung.

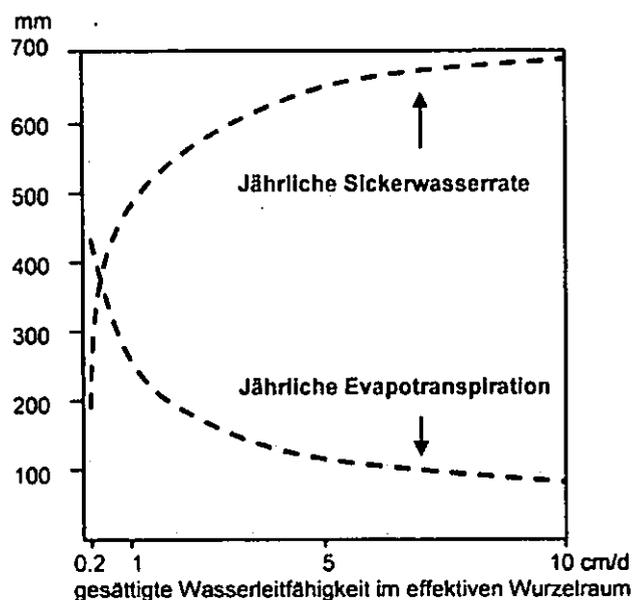


Abb. 1: Abhängigkeit der Output-Variablen vom kf-Wert des Bodens in WEAP

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, 30655 Hannover; volker.hennings@bgr.de

Bei einem flächengewichteten Jahresmittelwert von ca. 385 mm unter natürlichen Bedingungen ohne Bewässerung (ca. 280 mm an Talstandorten landwirtschaftlicher Nutzung, bis zu 800 mm an Standorten nahe der Wasserscheide) setzt die Grundwasserneubildung zum Jahresbeginn ein und beschränkt sich weitgehend auf die Monate Januar und Februar. Bei Bewässerung erhöhen sich diese Werte um 30 bis 60 mm im Bereich der Obstbaumpflanzungen.

Tab. 1: Vergleich der Modellergebnisse an einem Talstandort mit tiefgründigen Tonböden, ebenem Relief und Obstbäumen (Jahresniederschlag 588 mm)

	Recharge Coefficient	WEAP	CROPWAT
Oberflächenabfluss	?	78 mm	0 mm
Akt. Evapotranspiration	?	0 mm	339 mm
Grundwasserneubildung	98 mm	510 mm	249 mm

Tab. 1 zeigt die Ergebnisse der drei Modellansätze für Klimadaten des hydrologischen Referenzjahres 2004/2005 an einem Talauenstandort intensiver landwirtschaftlicher Nutzung. Die direkte Eingabe mit Pedotransferfunktionen ermittelter Bodenkennwerte in WEAP führt zu einer extremen Unterschätzung der aktuellen Evapotranspiration und Überschätzung der Grundwasserneubildung. Erst durch Modellierung des Bodenwasserhaushalts an repräsentativen Standorten mit prozessbasierten Modellen, deren Ergebnisse als Vorgaben der WEAP-Kalibration dienen können, gelingt die Ermittlung realistischer Parametersätze für die routinemäßige WEAP-Anwendung im syrischen Projektgebiet.

### Praktische Bewertung

- "Water holding capacity" und "hydraulic conductivity", wie sie als Inputdaten der "Soil Moisture Method" verwendet werden, stellen WEAP-spezifische Größen dar und entsprechen nicht bodenhydrologischen Kennwerten, wie sie im Sinne bodenkundlicher Definitionen verwendet werden.
- Die Tatsache, dass WEAP nur einheitliche Klimadaten je Teileinzugsgebiet verarbeiten kann, zwingt dazu, die Parameterwerte einer Landnutzungsart auch unter den Teileinzugsgebieten zu variieren, um auf diese Weise die räumliche Variabilität des Klimas abbilden zu können.
- Nach aufwändiger Kalibration erlaubt WEAP trotz dieser Einschränkungen Szenariobetrachtungen für den Fall veränderter Klimabedingungen.

### Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass die WEAP-Software nicht direkt im Routinebetrieb einsetzbar ist. Dem po-

tentiellen Anwender, speziell Planern und Entscheidungsträgern ohne bodenhydrologische Detailkenntnisse, bietet sich praktisch keine Möglichkeit, ohne separate Modellierung z.B. mit CROPWAT zu in der Praxis nutzbaren Parametersätzen zu gelangen. Um diesem Anwenderkreis eine aufwändige Kalibration zu ersparen, sind mehrere alternative Vorgehensweisen möglich. Die einfachste Variante wären Modifikationen und Ergänzungen des WEAP-Manual-/Tutorial, z.B. um typische Werte für die WEAP-internen Bodenparameter. Da zwischen Feldkapazität nach bodenkundlicher Definition und WEAP-spezifischer Feldkapazität keine eindeutigen Korrelationen bestehen, stellt diese Variante keine praktikable Lösung dar. Stattdessen werden kann folgendes Fazit gezogen werden:

- Mittelfristig sollte das "Soil Moisture Method"-Modul durch ein prozessbasiertes, nicht-mechanistisches Bodenwasserhaushaltsmodell ersetzt werden.
- Die begrenzte Verfügbarkeit natürlicher Wasserressourcen verlangt auch in anderen Regionen der Erde den Einsatz von Decision Support Systems nach Art der WEAP-Software. Auf der Basis der im syrischen Projektgebiet gewonnenen Erfahrungen kann die praktische Anwendbarkeit von WEAP in Projekten ähnlicher Zielsetzung schon vorab beurteilt werden. Mit dem erweiterten DSS wird mittelfristig ein Werkzeug für Szenariobetrachtungen bereit stehen, das Planern ein effektives Wasserressourcenmanagement in (semi-)ariden Klimaten erleichtert.

### Literatur

- CLARKE, D., SMITH, M. & EL-ASKARI, KH. (1998): CropWat for Windows: User Guide.- Prepared by Land and Water Development Division of FAO, Institute of Irrigation and Development Studies (IIDS) of Southampton University & National Water Research Center (NWRC) of Egypt. Download from: [www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/agl/aglw/cropwat.htm](http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/agl/aglw/cropwat.htm)
- KROES, J.G. & VAN DAM, J.C. (Eds.) (2003): Reference Manual SWAP Version 3.0.3. - Alterra-report 773. Alterra, Wageningen / The Netherlands.
- STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE (2005): WEAP - Water Evaluation and Planning System. User Guide for WEAP21. - Stockholm.

## Erfassung des komplexen elektrischen Leitwerts als Messprinzip zur Abschätzung von Bodeneigenschaften

Hinck, S.<sup>\*</sup>, Mueller, K.<sup>\*</sup>, Emeis, N.<sup>\*</sup>, Christen, O.<sup>\*\*</sup>

### Einleitung:

Zunehmend werden geoelektrische Messverfahren in der Landwirtschaft für eine schnelle und räumlich differenzierte Flächenkartierung eingesetzt. An der Fachhochschule Osnabrück wird speziell für die geoelektrische Messung im Oberboden ein eigenes Bodensensorsystem entwickelt, um die Bodenart beprobungsarm abzuleiten.<sup>[1,2]</sup>

Die bereits häufig in der Landwirtschaft eingesetzten Messsysteme arbeiten nach dem Vierpunkt-Verfahren oder nach dem Messprinzip der elektromagnetischen Induktion. Diese Messprinzipien sind in Literatur detailliert beschrieben.<sup>[3,4]</sup> Das Vierpunkt-Verfahren kommt z.B. bei den Messsystemen Veris oder ARP03 und das elektromagnetische Messverfahren z.B. beim Messsystem EM38 zur Anwendung.<sup>[5]</sup>

Neu ist das von der Fachhochschule Osnabrück verwendete Messprinzip zur Erfassung des komplexen elektrischen Leitwerts mit einem Elektrodenpaar. Um nachzuweisen, dass es möglich ist, mit diesem Messprinzip ebenfalls zuverlässige geoelektrische Messergebnisse aufzunehmen, werden erste Messergebnisse ausgewählter Systeme miteinander verglichen.

### Material und Methode

Eingesetzt wurden neben dem Bodensensorsystem FH OS die Messsysteme ARP03 und EM38. Das EM38 zeichnet sich durch einen induktiven (berührungslosen) Messvorgang aus. Das ARP03 wie auch das Bodensensorsystem FH OS sind auf eine galvanische Ankopplung (Kontaktmessung) mit dem Boden angewiesen.

Messtermin für das ARP03 war im Herbst 2004. Für die vorliegende Auswertung werden die Messergebnisse für Messtiefe I (EC1) von 0 bis 50 cm genutzt. Das Bodensensorsystem FH OS wurde in 2005 und 2007 mehrmals auf der Fläche eingesetzt. Die Messtiefe betrug ca. 25 cm. Das Messsystem EM38 wurde an drei Terminen sowohl im vertikalen (EM38(v)) als auch im horizontalen (EM38(h)) Modus eingesetzt. Im horizontalen Messmodus beschreiben 63% des Messsignals eine

Tiefe bis zu 60 cm bzw. beschreiben 63% des Messsignals eine Tiefe bis zu 130 cm im vertikalen Modus. Des Weiteren gilt es die Messempfindlichkeitskurve zu beachten.<sup>[6]</sup>

Als Messgröße wird die elektrische Leitfähigkeit (EC) genutzt.

Die Messsysteme kamen auf der Versuchsfläche „Im Berge“ zum Einsatz. Diese Fläche zeichnet sich durch eine starke Inhomogenität der Korngrößenverteilung aus. Des Weiteren ist diese Fläche bodenkundlich sehr gut untersucht.<sup>[1]</sup> Als Vergleichsgröße dienen die Korngrößen (Sand, Schluff und Ton) und der organische Kohlenstoffgehalt ( $C_{org}$ ) in der Tiefe 0 cm bis 30 cm. Der Zusammenhang zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und den Korngrößen sowie  $C_{org}$  wird mit Hilfe einer Korrelationsanalyse (*Spearman'schen* Korrelationskoeffizienten) und einer Regressionsanalyse angegeben.

Die Aufbereitung und Auswertung der Daten erfolgte mit dem GIS-Programm OpenJUMP und dem Statistikprogramm SPSS 12.0.

### Erste Ergebnisse und Diskussion

In Tab. 1 ist der *Spearman'schen* Korrelationskoeffizienten zwischen elektrischer Leitfähigkeit des jeweiligen Messsystems und den Korngrößen sowie  $C_{org}$  angegeben. Der Zusammenhang zwischen Sandgehalt und elektrischer Leitfähigkeit ist negativ, d.h. mit steigendem Sandgehalt sinkt die elektrische Leitfähigkeit ab. Zwischen elektrischer Leitfähigkeit und Schluff, Ton sowie  $C_{org}$  besteht ein positiver Zusammenhang, entsprechend steigt die elektrische Leitfähigkeit mit diesen Korngrößen sowie  $C_{org}$  an.

Weiterhin zeigen sich sehr geringe bis mittlere Korrelationen für die Messergebnisse des Messsystems EM38 und der Korngröße sowie  $C_{org}$ . Die Messergebnisse der Messsysteme ARP03 (EC1) und Bodensensorsystem FH OS weisen mittlere bis hohe Korrelationen zur Korngröße sowie  $C_{org}$  aus. In der Tendenz sind die Korrelationen zwischen den Messwerten Bodensensorsystem FH OS und Korngrößen sowie  $C_{org}$  stärker ausgeprägt als beim Messsystem ARP03 (EC1).

Für die drei Messsysteme wird das Bestimmtheitsmaß für eine ausgesuchte Regression für die elektrische Leitfähigkeit und die Korngröße Ton angegeben. Die Messung mit dem Messsystem ARP03 fand zu einem anderen

\* Fachhochschule Osnabrück, Postfach 1940, 49009 Osnabrück; S.Hinck@fh-osnabrueck.de (www.projekt-pirol.de)

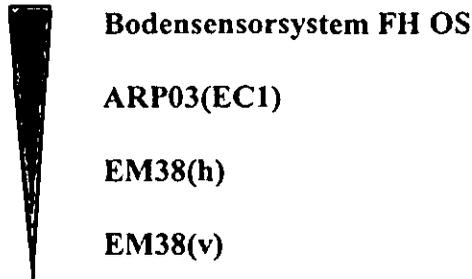
\*\* Institut für Acker- und Pflanzenbau, Martin-Luther-Universität, Ludwig-Wucherer-Str. 2, 06108 Halle/Saale

Zeitpunkt statt, aber die Messergebnisse werden vergleichend mit berücksichtigt. Die Bestimmtheitsmaße der Regressionen, denen die Messergebnissen des EM38 zugrunde liegen sind deutlich schwächer ausgeprägt im Vergleich zum ARP03 (EC1) und dem Bodensensorsystem FH OS. Weiter zeigt sich, dass das Bestimmtheitsmaß des Bodensensorsystems FH OS im Vergleich zum Bestimmtheitsmaß des ARP03 (EC1) wiederum höher ist.

Regression für Korngröße Ton (y) und EC (x):

EM38(v):  $y = 1.2477 x^{0.8971}$   $B^2 = 0.22$   
 EM38(h):  $y = 0.8819 x^{2.2336}$   $B^2 = 0.51$   
 ARP03 (EC1):  $y = 1.3277 x^{0.7538}$   $B^2 = 0.66$   
 Bodensensorsystem FH OS:  
 $y = 1.2704 x^{0.2090}$   $B^2 = 0.78$

Es zeigt sich ein unterschiedlich stark ausgeprägter Zusammenhang zwischen den einzelnen Ergebnissen der Messsysteme zum Tongehalt im Oberboden. Der Zusammenhang nimmt entsprechend der Messsysteme in der folgenden Reihenfolge ab:



**Fazit**  
 Die Ergebnisse belegen, dass es möglich ist, geoelektrische Messungen mit dem vorgestellten Messprinzip „Erfassung des komplexen elektrischen Leitwerts“ und einem Elektrodenpaar

zuverlässig vorzunehmen. Im Vergleich mit zwei anerkannten Messsystemen zeigen die Messergebnisse des Bodensensorsystems der Fachhochschule Osnabrück den stärksten Zusammenhang zwischen elektrischer Leitfähigkeit und Korngröße im Oberboden bzw. bei der Regressionsanalyse das höchste Bestimmtheitsmaß.

**Literatur:**

<sup>1</sup> HINCK, S., MUELLER, K., EMEIS, N.: Erfassungsmöglichkeiten verschiedener Bodenparameter mit Hilfe einer Multi-Sensortechnik, S: 735 – 736 im Tagungsband 2005 „DBG Mitteilungen“, Band 7/2, Hrsg.: DBG ISSN 0343-1071  
<sup>2</sup> HINCK, S., MUELLER, K., EMEIS, E. CHRISTEN, O.: Development of a multi-sensor system for the low-sample recording of soil properties, S. 892 – 896 in Proceedings der 17. Konferenz der International Soil Tillage Research Organisation (ISTRO) in Kiel (ISBN 3-9811134-0-3)  
<sup>3</sup> KNÖDEL, K., KRUMMEL, H., LANGE, G.: Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Depo-nien und Altlasten, Band 3, Geophysik, 2. Aufl. Springer Verlag, Berlin, 2005. (ISBN 3-540-22275-8)  
<sup>4</sup> KELLER, G.V., FRISCHSKNECHT, F.C.: Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Pergamon Press, New York, 1977.  
<sup>5</sup> GEBBERS, R., LÜCK, E.: Geoelektrische Methoden zur Bodenkartierung in der Landwirtschaft, S. 3.2.3-113 – 3.2.3-135 in Precision Farming (KTBL-Schrift 419), Hrsg.: Hufnagel, J., Herbst, R., Jarfe, A., Werner, A. Druckerei Lokay, Reinheim, 2006 (Ergänzungslieferung 8/2006). (ISBN 3-7843-2165-8)  
<sup>6</sup> McNEILL, J.D. (1980): Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Technical Note TN-5 der Firma Geonics Ltd., Kanada (<http://www.geonics.com/pdfs/technicalnotes/tn5.pdf>)

**Danksagung für die Überlassung von Messdaten (ARP03):**

Frau Dr. Lück, Inst. Geowissenschaften, Univ. Potsdam; Herrm Dipl. Ing. agr. Gebbers, ATB Potsdam

Der Forschungsschwerpunkt PIROL wird von der VolkswagenStiftung gefördert.

Tab. 1: Spearmansche Korrelationskoeffizienten (r) zwischen elektrischer Leitfähigkeit (EC) des jeweiligen Messsystems und der Korngröße (%) sowie C<sub>org</sub> (%) im Oberboden

Messsystem / EC	Sand	Schluff	Ton	C <sub>org</sub>
EM38 vertikal	-0.15 bis -0.33	0.22 bis 0.39	0.10 bis 0.28	0.30 bis 0.38
EM38 horizontal	-0.18 bis -0.64	0.27 bis 0.69	0.12 bis 0.56	0.37 bis 0.62
ARP03 (EC1)	-0.71	0.70	0.67	0.57
Bodensensorsystem FH OS	-0.58 bis -0.82	0.57 bis 0.77	0.54 bis 0.80	0.36 bis 0.65

# Untersuchungen zur Aufklärung von Sorptionsprozessen in Saugkerzen

U. Kalbe <sup>1)</sup>, S. Würck <sup>2)</sup>, W. Berger <sup>1)</sup>,  
J. Eckardt <sup>1)</sup>, Katrin Rübner <sup>1)</sup>, Ines Feldmann <sup>1)</sup>

## Einleitung

Mit der Verabschiedung von Bundes-Bodenschutzgesetz und Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung ist für eine Gefahrenbeurteilung des Wirkungspfad des Boden-Grundwasser eine Sickerwasserprognose vorgesehen. Dabei kann gemäß Punkt 3.3 der BBodSchV auf der Grundlage von Materialuntersuchungen im Labor (z.B. Säulenversuche) oder in-situ-Untersuchungen auf kontaminierten Standorten der Stoffeintrag in das Grundwasser bilanziert werden. Saugkerzen ermöglichen die Entnahme von Sickerwasser direkt am Ort der Gefahrenbeurteilung. Dabei sollten Wechselwirkungen der Saugkerzenmaterialien mit den Inhaltsstoffen des Bodenwassers so gering wie möglich sein, um Veränderungen der Bodenlösung während der Probenahme zu vermeiden. Im Altlastenbereich, insbesondere im Zusammenhang mit Bodenbelastungen durch organische Schadstoffe, liegen bisher nur wenige Untersuchungen zu dieser Problematik vor [1]. Daher wurden Laboruntersuchungen zu Wechselwirkungen organischer Schadstoffe (PAK, MKW) aus kontaminierten Modellwässern und realen Wässern mit Saugkerzen vorgenommen.

## Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden mit verschiedenen handelsüblichen Saugkerzen verschiedener Materialien ausgeführt: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- und SiC-Keramik, PTFE/Quarz, Borosilikat-Glas und Edelstahl (Abb. 1).

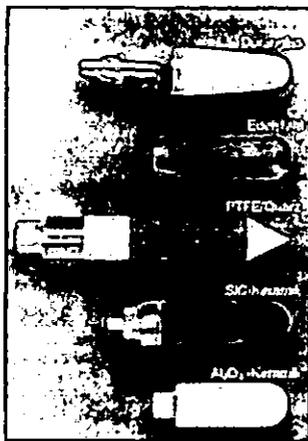


Abb. 1:  
Verwendete Saugkerzentypen verschiedener Materialien

Eine Modelllösung (MW) oder eine reale Testlösung (RW, Bodeneluat für PAK bzw. MKW-kontaminiertes Grundwasser) wurde aus einem Vorratsgefäß

durch die Saugkerzen gepumpt und aufgefangen. Eine Modelllösung (MW) oder eine reale Testlösung (RW, Bodeneluat für PAK bzw. MKW-kontaminiertes Grundwasser) wurde aus einem Vorratsgefäß durch die Saugkerzen gepumpt und aufgefangen. Die Konzentration der Lösung wurde vor und nach dem Test gemessen. Zusätzlich wurden die Saugkerzen mit jeweils geeigneten Lösungsmitteln extrahiert, um den von der Saugkerze zurückgehaltenen Anteil der Schadstoffe zu ermitteln.

Da die Beziehungen zwischen Porenstruktur, Materialeigenschaften und Bodenwasserinhaltsstoffen sehr komplex sind, wurden zur Aufklärung der Wechselwirkungen zusätzlich vergleichende Untersuchungen für die unterschiedlichen Saugkerzen-Materialien durchgeführt. Folgende Parameter wurden ermittelt: Rohdichte, Reindichte, Porosität, spezifische Oberfläche, Porengrößenverteilung, Flussrate, Poren- bzw. Totvolumen, Luftdurchtrittspunkt. Darüber hinaus wurden ESEM-Aufnahmen erstellt.

## Ergebnisse

In den Abbildungen 2 bis 4 sind die Ergebnisse der Untersuchungen mit den verschiedenen Testlösungen und Saugkerzen und verschiedenen ausgetauschten Porenvolumina (PV) exemplarisch dargestellt.

Die ermittelten materialspezifischen Kennwerte der Saugkerzen sind in Tabelle 1 enthalten. Abbildung 7 zeigt ausgewählte rasterelektronenmikroskopische Bilder von Bruchstücken der Saugkerzen.

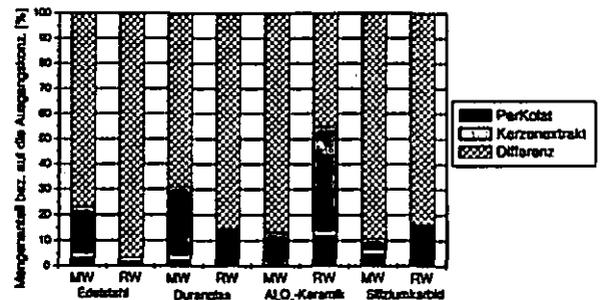


Abb. 2: Ergebnisse mit Dodekan als MKW-Vertreter in Modell- und Realwasser als Testlösung (200 - 500 PV)

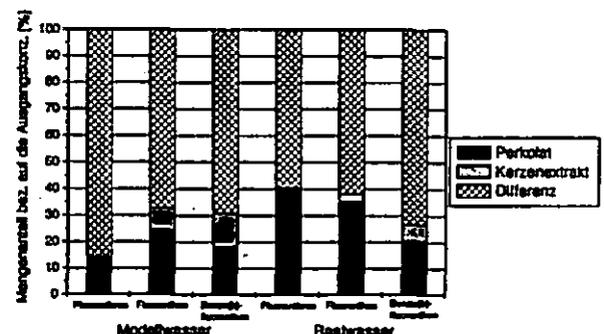


Abb. 3: Ergebnisse mit PAK im Modell- und Realwasser als Testlösung und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramik-Saugkerze (800 - 1400 PV)

1) Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Unter den Eichen 87, 12205 Berlin  
2) Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Konrad-Wachsmann-Allee 1, 03046 Cottbus

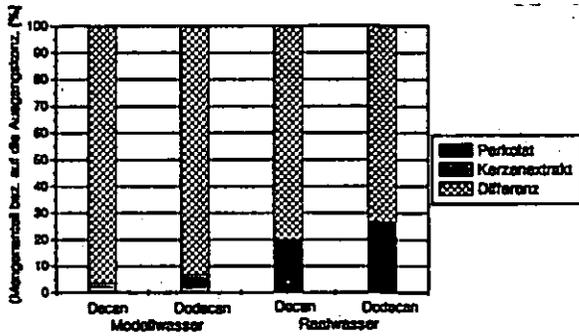


Abb. 4: Ergebnisse mit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramik-Saugkerzen für MKW-Verbindungen in Modellwasser als Testlösung (800 – 1400 PV)

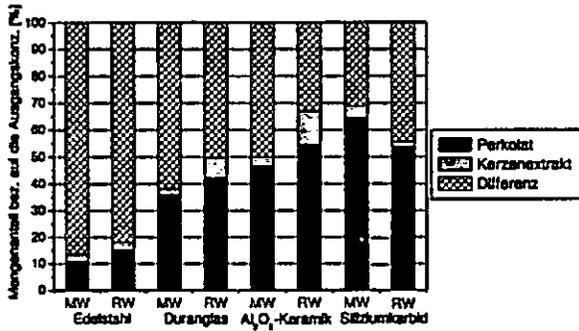


Abb. 5: Ergebnisse für die Summe der 15 EPA-PAK und Modellwasser als Testlösung (250 – 450 PV)

Tab. 1: Kennwerte der untersuchten Saugkerzenmaterialien

Saugkerzentyp	Spezifische Oberfläche	Gesamtporenvolumen	Porosität	Porosität	Porosität	Porosität	Porosität	Mittlere Durchflussrate bei 0,1 bar	Porosität	Leitwert	Leitwert	Adsorption PAK	Adsorption MKW
	[m <sup>2</sup> /g]	[cm <sup>3</sup> /g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[ml/min]	[%]	[mS/cm]	[mS/cm]	[%]	[%]
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Keramik	4,2	196	0,2	-	1,87	3,42	42,3	1,3 (0,8-1,3)	2,4	>2	12,3	27,6	
Edelstahl	0,2	46	2,5	203	6,28	9,17	23,2	1,4 (0,7-2,7)	1,6	1,7	2,8	1,7	
Duranglas	0,3	326	1,1	12,9	1,27	2,28	44,3	33,2 (10,4-64,1)	4,1	1,1	12,3	3,7	
Siliziumkarbid	0,3	111	1,1	-	2,36	3,10	23,9	12,6 (8,9-17,1)	2,3	1,6	6,7	4,3	
PTFE/Quarz	0,7	152	1,1	-	1,87	2,34	20,3	0,02 (0,017-0,042)	6,7	0,4	-	-	

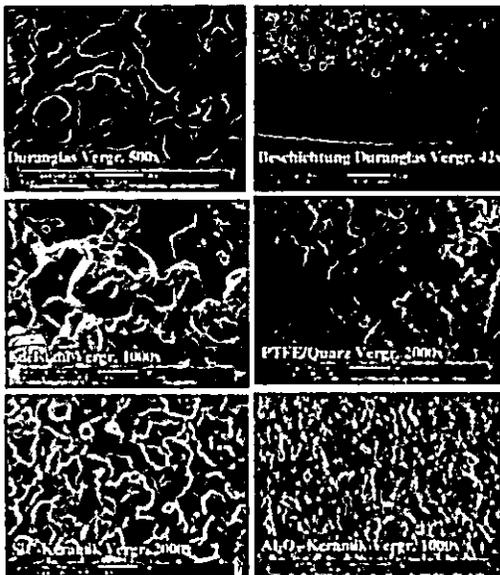


Abb 7: ESEM-Aufnahmen der Saugkerzen

### Schlussfolgerungen

Die mit den Gasadsorptionsmethoden ermittelten Materialparameter konnten mit den ESEM-Aufnahmen bestätigt werden. (Tab. 1, Abb. 7). Die Unterschiede in den Materialeigenschaften der untersuchten Saugkerzen führen zu sehr verschiedenen Flussraten und unterschiedlichem Adsorptionsverhalten (Tab. 1).

Bei Einsatz des Modellwassers wurden für MKW bei allen Saugkerzen erhebliche Verluste beobachtet. Auch bei den PAK wurden besonders die Verbindungen mit größerer Molekülgröße (höhere Ringzahl) von den Saugkerzen zurückgehalten. Bessere Ergebnisse wurden bei Verwendung des Realwassers erzielt (Abb. 2-5).

Keines der untersuchten Saugkerzenmaterialien weist in jeder Hinsicht die gewünschten Eigenschaften wie Luftdurchtrittspunkt >105 Pa bei homogener Porenradienverteilung und geringer Adsorption der untersuchten organischen Schadstoffe auf.

*Die Saugkerzen verhalten sich in Abhängigkeit vom Material wie folgt:*

**Edelstahl:** geringere Adsorption von PAK und MKW durch eine relativ geringe spezifische Oberfläche; Tendenz zur Verstopfung auf Grund der inhomogenen Porenradienverteilung (Tab. 1);

**Duranglas:** ähnliches Verhalten wie die Edelstahl-Saugkerzen durch die bimodale Porenradienverteilung (Tab. 1); größtes Gesamtporenvolumen und höchste Porosität; Plugging an der äußeren Oberfläche des Kerzenkörpers (Beschichtung mit kleinerer Porengröße, s. Abb. 7) verursacht eine Minimierung des Durchflusses durch die Saugkerzen;

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramik:** höhere Adsorption durch hohe spezifische Oberfläche (Tab. 1); geringste Porenradien aber homogene Porenradienverteilung resultiert in geringen Flussraten und geringer Neigung zu Plugging;

**PTFE/Quarz:** homogene Porenradienverteilung aber extrem geringe Flussraten durch den stark hydrophoben Charakter des PTFE, keine ausreichende Verbesserung durch die Mischung und Beschichtung mit Quarz; Laborversuche waren durch lange erforderliche Versuchszeiten und damit verbundenen Bioabbau der organischen Schadstoffe nicht möglich;

**Siliziumkarbid:** relativ geringe Adsorption von MKW und PAK auf Grund der geringen spezifischen Oberfläche; geeignete Flussraten und homogene Porenradienverteilung.

In Abhängigkeit von den zu untersuchenden Schadstoffen müssen für jeden Anwendungsfall geeignete Saugkerzenmaterialien sorgfältig ausgewählt werden.

### Literatur:

[1] U. Kalbe, W. Berger, Saugkerzen zur Untersuchung der Bodenwasserbeschaffenheit - Ein Überblick der Einsatzmöglichkeiten, TerraTech 11-12 (2004) TT8-12.

## Geophilus electricus – ein neues „soil mapping system“

Erika Lück<sup>1</sup> & Jörg Rühlmann<sup>2</sup>

### Einleitung

Zur Erstellung hoch aufgelöster digitaler Bodenkarten werden neben verschiedenen Informationsquellen Daten physikalischer Sensoren zu Grunde gelegt. In diesem Zusammenhang hat die elektrische Leitfähigkeitskartierung in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Die elektrische Leitfähigkeit des Bodens stellt einen Summenparameter dar, der von verschiedenen Größen abhängt. Sie wird beeinflusst von dem Tongehalt und der Tonmineralogie, der Bodenfeuchte und dem Salzgehalt des Bodens. Auch die Lagerungsdichte, der Gehalt an organischer Bodensubstanz und die Bodentemperatur spiegeln sich in den Messwerten wider.

Zur Kartierung der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens stehen mehrere Verfahren zur Verfügung, die sich im Hinblick auf ihre praktische Anwendbarkeit zunächst in stationäre und mobile unterteilen lassen sowie in solche, die eine oder mehrere Bodenschichten analysieren. Unter einer Vielzahl von geoelektrischen Messverfahren sind für großflächige Bodenkartierungen nur die mobil einsetzbaren relevant.

### Stand der Technik

Das kleine und handliche EM38 (GEONICS, Canada) arbeitet berührungslos über induktive Ankopplung. Die Messung erfolgt in ein bzw. zwei Tiefenstufen: 0 - 0.75 m oder/und 0 - 1.50 m; das Messgerät muss kalibriert werden und misst daher keine Absolutwerte, außerdem ist es empfindlich gegenüber Änderungen der Umgebungstemperatur; Metalle in der Umgebung des Gerätes beeinflussen das Messergebnis.

Der Ohmmapper (Geometrics, USA) arbeitet mit kapazitiv ankoppelnden Linienelektroden; er wird nur für Böden mit hohen Widerstandswerten empfohlen. Die Eindringtiefe wird über die Dipollängen und den Dipolabstand variiert; der oberflächennahe Bereich wird nur unzureichend erfasst.

- 1) Universität Potsdam, Institut für Geowissenschaften, Karl-Liebknecht-Str. 24, 14476 Golm/Potsdam  
Email: elueck@geo.uni-potsdam.de
- 2) Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Theodor-Echtermeyer-Weg 1, 14979 Großbeeren  
Email: ruhlmann@igzev.de

Das VERIS3100 (VerisTechnologies, USA) arbeitet über galvanische Ankopplung mittels rollender Elektroden; gemessen werden zwei Tiefenstufen (0-0.30 m und 0-0.90 m) in Wenner-Anordnung. Es ist keine sichere Aussage über Schichtungsverhältnisse im Boden abzuleiten.

Das ARP-03 (GEOCARTA, Frankreich) arbeitet nach dem gleichen Prinzip; 3 Tiefenstufen (0-0.3 m, 0-0.6 m, 0-0.9 m) werden über äquatoriale Dipolanordnungen mit verschiedenen Dipolweiten- bzw. Dipolabständen realisiert. Im Gegensatz zu den vorher genannten Messsystemen ist das ARP-System nicht käuflich zu erwerben sondern nur in Dienstleistung nutzbar.

### Geophilus electricus

Das hier vorzustellende System „Geophilus Elektricus“ ordnet sich ebenfalls in die Messungen mit galvanisch ankoppelnden Elektroden ein. Über ein Elektrodenpaar wird ein Wechselstrom in den Boden eingespeist und über fünf weitere Elektrodenpaare werden in äquatorialer Dipolanordnung die resultierenden Spannungen in unterschiedlichen Abständen zum Einspeisedipol ermittelt. Damit ergibt sich die Möglichkeit, den scheinbaren Widerstandswert in 5 Tiefenstufen zu ermitteln (Abb. 1).

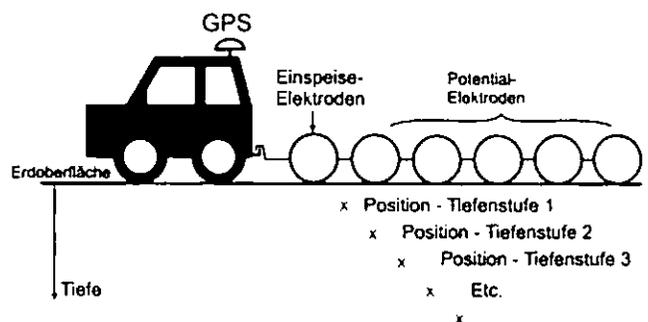


Abb. 1 Messschema des Geophilus electricus

Die Elektroden sind scheibenförmig, so dass das Gerät fahrbar ist und die Messungen kontinuierlich während der Bewegung erfolgen. Aus dem Fahrgassenabstand, der Fahrgeschwindigkeit und dem zeitlichen Abstand der Messwerte (1s-Takt) ergibt sich das räumliche Auflösungsvermögen der Kartierungen. Eine Geschwindigkeit von 5 km/h liefert Messwerte aller 1.4 m; 20 km/h führen zu einem Messpunktabstand von 5.5 m. Die Abb. 2 zeigt Leitfähigkeitsmessungen entlang eines Transektes mit verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten. Zur besseren Vergleich-

barkeit sind die Kurven entlang der Leitfähigkeitsachse gegeneinander verschoben.

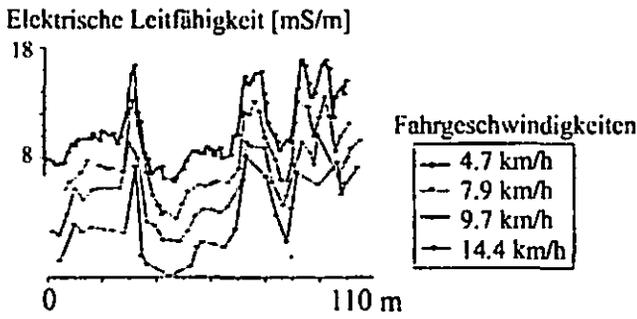


Abb. 2 Leitfähigkeitsmessungen entlang eines Transektes mit verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten

Das Elektrodensystem wurde von J. Bigus (IGZ, Großbeeren) modular aufgebaut, über Verlängerungsstücke können sowohl die Dipolweite als auch die Dipolabstände variiert werden. Derzeit wird mit einer Dipolweite von 1 m gearbeitet. Die Dipolabstände variieren zwischen 0.5 und 2.5 m, d.h. es wird der Oberboden bis etwa 1.3 m Tiefe erfasst.

Das zu dem rollenden Elektrodensystem gehörende Messgerät wurde von T. Radic (Radic Research, Berlin) entwickelt. Gesteuert über einen Computer können mit einem 50 W - Leistungsteil Spannungen bis max. 400 V angelegt bzw. maximale Stromstärken von 20 mA realisiert werden. Die Spannung an den Messkanälen ist auf 2 V begrenzt. Zwei interne und ein externer 12 V-Akku gewährleisten die Energieversorgung. Die Betriebsdauer des Systems liegt bei 8-10 Stunden. Gegenüber den bereits existierenden rollenden Elektrodensystemen zeichnet sich der Geophilus durch die Besonderheit aus, dass das System mit Wechselstrom im Frequenzbereich zwischen 1 mHz und 1 kHz arbeitet, wobei 4 Frequenzen gleichzeitig eingespeist werden können (momentan genutzte Frequenzen: 67.5, 125, 187.5 und 562.5 Hz). Es werden sowohl der Betrag des Widerstandes als auch der Phasenwinkel erfasst, d.h. für jeden Messpunkt im Gelände erhält man 40 Messwerte (5 Tiefenstufen, Betrag und Phase, 4 Frequenzen). Die Messung der spektralen induzierten Polarisation soll die in Widerstandsdaten enthaltenen Mehrdeutigkeiten einschränken helfen. Die Georeferenzierung der gemessenen Daten erfolgt über die zeitgleich mittels (d)GPS aufgezeichneten geographischen Koordinaten.

Die Entwicklung des Geophilus ist relativ jung. Bisher wurden reichlich 100 km Daten mit dem

System aufgenommen. Dabei wurden verschiedene Böden (Salzwiesen, landwirtschaftliche Nutzflächen und Kippenböden) untersucht. Das Leitfähigkeitsspektrum lag zwischen 1 und 200 mS/m.

### Datenbeispiel

An Hand eines Datenbeispiels sollen die Unterschiede zwischen einer EM38-Kartierung und einer Geophilus-Kartierung verdeutlicht werden. Im September 2006 wurde ein 200 m langes und 50 m breites Versuchsfeld in Örja (Schweden) mit beiden Verfahren kartiert (Messpunktabstand etwa 2 m). Die Abb. 3 zeigt den Vergleich der EM38-Leitfähigkeitskartierung (a) mit einer Geophilus-Kartierung (b). Die über den Geophilus bestimmten Widerstandswerte wurden in

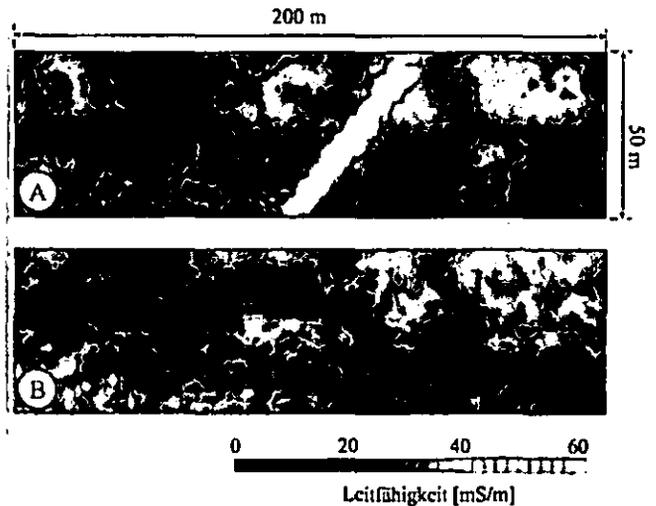


Abb. 3 Leitfähigkeitskartierungen im Vergleich a) EM38-Daten, b) Geophilus-Daten gemessen mit 1m Dipolabstand

elektrische Leitfähigkeiten umgerechnet. Während die EM38-Daten klar eine metallische Leitungsstruktur abbilden, sind die Geophilus-Daten davon unbeeinflusst. Ein visueller Vergleich beider Karten zeigt deutliche Ähnlichkeiten. Während die schlecht leitfähigen Gebiete über lehmigem Sand gemessen wurden, sind die Regionen mit höheren Leitfähigkeitswerten durch Schluff und Ton charakterisiert. Während die EM38-Daten keine Aussagen zur Schichtung liefern, kann man aus einem Vergleich der einzelnen Kanäle des Geophilus auf eine elektrisch gut leitfähige Zwischenschicht schließen.

## Lysimeterstudien mit neu entwickelten

### Hochleistungs-Pflanzenfiltern

Mahro, B. <sup>a)</sup>, Holthuis, J.-U. <sup>a)</sup>, Dobner, I. <sup>b)</sup>,  
Warrelmann, J. <sup>b)</sup>

#### Fragestellung

Eine ökonomisch wie ökologisch sinnvolle Reinigungs-Technologie für kontaminierte Abflüsse von Verkehrs-, Lager- oder Dachflächen sind dezentrale Hochleistungs-Bodenfilter, wenn sie einen zuverlässigen Schutz von Boden und Grundwasser gewährleisten.

Für solche Filter wurden anhand detaillierter Substratanforderungen [1,2] viele reaktive Materialien für eine effektive Reinigung von Straßenabflüssen untersucht [z.B. 3,4,5,6,7]. Trotzdem fehlen bis heute gesicherte und allgemein anwendbare Empfehlungen zu Substratmischungen für Anwendungsziele wie z.B. stark belastete Abflüsse [8].

Daneben stockt häufig die konventionelle Schilfbepflanzung auf den unregelmäßig beschickten Filtersubstraten, so dass deren Funktionsfähigkeit (Schadstoffaufnahme / -abbau) nicht sichergestellt ist. Hier sollten die Einsatzmöglichkeiten verschiedener Arten von Gräsern und krautigen Pflanzen wechselfeuchter Standorte als Alternative zu Schilf näher untersucht werden [9]. Im Folgenden werden die Ergebnisse eines Forschungsprojektes zur Entwicklung eines solchen Hochleistungs-Pflanzenfilters vorgestellt [10].

#### Experimentelles

Anhand einer repräsentativen, hochbelasteten Schadstoffmischung wurde anfangs ein umfangreiches Laborscreening zur Ermittlung

- hydraulisch geeigneter Filterzuschlagstoffe mit hoher Stoffbindungskapazität
- schadstofftoleranter, an wechselfeuchte Bedingungen angepasster Pflanzen
- geeigneter Mykorrhiza-Pilze

durchgeführt [11, 12].

Aufbauend auf diese Resultate, wurden in einer neunmonatigen Studie mit sechs Lysimetern (Maße: 1,29 x 0,79 x 0,99 m) unterschiedliche Kombinationen aus optimierten Substratmischungen und mykorrhizierter Bepflanzung getestet. Dabei wurde die Reinigungsleistung durch den Stoffrückhalt einer einmaligen „worst case“-Schadstoffapplikation ermittelt. Die hydraulische Belastung betrug das zehnfache des ortsüblichen Niederschlags, die restlichen Umweltbedingungen entsprachen denen des Standortes.

a) Hochschule Bremen, Institut für Umwelt und Biotechnik, Neustadtswall 30, 28199 Bremen

b) Universität Bremen, Zentrum für Umweltforschung und Umwelttechnologie, Leobener Straße, 28359 Bremen

#### Ergebnisse

Der prozentuale Stoffrückhalt gegenüber gering wasserlöslichen Schadstoffgruppen wie PAK oder MKW erwies sich generell als sehr hoch (> 99,9%) und es fielen keine Unterschiede zwischen einzelnen Lysimetervarianten auf. Auch der Rückhalt hydrophiler Schwermetalle war sehr effektiv und lag > 96,5%, wobei Filtermaterial auf Basis von Silikatkolloid / Humus eine bemerkenswerte Erhöhung des Wirkungsgrades gegenüber hochmobilem Zn<sup>2+</sup> zeigt. Der Rückhalt des bisher wenig untersuchten wasserlöslichen Herbizids 2,4-D blieb unbefriedigend, jedoch zeigten die bepflanzten, substratoptimierten Bodenfilter durch einen bis zu 40% höheren Wirkungsgrad und einer optional verlängerbaren mikrobiellen Einwirkphase auch bei problematischen anionisch-hydrophilen Substanzen noch Optimierungspotenzial. Die über abfiltrierbare Stoffe ermittelte mechanische Filtration liegt bei ≥ 99,9% des Eintrags. Die Wasserspeicherung durch die Substrate betrug bis 20%, wobei die höchste Speicherkapazität bei silikatkolloidhaltig-humosem Filtermaterial beobachtet wurde.

Bei der ausdauernden Bepflanzung waren morphologisch keine schadstoffbedingten, irreversiblen Schäden zu verzeichnen. Varianten mit Silikatkolloid förderten allgemein das Pflanzenwachstum. Insbesondere *Phalaris arundinacea* zeichnete sich durch ein sehr gutes Wachstum aus und bildete zusammen mit *Juncus effusus* einen oberflächennahen, dichten Wurzelfilz. Die sehr starke Transpirationsleistung der schadstoffadaptierten und mykorrhizierten Vegetation senkte in der Vegetationsperiode die Sickerwasserbildung um 30 - 40%. Die pflanzliche Schadstoffaufnahme war bei dem wasserlöslichen Schwermetall Zink erheblich und betrug 15% der Zufuhr. Dabei waren die Sprosssteile sowohl bei Zink als auch bei Kupfer deutlich geringer belastet als die Wurzeln. Die pflanzliche Aufnahme der wasserunlöslichen PAK war dagegen unbedeutend. Die Mykorrhiza hatte sich unter den wechselfeuchten Umweltbedingungen der Lysimeter gut behauptet und war im Wurzelwerk der Lysimetervegetation allgemein weit verbreitet.

#### Diskussion

Eine Bewertung der Sickerwasserqualitäten ergab, dass die Reinigungskapazitäten trotz einer „worst case“-Dotierung stets den strengen Anforderungen der Trinkwasserverordnung entsprachen (Ausnahme: 2,4-D). In den Lysimeterstudien erwies sich die bepflanzte Filtervariante mit Silikatkolloid / Humusanteilen als optimal. Sie zeigte die niedrigsten Sickerwasserbelastungen mit hydrophoben Analyten und Schwermetallen und war dem konventionellen, unbewachsenen Sandfilter deutlich überlegen.

Durch die vitalitätssteigernde Mykorrhiza-Symbiose erhöhte bei Jungpflanzen die Überlebenschance unter Stressbedingungen. Auch ältere Pflanzen profitierten durch eine verbesserte

Nährstoff- und Wasserversorgung, so dass sie höhere Schadstoffkonzentrationen über lange Zeiträume tolerieren können, was innovatives Potenzial für den technischen Einsatz in der Regenwasserreinigung bietet.

Der Vergleich der Lysimeterresultate mit bestehenden Anlagen zur Behandlung von Straßenabflüssen zeigt, dass die Reinigungsleistung zukünftiger Bodenfilter gegenüber Schwermetallen und MKW durch eine geeignete mykorrhizierte Bepflanzung sowie Zugabe von Silikatkolloid / Humus (in geringerem Maße Bims-Lava / Humus) z.T. deutlich gesteigert werden kann.

#### Fazit und Ausblick

Der neu entwickelte Hochleistungs-Pflanzenfilter auf Basis von Silikatkolloid / Humus weist eine sehr hohe Reinigungsleistung gegenüber grundwasserrelevanten Risikostoffgruppen auf, wodurch er gegenüber konventionellen Verfahren eine Verbesserung darstellt. Das erweiterte und durch Mykorrhiza-Einsatz gestärkte Pflanzenspektrum ist gegenüber vielen Schadstoffen robust, auch unter wechselfeuchten Bedingungen leistungsfähig und erweitert somit die Einsatzgebiete von Bodenfiltern. Daneben trägt die Bepflanzung durch starke Reduzierung des Sickerwasseranfalls und effiziente Schwermetallaufnahme wirksam zum Gewässerschutz bei.

Aus den Lysimeteruntersuchungen ergeben sich zahlreiche Betriebshinweise, wie durch das entwickelte Verfahren die Leistungsfähigkeit von Bodenfiltern verbessert werden kann und wie eine technisch wie kostenmäßig sichere Konstruktion von Hochleistungs-Bodenfiltern mit mykorrhizierten Pflanzengesellschaften möglich ist. Dies soll in einem Anschluss-Projekt im großtechnischen Praxiseinsatz erhärtet werden.

#### Danksagung

Dieses Projekt wurde finanziell gefördert durch das BMWi (AiF-Vorhaben 13601 N/1 und N/2). Die Autoren danken allen kooperierenden Firmen sowie den Labormitarbeitern für die zuverlässige Analytik.

#### Literatur

[1] Abwassertechnische Vereinigung e.V. (2002): ATV - A 138 Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Vertrieb: GFA, Hennes. 61 S.  
[2] Remmler, F., Schöttler, U. (1998): Qualitative Anforderungen an eine naturnahe Regenwasserbewirtschaftung aus der Sicht des Boden- und Grundwasserschutzes. In: Naturnahe

Regenwasserbewirtschaftung (Sieker, F., ed.): 104 - 125. Analytica. Berlin.

[3] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (2002): Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem. Karlsruhe. 114 S.

[4] Kasting, U., Janiczek, M., Grotehusmann, D. (2003): Bodenfilteranlagen zur Reinigung von Abflüssen stark verschmutzter Verkehrsflächen - Halbtechnische Bodenfilterversuche - KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 50/11: 1428 - 1433.

[5] v.d. Kammer, F., Jacobs, P.H. (2003): Dezentrale Regenwasserreinigung an der B75: Problemlösung mit reaktiven Filtersystemen. In: Regenwasserversickerung - eine Möglichkeit dezentraler Regenwasserbewirtschaftung. Berichte aus Wassergüte und Abfallwirtschaft Technische Universität München Nr. 175: 187 - 203.

[6] Dierkes, C., Göbel, P., Coldewey, W.G. (2005): Entwicklung und Optimierung eines kombinierten unterirdischen Reinigungs- und Versickerungssystems für Regenwasser. Abschlussbericht DBU Az 18622. Osnabrück.

[7] Hilliges, R., Schriewer, A., Wilderer, P.A., Helmreich, B. (2005): Entwicklung eines neuartigen Behandlungssystems für Straßenabläufe zur Einhaltung der EG-WRRL. Harburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft 51: 49 - 60.

[8] Grotehusmann, D., Uhl, M. (2003): Bodenfilter zur Regen- und Mischwasserbehandlung. Vortrag auf dem Seminar der Technischen Akademie Hannover „Regen- und Mischwasserbehandlung“ (30.09. - 01.10. 2003 in Hannover).

[9] Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2003): Retentionsbodenfilter. Handbuch für Planung, Bau und Betrieb (1. Aufl.). Düsseldorf. 233 S.

[10] Dobner, I., Holthuis, J.-U. (2007): Entwicklung eines modular einsetzbaren Pflanzenfilters zur Absicherung dezentraler Regenwasserversickerungsmaßnahmen. Gemeinsamer Abschlussbericht der AiF-Vorhaben 13601 N/1 und N/2. Bremen.

[11] Dobner, I., Holthuis, U., Heyser, W., Warrelmann, J., Mahro, B. (2005): Einsatz von Säulenversuchen nach DIN V 19736 zur Entwicklung mykorrhizierter Bodenfiltersubstrate. Mittlg. Dt. Bodenkundl. Ges. 107/2: 461 - 462.

[12] Holthuis, J.-U., Dobner, I., Baumgarten, E., Heyser, W., Warrelmann, J., Mahro, B. (2005): Entwicklung eines modularen Pflanzen-/Bodenfilters zur dezentralen Niederschlagswasserversickerung mit Hilfe mykorrhizierter Helophyten. Harburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft 51: 79 - 89.

## Nitratgehalte im Sickerwasser unter Wald im westlichen Niedersachsen

K.J. Meiwes, B. Horváth, H. Meesenburg, J. Ackermann  
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen

### 1 Einleitung und Problemstellung

In Niedersachsen stellt die Region Weser-Ems ein Gebiet dar, in dem mit erhöhten Nitratausträgen unter Wald gerechnet werden muss (Mohr et al. 2005). Dies war der Anlass, die vorliegende Untersuchung durchzuführen, bei der das Risiko von Nitratausträgen unter Wald abgeschätzt werden sollte. Die statistischen Zusammenhänge zwischen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser und Bestandes- und Standortkenngrößen werden benutzt, um das Risiko von Nitratausträgen unter Wald flächenhaft darzustellen.

### 2 Material und Methoden

Die 50 Untersuchungsstandorte befinden sich im niedersächsischen pleistozänen Tiefland im Raum Cloppenburg. Stratifiziert wurde nach Baumart (Eiche, Kiefer und Douglasie), Bestandesalter (Jung- und Altbestände) sowie nach Bodenarten (Sande, lehmige Sande) und Bodenwasserhaushalt (trocken, frisch, stau- u. grundwasserbeeinflusst) nach den Angeschaukriterien der niedersächsischen forstlichen Standortkartierung werden (Nds. MLELV, 2004). Pro Standort wurden drei Bohrkern mit den Abschnitten 0 - 0,3 m, 0,3 - 1,0 m, 1 - 2 m, 2 - 3 m, 3 - 4 m und 4 - 5 m gewonnen, die für die Analyse tiefenstufenweise zu jeweils einer Mischprobe vereinigt wurden. Die Probenahme wurde im November/Dezember 2004 durchgeführt.

An den Proben wurde am Tag der Probenahme mittels 1 N KCl-Lösung das Nitrat extrahiert (Boden-Lösungsverhältnis 1:1, Schütteldauer 1 Std.). Das Nitrat wurde mit der Cd-Reduktionsmethode bestimmt. Die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser wurden aus dem Nitratgehalt der Extrakte und dem Wassergehalt des Bodens berechnet.

Die Effekte der Bestandeseigenschaften auf die Konzentration des Nitrates im Sickerwasser wurden mit der einfaktorischen Varianzanalyse (ANOVA) geprüft. Für die nach den signifikanten Effekten gesplitteten Klassen wurden eine mittlere Nitratkonzentration und das 95%-ige Konfidenzintervall ermittelt.

### 3 Ergebnisse

Hinsichtlich der Höhe der Nitratkonzentrationen lässt sich für die Jungbestände und für die Gruppe der

Eichen- und Douglasienaltbestände incl. der mittelalten Kiefernbestände folgende Reihung aufstellen:

Eiche < Kiefer < Douglasie.

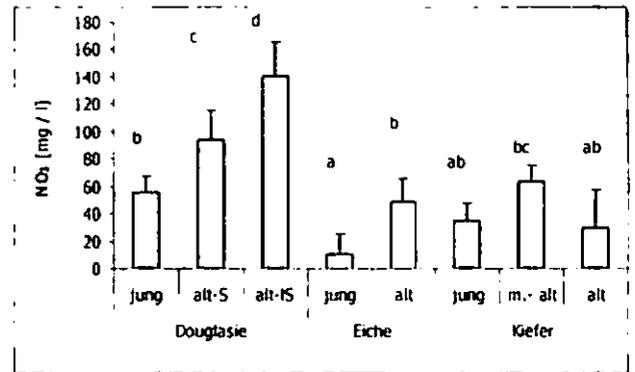


Abb. 1: Nitratkonzentrationen in der Bodenlösung in 0 - 5 m Tiefe (Mittelwerte  $\pm$  95 % Konfidenzintervall) im Untersuchungsgebiet Cloppenburg

Unter den Jungbeständen waren die Nitratkonzentrationen geringer als unter den Altbeständen. Lediglich unter den Kiefernaltbeständen waren die Nitratkonzentrationen niedriger als unter den mittelalten Beständen. Dies mag an der Struktur der Kiefernbestände liegen. Die Kiefernaltbestände sind wesentlich lichter als die mittelalten. Wahrscheinlich ist dies mit geringeren luftbürtigen Stickstoffeinträgen verbunden. Bei den Douglasienaltbeständen waren die Nitratkonzentrationen an den Standorten mit dem Bodensubstrat lehmiger Sand signifikant höher als an den sandigen Standorten. Sofern sich im untersuchten Tiefenbereich oberflächennahes Grundwasser befand, wurde in diesem die gleichen Nitratkonzentrationen wie im extrahierten Bodenwasser gemessen.

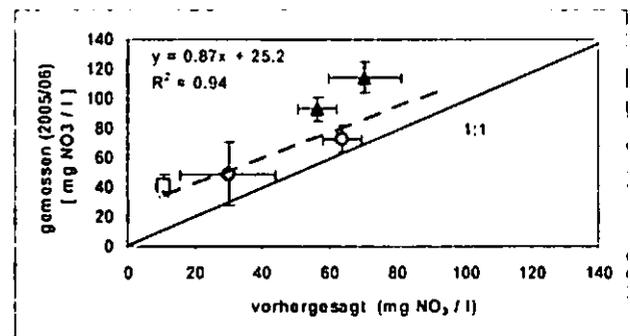


Abb. 2: Vergleich der mittleren mit dem Modell von 2004 (Abb. 1) vorhergesagten und 2005/06 gemessenen Nitratkonzentrationen im Untersuchungsraum Cloppenburg (Quadrat = Eiche, Kreis = alte und mittelalte Kiefer, Dreieck = Douglasie)

Zur Validierung des statistischen Modells (Abb. 1) wurden 2005/06 16 Punkte erneut beprobt und deren Messergebnisse mit dem Modell verglichen.

Aus dem Vergleich von Vorhersage und der 2005/06 gemessenen Werte lässt sich ablesen, wie repräsentativ die statistischen Beziehungen bzw. das statistische Modell aus dem Jahr 2004 sind (Abb. 2). Die Modellvorhersagen (1:1-Linie in Abb. 2) und Gruppenmittel der Messwerte (gestrichelte Linie) liegen nah zusammen, was als Beleg für die Güte des Modells gelten kann. Bei einer Probenahme, die sich über einen Tiefenbereich bis zu 5 m erstreckt, können demnach die Nitratkonzentrationen für die nächsten ein bis zwei Jahre vorhergesagt werden. Diese Modellvalidierung erlaubt auch die Übertragung der Ergebnisse auf andere, nicht untersuchte Standorte mit ähnlichem Depositionsniveau und mit Böden aus sandigem und lehmig-sandigem Substrat. Dies ist die Voraussetzung für eine flächenhafte Analyse und Darstellung des Risikos von Nitratausträgen unter Wald.

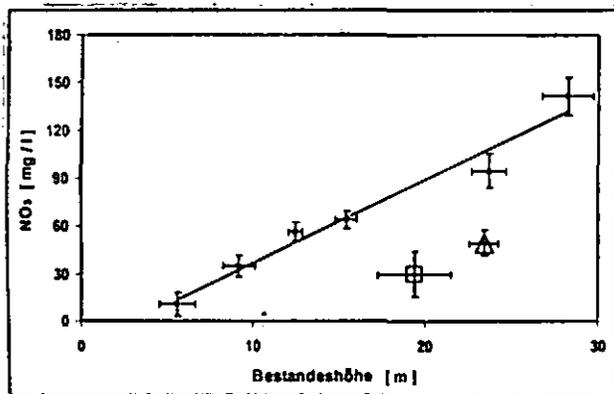


Abb. 3: Nitratkonzentrationen im Bodenwasser in Abhängigkeit von der Bestandeshöhe (Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler; Quadrat: Kiefernaltbestände; Dreieck: Eichenaltbestände)

In Abb. 3 ist die mittlere Bestandeshöhe als Indikator für den Stickstoffeintrag (Mohr et al. 2005) gegen die mittleren Nitratkonzentrationen aufgetragen. Es handelt sich um dieselben Baumarten (Dgl, Ki, Ei), Altersgruppen (jung, alt, mittelalt) und Standortstypen (Sand, lehmiger Sand) wie in Abb. 1. Mit Ausnahme der mittelalten Kiefernbestände und der Eichenaltbestände zeigen die Gruppenmittelwerte der Nitratkonzentrationen eine lineare Beziehung zur Bestandeshöhe. Dieser Sachverhalt weist darauf hin, dass die luftbürtigen Stickstoffeinträge wesentlich die Nitratkonzentrationen im Bodenwasser bestimmen. Das abweichende Muster bei den mittelalten Kiefern und den alten Eichenbestände in Abb. 3 deutet darauf hin, dass außer dem luftbürtigen Stickstoffeintrag auch noch andere, ökosysteminterne Faktoren das Stickstoffspeichervermögen der Waldböden und damit den Nitrataustrag beeinflussen.

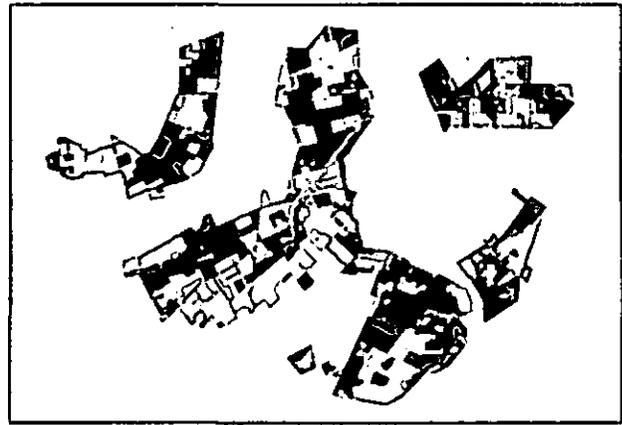


Abb. 4: Karte des Risikos der Überschreitung des Trinkwassergrenzwertes für Nitrat (50 mg NO<sub>3</sub>/l) im Untersuchungsgebiet Cloppenburg (Ausschnitt Reviere Augustendorf, Cloppenburg und Lönningen), 5 Wahrscheinlichkeitsklassen in 20%-Schritten von „weiß“ [0-20 %] nach „schwarz“ [80-100 %]

Die Wahrscheinlichkeit der Überschreitung des Nitrat-Trinkwassergrenzwertes von 50 mg NO<sub>3</sub>/l ist in Abb. 4 räumlich dargestellt. Die Verteilung hängt im Wesentlichen von den Baumarten und dem Bestandesalter ab. Auf mehr als der Hälfte der Fläche (ca. 2750 ha) liegt die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung der Nitratkonzentrationen von 50 mg NO<sub>3</sub>/l bei mehr als 40 %.

#### 4 Schlussfolgerung

Das Modell zur Beschreibung der Abhängigkeit der Nitratkonzentrationen von Bestandeseigenschaften bildet eine tragfähige Grundlage für Karten des Risikos hoher Nitratkonzentrationen im Sickerwasser. Im Raum Cloppenburg ist die N-Aufnahmekapazität der Waldökosysteme zum großen Teil ausgeschöpft. Dem entsprechend hoch sind die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser.

#### 5 Literatur

Mohr, K., H. Meesenburg, B. Horvath, K. J. Meiwes, S. Schaaf & U. Dämmgen (2005): Bestimmung von Ammoniak-Einträgen aus der Luft und deren Wirkungen auf Waldökosysteme (ANSWER-Projekt). Landbauforschung Völkenrode Sonderh., 279, 113 S.

Niedersächsisches Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Nds. MLELV) (2004): Ökologisches Rahmenschema – forstliche Standortsaufnahme. In: Langfristige ökologische Waldentwicklung – Richtlinie zur Baumartenwahl. Aus dem Walde – Schriftenreihe Waldentwicklung in Niedersachsen. Heft 54, 111-139

Die Autoren danken dem Niedersächsischen Umweltministerium für die finanzielle Förderung des Projektes.

# Schlagspezifische Erfassung der relief- und substratbedingten Bodenheterogenität mittels Reliefanalyse und Fernerkundung

Markus Möller\*, Daniel Wurbs & Thomas Koschitzki

## 1. EINLEITUNG

Bodenheterogenität kann als die Variabilität von Bodenklassen und/oder Merkmalen innerhalb von Bezugseinheiten definiert werden (McBratney & Minasny, 2007). Jede Bezugseinheit repräsentiert dabei einen spezifischen Zielmaßstab und somit eine spezifische Bodenheterogenität.

Am Beispiel eines Ackerschlag es wird gezeigt, wie die Bodenheterogenität mit einem Heterogenitätsmaß schlagspezifisch quantifiziert und durch die Integration von Relief-, Satellitenbild- und Bodendaten gesteuert werden kann.

## 2. UNTERSUCHUNGSGEBIET

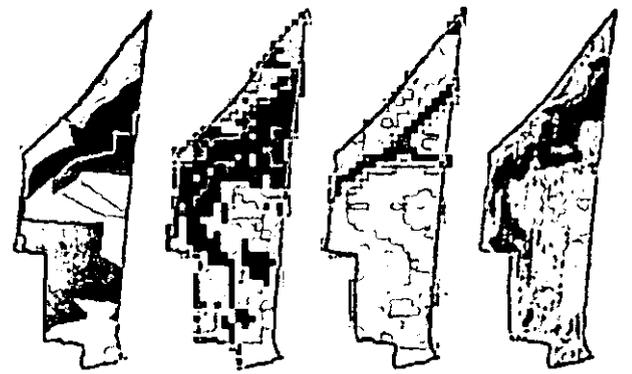
Der Ackerschlag hat eine Größe von 21 ha und befindet sich nordöstlich von Leipzig zwischen Taucha und Eilenburg. Als dominierende Bodenform wird in der Bodenkonzeptkarte 1:50000 des Freistaates Sachsen 'Parabraunerde aus Sandlöss' angegeben (vgl. Gerighausen & Möller, 2005).

## 3. DATEN

Die verwendeten Eingangsdaten sind durch unterschiedliche geometrische und zeitliche Auflösungen gekennzeichnet. Entsprechend der inhaltlichen Differenzierung der Reichsbodenschätzung (Tongehalt) sind alle kontinuierlichen Datengrundlage mittels Cluster-Analyse in jeweils fünf Klassen gegliedert worden.

- Die Bodeninformationen leiten sich aus der Reichsbodenschätzung ab, die in den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts unter fiskalischen Gesichtspunkten erhoben wurden. Abbildung 1a zeigt mittlere Tongehalte  $T$ , die nach einem Schlüssel von Ulonska (2002) aus den Bodenartenangaben der Grablochsbeschreibungen abgeleitet wurden.
- Durch das Sächsische Landesvermessungsamt wird im Rahmen des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems das DGM 25 mit einer Rasterweite von 20 m bereitgestellt. Das DGM bildete die Grundlage für die Ableitung der bodenkundlich relevanten Attribute 'Massenbilanzindex  $MBI$ ' und 'Topographical Wetness Index'  $TWI$ .

Der  $MBI$  ergibt sich aus den transformierten Reliefattributen 'Neigung'  $n$ , 'Höhe über Tiefenlinie'



(a) RBS  $H = 1,14$  (b) MBI  $H = 1,55$  (c) TWI  $H = 1,35$  (d) SBI  $H = 1,51$

	Klasse	$T_{RBS}$	$\mu_{MBI}$	$\mu_{TWI}$	$\mu_{SBI}$
■	1	40	-0,06	11,46	539
■	2	12	-0,02	8,20	644
□	3	9	0,01	7,04	694
	4	7	0,05	6,69	734
	5	4	0,11	6,36	790

Abb. 1: Tongehaltsklassen ( $T$  in Mas.-%) der Reichsbodenschätzung (RBS) sowie Cluster-Mittelwerte der Relief- und Satellitenbildableitungen MBI, TWI und SBI ( $H \equiv$  Shannon-Index; vgl. Kap. 4.2 u. 5)

$ht$  und 'Vertikalkrümmung'  $k$  und beschreibt den Gleichgewichtszustand einer Rasterzelle zwischen Akkumulation und Abtrag (Gl. (1) u. Abb. 1b; Möller, 2005; Möller et al., 2007).

$$MBI = \begin{cases} f(k) \times (1 - f(n)) \times (1 - f(ht)) & \text{für } f(k) < 0 \\ f(k) \times (1 + f(n)) \times (1 + f(ht)) & \text{für } f(k) > 0 \end{cases} \quad (1)$$

Das Standardattribut  $TWI$  wird aus dem spezifischen Einzugsgebiet einer Rasterzelle  $A_s$  und der Neigung  $n$  berechnet (Gl. (2) u. Abb. 1c; Beven & Kirkby, 1979) und erlaubt Rückschlüsse zu reliefbedingten Bodenfeuchte-Mustern.

$$TWI = \ln \left( \frac{A_s}{\tan n} \right) \quad (2)$$

- Der Quickbird-Datensatz vom 24.09.2002 hat eine geometrische Auflösung von 0,61 bis 0,72 (panchromatisch) bzw. von 2,44 bis 2,88 (multispektral). Die spektrale Auflösung reicht vom blauen, grünen (G), roten (R) bis zum nahen Infrarot-Spektralbereich (NIR). Zur schlaginternen Differenzierung wurde der 'Soil Brightness Index'  $SBI$  berechnet (Gl. (3) u. Abb. 1d; Leone et al., 1995).

$$SBI = G + R + NIR \quad (3)$$

## 4. METHODEN

### 4.1. Datenintegration

Datenintegration beinhaltet die Überführung von Daten unterschiedlicher räumlicher, zeitlicher und inhaltlicher Auflösung auf ein konzeptionelles Zielmodell. Das Zielmodell ist durch einen spezifischen Abstraktionsgrad

\* GEOFLUX GbR

Paracelsusstraße 6, 06114 Halle (Saale)  
 mail: info@geoflux.de  
 url: http://www.geoflux.de  
 Tel.: (0345) 135 22 44

bzw. Zielmaßstab definiert (Baltsavias, 2004), der eine Differenzierung von Bezugseinheiten gestattet (hier: Ackerschlag).

In der Studie wird die Datenintegration mit einem regionenbasierten Segmentierungsalgorithmus realisiert (Benz et al., 2004; Möller, 2005; Möller et al., 2007), bei dem in Abhängigkeit von einem zu bestimmenden Heterogenitätsparameter  $M$  Segmente vergleichbarer Heterogenität erzeugt werden können: Je höher  $M$ , desto größer ist die Heterogenität und damit auch die Größe der resultierenden Segmente.

#### 4.2. Quantifizierung der Bodenheterogenität

Ein häufig verwendetes Strukturmaß zur Kennzeichnung der Landschaftsdiversität und des Informationsgehaltes ist der 'Shannon-Index'  $H$ , der sich aus den aufsummierten relativen Flächenanteilen  $A$  von  $n$  Kategorien innerhalb definierter Bezugseinheiten berechnet (Gl. (4); vgl. McBratney & Minasny, 2007).

$$H = - \sum_{i=1}^n A_i \times \log(A_i) \quad (4)$$

### 5. ERGEBNISSE

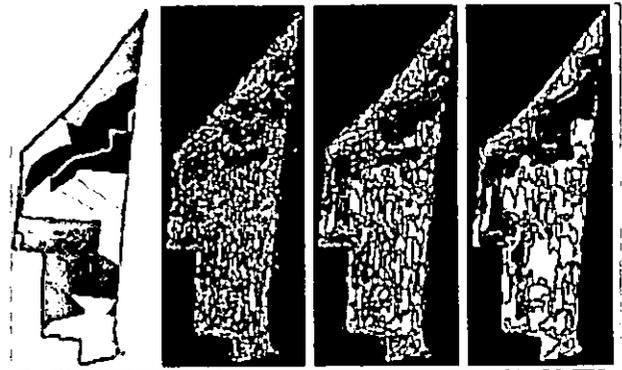
Der Shannon-Index  $H$  wurde zunächst für die Ausgangsdaten berechnet. Als Berechnungsgrundlage dienen die Flächenanteile der Klassen (RBS) bzw. Cluster (MBI, SWI, TWI) innerhalb des Ackerschlages. Die Berechnungsergebnisse sind in Abbildung 1 dokumentiert. Demnach sind die Eingangsdaten durch eine vergleichbare Heterogenität gekennzeichnet, die einerseits durch die Normierung auf fünf Klassen bedingt ist und andererseits zeigt, dass die Daten einen vergleichbaren Informationsgehalt besitzen.

In die Segmentierungen ging mit dem  $SBI$  das Attribut mit der höchsten geometrischen Auflösung ein. Das heißt, dass die Parameter  $TRBS$ ,  $MBI$  und  $TWI$  durch Mittelwertbildung in Bezug zu den resultierenden Segmenten gesetzt wurden. Die Segmente repräsentieren dabei maßstabsspezifische Signifikanzsprünge des Merkmals  $SBI$ .

Die Auswirkungen der unterschiedlicher Maßstabssparameter  $M$  auf die Bodenheterogenität  $H$  innerhalb des Ackerschlages veranschaulicht Abbildung 2. Danach reduziert sich mit zunehmenden  $M$ -Werten  $H$  und die resultierende Segmentanzahl  $OA$ . Aus  $OA$  und der Acker Schlaggröße kann wiederum die durchschnittliche Objektgröße und damit der jeweilige Zielmaßstab abgeleitet werden.

### 6. ZUSAMMENFASSUNG

Der hier vorgestellte Ansatz zur Datenintegration unterschiedlicher räumlicher, zeitlicher und inhaltlicher Heterogenität erlaubt die qualitative Kennzeichnung und Steuerung der schlagspezifischen Heterogenität. Als Steuerinstrument diente ein regionenbasierter Segmentierungsalgorithmus, der eine zielmaßstabsspezifische Gliederung des Bezugsraumes (hier: Ackerschlag) auf Grundlage der Eingangsdaten mit der höchsten geometrischen Auflösung (hier:  $SBI$ ) erlaubt. Die relative



(a) RBS (b) Level 1 (c) Level 2 (d) Level 3  
M = 5 M = 15 M = 30

Merkmal	RBS	Level 1	Level 2	Level 3
$H$	1,14	3,27	3,15	2,88
$OA$	25000	2706	847	136

Abb. 2: Auswirkungen des Maßstabsparameters  $M$  auf die resultierende Bodenheterogenität  $H$  und Objektanzahl  $OA$

Kennzeichnung der Bodenheterogenität wurde mit dem Heterogenitätsmaß 'Shannon Index' realisiert.

Weitere maßstabsbezogene Anwendungen ergeben sich aus den Analyse der Objektdatensätze, die mit den resultierenden Segmenten verknüpft sind. Weiterhin können die Segmente als Grundlage für ein effektives Sampling von Bodenproben dienen, da die Segmente Bereiche vergleichbarer Merkmalsvariabilität darstellen.

### 7. DANKSAGUNG

Die Autoren danken Dr. Martin Volk vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Department Angewandte Landschaftsökologie, für die Bereitstellung der Fernerkundungs- und Reliefdaten. Deren Prozessierung erfolgte im Rahmen einer Diplomarbeit (Gerighausen, 2004).

### Literatur

Baltsavias, E. (2004). Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: current status and steps towards operational systems. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58, 129-151.

Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., & Heynen, M. (2004). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for gis-ready information. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58, 239-258.

Beven, K. J. & Kirkby, M. J. (1979). A physically-based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.*, 24, 43-69.

Gerighausen, H. (2004). *Objektbasierte Standortcharakterisierung mit Methoden der Fernerkundung*. Universität Potsdam. Diplomarbeit, unveröff.

Gerighausen, H. & Möller, M. (2005). Ableitung von Modelleingangsdaten für die Bewertung der Bodenerosionsgefahr aus geometrisch höchstauflösenden Fernerkundungsdaten. In M. Möller & H. Helbig (Eds.), *GIS-gestützte Bewertung von Bodenfunktionen - Datengrundlagen und Lösungsansätze* (pp. 105-123). Heidelberg: Wichmann.

Leone, A., Wright, G., & Corves, C. (1995). The application of remote sensing for soil studies in upland areas of Southern Italy. *International Journal of Remote Sensing*, 16(6), 1087-1105.

McBratney, A. & Minasny, B. (2007). On measuring pedodiversity. *Geoderma*, 141, 149-154.

Möller, M. (2005). Disaggregation von Bodeninformationen auf der Grundlage digitaler Reliefdaten. In M. Möller & H. Helbig (Eds.), *GIS-gestützte Bewertung von Bodenfunktionen - Datengrundlagen und Lösungsansätze* (pp. 67-89). Heidelberg: Wichmann.

Möller, M., Volk, M., Friedrich, K., & Lymburner, L. (2007). Placing soil genesis and transport processes into a landscape context: A multi-scale terrain analysis approach. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. im Druck.

Ulonka, H.-J. (2002). Beitrag zur Erfassung der Primärdaten aus der Bodenschätzung für Kennzeichnungen des oberflächennahen Bodenwasserregimes. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 99, 91-92.

# Schwermetalle und ihre Löslichkeit in Unterböden – Ergebnisse aus Untersuchungen in Gebieten mit Hinweisen auf großflächige schädliche Bodenveränderungen im Freistaat Sachsen

Ingo Müller, Kati Kardel, Günter Rank

## Einleitung

Im Freistaat Sachsen zeigen die Auswertungen der Bodenmessnetze Hinweise auf Gebiete mit großflächig erhöhten Schwermetall- und Arsengehalten, vornehmlich aufgrund geogen bedingter Anreicherungen und der Bergbautätigkeit des Menschen. Besonders deutlich treten diese Hinweise für die durch Vererzungen, Bergbau- und Hüttentätigkeit belasteten Bereiche um Freiberg, Schneeberg/Aue und Ehrenfriedersdorf sowie für die Auen der Freiburger und Vereinigten Mulde, Zschopau und Elbe hervor. Der Bodenschutzvollzug steht hier vor einer besonderen Herausforderung. Neben der Entwicklung von Konzepten zur Beurteilung dieser flächenhaften Belastungen und der Ableitung von Maßnahmen der Gefahrenabwehr liegen die Aufgaben insbesondere in der Steuerung des Umgangs mit Bodenmaterial in diesen Gebieten. Um regionale Hinweise zur Belastungssituation geben zu können, wurden in den vorgenannten belasteten Regionen Untersuchungen zu Schadstoffgehalten im Feststoff und im Eluat vorgenommen.

## Material und Methoden

Es wurden 3173 Unterbodenproben weitgehend ungestörter Profile aus den vorgenannten Belastungsgebieten nach Maßgabe der TR Boden untersucht und auf ihre Verwertbarkeit geprüft. Da die Verwertung von Bodenaushub vornehmlich auf Unterböden beschränkt ist, konzentrieren sich die Auswertungen auf die Proben der Unterböden. Die Tiefe der beprobten Schicht lag in der Regel zwi-

schen 20 und 60 cm, 25% der Proben erreichten eine Tiefe von 80 cm, nur 10% der Proben wurden bis in eine Tiefe von 110 cm entnommen. Diese Proben verteilen sich auf die Bodenarten und Bodennutzungen wie folgt:

Sand: 28,4%; Lehm/Schluff: 69,0%; Ton: 2,6  
Acker: 40,8%; Grünland: 36,6%; Forst: 20,6%

## Ergebnisse

Insgesamt ist festzustellen, dass bei Einstufung der untersuchten Böden nach LAGA TR Boden vom 05.11.2004 eine mögliche Verwertung vornehmlich durch die Höhe der Schadstoffkonzentrationen im Feststoff eingeschränkt wird (Tab. 1). Nach Auswertung der Analyseergebnisse könnten 18,2 % der untersuchten Böden ohne Einschränkungen verwertet werden (Zuordnung Z0 und Z0\*). Trotz der zum Teil extrem hohen Konzentrationen im Feststoff ist die Löslichkeit von Schwermetallen und Arsen in den Unterböden als eher gering einzustufen. Mehr als 57% der Proben erfüllen die strengsten Anforderungen der TR Boden im Hinblick auf die Konzentrationen im Eluat, lediglich 15% wären aufgrund der erhöhten Löslichkeit nicht verwertbar. Diese eher geringe Löslichkeit spricht für eine überwiegend geogen bedingte Anreicherung. In 92,7 % der Fälle bestimmen die Feststoffgehalte die Verwertungsklasse, nur in 7,3 % der Fälle sind die Proben aufgrund der Eluatuntersuchung in eine höhere Klasse einzustufen. Insgesamt würden etwa 3 % der Proben zusätzlich aus der Verwertung ausgeschlossen. Allerdings ist festzuhalten, dass die Eluatanforderungen bei Betrachtung der Zuordnungsklassen erhebliche Verschiebungen im Hinblick auf weitergehende Einschränkungen in der Verwertung zur Folge haben. So erfahren etwa 10 % der Proben mit der Zuordnung Z0\* (Feststoffkonzentrationen) bei Anwendung der Eluatanforderungen eine Einschränkung in der Verwertung, in Einzelfällen sogar einen Ausschluss aus der Verwertung.

**Tabelle 1: Einordnung der Stoffkonzentrationen von 3173 Unterbodenproben aus Belastungsgebieten Sachsens nach LAGA TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%] der Stichprobe**

Feststoff	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
	12,7	6,1	31,6	25,4	24,2
Eluat	Z0/Z0*		Z1.2	Z2	>Z2
	57,2		13,1	14,6	15,1
Gesamt	12,7 (10,3) <sup>a</sup>	5,5	29,7	25,1	27,0

<sup>a</sup> Bei Bodenproben mit Feststoffgehalten unter Z0 ist nach derzeitiger Regelung der LAGA TR Boden keine zusätzliche Eluatuntersuchung erforderlich, hier aber der Vollständigkeit halber aufgeführt

**Tab. 2: Statistische Beziehungen zwischen Konzentrationen im Feststoff und im Eluat von sächsischen Unterbodenproben.**

	Alle Unterböden			Unterböden mit Konz. >Z0* (Feststoff und Eluat)		
	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (inkl pH) <sup>a</sup>	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (inkl pH) <sup>a</sup>	n
As	0,274**	0,274**	3173	0,262**	0,256**	1262
Cd	0,063**	0,070**	3173	0,056**	0,125**	1262
Pb	0,215**	0,237**	3173	0,194**	0,263**	1262
Tl	0,007*	0,031*	609	0,001	0,092*	374

<sup>a</sup> bei zusätzlichem Einbezug des pH-Wertes als Erklärende

**Tab. 3: Hinweise zur elementspezifischen Löslichkeit von Metallen sächsischer Unterböden [%\*]**

	As	Cd	Hg	Pb	Tl	Cu	Cr	Ni	Zn
50. Perz.	0,1	0,8	0,1	0,1	0,5	0,4	0,1	0,1	0,3
90. Perz.	0,4	6,3	0,5	0,7	5,0	1,1	0,3	0,2	1,5

\* wasserlöslicher Anteil (S4-Eluat) an den mittels Königswasserextrakt bestimmten Konzentrationen im Feststoff

Eine enge statistische Beziehung zwischen den Konzentrationen im Feststoff und denen im Eluat konnte nicht beobachtet werden (Tab. 2), auch nicht für einzelne regionale Teilgebiete oder bei eingeschränkter Betrachtung von Proben mit Konzentrationen größer Z0\*. Durch Einbezug des pH-Wertes als eine der wesentlichen Steuergrößen der Schwermetallmobilität wurden die Beziehungen zur Eluatkonzentration nur marginal verbessert. Auch durch Anwendung nichtparametrischer Zusammenhangsmaße wie Rangkorrelationen kann keine Verbesserung der statistischen Zusammenhangsmaße erzielt werden.

Wie Tab. 3 verdeutlicht, ist die allgemein geringe Löslichkeit der Metalle elementspezifisch zu differenzieren. Für die Elemente Cd, Tl, Zn und Cu finden sich häufig hohe lösliche Anteile am Königswassergehalt, besonders geringe Löslichkeiten für Ni, Cr und As.

### Schlussfolgerungen

Insgesamt zeigt sich anhand der Untersuchungen zu den Konzentrationen im Feststoff und im Eluat ein geteiltes Bild: während ein Großteil der Proben aus den Belastungsgebieten ein geringes Elutionsverhalten zeigt, finden sich bei Teilen erhöhte Eluatkonzentrationen, die eine Verwertung nur unter Auflagen zulassen. Eine Vorhersage der Löslichkeit der Metalle (Eluatkonzentrationen) anhand der Untersuchungen am Feststoff ist nicht möglich. Daher können die stofflichen Anforderungen an eine Verwertung von Bodenmaterial nicht allein anhand der Feststoffkonzentrationen beurteilt werden. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass hinsichtlich der unter-

schiedlichen Elemente mit erhöhten Konzentrationen die einzelnen Gebiete der Auen und der Belastungsgebiete im Erzgebirge getrennt auszuwerten sind. Ein Bericht des Landesamtes für Umwelt und Geologie [1] zeigt diese Auswertung und gibt Hinweise auf regional typische Gehalte (50. und 95. Perzentil).

Aus Sicht des Bodenschutzes wäre zum einen zu diskutieren wie eine Verwertung vor dem Hintergrund der Sicherung der dort vorkommenden unbelasteten Böden aussehen müsste. Zum Anderen wären Lösungen zu erarbeiten, wie in Regionen verfahren werden könnte, in denen regionalen Hintergrundgehalte die bodenschutzrechtlich relevanten Gefahrenmaßstäbe überschreiten.

### Literatur

[1] Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2007): Untersuchung Bodenmaterial - Bericht zur Auswertung analytischer Daten zu Unterböden und Bodenaushub. Publikation ausschließl. im Internetangebot des LfUG unter <http://www.lfug.smul.sachsen.de>.

### Anschriften

Dr. Ingo Müller, Kati Kardel und Günter Rank  
Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Zur Wetterwarte 11  
D-01109 Dresden

eMail: [ingo.mueller@smul.sachsen.de](mailto:ingo.mueller@smul.sachsen.de)

# Berücksichtigung bodenkundlicher Merkmale bei der Effizienzkontrolle grundwasserschutzorientierter Maßnahmen in Wassergewinnungsgebieten in Nordrhein-Westfalen

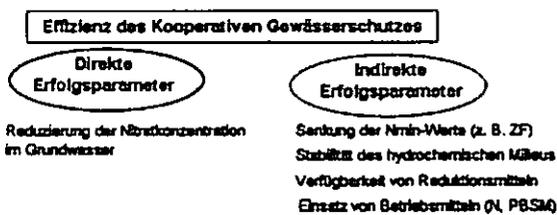
C. Nolte & R. Fohrmann

## Einleitung

Seit Anfang der 90er Jahre bestehen in vielen Grundwasserschutzgebieten in Nordrhein-Westfalen Kooperationen zwischen der Landwirtschaft und der Wasserwirtschaft. Das erklärte Ziel ist es, Stoffeinträge in das Grundwasser zu vermeiden bzw. auf ein den Ansprüchen des Gewässerschutzes genügendes Maß zu reduzieren. Nach mehr als 15 Jahren stellt sich vielfach die Frage nach der Effizienz der ergriffenen Maßnahmen. Für eine entsprechende Bewertung sind direkte und indirekte Erfolgsparameter heranzuziehen. Hierbei wird die Berücksichtigung bodenkundlicher Merkmale zunehmend relevant.

## Methode

Die **Abbildung 1** zeigt maßgebliche Erfolgsparameter (ODENKIRCHEN & FOHRMANN 2005). Hierbei fällt auf, dass alle Größen von bodenkundlichen Prozessen bzw. Merkmalen beeinflusst werden.



**Abbildung 1:** Erfolgsparameter zur Effizienzkontrolle des kooperativen Gewässerschutzes

So bestimmt vielfach die Auswaschung bzw. Speicherkapazität der Böden die Größenordnung der an der Grundwasseroberfläche gemessenen Nitratkonzentrationen. Eine Senkung der im Boden vorliegenden mineralisierten Stickstoffmenge (Nmin) kann nur dann erfolgreich sein, wenn die (Nach-)Mineralisation berücksichtigt wird und die Messung zu einem aussagekräftigen Zeitpunkt erfolgt. Aus Sicht der Wasserwirtschaft ist dies der Beginn der Sickerperiode. In einigen Gebieten spielt der Stoffabbau in der Bodenzone eine wichtige Rolle (v. a. heterotrophe Denitrifikation). Hier sind bodenkundliche Faktoren wie die Grund- und Stauwasserbeeinflussung und die Größenordnung sowie Verfügbarkeit der organischen Substanz als erforderliches Reduktionsmittel zu berücksichtigen. Schließlich ist in Einzelfällen die Relevanz eines raschen Stofftransportes einzustufen, um z. B. das Auftreten von Störstoffen wie Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln (PBSM) zu erklären.

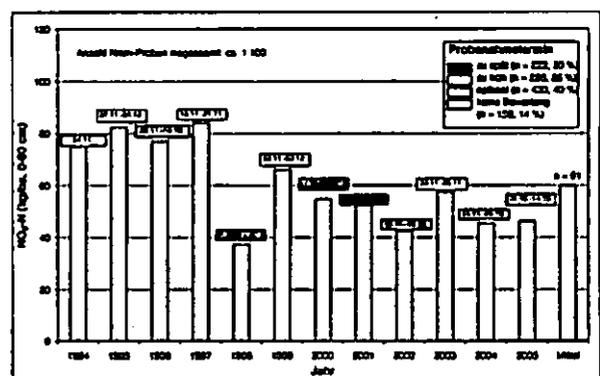
IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH,  
Moritzstraße 26, 45476 Mülheim an der Ruhr  
Homepage: <http://www.iww-online.de>  
Email der Verfasser: [c.nolte@iww-online.de](mailto:c.nolte@iww-online.de)  
[r.fohrmann@iww-online.de](mailto:r.fohrmann@iww-online.de)

Es werden Ergebnisse aus unterschiedlichen Beratungsprojekten vorgestellt. Diese wurden in den letzten Jahren für verschiedene Wasserversorgungsunternehmen in den Regierungsbezirken Münster und Düsseldorf durchgeführt. In allen Gebieten wird Grundwasser entnommen, das dann der Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser dient.

## Ergebnisse

Die Verlagerung und Auswaschung von Stoffen aus der Bodenzone stellt in den untersuchten Gewinnungsgebieten den wichtigsten qualitätsbeeinflussenden Prozess dar. Zusammen mit der Bewertung des Stoffabbaus kann die gebietspezifische Eintragsgefahr in den Aquifer abgeschätzt werden. Aufgrund der in NRW flächendeckend zur Verfügung stehenden digitalen Bodenkarten sind die hierfür erforderlichen Kennwerte bekannt, so dass diese mit Hilfe allgemein anerkannter Bewertungsmethoden wie z. B. DIN 19732 oder dem Ansatz nach Gäth et al. (1997) zu aussagekräftigen Risikokarten weiterverarbeitet werden können (z. B. Kooperation Landwirtschaft / Wasserwirtschaft im Einzugsgebiet der Stevertalsperre 2002). Im Vergleich zu den im Grundwasser gemessenen Konzentrationen ergeben sich plausible Ergebnisse.

Ein weiteres Instrument zur Effizienzkontrolle stellen die Nmin-Messung zum Vegetationsende dar. Dabei sollte die Probenahme so terminiert werden, dass sie möglichst nahe am Sättigungszeitpunkt der vorkommenden Böden liegt. Mit Hilfe eines Bodenwasserhaushaltsmodells wurden für repräsentative Modellböden die Sättigungszeitpunkte der Jahre 1994 - 2005 bestimmt und mit den tatsächlich realisierten Nmin-Probenahmezeiträumen verglichen (IWW 2007). Die **Abbildung 2** zeigt das entsprechende Ergebnis.

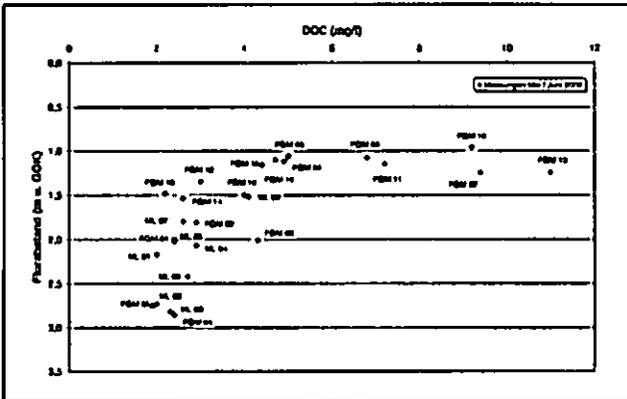


**Abbildung 2:** Vergleich der tatsächlich realisierten Nmin-Probenahmezeiträume mit berechneten optimalen Probenahmeterminen

In den insgesamt zehn bewerteten Jahren konnte die Probenahme in vier Jahren optimal terminiert werden, in drei Jahren wurden die Messungen zu früh, in drei Jahren zu spät durchgeführt. Dort, wo zu früh bzw. zu spät gemessen worden ist, wurde der Nmin-Restwert unter- bzw. überschätzt. Mit Hilfe einer auf die gebietspezifischen Verhältnisse angepassten Faust-

regel kann hier zukünftig der jeweilige Sättigungszeitpunkt besser abgeschätzt werden.

Der in der **Abbildung 3** gezeigte Zusammenhang zwischen der DOC-Konzentration des oberflächennahen Grundwassers und dem Flurabstand soll einen weiteren Aspekt verdeutlichen. Unter einigen Standorten wird organischer Kohlenstoff (DOC) mit dem Sickerwasser aus der Bodenzone ausgewaschen und - bei entsprechend geringen Flurabständen - in das Grundwasser eingetragen.



**Abbildung 3:** Korrelation der im Grundwasser gelösten organischen Substanz (DOC) mit dem Flurabstand (IWW 2006)

DOC stellt ein für die heterotrophe Denitrifikation wichtiges Reduktionsmittel dar. In Bezug auf die Bewertung der Effizienz kooperativer Maßnahmen ist dieser Zusammenhang in sofern relevant, als es zu einer Überlagerung von Effekten kommen kann. Hier gilt es, die eigentliche Ursache möglicher hydrochemischer Veränderungen zu identifizieren. Derzeit stehen für die Bewertung der Intensität und Stabilität denitrifikativer Prozesse nur die Informationen aus der Bodenkarte zur Verfügung (z. B. Angaben zum Bodentyp, zur Grundwasserstufe oder dem Anteil organischer Substanz). Weitere praxistaugliche Instrumente bzw. Auswertungsmethoden fehlen. Dabei ist es aus wasserwirtschaftlicher Sicht bedeutend, die maßgeblichen Faktoren zu kennen, um so natürliche Standortvorteile nutzen zu können.

Vereinzelt auftretende Belastungen des Grundwassers mit anorganischen und organischen Störstoffen sind in der Regel auf punktuelle Einträge zurückzuführen (z. B. PBSM oder Komponenten von Mineraldüngern). Dabei wird angenommen, dass die im Grundwasser detektierten Stoffe u. a. über einen raschen Transport in bevorzugten Fließbahnen verlagert werden. Ist das Belastungsbild für das Grundwasser in den meisten Fällen relativ eindeutig, liegen über die Wirkungszusammenhänge im Boden bzw. der ungesättigten Zone kaum Informationen vor. Erschwerend kommt hinzu, dass Angaben zu entsprechenden Applikationen häufig unzureichend sind oder ganz fehlen. Schließlich besteht Unklarheit darüber, welche Verweilzeiten anzusetzen sind und welche Bedeutung dem Rückhalt bzw. der Umsetzung von diesen Stoffe zukommt.

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Bestimmung der gebietspezifischen Nitratreintragsgefahr in das Grundwasser hat sich bewährt und kann Handlungsschwerpunkte für kooperative Maßnahmen aufzeigen. Die signifikante Abnahme der Stoffbefrachtung des Grund- und Rohwassers in einigen Gebieten in NRW kann als erster Erfolg gewertet werden. Das vielfach eingesetzte Kontrollinstrument Nmin sollte aus wasserwirtschaftlicher Sicht dahingehend optimiert werden, dass der Probenahmezeitpunkt mit dem Sättigungszustand der Böden zusammenfällt. An einigen Standorten bestimmen neben den jeweiligen Eintragsverhältnissen Redoxprozesse im Boden sowie die Nachlieferung von DOC aus der Bodenzone die Grundwasserqualität. In der wasserwirtschaftlichen Praxis wird diese Bedeutung unterschätzt. Punktuelle Belastungen und rasche Einträge können derzeit nicht befriedigend abgebildet werden. Dies macht aufwendige Sanierungen im Aquifer oder im Wasserwerk erforderlich.

Zur Steigerung der Effizienz kooperativer Maßnahmen sollten bodenkundliche Merkmale stärker berücksichtigt werden. Ziel muss es sein, die relevanten Prozesse mit Hilfe praxistauglicher Methoden umfassend abzubilden. Sollte dies gelingen, kann das notwendige Maß gewässerschutzorientierter Handlungen besser abgeschätzt, die natürliche Selbstreinigung erhalten und die Verortung von Maßnahmen gezielter in besonders sensible Gebiete gelenkt werden.

## Literatur

- ODENKIRCHEN, G. FOHRMANN R. (2005): Ergebnisse der Untersuchungen zur Effizienz der Kooperation Landwirtschaft / Wasserwirtschaft NRW. Vortrag auf der 38. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft 09.03. - 11.03.2005, Tagungsband Nr. 138, S. 43/1 - 43/11. Aachen.
- KOOPERATION LANDWIRTSCHAFT / WASSERWIRTSCHAFT IM EINZUGSGEBIET DER STEVERTALSPERRE (2002): Ermittlung des standort- und nutzungsabhängigen Stoffverlagerungsrisikos im Wassereinzugsgebiet des Wasserwerkes Lette der Stadtwerke Coesfeld GmbH. Coesfeld.
- IWW RHEINISCH WESTFÄLISCHES INSTITUT FÜR WASSER, BERATUNGS- UND ENTWICKLUNGSGESELLSCHAFT MBH (2006): Hydrochemischer Bericht zur Bewertung der zeitlichen Entwicklung der Grund- und Rohwasserbeschaffenheit der Wassergewinnung Kevelaer-Keylaer der Stadtwerke Kevelaer. Mülheim a. d. Ruhr (unveröffentlicht).
- IWW RHEINISCH WESTFÄLISCHES INSTITUT FÜR WASSER, BERATUNGS- UND ENTWICKLUNGSGESELLSCHAFT MBH (2007): Wasserwirtschaftliches Gutachten zur Effizienzkontrolle der Kooperation Landwirtschaft / Wasserwirtschaft im Wasserschutzgebiet Auf dem Griend der Niederrheinisch-Bergischen Gemeinschaftswasserwerk GmbH. Mülheim a. d. Ruhr (unveröffentlicht)
- DIN 19732 (1997): Bewertung des standörtlichen Verlagerungspotentials von nichtsorbierten Stoffen. 4 S., Berlin.
- GÄTH, S., ANTHONY, F., BECKER, K.-W., GERES, H., HÖPER, H., KERSEBAUM, C., NIEDER, R. (1997): Bewertung des standörtlichen Denitrifikations- und Mineralisations-/Immobilisierungspotentials von Böden. Mit. Dtsch. Bodenkdl. Gesellschaft, 85, III 1373 - 1376.

## Dank

Für die vorgestellten Auswertungen wurden von folgenden Unternehmen zahlreiche Daten zur Verfügung gestellt: Stadtwerke Kevelaer, Stadtwerke Coesfeld GmbH, Niederrheinisch-Bergischen Gemeinschaftswasserwerk GmbH. Hierfür sowie für die Bereitschaft zur fachliche Unterstützung sei an dieser Stelle allen Beteiligten gedankt.

# Unterschiede im Nitrataustrag auf ökologisch bewirtschafteten Flächen in Abhängigkeit variierter Bodenbearbeitung

Christoph Prade<sup>1</sup>, Stefan Köhler und Karl Stahr

## Einleitung

Auf ökologisch bewirtschafteten Flächen dürfen generell keine Dünge- oder Pflanzenschutzmittel verwendet werden, so dass von diesen Substanzen keine Gefährdung des Grundwassers ausgehen kann. Bei Nitrat ist aber eine Tiefenverlagerung denkbar. Auch bei ökologischer Bewirtschaftung können bei günstigen Verhältnissen hohe Stickstoffvorräte mobilisiert werden. Um in Wasserschutzgebieten eine Nitratreduktion zu gewährleisten, gelten in Baden-Württemberg gesetzliche Regelungen, die die Bodenbearbeitung bei ökologisch wirtschaftenden Betrieben einschränkt. Diese Betriebe sind aber auf eine angemessene Bodenbearbeitung angewiesen, um vor allem die Unkrautkontrolle gewährleisten zu können. Daneben werden auch noch in der Fruchtfolge und den Bodenbearbeitungsterminen strikte Vorgaben gemacht. Ziel der Untersuchung (2002-2006) war es zu klären, ob von den Betrieben des Ökologischen Landbaus tatsächlich eine Nitratgefährdung ausgeht, oder ob die Regelungen der SchALVO (Schutz- und Ausgleichsverordnung) gelockert werden können.

## Material und Methoden

Um verschiedene Klimate und Bodentypen hinsichtlich der Frage der Nitratgefährdung zu erfassen wurden je zwei Versuche in drei verschiedenen Regionen Baden-Württembergs etabliert. **Main-Tauber-Gebiet:** Keuper und Muschelkalk, lehmiger Ton, dominant Pseudogley, 8,6°C, 709 mm. **Gäu-Region:** Löß, lehmiger Schluff, Parabraunerde, 8,8°C, 707 mm. **Schwäbische Alb:** Malmkalk, lehmiger Ton, Terra Fusca, 6,4°C, 963 mm. Die Bedingungen als Problem- oder Sanierungszonen im Verständnis der SchALVO wurden bei den Versuchsfeldern eingehalten. Die Anlage der Versuche nach der Ernte von N-intensiven oder fixierenden Pflanzen war für die Auswirkungen auf die Nitratverlagerung bei einmalig variiert Bodenbearbeitung relevant. Je Versuch wurden 5 Varianten mit vier Wiederholungen der Bodenbearbeitung untersucht.

- |    |   |                                  |
|----|---|----------------------------------|
| 1. | konventionelle Bearbeitung, Pflug                 | Oktober, Winterweizen            |
| 2. | reduzierte Bearbeitung, Grubber                   | Oktober, Winterweizen, (SchALVO) |
| 3. | Stoppelbearbeitung September, Begrünung, Pflug    | November, Sommerweizen           |
| 4. | Stoppeln bis 1.12., Pflug Dezember, Sommerweizen, | (SchALVO)                        |

5. Stoppelbearbeitung, winterharte Begrünung, Pflug  
Februar, Sommerweizen, (SchALVO)

Je Region gab es einen Standort mit Messvorrichtungen (Intensivstandort). Hier erfolgten die Variantenversuche im ersten und dritten Jahr, im zweiten Jahr fand eine einheitliche Bearbeitung und eine Aussaat von N-intensiven Pflanzen statt. Beim Standort ohne Messinstrumente (Vergleichsstandort) erfolgte eine monatliche  $N_{min}$ -Beprobung (jährlich wechselnde Felder entsprechend der Fruchtfolge). Auf den Intensivstandorten wurden alle 14 Tage  $N_{min}$ -Proben in drei Tiefenstufen (0-30, 30-60, 60-90 cm) gezogen (Mischprobe aus 8 Bohrstockeinschlägen je Variante und Tiefe). Daneben waren je Variante drei Profilgruben mit je zehn Nitratpassivsammlern (SIA-Systeme) in 80 cm Tiefe ausgestattet um den Nitrataustrag zu ermitteln. Auf der Schwäbischen Alb erfolgte der Einbau wegen anstehendem Gestein teilweise flacher. Halbjährlich im September und März wurden die SIA-Systeme gewechselt und analysiert. Für die Modellierung des Nitrataustrages wurden TDR-Sonden, Tensiometer und Saugkerzen in 30, 60 und 90 cm Tiefe der Profilgruben eingebaut und 14-tägig ausgewertet. Auf den Vergleichsflächen erfolgte die  $N_{min}$ -Beprobung monatlich. An allen  $N_{min}$ -Proben wurde zusätzlich die aktuelle Feuchte ermittelt. Bei einer anschließenden Modellierung der Nitratausträge auf den Intensivstandorten anhand des Modells EPIC3060 (USDA 1990) wurden im Feld erhobene Bodeninformationen verwendet. Auf im Modell erzeugte wöchentlichen Wetterparameter wurde zugunsten von täglichen Wetterdaten nahe gelegener Stationen des DWD verzichtet.

## Ergebnisse

### $N_{min}$ -Kurvenverläufe

Bei den  $N_{min}$ -Verläufen wurden die Ergebnisse entsprechend der SchALVO-Vorschrift als Summe der drei Tiefen dargestellt. Anhand des Standortes in der Gäu Region exemplarisch dargestellt (Abbildung 1), zeigte sich bei fast allen anderen Standorte über die Variantenversuchsjahre hinweg, ähnliche Verlaufskurven je Variante. Nach erfolgter Stoppelbearbeitung, spätestens nach der Variantenbearbeitung setzte bei ausreichender Feuchtigkeit und Wärme eine Mineralisierung ein. Je nach winterlicher Witterung konnte die stärkste Mineralisierung manchmal im Winter oder im zeitigen Frühjahr erfolgen. Bei der SchALVO-Erhebung wird dies im Oktober und November angenommen. Allgemein zeigte sich bei der reduzierten Bearbeitung, Variante „Grubber-Oktober“, ein niedrigerer Verlauf als bei konventioneller Bearbeitung; Variante „Pflug Oktober“. Verglichen mit den anderen Varianten verlief die Kurve niedriger. Nach einer ersten Mineralisierung im Herbst zeigte sich bei diesen Varianten die eigentliche Mineralisierung erst im Frühjahr. Deutliche Unterschiede in der Höhe der Mineralisierungen konnte in den drei bodentypischen Regionen festgestellt werden. Auf den Lößstandorten in der Gäu-Region lagen die Mengen meist doppelt so hoch wie in den anderen Regionen.

<sup>1</sup> Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, pradechr@uni-hohenheim.de

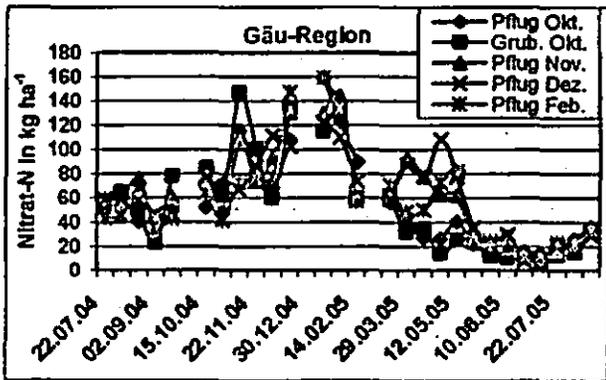


Abb. 1:  $N_{\min}$ -Verlauf in den Varianten auf dem Intensivstandort Gäu-Region im dritten Versuchsjahr.

Beim statistischen Mittelwertsvergleich mittels Zeitreihenanalyse zeigten sich bei der Variante „Grubber Oktober“ signifikant geringere Werte im Vergleich zur Variante „Pflug Oktober“. Diese Unterschiede waren bei den Vergleichsstandorten am deutlichsten (Abbildung 2), da hier die Variantenbearbeitung besser eingehalten werden konnte und eine teilweise geringere Gründigkeit einen stärkeren Einfluss durch den Pflughorizont vorgab. Im Mittel lagen die Nitratauswaschungen meist bei 15-25  $\text{kg ha}^{-1}$  Nitrat-N.

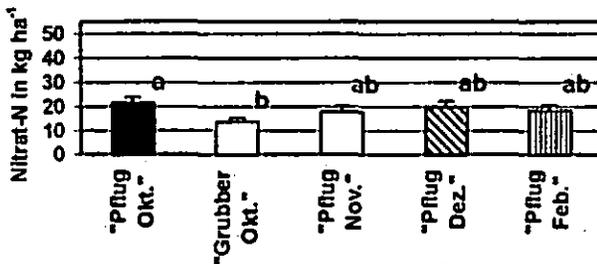


Abb. 2: Mittelwertsvergleich der  $N_{\min}$ -Ergebnisse mittels Zeitreihenanalyse, Vergleichsstandorte 2002-2005

#### Saugkerzenlösungen

Auch beim statistischen Mittelwertsvergleich für die Saugkerzenlösungen blieben der signifikant geringere Mittelwert bei der Variante „Grubber Oktober“ erhalten (Abbildung 3). Auf den tonigen Standorten im Main-Tauber-Kreis und auf der Schwäbischen Alb wurde der Grenzwert von 50  $\text{mg l}^{-1}$  Nitrat-N nie überschritten. In der Gäu Region auf dem Lößstandort wurden z.T. Werte von 80 bis 100  $\text{mg l}^{-1}$  Nitrat-N gemessen. Die mittleren Nitratausträge lagen bei dieser Methode bei 10 bis 20  $\text{kg ha}^{-1}$  Nitrat-N. Diese Werte stehen aber den fast nicht feststellbaren Nitratverlagerungen bei den SIA-Systemen entgegen (s. SIA-Systeme).

#### SIA-Systeme und EPIC-Modellierung

Für die direkt ermittelten Nitratausträge mittels SIA-System ergab sich auf dem Lößstandort in der Gäu Region Nitrat-N Austräge von weniger als 1  $\text{kg ha}^{-1}$ . Im Main-Tauber-Gebiet und auf der Schwäbischen Alb konnten maximale Austräge von 60-100  $\text{kg ha}^{-1}$  Nitrat-N gemessen werden. Das Maximum mit 160  $\text{kg ha}^{-1}$  wies die Variante „Pflug Oktober“ im Versuchsjahr 2004-2005 auf. Als Erklärung der hohen Werte und die starke Streuung der Ergebnisse

schien Hangzuzugwasser eine Rolle zu spielen, da die Profile beim Öffnen oft stark vernässt waren. Demgegenüber steht eine sehr hohe Sorptionsfähigkeit der Lössböden in der Gäu-Region.

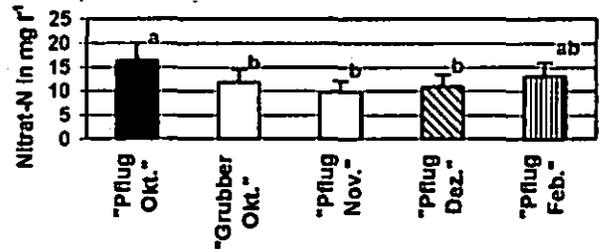


Abb. 3: Mittelwertsvergleich der Saugkerzenlösungen in 90 cm Tiefe mittels Zeitreihenanalyse, Intensivstandorte 2002-2005.

Eine Aussage über tatsächliche Variantenunterschiede konnte daher nicht erfolgen. Bei der Simulation der Nitratausträge auf den Intensivstandorten mittels EPIC waren die Übereinstimmungen zu den aus  $N_{\min}$  und den Saugkerzenlösungen ermittelten Frachten am größten, wenn jedes einzelne Jahr simuliert wurde. Die ermittelten Unterschiede lagen auf alle Varianten bezogen meist deutlich niedriger als 10  $\text{kg ha}^{-1}$  Nitrat-N. In der Simulation lagen die Auswaschungen der Variante „Grubber Oktober“ maximal um 5-7  $\text{kg ha}^{-1}$  niedriger als bei der Variante „Pflug Oktober“.

#### Zusammenfassung der Ergebnisse

Auf ökologisch bewirtschafteten Flächen kann Nitrat z.T. in erheblicher Menge verlagert werden. Die Mengen und die Verlagerungszeitpunkte sind in starkem Maße von Witterung, Boden und der Bewirtschaftung abhängig. Die Stickstoffmineralisierung setzt meist deutlich nach der Bearbeitung ein und zeigt je nach Bewirtschaftungsvariante eine charakteristische  $N_{\min}$ -Verlaufskurve. Signifikante Unterschiede zeigen sich bei strenger Einhaltung der Bearbeitungsvorgaben. Die von der SchALVO vorgegebenen Beprobungszeitpunkte (Okt.-Nov.) erfassen nicht unbedingt die stärksten Mineralisierungszeitpunkte. Nachwirkungen einer einmaligen Bodenbearbeitung lassen sich feststellen. Die Anwendungen der SchALVO-Vorgaben scheinen bei geringmächtigeren Böden stärkere Effekte zu erzielen, wobei sich die Vorgaben nicht immer einhalten lassen. Mittlere Auswaschungen lagen je nach Standort und Erfassungsmethode zwischen 5 und 45  $\text{kg ha}^{-1}$  Nitrat-N, bei den SIA-Systemen z.T. auch deutlich darüber. Bei statistischen Vergleichen lagen die Mittelwerte der SchALVO-Varianten z.T. um mehr als 10  $\text{kg ha}^{-1}$  Nitrat-N unter denen der konventionellen Bodenbearbeitung. Bei reduzierter Bearbeitung sind Nitratreduktionen um 5  $\text{kg ha}^{-1}$  möglich.

#### Referenzen

USDA (1990): EPIC - Erosion/Productivity Impact Calculator. U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin No. 1768, Washington D.C., USA. 235 p.

#### Danksagung

Diese Arbeit wurde durch das Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg finanziert.

## Hyperakkumulation von Bor durch Pappeln- Bedeutung für kontaminierte Böden

Rees, R.<sup>1</sup>, Robinson B.H.<sup>1</sup>, Menon, M.<sup>2</sup>, Günthardt-Georg, M.S.<sup>3</sup>, Lehmann, E.<sup>4</sup>, Schulz, R.<sup>1</sup>

### Einleitung

Bor ist sowohl ein essentielles Spurenelement für Pflanzen und Tiere als auch ein in der Umwelt weitverbreiteter Schadstoff. Dabei ist die Optimumkonzentration von B in Böden für das Pflanzenwachstum so eng wie bei keinem anderen Spurenelement (Goldberg, 1997). Die Bortoleranz verschiedener Pflanzenarten unterscheidet sich allerdings stark. Während in manchen Böden die Hintergrundkonzentration von Bor bereits phytotoxisch ist, wurden andere Böden durch menschliche Aktivitäten kontaminiert, z.B. durch die Bewässerung mit stark B-haltigem Wasser oder den Einsatz von B als Bleichmittel (Nable et al., 1997). Pappeln werden zum Phytomanagement von mit B kontaminierten Böden benutzt, da sie zum Einen eine schnellwachsende Baumart sind und zum Anderen hohe Bor-Konzentrationen tolerieren. Dabei ist die primäre Aufgabe der Pappeln die Auswaschung von B durch Evapotranspiration zu reduzieren. Allerdings gibt es wenig quantitative Informationen über die Aufnahme und Toleranz von Pappeln gegenüber B, speziell im Vergleich mit anderen Arten. Ziel dieser Studie war es daher, den Effekt von erhöhten B-Konzentrationen im Boden auf Hybrid-Pappeln (*Populus nigra x euramericana*) Klon: *Dorskamp*), Korbweiden (*Salix viminalis* spp.), Senf (*Brassica juncea* spp.) und Weisse Lupinen (*Lupinus albus* (L.)) zu untersuchen.

1: ETH Zürich Institute of Terrestrial Ecosystems  
Universitätstrasse 16 8092 Zürich,  
rainer.rees@env.ethz.ch

2: Mackay School of Earth Sciences and  
Engineering, Reno

3: Swiss Federal Research Institute WSL,  
Birmensdorf

4: Paul Scherrer Institute PSI, Villigen

### Material & Methoden

Die untersuchten Arten wurden in einem Gewächshaus in 6l Töpfen mit verschiedenen <sup>10</sup>B-Konzentrationen (90-300 mg B·kg<sup>-1</sup>) und je drei Wiederholungen pro Behandlung angepflanzt. Da die ursprünglich vorgesehenen B-Konzentrationen sich als zu hoch für alle Arten ausser den Pappeln erwiesen, wurden sie bei tieferen B-Konzentrationen nachgepflanzt (20- 90 mg B·kg<sup>-1</sup>). Nach einem Wachstum von 6 Monaten für Pappeln und Korbweiden und 6 Wochen für Senf und Lupinen wurden die Pflanzen geerntet, getrocknet und in die Organe zerteilt gewogen. Die getrockneten Pflanzen- und Bodenproben wurden aufgeschlossen und mittels ICP-OES die B-Konzentrationen gemessen. Von den Blättern wurden Neutronenradiographien gemacht um die Verteilung von B in ihnen darzustellen. Zur Identifikation von signifikanten Unterschieden zwischen den Proben wurden eine Kruskal Wallis ANOVA und ein Mann-Whitney U-Test durchgeführt. Ausserdem wurden Regressionen nach Spearman berechnet um Zusammenhänge zwischen Parametern zu finden.

### Ergebnisse & Diskussion

Die Hybrid-Pappeln überlebten bei bis zu 300 mg B·kg<sup>-1</sup> Boden, während die anderen untersuchten Arten bereits bei B-Konzentrationen von >22 (Korbweide), >55 (Senf) und >90 (Lupine) mg B·kg<sup>-1</sup> Boden abstarben.

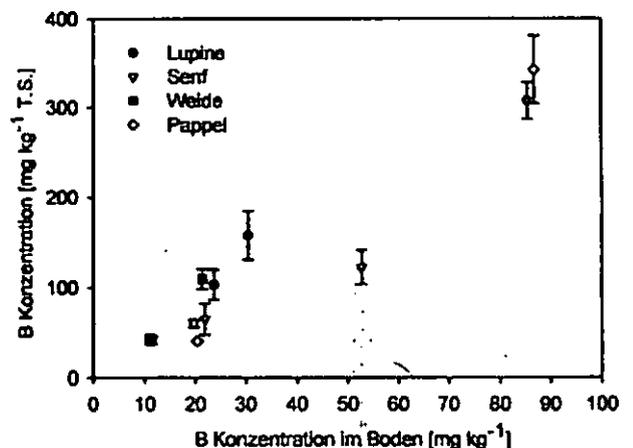


Abb.1: Vergleich der B-Konzentration in Pappeln, Korbweiden, Lupinen und Senf bei verschiedenen B Konzentrationen im Boden

Die Konzentration von B im Boden hatte dabei keinen Einfluss auf die Biomasse der Pappeln bei Konzentrationen von  $< 181 \text{ mg B}\cdot\text{kg}^{-1}$  Boden. Die Variabilität der Ergebnisse nahm mit steigender B-Konzentration im Boden zu, während der Anteil der Wurzeln an der Gesamtbiomasse abnahm.

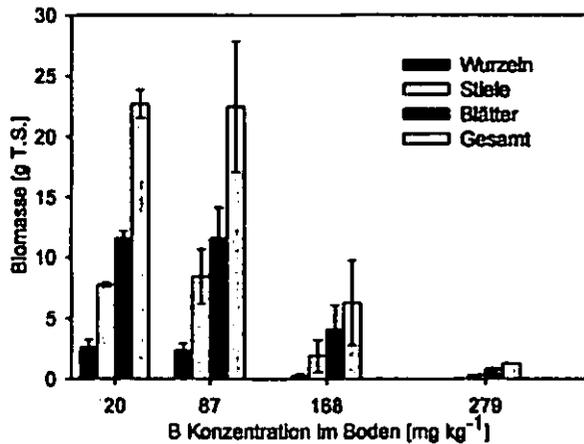


Abb.2.: Biomasse der Pappeln bei verschiedenen B-Konzentrationen im Boden

Die Konzentration von B in den Blättern der Pappeln erreichte Werte von mehr als  $3000 \text{ mg B}\cdot\text{kg}^{-1}$  T.S.. Dies entspricht einer Anreicherung gegenüber dem Boden von mehr als Faktor 10, die Konzentration in den Blättern nahm dabei mit dem Alter der Blätter zu. Dies bestätigt die These, dass B hauptsächlich im Xylem transportiert wird (Brown and Shelp, 1997). Auch die Ergebnisse der Neutronenradiographie untermauerten diese These, Bor wurde innerhalb der Blättern hauptsächlich in den Blattspitzen und Rändern gefunden. Ein weiteres Ergebnis der Neutronenradiographie war, dass B erst ab einer Konzentration von mehr als  $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  T.S. zu sehen ist. Für einzelne Blätter waren die B-Konzentration und die Grauwerte der Radiographien signifikant korreliert. Aufgrund der unterschiedlichen Blattdicken wird ein Vergleich der Radiographien aller Blätter allerdings erschwert. Die Konzentration von B in den Stengeln und Wurzeln war wesentlich geringer, sie überstieg  $500 \text{ mg B}\cdot\text{kg}^{-1}$  T.S. nicht. Eine Korrelation mit der B-Konzentration des Bodens war für alle Pflanzenteile vorhanden.

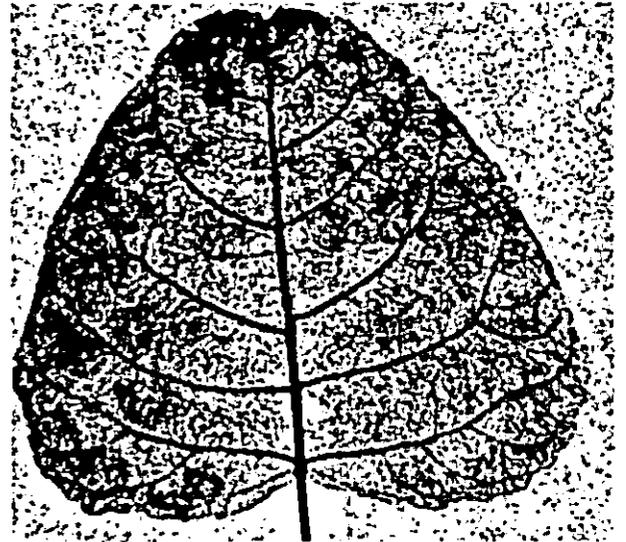


Abb.3: Neutronenradiographie eines Pappelblattes mit deutlich sichtbaren dunkleren Bereichen am Blattrand, die auf eine erhöhte Konzentration von  $^{10}\text{B}$  hinweisen.

### Schlussfolgerungen

Pappeln haben im Vergleich zu den anderen untersuchten Arten ein höheres Potential für die Remediation von mit B belasteten Böden. Die Akkumulation von B in den Pappeln reichte von  $1 \text{ mg}$  (Kontrolle) bis zu  $10 \text{ mg}$  (niedrigste Behandlungsstufe). Dies entspricht  $5 \%$  des gesamten B im Boden (bei  $94 \text{ mg B}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), die höchste gefundene Akkumulation bei einer der anderen im Experiment untersuchten Arten war  $0,7 \text{ mg}$  Bor pro Pflanze. Bei einer jährlichen Blattbiomasseproduktion von  $15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  könnten Pappeln die Bor-Belastung eines im Oberboden mit  $75 \text{ kg B}\cdot\text{ha}^{-1}$  belasteten Bodens um  $15 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  reduzieren. Dazu ist es nötig die Blattbiomasse abzuführen. Diese könnte als organischer Dünger auf Bormangelstandorten verwendet werden.

### Literatur:

- Goldberg, S., 1997. Reactions of boron with soils. *Plant Soil* 193, 35–48.
- Nable, R.O., 1997. Boron toxicity. *Plant Soil* 193, 181–198.
- Brown, P.H. & Shelp, B.J. 1997. Boron mobility in plants. *Plant and Soil* 193: 85–101.

## **Bodenhydrologische Langzeitmessungen zum Einfluss von Boden und Landnutzung auf die Sickerwasserdynamik in Nordostdeutschland**

Schindler, U.<sup>1</sup>, L. Müller<sup>1</sup>, R. Dannowski<sup>2</sup> und F. Eulenstein<sup>3</sup>

### **1. Zielstellung**

Bodenhydrologische Messungen haben das Ziel, Kenntnisse zum Prozessablauf und besonders zur zeitlichen Dynamik von Bodenwasser- und Stoffhaushalt unter differenzierten Boden-, Landnutzungs-, Klima- und Bewirtschaftungsbedingungen unter natürlichen und möglichst ungestörten Bodenbedingungen zu erlangen. Die Nutzung dieser Ergebnisse in Übertragung auf die Landschaftsebene erfordert im nächsten Schritt die Entwicklung und Anwendung von Modellen. Für deren Validierung können andererseits die bodenhydrologischen Messungen die Grundlage bilden. Die langen Aufenthaltszeiten von Wasser und den darin gelösten Stoffen in der ungesättigten Zone und die variablen Witterungsbedingungen erfordern ausreichend lange Messreihen für gesicherte Ergebnisse (Narasimhan et al., 2005).

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

#### **2.1 Standort und Klima**

Beginnend ab 1993 wurde mittels bodenhydrologischer Messungen der Einfluss von Landnutzung (Acker, Gras, Wald) und Bewirtschaftung (integriert, ökologisch, extensiv) auf die Sickerwasserbildung und die Stoffauswaschung in Feldexperimenten und auf Praxischlägen im Nordostdeutschen Tiefland untersucht. Seither wurden in Nordostdeutschland, in den Landschaftsräumen **Märkisch-Oderland**, **Uckermark** und **Ruppiner Land** insgesamt 36 bodenhydrologische Messplätze eingerichtet.

Die Böden im Untersuchungsgebiet sind vorwiegend pleistozänen Ursprungs. Sandige Substrate mit geringer Bodenwasserspeicherkapazität dominieren. Mehr als 50 % der Böden besitzen eine pflanzennutzbare Wasserspeicherkapazität < 10 Vol. %. Haplic Cambisols und Haplic Luvisols sind die bestimmenden Bodentypen.

In ihren meteorologischen Bedingungen unterscheiden sich die Regionen, wie die langjährigen meteorologischen Messungen des DWD für den Zeitraum 1951-2000 zeigen (Gerstengabe et al., 2003). Am trockensten war die Uckermark (Station Prenzlau), mit einem mittleren Jahresniederschlag von 504 mm und einer Jahresmitteltemperatur von 8,3 °C. In Märkisch-Oderland (Station Möncheberg) betrug der mittlere Jahresniederschlag 536 mm a<sup>-1</sup> und im Ruppiner Land (Station Neu Glob-sow) sind im langjährigen Mittel 586 mm a<sup>-1</sup> Niederschlag gefallen. Im Zeitraum 2001-2004 betrug der mittlere Jahresniederschlag am Messstandort Beerenbusch (Ruppiner Land) sogar 674 mm. Bei potentiellen Verdunstungsraten von 650-750 mm a<sup>-1</sup> (Müller et al., 1996) sind zwar alle Landschaftsräume durch ein Defizit der klimatischen Wasserbilanz gekennzeichnet, das Ruppiner Land ist aber wegen der höheren Niederschläge deutlich humider.

### **2.2 Messkonzept**

Für die Quantifizierung des Bodenwasserhaushaltes werden die Wasser- und Stoffflüsse durch die ungesättigte Zone in Kompartimenten betrachtet (i) Wasserfluss in der Wurzelzone und (ii) Wasser- und Stoffaustrag unterhalb der Wurzelzone (Gee und Hillel, 1988). Flüsse in der Wurzelzone sind zeitlich und räumlich sehr variabel. Unterhalb der Wurzelzone verläuft die Bodenwasserbewegung vorwiegend abwärts. Bodenhydrologische Änderungen erfolgen langsam und kontinuierlich und Niederschlag sowie Verdunstung haben keine sprunghaften Änderungen des Bodenwassergehaltes und der Saugspannung zur Folge. Die Quantifizierung von Fließprozessen ist dadurch näherungsweise mit einer stationären Betrachtung (DARCY) in Tagesschritten zulässig (Schindler und Müller, 2005).

Die bodenhydrologischen Messplätze wurden so konzipiert, dass Saugspannung und Wassergehalt auf Gras- und Ackerstandorten gewöhnlich bis in 3 m, unter Wald bis in 5 m Tiefe gemessen wurden. Damit soll gewährleistet werden, dass sich die Messtiefe bis unterhalb der hydraulischen Scheide (Renger et al., 1970) erstreckt. Messwertänderungen werden unter diesen Bedingungen ausschließlich von Veränderungen im Sickerwasserfluss bewirkt. Die Sickerwasserdynamik wird für die größte Messtiefe (3 bzw. 5 m) in Tagesschritten aus dem gemessenen Wassergehaltsverlauf und einer an der Wasserbilanz kalibrierten Funktion der hydraulischen Leitfähigkeit berechnet (Schindler et al., 1998). In Verbindung mit Stoffanalysen aus Saugsondenbeprobungen wird der Stoffaustrag quantifiziert. Die Eignung dieser Methode wurde im Vergleich mit Lysimetermessungen nachgewiesen (Schindler und Müller, 2005).

### **3. Ergebnisse**

#### **3.1 Sickerwasserdynamik**

Grasland (ungedüngte Grasbrache) und Acker unterschieden sich in der Sickerwasserdynamik und in der mittleren jährlichen Sickerwasserhöhe nur gering. Typisch ist ein jährlich wiederkehrender Zyklus aus Befuchtungsfront (Zunahme der Sickerwasserbildung) und anschließender Entwässerung des Bodens. Die Hauptsickerperiode in 3 m Tiefe war auf Acker und Grasland zwischen Februar und April. Nur in wenigen Jahren setzte die Versickerungsperiode schon im Dezember ein. Nach Erreichen des Abflussspikes des jeweiligen Jahres nahm der Sickerwasserabfluss bis zum Sommer hin dann wieder kontinuierlich ab. Auf den Waldstandorten waren die Sickerwasserraten deutlich geringer (maximal 0,12 mm d<sup>-1</sup>) und es ließ sich kein jährlich wiederkehrender Zyklus von Sickerwasserbildung und anschließender Entwässerung erkennen. Innerhalb des Messzeitraumes von 10 Jahren (1996-2005) trat nur eine Sickerperiode im Jahr 2002 auf. Die Feuchtefront benötigte allerdings über 1 Jahr zur Passage der 5 m Messtiefe, ehe der Boden in dieser Tiefe im Anschluss daran wieder zu entwässern begann. In dieser Periode 2002/2003 sind etwa 30 % des gesamten Sickerwassers aus 10 Jahren abgeflossen.

Die Variabilität der Niederschläge in den Einzeljahren wirkte sich auf die Sickerwasserhöhe aus. Nicht nur die Jahressumme der Niederschläge, sondern ihre innerjährliche Verteilung und die Niederschlagsituation des Vorjahres beeinflussten dabei die Sickerwasserbildung.

<sup>1</sup> Institut für Bodenlandschaftsforschung, <sup>2</sup> Institut für Landschaftswasserhaushalt, <sup>3</sup> Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie im ZALF e.V. Möncheberg,

### 3.2 Sickerwasser und Landnutzung

Zusammenfassend für alle Standorte mit bodenhydrologischen Messplätzen (Ackerstandorte wurden getrennt für lehmige, L, und sandige Böden, S, betrachtet) stellt sich das Bild wie folgt dar (Abb. 1).

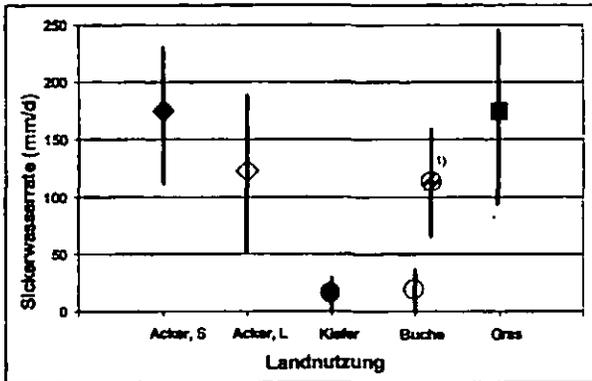


Abb. 1. Mittlere jährliche Sickerwasserrate in Abhängigkeit von Landnutzung und Boden 1) Buche, Ruppiner Land

Die höchste jährliche Sickerwasserbildung erfolgte im Mittel der Jahre unter Acker ( $179 \text{ mm a}^{-1}$ ) und Grasland (ungedüngter Grasbrache,  $174 \text{ mm a}^{-1}$ ) auf sandigen Standorten. Die Unterschiede in den einzelnen Beobachtungsjahren waren dabei groß und reichten unter Acker von  $81 \text{ mm a}^{-1}$  im trockenen Jahr 1996 bis  $420 \text{ mm a}^{-1}$  im extrem nassen Jahr 2002. Auf den Lehmstandorten war die mittlere Sickerwasserhöhe mit  $86 \text{ mm a}^{-1}$  gegenüber den sandigen Ackerstandorten signifikant geringer. Die geringsten Sickerwasserhöhen wurden jedoch auf den Waldstandorten in Märkisch-Oderland und der Uckermark (Kiefer,  $14 \text{ mm a}^{-1}$ , Buche,  $17 \text{ mm a}^{-1}$ ) ermittelt. Die Unterschiede waren signifikant im Vergleich zu Acker auf Sand und Lehmstandorten und Grasland. Eine Ausnahme bildete der Buchenstandort im Ruppiner Land, wo mit durchschnittlich  $115 \text{ mm a}^{-1}$  deutlich höherer Sickerwasserabfluss als auf vergleichbaren Standorten der Uckermark und in Märkisch-Oderland gemessen wurde. Grund dafür waren die höheren Niederschläge in dieser Region. Die Kronentraufe betrug auf diesem Standort im Mittel der Jahre  $481 \text{ mm a}^{-1}$  (Freilandniederschlag  $674 \text{ mm a}^{-1}$ ) und war damit nur geringfügig kleiner als der Freilandniederschlag ( $513 \text{ mm a}^{-1}$ ) in der Uckermark. Bestätigt werden diese Ergebnisse durch Sickerwassermessungen in Großlysimetern im Raum Barnim (Müller, 2005), in denen bei Freilandjahresniederschlägen von  $633 \text{ mm}$  unter Buche ein jährlicher Sickerwasserabfluss von  $123 \text{ mm}$  gemessen wurde.

### 4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Hypothese wird bestätigt, dass Ackernutzung die wesentliche Quelle für Tiefensickerung und Grundwasserneubildung in Nordostdeutschland ist. Aufforstung von Ackerstandorten wird in vielen Regionen eine geeignete und praktizierte Maßnahme zur Neugestaltung von Landschaften. Die Gründe sind vielfältig – Erhöhung der Ertragsfähigkeit des Standortes durch Holz als Einnahmequelle, Senkung des Treibhauseffektes, Filterfunktion des Waldes, Wald als Quelle für Erholung und Tourismus (Burschel, 1993) oder zur Minderung von Oberflächenabfluss und Erosion (Deumlich, 1995, Wang et al., 2006). Häufig sekundär in der Betrachtung, in Brandenburg als einer Region mit negativer klimatischer Wasserbilanz aber essentiell für einen nachhaltigen Wasserhaushalt, ist neben der Qualität des Sickerwassers

auch dessen Quantität, die Sickerwasserhöhe. Sie ist unter Wald gegenüber Acker und Grasland stark gemindert. Bei Niederschlägen  $< 550 \text{ mm a}^{-1}$  kommen Tiefensickerung und Grundwasserneubildung unter Wald nahezu zum Erliegen, gleich, ob es sich um Laub- oder Nadelwald handelt. In Brandenburg betraf das im Jahresmittel 1951-2000 Waldflächen auf 41 % der Gesamtfläche (Gerstengarbe et al., 2003). Diese Situation kann sich zukünftig noch verschärfen. Bereits in den letzten 50 Jahren ist ein Niederschlagsrückgang zu verzeichnen gewesen, der sich nach einem Klimaszenario des PIK weiter fortsetzen wird. Der Flächenumfang in Brandenburg mit mittleren Jahresniederschlägen  $< 550 \text{ mm a}^{-1}$  wird demnach bis zum Jahr 2055 auf über 60 % angewachsen sein. Für die Entscheidungsfindung zur Landneugestaltung und Flächenumwidmung durch Aufforstung ist dieser Umstand, insbesondere für die Erhaltung von Feuchtgebieten in Regionen mit negativer klimatischer Wasserbilanz und in Anbetracht langjährig sinkender Grundwasserstände (LUA-BB, 2002), vordringlich zu berücksichtigen.

### 4. Literatur

- Burschel, P. 1993. Naturgemäßer Waldbau - Wege zur umweltverträglichen Landnutzung in den neuen Bundesländern. Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landschaftspflege. 63. 77-84.
- Deumlich, D. 1995. Landschaftsindikator Bodenerosion. - In: Bork, H.-R., C. Dalchow, H. Kächele, H.-P. Piorr & K.-O. Wenkel: Agrarlandschaftswandel in Nordost-Deutschland unter veränderten Rahmenbedingungen: 241-263; Berlin (Ernst & Sohn)
- Gee, G.W., and D. Hillel. 1988. Groundwater recharge in arid regions: Review and critique of estimation methods. *J. Hydrol. Processes* 2: 255-266.
- Gerstengarbe, F.W., F. Badeck, F. Hattermann, V. Krysanova, W. Lahmer, P. Lasch, M. Stock, F. Suckow, F. Wechsung und P.C. Werner. 2003. Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. PIK Report No. 83. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, 92 S.
- LUA-BB (2002): Umweltdaten aus Brandenburg. Bericht 2002 des Landesumweltamtes, Abschn. 3.4 Grundwasser, 73-75.
- Müller, L., R. Dannowski, U. Schindler, F. Eulenstein und R. Meißner. 1996. Gebietsabflüsse aus Agrarlandschaften Nordost- und Mitteldeutschlands. *Arch. Acker-Pfl. Boden*, 40: 345-362.
- Renger, M., W. Giesel, O. Strebel und S. Lorch, 1970. Erste Ergebnisse zur quantitativen Erfassung der Wasserhaushaltskomponenten in der ungesättigten Zone. *Z. Pflanzenernähr., Düngung und Bodenkd.*, 126(1): 15-33.
- Schindler, U. und L. Müller (2005): Sickerwasserabschätzung aus bodenhydrologischen Messungen im Vergleich mit Lysimeterergebnissen. *DBG Mitteilungen* Band 106: 51-52.
- Schindler, U. and L. Mueller (1998): Calculating deep seepage from water content and tension measurements in the vadose zone at sandy and loamy soils in north-east Germany. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 43. 233-243.
- Wang, E., Ch. Xin, J.R. Williams, and Ch. Xu. 2006. Predicting soil Erosion for alternative land uses. *J. Environ. Qual.* 35: 459-467.

## Regionalisierung des Ertragspotentials landwirtschaftlich genutzter Flächen in Wasserschutzgebieten des osthessischen Berglandes

H.-G. Schön<sup>1</sup>, S. Gaussmann, W.-G. Gebauer

### Fragestellung

Im Rahmen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts steigen die durchschnittlichen Flächenerträge kontinuierlich an. Steigende Erträge gehen einher mit einer Erhöhung der zugeführten Nährstoffe. Eine Intensivierung der Düngung stellt höhere Ansprüche an das Nährstoffmanagement, um unerwünschte Verluste aus den agrarischen Ökosystemen zu minimieren. Defizite im Nährstoffmanagement führen insbesondere zu einem erhöhten Gehalt an anorganischen N-Verbindungen in der Grundwasserneubildung. Aus diesem Grund ist es naturgemäß ein Anliegen der Betreiber der Wassergewinnungsanlagen, diese Emissionen landwirtschaftlich genutzter Flächen in Wassereinzugsgebieten so weit wie möglich zu senken. Auch im osthessischen Bergland im Landkreis Hersfeld-Rotenburg bereiten Nitratgehalte im Trinkwasser Probleme. Deshalb schlossen sich im Landkreis Hersfeld-Rotenburg im östlichen Bergland Nordhessens Kommunen, der Kreisbauernverband, Wasserversorger und das Hessische Dienstleistungszentrum für Landwirtschaft, Gartenbau und Naturschutz (HDLGN) zu einer Arbeitsgemeinschaft zusammen (Arbeitsgemeinschaft Land- und Wasserwirtschaft im Landkreis Hersfeld-Rotenburg, kurz: AGLW). Ihre Aufgabe besteht darin, die ortsansässigen Landwirte, die in den Wasserschutz- und -einzugsgebieten wirtschaften, dahingehend zu beraten, dass die Trinkwasserqualität nachhaltig gewährleistet ist. Hierzu gehören auch angepasste N-Düngungsempfehlungen. Zur Optimierung dieser Empfehlungen sind Kenntnisse über das standörtliche Ertragspotential der landwirtschaftlich genutzten Flächen von großem Nutzen, um auf dieser Basis jahresspezifische Zu- bzw. Abschläge vornehmen zu können.

### Methoden

Das Ertragspotential wurde aus folgenden Parametern abgeleitet:

nFK DB  
Grundwasserstände inkl. kapillaren Aufstiegs und Niederschlagsmengen

Die Daten zur nutzbaren Feldkapazität stammen vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie und beziehen sich auf den durchwurzelbaren Bodenraum (Methode M32 des HLU, 2002).

Bei den Niederschlagsdaten für den Zeitraum März bis Juli wurde auf digitalisierte Rasterdaten (100 x 100 m)

Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Fachhochschule Osnabrück,  
Postfach 1940, D-49090 Osnabrück,  
E-Mail: h.schoen@fh-osnabrueck.de

des HLU (2002) zurückgegriffen, die ihrerseits auf langjährigen Beobachtungen des DWD basieren.

Tab 1: Klassen der nutzbaren Feldkapazität im Hauptwurzelraum (nFK DB) (HLUG, 2002)

Klasse	Wasserhaltevermögen im Hauptdurchwurzelungsbereich	Bewertung der nutzbaren Feldkapazität
1	< 50 mm	sehr gering
2	50 - 90 mm	gering
3	> 90 - 140 mm	mittel
4	> 140 - 200 mm	hoch
5	> 200 mm	sehr hoch

Tab. 2: Einstufung des potenziellen Grundwassereinflusses (HLUG, 2002)

GW-Abstand von der GOF	Stufe	
	Klasse	Bewertung
> 13 dm	0	schwach grundwasserbeeinflusst
6 dm - 13 dm	1	mittel grundwasserbeeinflusst
< 6 dm - GOF	2	stark grundwasserbeeinflusst

Tab. 3: dreißigjähriges Mittel der Niederschläge im Untersuchungsgebiet im Zeitraum von März - Juli (HLUG, 2002)

Klasse	Niederschlagsmenge [mm]
1	307 - 343
2	344 - 380
3	381 - 416

Tab. 4: dreißigjähriges Mittel der Niederschläge im Untersuchungsgebiet im Zeitraum von Juli - September (HLUG, 2002)

Klasse	Niederschlagsmenge [mm]
1	234 - 258
2	259 - 283
3	284 - 307

Tab.5: Einteilung der Wassermengen aus nFK DB und Niederschlägen in Ertragspotentialsklassen bei schwachem Grundwassereinfluss (GW-Stufe 0)

Ertragspotentialklasse	ges. Wassermenge [mm]
1	307 - 368
2	369 - 430
3	431 - 492
4	493 - 554
5	> 555

Die Ertragspotentialklassen in Tab. 5 ergaben sich folgendermaßen: durch Addition der geringstmöglichen Niederschlagsmenge (Tab. 3) und der geringstmöglichen Menge nFK (Tab. 1) im Untersuchungsgebiet ergab sich die auf der Basis dieser Werte geringstmögliche pflanzenverfügbare Wassermenge (307mm). Genauso wurde die höchstmögliche Wassermenge aus Niederschlag und nFK ermittelt (616 mm). Diese Spanne wurde entsprechend in 5 Klassen unterteilt. Grundwassereinfluss wurde mit Zu- und Abschlägen berücksichtigt.

**Ergebnisse**

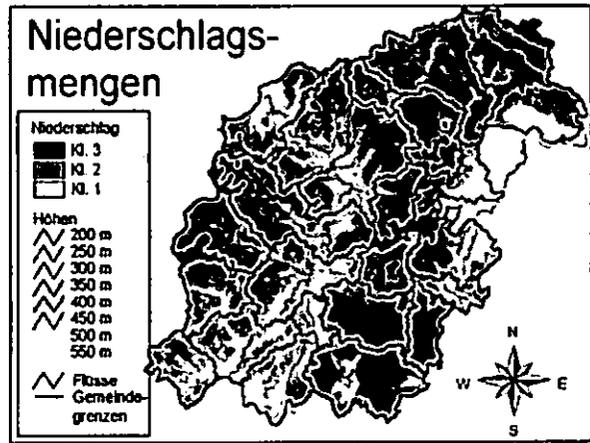


Abb. 1: Verteilung der Niederschläge im Untersuchungsgebiet während der Hauptvegetationszeit von Anfang März bis Ende Juli im 30jährigen Mittel von 1970 – 2000 mit den Höhenlinien (Quelle HLU, 2002; eigene Bearbeitung)

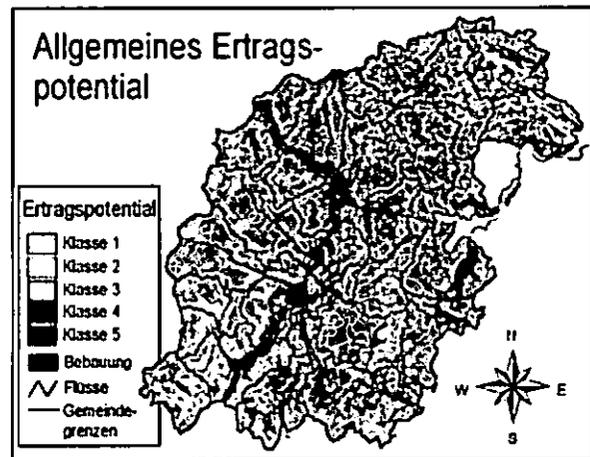


Abb. 2: Verteilung der Allgemeinen Ertragspotentialklassen im Untersuchungsgebiet

Da der durchschnittliche Wasserbedarf der einzelnen Kulturpflanzen unterschiedlich ist, wurden für die wichtigsten Arten spezielle Karten erstellt (Abb. 1 für Winterweizen). Bei Winterweizen wurde ein Wasserverbrauch von 440 mm in der Vegetationszeit von März – Juli für regionalspezifische Durchschnittserträge unterstellt.

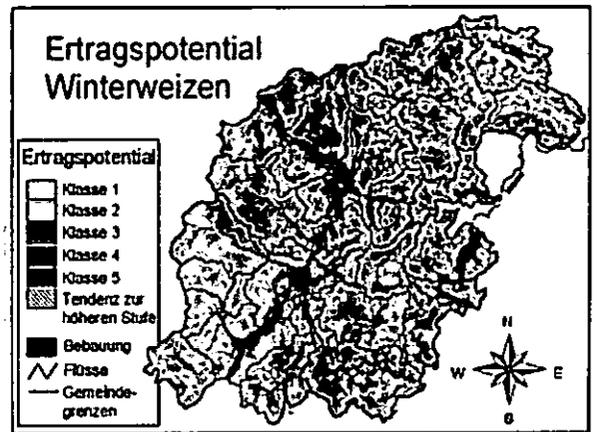


Abb. 3: Verteilung der Ertragspotentialklassen für Winterweizen im Untersuchungsgebiet

Eine Validierung der Ertragspotentialkarten mit Realerträgen ergab für das Trockenjahr 2003 sichtbare Beziehungen (Abb. 4). Die Variationsbreite in den einzelnen Klassen war markant.

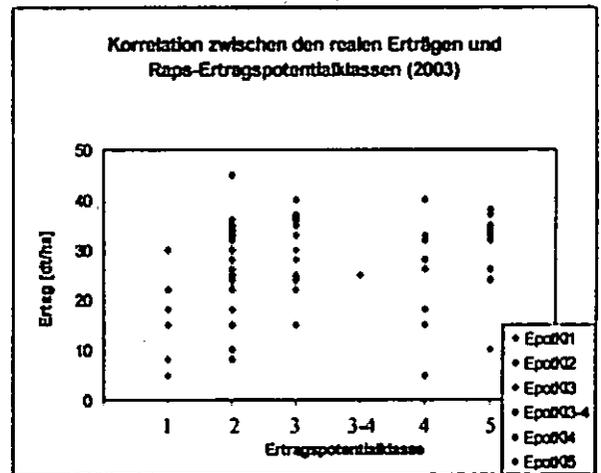


Abb. 4: Korrelation zwischen Realerträgen und den Raps-ertragspotentialklassen (regionalspezifischer Wasserverbrauch im Zeitraum März- Juli für Durchschnittserträge: 540 mm)

**Schlussfolgerungen**

Das erarbeitete Kartenmaterial bietet eine Grundlage für standortspezifische Düngungsempfehlungen. Allerdings streuen die erzielten Erträge in den einzelnen Ertragspotentialklassen sehr stark. Ein Grund dafür kann die mittelmaßstäbige Datengrundlage für die Ableitung der Karten sein. Ein weiterer möglicher Grund kann aber auch in unterschiedlichem Bestandsmanagement liegen.

**Literatur:**

- HLUG, 2002
- Digitale Bodenflächendaten von Hessen 1 : 50.000. Blätter L 4922 Melsungen, L 4924 Sontra, L1 4926 Eschwege, L5122 Neukirchen, L 5124 Bad Hersfeld, L 5126 Eisenach West, L 5322 Lauterbach und L 5324 Hünfeld. CD-ROMs

## Beurteilung der Nitratbelastung des Grundwassers in einem Wasserschutzgebiet: Vergangenheit – Gegenwart – Zukunft

Andreas Schwarz und Wolf-Anno Bischoff

### Einführung

Brunnen XIX des Zweckverbandes Gruppenwassernetz Dieburg (ZVG) liegt nördlich des Odenwaldes in Südhessen in der so genannten Schaafheimer Senke. Seit Beginn der Förderung Anfang der 80er Jahre beträgt die Konzentration an Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) im Rohwasser zwischen 80 und 100 mg/L, die damit weit über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 50 mg/L liegt. Ein Trend ist nicht erkennbar.

Das Einzugsgebiet des Brunnens ist gekennzeichnet durch etwa 20 m mächtige sandige und kiesige pleistozäne und pliozäne Sedimente. Eine Voruntersuchung, in der mögliche Verursacher für die Nitratbelastung untersucht wurden, ergab, dass die Landwirtschaft die einzige bedeutende Stickstoff- (N-) Quelle im Einzugsgebiet darstellt.

In der Hauptuntersuchung sollte die Frage beantwortet werden, ob und wenn ja wann die Nitratkonzentration unter den Grenzwert sinken wird.

### Vorgehen

Mit Hilfe eines Bilanzansatzes wurde für den Zeitraum zwischen 1960 und 2004 der jährliche N-Überschuss verschiedener Nutzungsformen im Einzugsgebiet (Landwirtschaft, Wald, Siedlungsfläche) ermittelt. Zusätzlich werden seit 2004 die N-Austräge aus dem Wurzelraum auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und im Wald direkt gemessen. Die jährlichen N-Überschüsse werden hierbei als Differenz aus den N-Einträgen und den N-Entzügen berechnet.

In allen Nutzungsformen wird N über atmosphärische Deposition eingetragen. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen kommen organische und mineralische Düngung sowie die N-Fixierung durch Leguminosen hinzu. Über das Erntegut wird N entzogen.

Zur Berechnung der N-Einträge und -Entzüge wurden Daten des Hessischen Statistischen Landesamtes herangezogen. Auch wenn diese Daten eine hohe Konsistenz und Objektivität aufweisen, muss doch mit verschiedenen Problemen umgegangen werden:

*Die Zielgröße (z.B. Menge des über organische Dünger ausgetragenen N) ist z.T. nicht dokumentiert.* Die Zielgröße wurde in diesen Fällen aus verfügbaren Daten berechnet, z.B. Tierbestand, N-Gehalt der tieri-

schen Ausscheidungen, landwirtschaftliche Nutzfläche.

*Die Bezugsfläche entspricht nicht dem Wassereinzugsgebiet, sondern orientiert sich an Verwaltungsgrenzen.* Es wurden die Daten der kleinsten Einheit herangezogen und auf die Fläche des Untersuchungsgebietes heruntergebrochen.

*Vor 1975 wurden viele Daten nicht jährlich erhoben.* Für Größen, bei denen eine gleichförmige Entwicklung zu vermuten ist (z.B. Tierbestand), wurden Datenlücken interpoliert. Lagen hingegen witterungsbeeinflusste Daten (z.B. Erträge) nicht vor, wurde für die betroffenen Jahre keine Bilanzierung berechnet.

Des Weiteren wurden örtliche Landwirte befragt, die die lokalen Gegebenheiten sehr genau kennen. Ihre Erinnerungen und Aufzeichnungen reichen jedoch nur wenige Jahrzehnte zurück und stellen teilweise eine „subjektive Wahrheit“ dar, z.B. orientieren sich die Angaben z.T. eher an „guten“ Jahren, denn am langjährigen Mittel.

### Ergebnisse

#### Landwirtschaft

Die jährlichen N-Einträge über organischen Dünger wurde anhand der Tierbestände, dem N-Gehalt tierischer Ausscheidungen und der landwirtschaftlichen Nutzfläche berechnet, wobei ein Ausbringungsverlust berücksichtigt wurde. Bis 1987 lagen sie bei knapp 150 kg N/(ha a), in den Folgejahren nahm der Tierbestand stark ab, so dass die N-Einträge über organischen Dünger bis 2004 auf 58 kg N/(ha a) sanken.

Die N-Einträge über mineralischen Dünger wurden über Verkaufszahlen in Hessen abgeschätzt. Sie schwanken seit Beginn der 70er Jahre ohne erkennbaren Trend zwischen 80 und 110 kg N/(ha a). Die gesamten N-Einträge über Dünger nahmen von 250 kg N/(ha a) (1975 – 1985) auf 150 kg N/(ha a) (seit ca. 2000) ab (Abb. 1).

Dieser Rückgang hat verschiedene Gründe: Nach Aussage örtlicher Landwirte wurde Stallmist bis Ende der 90er Jahre allein als Bodenverbesserer, nicht jedoch als N-Quelle angesehen, weshalb er nicht auf die Mineraldüngermenge angerechnet wurde. Zudem wird seit einigen Jahren  $N_{\min}$  bei der Berechnung der Düngebedarfsmenge berücksichtigt.

Angaben zur atmosphärischen N-Deposition sind sowohl in der gewünschten räumlichen wie zeitlichen Auflösung nicht erhältlich. Es wurde daher die vom Umweltbundesamt (UBA) ermittelte Faustzahl von 13 kg N/(ha a) verwendet (UBA, 1999).

Dem Rückgang der N-Einträge steht ein leichter Anstieg der N-Entzüge über das Erntegut gegenüber, die

aus den jährlichen kulturspezifischen Erträgen, dem Anteil der Kulturen und ihrem N-Gehalt ermittelt wurden (Abb. 1). Dies liegt insbesondere in einer Effizienzsteigerung in der Landwirtschaft begründet.

In der Bilanz ergibt sich somit einen Rückgang der N-Frachten mit dem Sickerwasser von 150 kg N/(ha a) Anfang der 80er Jahre auf 50 kg N/(ha a) seit 2000 (Abb. 1).

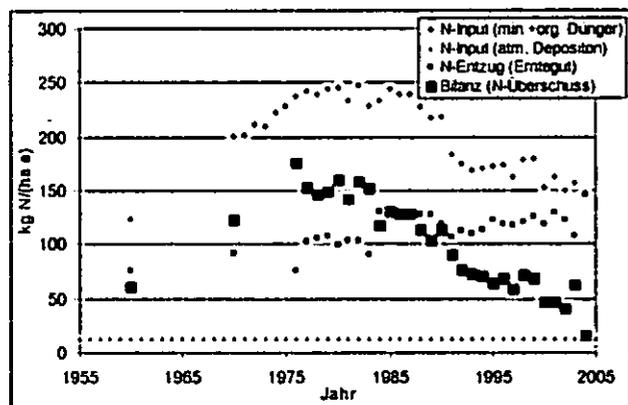


Abb. 1: N-Bilanz auf landwirtschaftlich genutzten Flächen im Einzugsgebiet von Brunnen XIX (statistische Daten).

Die Befragung der Landwirte ergab, dass aufgrund der sandigen Böden die Erträge im Einzugsgebiet von Brunnen XIX niedriger sind als im Landkreis Darmstadt-Dieburg, für den statistische Daten vorliegen. Daraus resultieren um etwa 10 kg N/(ha a) höhere N-Überschüsse. Aufgrund der Unsicherheiten, die mit den Daten aus der Landwirtebefragung verbunden sind, wurden für die weiteren Berechnungen die Daten aus der statistischen Erhebung verwendet.

In einer Studie des UBA (1999) wurde für 1995 im Landkreis Darmstadt-Dieburg ein N-Überschuss von 61 – 80 kg N/(ha a) ermittelt. Der berechnete Überschuss von 63 kg N/(ha a) für das Wassereinzugsgebiet liegt in diesem Intervall und ist somit plausibel.

**Wald**

Aufgrund der langen Umtriebszeiten im Wald ist in diesem System eine Bilanzierung schwierig. Daher wurden 7 kg N/(ha a) angenommen, die wir in einem nahe gelegenen, vergleichbaren Wald als langjähriges Mittel gemessen hatten.

**Siedlungsfläche**

Für Siedlungsflächen liegen nur wenige Daten vor. Als Abschätzung wurden die atmosphärische Deposition als einzige N-Quelle angenommen und ein Versiegelungsgrad von 40 % zu Grunde gelegt.

**Messung der aktuellen N-Austräge**

Eigene Messungen im Einzugsgebiet ergaben zwischen Herbst 2004 und Herbst 2006 einen mittleren N-Verlust von 18 kg N/(ha a) auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und von 3 kg N/(ha a) unter Wald.

**Vergleich Bilanz – Messung**

Werden die N-Austräge der einzelnen Nutzungsformen entsprechend ihren Flächenanteilen gewichtet, ergeben sich für das Jahr 2004 auf Grundlage der statistischen Daten eine mittlere Fracht von 9 kg N/(ha a). Die eigenen Messungen ergaben 7 kg N/(ha a) und sind somit vergleichbar.

**Konzentration im neu gebildeten Sickerwasser**

Mit Hilfe der klimatischen Wasserbilanz wurde aus den N-Frachten die Nitratkonzentrationen im neu gebildeten Sickerwasser berechnet. Sie betrug Anfang der 80er Jahre etwa 100 mg/L und entspricht damit der Konzentration, die im Rohwasser gemessen wird (Abb. 2). Etwa seit 1995 sank die Konzentration auf ca. 50 mg/L, also die Höhe des Grenzwertes. Da die mittlere Verweilzeit etwa 30 Jahre beträgt, ist im Rohwasser mit einem Absinken der Nitratkonzentration auf den Grenzwert erst im Jahr 2025 zu rechnen.

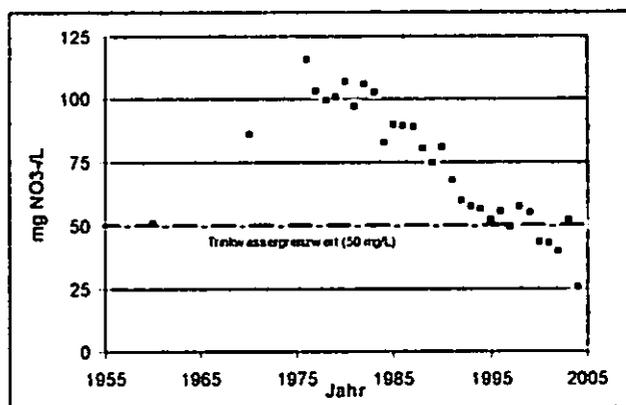


Abb. 2: Nitratkonzentration im neu gebildeten Sickerwasser im Einzugsgebiet von Brunnen XIX.

**Zusammenfassung**

Die Bilanzüberschüsse in der Landwirtschaft sind in den letzten 30 Jahren von 150 kg N/(ha a) auf heute 50 kg N/(ha a) zurückgegangen. Für das Einzugsgebiet von Brunnen XIX bedeutet dies einen Rückgang der Nitratkonzentration im neu gebildeten Sickerwasser von 100 auf 50 mg/L. Aufgrund der Verweilzeit von etwa 30 Jahren wird der Grenzwert von 50 mg/L erst ca. 2025 erreicht werden. Auch langfristig ist mit einer Unterschreitung dieser Konzentration nicht zu rechnen, es sei denn, der Wasserversorger greift aktiv ein, z.B. durch Förderung von Flächenstilllegung

**Dank**

Jörg Führer (Hessisches Statistisches Landesamt); Herr Merkel und Herr Höreth (Landwirte); Christoph Puschner (ZVG Dieburg)

**Literatur**

Umweltbundesamt (Hrsg.) (1999): Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands (UBA-Texte 75/99, Forschungsbericht 296 25 515); Berlin; 289 S.

## Wirkung verschiedener Zusätze zur Immobilisierung von Schwermetallen in Böden auf bodenmikrobielle Parameter

Rosel Stolz, Rita Haag, Bernd Marschner \*

### Einleitung

Im Rahmen eines Projektes der Ruhr-Universität Bochum mit dem LANUV NRW wurden zur Immobilisierung von Schwermetallen, insbesondere Cd, Pb und Zn sowie dem Metalloid As, verschiedene Meliorationsmittel getestet. Von den acht getesteten Materialien haben sich Phosphat und Eisenoxid für die Problemelemente Cd und Zn als besonders erfolgreich bezüglich der Verringerung der Pflanzenverfügbarkeit erwiesen. Um mögliche Auswirkungen dieser Bodenzusätze auf Bodenmikroorganismen abschätzen zu können, wurden sowohl in Labor, als auch in Freilandversuchen mikrobiologische Untersuchungen durchgeführt.

### Material und Methoden

Die Proben stammen aus zwei unterschiedlich stark belasteten Kleingartenanlagen in Duisburg, der Anlage Feierabend (F6) und Ehinger Straße (E). Die Gesamtgehalte für Cd und Zn sowie die mobilen Gehalte für Zn überschreiten die Prüfwerte der BBodSchV für Hausgärten (Tab. 1).

Tab. 1: Mobile Cd- und Zn-Gehalte und Cd- und Zn-Gesamtgehalte

Probe	SM-Gehalte		
	Cd	Zn	
F6	KW	15	1800
	AN	0,05	1,83
E	KW	20,7	3480
	AN	0,159	21,6

KW: Königswasserextrakt mg kg<sup>-1</sup> TM  
 AN: Ammoniumnitratextrakt mg kg<sup>-1</sup> TM  
 fett: Prüfwerte überschritten

Die hier vorgestellten Untersuchungen umfassen einen Freiland- und zwei Laborversuche. Im Freilandversuch F6 wurde ein Teil der Fläche unbehandelt als Kontrolle belassen und der andere Teil mit eisenoxidhaltigem Wasserwerksschlamm (WS) behandelt. Die Laborproben F6 und E stammen von den unbehandelten Flächen im Feld und umfassen jeweils die drei Varianten Kontrolle, Behandlung im Labor mit WS und die

Kombinationsbehandlung mit Phosphat und WS (P+WS). Die Zusatzstoffe hatten bei den Laborproben eine Einwirkzeit von 6 Wochen, während die Feldproben nach 1 ½ jähriger Einwirkzeit untersucht wurden. In Tabelle 2 sind die Zugabemengen der Meliorationsmittel sowie die pH-Werte vor und nach den Behandlungen aufgeführt.

Tab. 2: Bezeichnung der Proben, Zugabe der Materialien und pH-Werte vor und nach den Behandlungen

Standort	Bezeichnung	Materialien in Gew. %			pH-Werte
		P	WS	Kalk	
Labor Feierabend	F6 KO	-	-	-	5,9
	F6 WS	-	1%	-	6,8
	F6 P+WS	0,5%	0,5%	0,5%	6,2
Labor Ehinger Str.	E KO	-	-	-	5,4
	E WS	-	1%	-	6,5
	E P+WS	0,5%	0,5%	0,5%	5,8
Feld Feierabend	F F6 KO	-	-	-	5,9
	F F6 WS	-	1%	-	6,8

Die mobilen Schwermetallgehalte wurden mit einer 1 M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Lösung extrahiert und mittels ICP OES gemessen. Die Bestimmung der Urease-Aktivität erfolgte über die Extraktion und kolorimetrische Messung des freigesetzten Ammoniums nach Harnstoffzugabe. Die Bestimmung der Arylsulfatase-Aktivität wurde durch Extraktion des freigesetzten Nitrophenols nach Zugabe von p-Nitrophenolsulfatlösung photometrisch bestimmt. Folgende Enzyme wurden mittels einer Fluoreszenzmessung ermittelt, nachdem aus den Proben Bodensuspensionen hergestellt und fluorogene Substrate zugegeben wurden: α-D-Glucosidase (α-glu), β-D-Glucosidase (β-glu), β-D-Xylosidase (xyl), N-acetyl-β-D-Glucosaminidase (n-ac), Phosphatase (pho) und Leucinpeptidase (leu) (Marx et al. 2001).

### Ergebnisse

Die Behandlung mit eisenoxidhaltigem Wasserwerksschlamm (WS) führt sowohl im Labor- als auch im Feldversuch im Vergleich zur Kontrolle zu signifikanten Verringerungen der mobilen Cd-Gehalte. Ebenso zeigt die Behandlung mit P+WS bei beiden Laborversuchen signifikante Verringerungen des mobilen Cd (Abb. 1).

Ebenso kommt es zu signifikanten Verringerungen der mobilen Zn-Gehalte im Labor- und im Feldversuch durch WS, wie zu signifikanten Abnahmen nach der P+WS-Behandlung in beiden Laborversuchen. (Abb.2)

\* Ruhr-Universität Bochum  
 Geographisches Institut  
 Bodenkunde/Bodenökologie  
 e-mail: rosels.stolz@rub.de

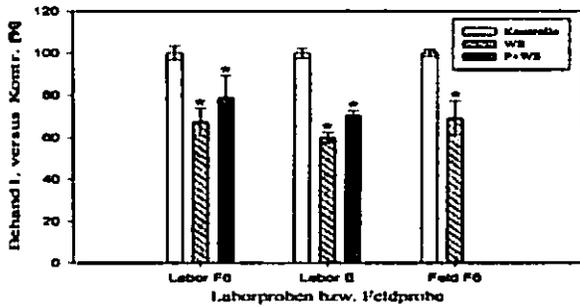


Abb. 1: Mobile Cd-Gehalte nach Behandlung mit WS und P+WS

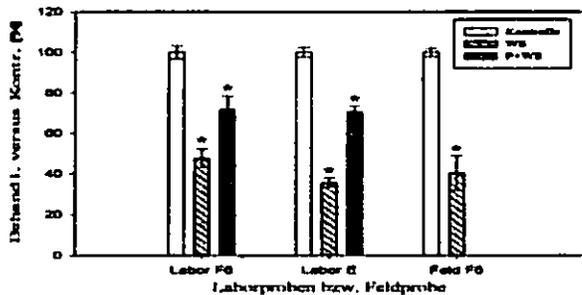


Abb. 2: Mobile Zn-Gehalte nach Behandlung mit WS und P+WS

Die Enzymaktivitätsmessungen zeigen in Abb. 3-5 teilweise Stimulierungen der Aktivität durch die Meliorationsmittel. Hier fällt besonders die gegenüber Schwermetallen besonders sensible Arylsulfatase auf. Deren Aktivität steigt für den Laborversuch E im Vergleich zur Kontrolle nach WS-Zugabe auf 129 %, nach P+WS auf 133 % sowie für den Freilandversuch F6 nach WS-Zugabe auf 222 % an. Andere hier nicht

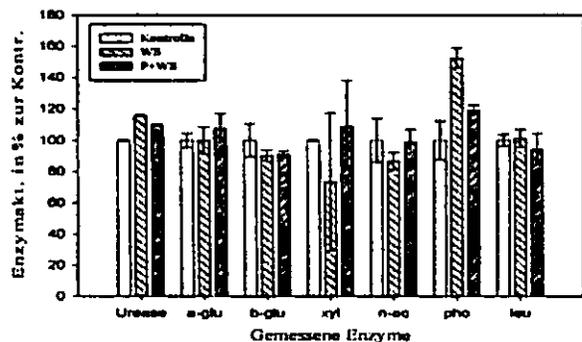


Abb. 3: Enzymaktivitäten nach den Behandlungen mit WS und P+WS für den Laborversuch F6

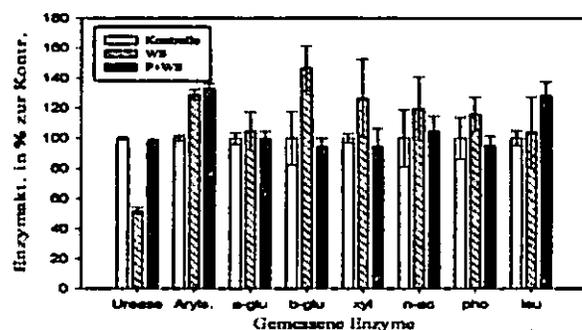


Abb. 4: Enzymaktivitäten nach den Behandlungen mit WS und P+WS für den Laborversuch E

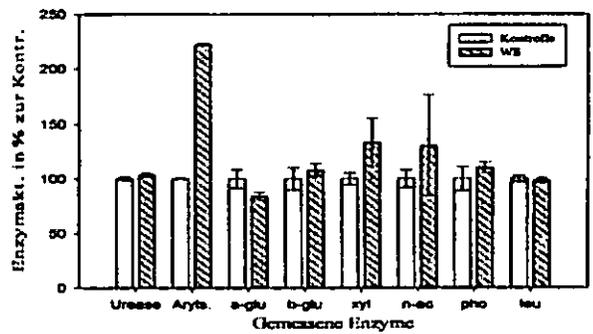


Abb. 5: Enzymaktivitäten nach Behandlung mit WS für den Feldversuch F6

dargestellte Meliorationsmitteln hatten dagegen zum Teil deutliche Hemmungen der Enzymaktivitäten zur Folge.

Als Beispiel für die Wirkungen der Behandlungen mit WS auf die Aufnahme von Cd und Zn in Pflanzen werden in Abb. 6 für den Freilandversuch F6 die Gehalte relativ zu der mit 100 % gleichgesetzten Kontrolle für Kopfsalat (hier Mittelwert von 2 Ernten), Spinat und Sellerie dargestellt.

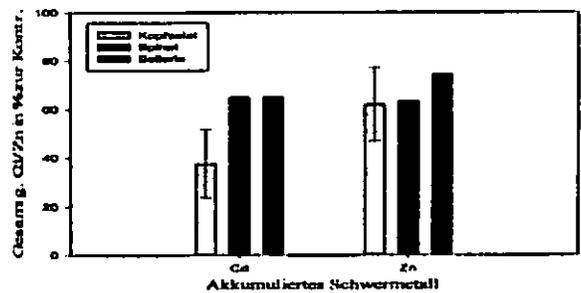


Abb. 6: Pflanzenverfügbarkeit von Cd und Zn nach Zugabe von WS für die Feldprobe F6 für Kopfsalat (Mittelw. 2 Ernten), Spinat (1 Ernte) und Sellerie (1 Ernte)

### Zusammenfassung und Ausblick

Eisenoxidhaltiger Wasserwerkschlamm und die Kombination von Phosphat und WS sind geeignete Bodenzusätze zur Immobilisierung von Cd und Zn und zeigen im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen keine negativen Auswirkungen auf die Enzymaktivitäten. Um feststellen zu können, ob die Meliorationsmittel eine Langzeitwirkung zeigen, werden die Freilandversuche über weitere zwei Jahre mit Untersuchungen zur Mobilität und Pflanzenverfügbarkeit fortgeführt.

### Literatur

M.-C. MARX ET AL. (2001): A microplate fluorimetric assay for the study of enzyme activity in soil. *Soil Biol. & Bioch.* 33, 1633-1640

SCHINNER, F. & SONNLEITNER, R. (1997): Anorganische Schadstoffe: Bodenökologie: Mikrobiologie und Enzymatik; Bd. 4

## Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität von Rekultivierungsmaterialien mittels Vegetationstest

Sebastian Tauchnitz<sup>1</sup>, Franziska Liemen<sup>1</sup>,  
Sabine Bernsdorf<sup>1</sup>, Ralf Meißner<sup>1,2</sup>

### Problem und Aufgabenstellung

Die Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität nach DIN ISO 11274 ist bei Komposten durch die gegebene Schwammstruktur als schwierig zu beurteilen. Da im Kompost vorhandene grobstrukturierte Holzbestandteile Wasser speichern, jedoch aufgrund des fehlenden leitenden kapillaren Kontaktes bei der Messung nach der Drucktopfmethode nicht berücksichtigt werden, kommt es zu groben Fehleinschätzungen des Wassergehaltes am Permanenten Welkepunkt [Frede, Gäh und Meyer, 1983]. In der Dissertation von Tauchnitz [2007] wurde erstmals die nFK von Rekultivierungsmaterialien mit Hilfe eines Vegetationstests unter Nutzung von Welschem Weidelgras und Sonnenblumen ermittelt.

### Methoden

#### •Drucktopfmethode nach DIN ISO 11274

Verwendung von Stechzylinder mit einem Volumen von 250cm<sup>3</sup>.

#### •Vegetationstest mit Sonnenblumen und Welschem Weidelgras

Mitscherlichgefäße (Volumen - 5498cm<sup>3</sup>) wurden mit 2 Modellklärschlammkomposten (MK1/MK2) im Gemisch mit 2 Bodenarten (St2/U12) in verschiedenen Mischungsvarianten (50/100Vol.%) befüllt. Nach 3-tägiger Sättigung im Wasserbad wurde durch anschließende Wägung die FK ermittelt. Dann erfolgte die Aussaat von 3 Sonnenblumenkernen (Sorte „Gefüllte Zwerg“) oder 20 Grassamen je Gefäß, die Bewässerung bis zur vollständigen Ausbildung der Blüte oder eines stabilen Bestandes und eine gravimetrische Kontrolle bei einsetzender irreversibler Welkeerscheinung an der oberirdischen Biomasse zur Ermittlung des Welkepunktes. Die chemischen Eigenschaften der verwendeten Rekultivierungsmaterialien gehen aus Tabelle 1 hervor.

Tab. 1 Stickstoff- und Kohlenstoffgehalte der Varianten

Variante	N <sub>tot</sub> [g/100g TM]	N <sub>i</sub> [g/100g TM]	C <sub>i</sub> [g/100g TM]	C/N
MK1	1,146	1,34	21,309	16
MK1 + U12	0,256	0,312	4,671	15
MK1 + St2	0,205	0,252	3,625	14
MK2	1,356	1,663	25,18	15
MK2 + U12	0,295	0,342	5,096	15
MK2 + St2	0,178	0,25	8,192	33
U12	0,018	0,02	1,684	86
St2	0,019	0,021	0,916	43

### Ergebnisse und Diskussion

Es zeigen sich hohe nFK-Werte, die bei den reinen Kompostvarianten bis zu 44 Vol.% und bei den Gemischvarianten bis 39 Vol.% betragen.

Die Vegetationstests mit Sonnenblumen und Welschem Weidelgras lieferten ähnliche Ergebnisse der Wasserhaushaltsgrößen.

<sup>1</sup>Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Ludwig-Wucherer-Str. 81, 06108 Halle/S.

<sup>2</sup>Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Department Bodenphysik, Dorfstr. 55, 39615 Falkenberg

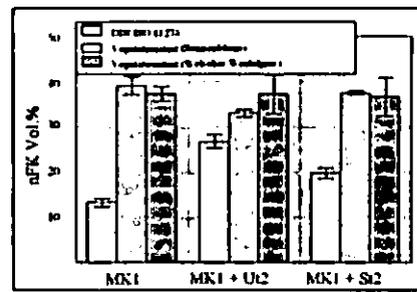


Abb. 1 Vergleich der nFK der angewandten Methoden

Es traten jedoch signifikante Unterschiede in den Wassergehalten am Permanenten Welkepunkt zwischen der DIN ISO 11274 und dem Vegetationstest auf. Die Drucktopfmethode überschätzte die Werte am PWP um mehr als 100%. Die Differenzen sind durch die Eigenschaften von Klärschlammkomposten erklärbar, da u.a. grobstrukturierte Bestandteile mit hydrophilen Eigenschaften (z.B. Holzreste) aufgrund ihres fehlenden kapillaren Kontaktes nicht berücksichtigt werden. Amorphe Strukturen, ungleiche Verteilungen im Porengefüge, große Benetzungswinkel und hohe gesättigte Leitfähigkeiten sind weitere zu nennende Ursachen.

Tab. 2 FK, nFK und PWP von Rekultivierungsmaterialien bei unterschiedlicher Lagerungsdichte und Untersuchungsmethoden

Variante	Methode	LD [g/cm <sup>3</sup> ]	FK [Vol.%] pF > 1,8	PWP [Vol.%] pF > 4,2	nFK [Vol.%] pF 1,8
U12	DIN ISO 11274	1,35 ± 0,05	41 ± 2,23	9 ± 0,28	33 ± 0,42
St2	DIN ISO 11274	1,59 ± 0,03	25 ± 4,92	6 ± 0,48	21 ± 4,24
MK1	DIN ISO 11274	0,42 ± 0,03	45 ± 2,89	31 ± 1,35	14 ± 0,25
	Vegetationstest (Sonnenblume)	0,43 ± 0,00	49 ± 0,68	10 ± 1,11	35 ± 1,56
	Vegetationstest (Weidelgras)	0,40 ± -	48 ± 0,23	11 ± 0,50	37 ± 0,67
MK1 + U12	DIN ISO 11274	1,22 ± 0,04	47 ± 1,11	20 ± 2,36	27 ± 0,59
	Vegetationstest (Sonnenblume)	1,06 ± 0,00	42 ± 0,82	9 ± 1,12	35 ± 0,63
	Vegetationstest (Weidelgras)	1,10 ± -	41 ± 0,93	4 ± 1,10	37 ± 0,67
MK1 + St2	DIN ISO 11274	1,11 ± 0,02	34 ± 2,21	14 ± 1,56	20 ± 0,55
	Vegetationstest (Sonnenblume)	1,00 ± 0,00	45 ± 0,76	1 ± 1,13	37 ± 0,42
	Vegetationstest (Weidelgras)	1,20 ± -	44 ± 0,27	8 ± 1,88	37 ± 1,69
MK2	DIN ISO 11274	0,39 ± 0,03	48 ± 2,90	38 ± 1,42	10 ± 1,53
	Vegetationstest (Weidelgras)	0,44 ± -	49 ± 3,11	7 ± 3,95	42 ± 0,54
MK2 + U12	DIN ISO 11274	1,11 ± 0,02	49 ± 1,46	24 ± 3,31	25 ± 2,04
	Vegetationstest (Weidelgras)	0,94 ± -	49 ± 1,71	5 ± 0,15	44 ± 1,83
MK2 + St2	DIN ISO 11274	1,04 ± 0,07	32 ± 1,17	18 ± 0,34	13 ± 1,07
	Vegetationstest (Weidelgras)	1,06 ± -	32 ± 1,55	8 ± 1,45	24 ± 2,72

### Fazit

Klärschlammkomposte als Bestandteil von Rekultivierungsmaterialien erhöhen die nFK deutlich und stellen damit eine Voraussetzung zur Minimierung von Sickerwasser.

Die DIN ISO 11274 unterschätzt erheblich die Höhe der nFK. Demzufolge liefert ein Vegetationstest zutreffendere Ergebnisse zur Betrachtung der zentralen Wasserhaushaltsgröße der nFK in Rekultivierungsmaterialien mit hohen Anteilen an organischer Substanz.

In weiterführenden Versuchen wird mit Hilfe von Vegetationstests bei Verwendung von KSK in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen mit verschiedenen Bodenarten die nFK als Grundlage für die Bemessung von Wasserhaushaltsschichten ermittelt.

### Literatur

Frede, H. G.; Gäh, S.; Meyer, B. (1983): Saugspannungs-Wassergehalts-Beziehungen von Sandböden unterschiedlichen Humusgehaltes, erstellt am Drucktopf- und in der Zentrifugemethode. Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 38, 85-90.

Tauchnitz, S. (2007): Untersuchungen zum Wasserhaushalt und Stickstoffumsatz von Rekultivierungsschichten aus Klärschlammkompost. Diss. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. ISBN 1860-0387.



# Bodenheterogenität - Erfassung und Nutzungsmöglichkeiten für die Präzisionslandwirtschaft am Oberrhein

Unterseher, E.\* & P. Reidelstürz\*\*

## 1. Einleitung

Im Rahmen von zwei INTERREG-Projekten (s. ITADA Hrsg. 2001 u. 2006; Projektbetreuung von dt. Seite ehem. „IfuL Müllheim“ - seit 2007 Teil des LTZ Augustenberg) wurden Nutzungsmöglichkeiten der Präzisionslandwirtschaft am Oberrhein ausgelotet. Bei Versuchsstandorten, die die typischen naturräumlichen Verhältnisse im Ackerbau repräsentieren - Weisweil in Südbaden (Löss) sowie Witternheim und Ebersheim im Elsass (sandig-kiesige Substrate aus Rheinablagerungen) - wurde die Modulation der Stickstoffdüngung zu Mais erprobt.

## 2. Methodik

Zunächst wurde die Untersuchung und Beschreibung der Bodenheterogenität angegangen (ITADA Hrsg. 2001; Projektleitung I. RÜHLING). Darauf aufbauend setzte man sich damit auseinander, wie man dieser Variabilität durch die modulierte N-Ausbringung technisch entsprechen kann (ITADA Hrsg. 2006; Projektleitung P. REIDELSTÜRZ). Es wurden die folgenden Methoden eingesetzt:

- **Rasterbeprobung von Boden** (Textur, Humusgehalt, Nährstoffe, ph-Wert, Gründigkeit, nutzbare Feldkapazität u.a.) **und Pflanzen** (Pfl./m<sup>2</sup>, Nährstoffgehalte, Kornfeuchte, Ertragskomponenten) sowie
- **Online-Verfahren** (geocodierte Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens und die Ertragserfassung auf dem Mähdrescher).

## 3. Ausgewählte Ergebnisse

Bei den relativ **homogenen Bodenverhältnissen** in Weisweil (Parabraunerde; mit Schwemmlöss bedeckte Niederterrasse nördl. v. Kaiserstuhl) können durch Rasterbeprobungen von vier Proben/ha Parameter wie Körnung oder organische Substanz gut abgebildet werden - die Erfassung der unterschiedlichen Nährstoffversorgung erfordert entsprechend höhere Probenahmedichten. Die elektrische Bodenleitfähigkeit, die in enger Beziehung zur Textur, zum Wasserhaushalt sowie zur Lagerungsdichte und dem Salzgehalt in der Bodenlösung steht, wurde über Scheibensech-Elektroden rasch und kostengünstig erfasst (s. Abb. 1).

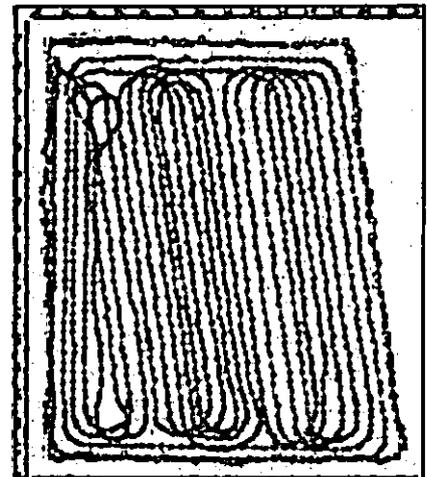


Abb. 1: Die elektrische Leitfähigkeit wurde GPS-gestützt erfasst. Bei diesem Teilschlag in Weisweil (1,4 ha, gesamt 4,5 ha s. Abb. 2) wurden 1.389 Einzelmesswerte erhoben.

Aufgrund der N<sub>min</sub>-Verteilung wurden Applikationskarten nach der „guten fachlichen Praxis“ erstellt (Abb. 2). Mit ihnen sind bei homogenen Standortverhältnissen aussagekräftige und auch verfahrenstechnisch umsetzbare Aussagen zur teilflächenspezifischen Düngung möglich.

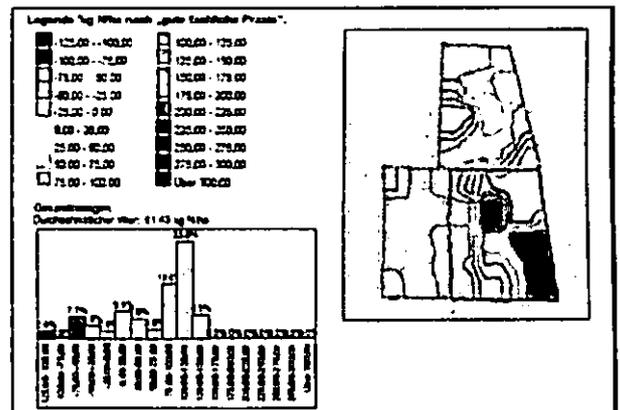


Abb. 2: N-Applikationskarte Weisweil 2005.

\* Landwirtschaftl. Technologiezentrum Augustenberg  
- Ref. Agrarökologie -  
Neßlerstr. 23-31, 76217 Karlsruhe  
[Erich.Unterseher@ltz.bwl.de](mailto:Erich.Unterseher@ltz.bwl.de)  
[www.ltz-augustenberg.de](http://www.ltz-augustenberg.de)

\*\* Am Sportfeld 2, 79312 Emmendingen  
[P.Reidelstuerz@12move.de](mailto:P.Reidelstuerz@12move.de)

Bei kleinräumig heterogenen Bodenmustern, wie sie in Witternheim und Ebersheim vorliegen, haben sowohl die Leitfähigkeitsmessung (s. Abb. 3) als auch die Beprobung (s. Tab. 1) ergeben, dass es nicht möglich ist, eine räumliche Struktur abzubilden, die als Grundlage der intraparzellären Modulation dienen könnte.

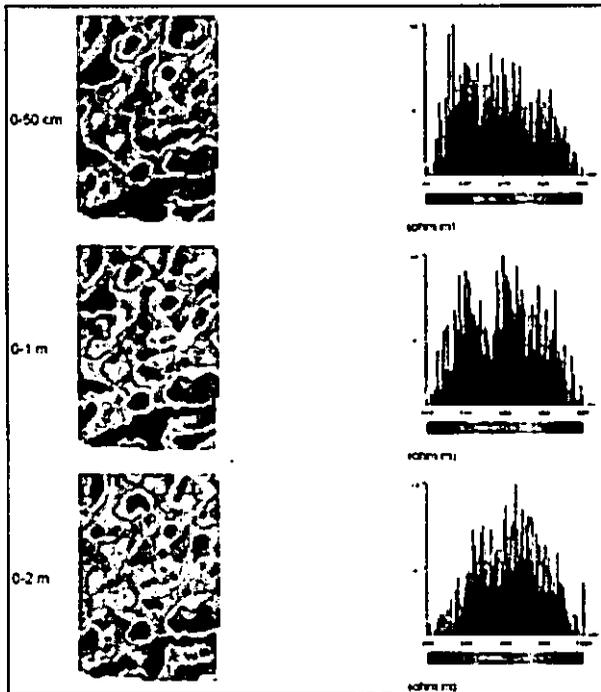


Abb. 3: Karten der elektrischen Leitfähigkeit für den Testschlag in Witternheim (6,8 ha).

Grundsätzlich gibt es dabei drei Fallgruppen:

- die betrachtete Größe ergibt keine räumlich abbildbare Struktur; die Verteilung erscheint völlig zufällig und erlaubt keinerlei Voraussagen.
- je nach Parameter ergeben sich völlig verschiedene räumliche Muster;
- es lässt sich zwar eine klare räumliche Struktur abbilden; diese ist jedoch so kleinräumig, dass man darauf verfahrenstechnisch nicht reagieren kann.

Tab. 1: Übersicht zur Auswertung der Bodenproben aus Witternheim (10 Proben/ha).

Parameter	Min.	Max.	Mittel	SD	V%
Ton %	18,3	28,9	24,9	2,1	8
Schluff %	28,3	37	32,2	2,1	6
Sand %	37,7	50	42,8	2,4	6
Humus %	2,4	4,5	3,1	0,4	13
pH	6	7,3	6,8	0,3	5
P2O5 mg/100 g	60	430	217	96,9	45
K2O mg/100 g	170	510	320	82,9	26
MgO mg/100 g	70	140	105	17,7	17
Gründigk. Cm	35	100	49	17,9	37
nFK mm	61	189	88	30,6	35

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Der Nutzbarmachung der Möglichkeiten der Präzisionslandwirtschaft sind unter den kleinstrukturierten agrarökologischen und agrarstrukturellen Bedingungen am Oberrhein bislang enge Grenzen gesetzt.

Teilweise sind die standörtlichen Verhältnisse kleinräumig zu heterogen. Wird bei den Teilflächen eine gewisse Mindestgröße unterschritten, dann kann erfassungstechnisch auch keine entsprechende Auflösung bei der Zuordnung von Ertrag und Wuchsort vorgenommen werden.

Bei größerflächig homogenen - also grundsätzlich besser geeigneten - Bodenverhältnissen werden die Einsatzmöglichkeiten derzeit noch durch erhebliche technisch-organisatorische Schwierigkeiten bzw. zwischenmenschliche Barrieren bei den Bewirtschaftern eines Gewannes, die einer betrieblichen Rentabilität im Wege stehen, begrenzt.

Hier könnte eine zentrale Anlaufstelle, die die Datenbeschaffung und -aufarbeitung im Sinne eines GIS sowie die Erstellung von Applikationskarten übernimmt, Abhilfe schaffen. Dies wäre möglich durch Datenaufbereitung der unterschiedlichen Schläge eines Gewannes, durch Integration von Fernerkundungsdaten und die Berücksichtigung von Wachstumssimulationen.

#### 5. Literatur

- ITADA (Hrsg. 2001): Nutzbarmachung von Verfahren der Präzisionslandwirtschaft am Oberrhein. - Analyse und Interpretation der Variabilität von Ackerflächen in der Rheinebene. - Colmar, 140 S. ([www.itada.org](http://www.itada.org))
- ITADA (Hrsg. 2006): Fortschrittliche Technologien für die Modulation des Einsatzes von Betriebsmitteln auf Schlagebene und im Gewinn. - Colmar, 286 S. ([www.itada.org](http://www.itada.org))

# Humus- und Stickstoffbilanzen beim Anbau von Energiepflanzen

M. WILLMS<sup>1</sup>, J. HUFNAGEL<sup>2</sup>, EULENSTEIN, F.<sup>2</sup>, B. WAGNER<sup>3</sup>, A. VETTER<sup>4</sup>

## 1 Problemstellung

Bei der Vergärung von Energiepflanzen in der Biogasanlage wird die gesamte oberirdische Biomasse abgefahren. Ein Großteil des in der Biomasse enthaltenen Kohlenstoffs wird in Methan umgewandelt bzw. geht verloren, nur ein kleiner Teil wird auf die Fläche in Form von Gärresten zurückgebracht. Anders beim Stickstoff: Bei der Vergärung bleibt die Stickstoffmenge nahezu gleich, geringe Verluste treten bei Silierung und Ausbringung auf, weshalb ein Großteil des in der Pflanze enthaltenen Stickstoffs mit dem Gärrest auf die Fläche zurückgebracht wird. In diesem Beitrag soll untersucht werden, wie sich die Nutzung verschiedener Fruchtarten und Fruchtfolgen in Biogasanlagen auf die Humus- und Stickstoffbilanz der Produktionsflächen auswirkt.

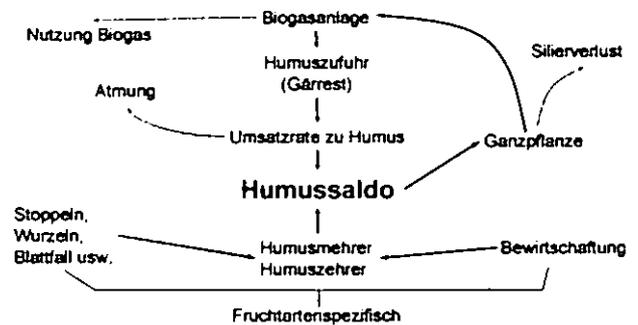
## 2 Material und Methoden

Aus den sieben im Projekt „EVA“ (s. Danksagung) geprüften Standorten, wurde Werlte in Nord-West-Niedersachsen ausgewählt (32 m üNN, 768 mm Jahresniederschlag, 9,7 °C), mit Böden aus schluffigem Sand und etwa 30 Bodenpunkten. Es wurden die Erntedaten der Jahre 2005 und 2006 verwendet.

Die Ermittlung des humuswirksamen Kohlenstoffs wurde nach dem Schema in Abb. 1 vorgenommen. Folgende Verluste wurden berücksichtigt: Bei der Silierung des Erntegutes wurden pauschal 15 % Verluste angenommen. Die Biogasausbeute wurde nach den substratspezifischen Biogasausbeuten der Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern [1] berechnet. Daraus lässt sich die Kohlenstoffmenge des Gärrestes für jede Fruchtart berechnen. Es wurde unterstellt, dass 40 % des Kohlenstoffs humuswirksam sind [2]. Die Humusbilanzen wurden mit dem Programm REPRO [3] im dynamischen Modus berechnet. Für die Stickstoffbilanzen wurden beim Gär-

rest folgende Verluste berücksichtigt: Silierverlust 15 % und Ausbringungsverlust 20 %.

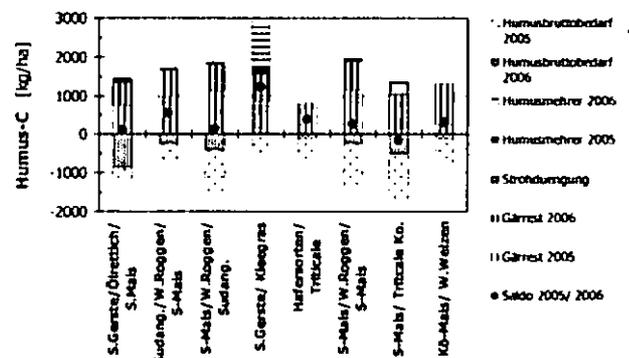
Abb. 1: Bilanzgrößen zur Ermittlung des humuswirksamen Kohlenstoffs bei der Verwertung von Energiepflanzen in der Biogasanlage.



## 3 Ergebnisse und Diskussion

Unter der Annahme, dass der Gärrest, auf die gleiche Fläche ausgebracht wird, von der die Pflanzen zur Biogaserzeugung stammen, ergeben sich für alle in Abb. 2 dargestellten Fruchtfolgen ausgeglichene Humusbilanzen mit Ausnahmen der Fruchtfolgen 4 (4. Balken) und 7: Für die Fruchtfolge 4 mit Sommergerste und Klee gras errechnet sich eine stark positive Humusbilanz von etwa 1100 kg Humus-C. Ursache dafür ist die stark humusmehrende Wirkung des Klee grasses. Für die Fruchtfolge 7 mit Silomais und Triticale errechnet sich eine negative Humusbilanz. Grund dafür ist die Körnernutzung von Triticale: Das bei dieser Nutzung auf dem Feld verbleibende Stroh kann die Humusbilanz nicht ausgleichen.

Abb. 2: Humusbilanzen für 8 Fruchtfolgen: Annahme: Gärrest wird auf die gleiche Fläche ausgebracht von der die Pflanzen zur Biogaserzeugung stammen



Unter der Annahme dass der Landwirt auf 1/3 seiner Flächen Früchte für die Biogasanlage anbaut, den Gärrest aber auf alle Flächen ausbringt, ergeben sich die in Abb. 3 gezeigten Humusbilanzen. Unter diesen Annahmen sind alle Humusbilanzen negativ mit Ausnahme der Fruchtfolge mit Klee grassanbau.

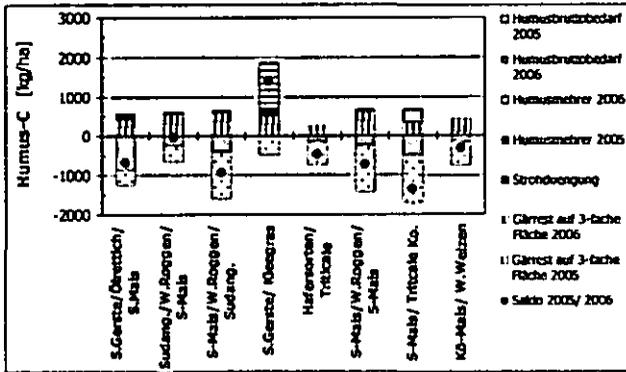
<sup>1</sup> ZALF Müncheberg, Institut für Landschaftssystemanalyse, Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg, mwillms@zalf.de

<sup>2</sup> ZALF Müncheberg, Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie

<sup>3</sup> Universität Halle, Institut für Acker- und Pflanzenbau

<sup>4</sup> Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

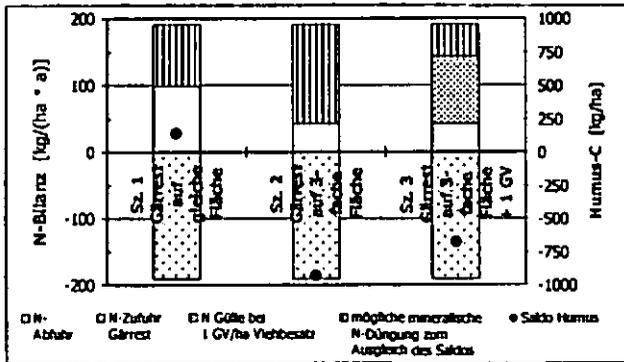
Abb. 3: Humusbilanzen für 8 Fruchtfolgen; Annahme: Gärrest wird auf die 3-fache Fläche der Anbaufläche ausgebracht



In Abb. 4 sind drei Szenarien dargestellt, die die Humusbilanz und die Stickstoffbilanz miteinander verknüpfen. Berechnungsgrundlage ist die dritte Fruchtfolge mit Sudangras, Winterroggen als Zwischenfrucht und Mais als Zweitfrucht.

Die mineralische Stickstoffdüngung wurde für diese Szenarien so bemessen, dass eine ausgeglichene Stickstoffbilanz entsteht.

Abb. 4: Verknüpfung von Stickstoffbilanz und Humusbilanz in drei Szenarien, Fruchtfolge: Sudangras, Winterroggen Zwischenfrucht Silomais.



In Szenario 1 (Gärrestausbringung auf die gleiche Fläche von der er stammt) ist die Humusbilanz positiv, die mineralische Stickstoffgabe für eine ausgeglichene N-Bilanz beträgt ca. 90 kg/ha. In Szenario 2 (Gärrestausbringung auf die dreifache Fläche der Anbaufläche) errechnet sich durch die geringere Gärrestmenge eine negative Humusbilanz, die langfristig zu einer Verringerung des Humusgehaltes in der Krume führt. Der Anteil der mineralischen N-Düngung bis zum Ausgleich der Bilanz ist mit ca 150 kg/ha hoch. In Szenario 3 wird zusätzlich ein Viehbesatz von 1 GV/ha angenommen. Daraus ergibt sich eine Anhebung der Stickstoffzufuhr um ca. 100 kg/ha, die Humusbilanz wurde jedoch nur geringfügig gegenüber Szenario 2 erhöht, da unterstellt wurde, dass mit Gülle und nicht mit Stallmist

gedüngt wird. In diesem Szenario beträgt die mineralische Stickstoffgabe nur noch 50 kg/ha. Dadurch ist die Möglichkeit in die Bestandesentwicklung durch die mineralische Stickstoffdüngung einzugreifen, in diesem Szenario am geringsten.

#### 4 Fazit

- Beim Anbau von Energiepflanzen zur Verwertung in Biogasanlagen trägt die Ausbringung des Gärrestes wesentlich zum Ausgleich der Humusbilanz bei.
- Werden die Gärreste auf die gleiche Fläche ausgebracht, von der sie stammen, sind ausgeglichene Humusbilanzen möglich. Werden sie auf eine größere Fläche ausgebracht als die, von der sie stammen, sind, in Abhängigkeit der angebauten Fruchtarten, eher negative Humusbilanzen zu erwarten. Werden Gärreste auf eine geringere Fläche ausgebracht als die von der sie stammen, ist mit hohen Humusbilanzsalden sowie zusätzlich mit einem erhöhten Stickstoffüberschuss zu rechnen.
- Humusbilanz und Stickstoffbilanz lassen sich nur schwer gleichzeitig optimieren. Wichtige Einflussgrößen dafür sind hier der Viehbesatz und das Verhältnis der Anbaufläche zur Ausbringungfläche des Gärrestes.

#### Danksagung

Die Daten wurden im Rahmen des Projektes „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ (EVA) gewonnen welches vom BMELV über die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe, gefördert wird.

#### 5 Literatur

- [1] LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT BAYERN (LfL), Biogasausbeuten verschiedener Substrate. [www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225](http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225), aufgerufen am 20.8.2007
- [2] GUTSER, R., EBERTSEDER, T., 2006: Die Nährstoffe in Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern – ein unterschätztes Potenzial im Stoffkreislauf landwirtschaftlicher Betriebe. In: Bewertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern in der Landwirtschaft – Nutzen und Risiken, KTBL-Vortragsveranstaltung vom 19.-20. April 2006 in Osnabrück, KTBL-Schrift 444, 275 S.
- [3] HÜLSBERGEN, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme, Habil., Shaker, 257 S.

**MITTEILUNGEN**  
**DER**  
**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN**  
**GESELLSCHAFT**

**Referate, Poster Kommission VII**

Band 110

Heft 2

2007



# Einfluß verschiedener Säurestärken und Anionen auf die Verwitterungswerte von Granit im Modellexperiment

Viktar Bosak<sup>1</sup>, Karl Stahr<sup>2</sup>, Mehdi Zarei<sup>2</sup>

## Einleitung

Die Granitverwitterung ist abhängig von verschiedenen Eigenschaften wie Oberfläche, Mineralzusammensetzung, chemische Zusammensetzung, Umweltbedingungen usw. Das Ziel der Untersuchungen bestand darin, um den Einfluß der anthropogenen Säureinträge (Schwefelsäure, Salpetersäure, Essigsäure) auf die Granitverwitterung festzustellen.

## Material und Methoden

In den Jahren 1995-2003 wurde das Modellexperiment für den Einfluß der Schwefel-, Salpeter- und Essigsäure mit verschiedenen pH-Werten (pH 2, pH 3, pH 4) auf unverwitterten Granit im Institut der Bodenkunde und Standortslehre der Universität Hohenheim durchgeführt.

Das Untersuchungsmaterial wurde im Südschwarzwald (Süd-West Deutschlands) entnommen. Mineralzusammensetzung und chemische Zusammensetzung von Granit wurden laut Schlichtung et.al. (1995) bestimmt. Modellexperiment wurde auf dem Gerät "Tirtator Mettler DL 21" durchgeführt. Das Untersuchungsmaterial (3 Granitwürfel) wurde in der Säurelösung (20 ml) des entsprechenden pH-Werts eingelegt. Während zwei Tage wurde 0,01 ml Schwefel-, Salpeter- und Essigsäure des entsprechenden pH-Werts bei der kontinuierlichen Vermischung jede 30 Sekunden automatisch hinzugefügt und pH-Wert der Lösung gemessen. Die Lösungsprobe wurde nach 2, 4, 6, 8 und 10 Tage entnommen. Am Ende des Experiments wurde die Konzentration K, Na, Ca (Flammenphotometer ELEX 6361) sowie Mg, Mn, Al, Fe, Si (Atomadsorbsspetrometer AAS 3100) im Extrakt gemessen. Modellexperiment wurde für jede Säure und für jeden pH-Wert in 5-maliger Wiederholung durchgeführt.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Elementauswaschung wurde im Modellexperiment durch die Azidität der Säurelösungen, chemische Zusammensetzung des Untersuchungsmaterials sowie die Mineralzusammensetzung des Granits verursacht (Abb.1, Tab. 1).

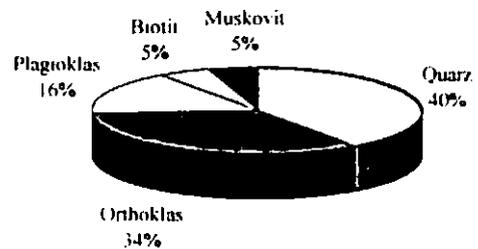


Abbildung 1. Mineralzusammensetzung von Granit, %

Die Elementauswaschung durch die anthropogene Schwefelsäureinträge wurde beim Aziditätsextraktabnahme deutlich gekleinert. Dabei war die größte Verringerung bei der Auswaschung von Al, Fe, Mn sowie Si. Beim pH > 4 ist die Auswaschung der Al- und Si-Kationen, die sich in Al-O-Si-O-Gerüst befinden, praktisch nicht vorgegangen. In diesem Fall haben erstens mehr lockergebundene Alkali- und Erdalkalielemente K, Ca, Na, Mg mit den Protonen (H<sup>+</sup>) reagiert. Die Auswaschungsquelle von Fe und Mn sind Biotite, Si - Feldspäte und Glimmer (Biotit, Muskovit); Quarz ist praktisch unverwitterbar.

Die Auswaschung der Basenkationen Ca, Na, K, Mg war weniger von der Aziditätsstufe abhängig, aber bei der Steigerung des pH-Werts wurde ihre Auswaschung auch verringert. In unseren Untersuchungen haben als Quellen von Ca- und Na-Auswaschung Plagioklas, von K-Auswaschung Orthoklas und Glimmer und Mg-Auswaschung Biotit gedient.

Diese Gesetzmäßigkeiten waren auch bei der Einwirkung der Essig- und Salpetersäure auf die Elementauswaschung aus dem Granit vermerkt. Bei der Essig- und Salpetersäure wurde bißchen kleinere Auswaschung von Al und Fe (pH 2) sowie größere Auswaschung der Basenkationen K und Ca im Vergleich zur Schwefelsäure bezeichnet.

<sup>1</sup>Weißrussisches Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrochemie, Kazinezstraße 62, BY-220108 Minsk

<sup>2</sup>Institut für Bodenkunde und Standortslehre der Universität Hohenheim (310), D-70593 Stuttgart

Tabelle 1. Einfluß der Säurepufferung auf die Elementauswaschung aus Granit

pH	Herauslösen der Elemente, mg kg <sup>-1</sup>							
	K	Ca	Na	Mg	Al	Fe	Mn	Si
Schwefelsäure								
2,0	23,04	94,05	29,71	17,50	89,72	142,27	15,06	24,32
3,0	15,81	50,40	23,98	3,12	10,76	4,19	4,26	-
4,0	15,56	12,02	23,50	0,90	-	-	-	-
Salpetersäure								
2,0	31,41	136,40	31,74	12,25	58,32	61,00	11,28	50,52
3,0	17,84	89,35	20,35	5,48	18,07	10,19	6,32	2,34
4,0	5,21	22,59	16,01	1,59	-	-	0,62	-
Essigsäure								
2,0	29,61	113,54	33,39	12,37	76,14	76,44	21,84	23,46
3,0	16,50	52,97	16,72	3,74	15,65	8,53	5,00	1,06
4,0	7,94	8,07	11,48	0,55	-	0,04	0,70	-

Bei der Elementauswaschung sowohl unter dem Schwefelsäureeinfluß als auch unter dem Essig- und Salpetersäureeinfluß ruft der Vergleich der Auswaschung der Basenkationen K, Ca und Na das Interesse hervor. Obwohl der Granit mehr Natrium als Calcium (Anorthitgehalt in Plagioklas war weniger 30%) hatte, war die Ca-Auswaschung, besonders bei der Lösungsaziditätssteigerung, höher, als Na-Auswaschung. Mit den H<sup>+</sup>-Protonen haben zuerst Ca-Kationen und dann Na-Kationen reagiert. Kalium wurde im Vergleich zu Ca und Na langsam ausgewaschen.

Bei der Zusammenwirkung von Granit, Schwefel-, Essig- und Salpetersäure war Plagioklas weniger stabil als Orthoklas und Glimmer. Im Plagioklas war Anorthit weniger stabil als Albit. Der Quarz ist ein stabiles Mineral und praktisch unverwitterbar.

### Schlußfolgerungen

Die Aziditätsstufe, die durch die anthropogenen Säureeinträge gesteigert werden kann, hat den bedeutenden Einfluß auf die Verwitterungsprozesse des Granits. Bei der Zunahme der Lösungsazidität wurde die Elementauswaschung gesteigert.

Die Auswaschung der Basenkationen K, Ca, Na, Mg bei der Einwirkung auf den Granit der Schwefel-, Essig- und Salpetersäure war höher bei der gleichen Bedingungen als die Auswaschung von Al, Fe und Si.

Plagioklas war weniger stabil als Orthoklas und Glimmer. Anorthit war weniger stabil als Albit. Quarz ist praktisch unverwitterbar.

### Literatur

- Bosak V., Stahr K., Zarei M. Säurepufferung und Mineralverwitterung von Granit und Granitsand im Modellexperiment (2005) // Mitteilungen der DBG, Nr. 107/2, S. 539-540.
- Mittelbach G. & Schulze J. (1992). Der Einfluß von Oberflächeneigenschaften auf das Lösungsverhalten silikatischer Mineralgemische // Zeitschrift der DGG, Nr. 143, S. 41-49.
- Schlichtung E., Blume H.P. & Stahr K. (1995). Bodenkundliches Praktikum. Berlin, 295 S.
- Van de Sand M. & Fischer R.W. (1994). Quantifizierung der wichtigsten Mechanismen zur Säurepufferung carbonatfreier Böden // Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde, Nr. 157, S. 369-373.
- Wierzchos J. & Ascaso C. (1998). Mineralogical transformation of bioweathered granitic biotite, studied by harten: evidence for a new pathway in lichen activity // Clays and Clay Minerals, Vol. 46, Nr. 4, p. 446-452.
- Zarei M., Stahr K. & Papenfuss K.-H. (1992). Die Verwitterung von Granit im sauren Milieu: ein Modellexperiment mit Modifikationen // Mitteilungen der DBG, Nr. 68, S. 309-312.
- Zarei M., Stahr K. & Papenfuß K.-H. (1993). Mineralumwandlung und -zerstörung infolge Versauerung in Waldstandorten des Schwarzwaldes. Stuttgart-Hohenheim, 139 S.

# Porosität und Permeabilität in Mineralen und Gesteinen als steuernder Faktor innerer Verwitterungsreaktionen

Stefan Dultz\*, Anna Simonyan\*<sup>+</sup>, Harald Behrens<sup>+</sup>, Simon Kübler\*

## Einleitung

Die Verwitterung primärer Silicate ist hinsichtlich Närelementfreisetzung, Bildung sekundärer Minerale und auch globalen Effekten wie z.B. auf den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre von großer Bedeutung. Hohe Anteile der spezifischen Oberfläche vieler Silicate sind auf Poren zurückzuführen. Über den Beitrag interner Poren zu Verwitterungsreaktionen ist relativ wenig bekannt. Aufgrund geringer Porendurchmesser werden Verwitterungsreaktionen vermutlich durch Diffusion kontrolliert und weiterhin durch die Tortuosität der Poren und an sekundäre Minerale gebundenes Wasser beeinflusst (Nakashima, 2003). Um Ergebnisse zum diffusiven Transport mit Materialeigenschaften der Minerale und Gesteine zu korrelieren, wurden verschiedenste Methoden zur Kennzeichnung der Porosität und sekundären Minerale eingesetzt.

## Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurden poröse Feldspäte von Böden aus Granit und Saprolith (Schwarzwald, Harz) sowie alterierte Basalte vom Ozeanboden (Middle Valley, Juan de Fuca Ridge) ausgewählt.

Die Proben wurden auf das Porenvolumen, die Porengrößenverteilung (Hg-Porosimetrie), die spezifische Oberfläche (N<sub>2</sub>-Tiefemperaturadsorption) und die Bildung von Sekundärmineralen (XRD, Karl Fischer-Titration, FTIR-Spektroskopie, SEM) hin untersucht. Zur Kennzeichnung von Porosität und Porenkonktivität wurde die niedrigschmelzende Legierung „Wood’sches Metall“ eingepresst und Anschlüsse elektronenmikroskopisch untersucht (Dultz et al., 2006). Bei einem maximal einstellbaren Druck von 520 bar werden Porendurchmesser bis 20 nm intrudiert.

Zur Untersuchung der Selbstdiffusion in Poren wurden H<sub>2</sub>O – D<sub>2</sub>O Austauschexperimente an Dickschliffen in einer am FTIR-Mikroskop befestigten Diffusionszelle durchgeführt (Simonyan et al., 2007). Der Fortschritt der Austauschreaktion wurde über die Absorbanz der OD-Streckschwingung bei 2540 cm<sup>-1</sup> verfolgt. Der Diffusionskoeffizient wurde aus der zeitlichen Entwicklung der Absorbanz durch Anfitzen an die Lösung des 2. Fick’schen Gesetzes ermittelt.

## Ergebnisse und Diskussion

Für poröse Feldspäte wurden relativ hohe Porenvolumina zwischen 7.8 und 22.3 Vol.% bestimmt, während diese für alterierte Basalte zum Teil deutlich geringer sind (0.5-17.1 Vol.%). In der Porengrößenverteilung werden relativ breite Maxima erhalten, die für poröse Feldspäte zwischen 20 und 540 nm und für alterierte Basalte, zu kleineren Porengrößen verschoben, zwischen 15 and 150 nm liegen. Die Porendurchmesser werden dabei durch das Vorhandensein sekundärer Minerale in den Proben stark beeinflusst. Insbesondere die alterierten Basalte weisen hohe Anteile an sekundären Mineralen in den Poren auf (Abb. 1).

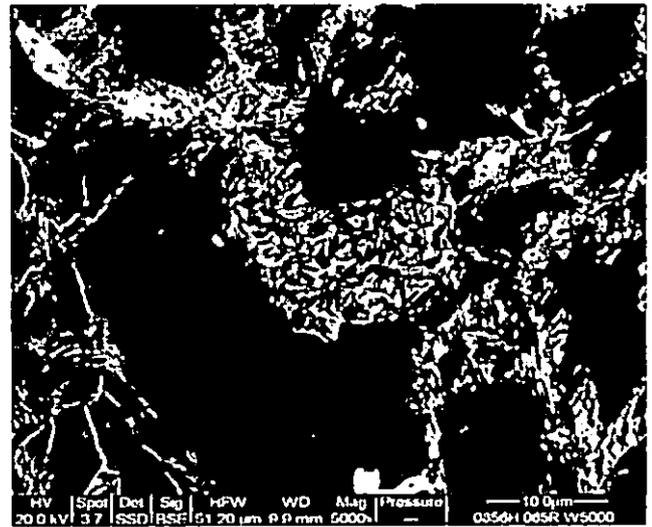


Abb. 1: Sekundäre Minerale in Poren eines alterierten Basalts. Rückstreuelektronenbild des Anschliffes nach Einpressung von Wood’schem Metall (im Bild hell erscheinend).

Die interkonnektiven Porensysteme konnten durch das Einpressen von Wood’schem Metall markiert werden und weisen zum Teil eine sehr starke Gewundenheit auf. Relativ große Werte für die spezifischen Oberflächen bei einigen alterierten Basalten sind auf hohe Anteile sekundärer Minerale zurückzuführen (Abb. 2). Das Vorhandensein verwitterungslabiler primärer Silicate begünstigt die Bildung sekundärer Minerale.

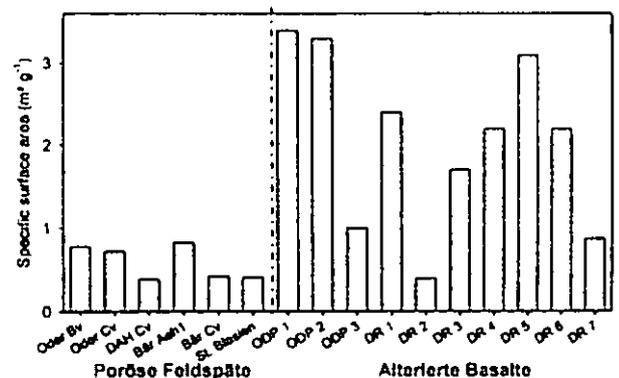


Abb. 2: Vergleich der Größe der spezifische Oberfläche von porösen Feldspäten und alterierten Basalten.

\*Institut für Bodenkunde, \*Institut für Mineralogie  
Leibniz Universität Hannover  
e-mail: dultz@ifbk.uni-hannover.de

Als Mineralneubildungen konnten bei den Basalten Glimmerminerale und primäre Chlorite festgestellt werden, während bei den porösen Feldspäten Gibbsit und Kaolinit vorhanden sind.

In H<sub>2</sub>O-D<sub>2</sub>O Austauschexperimenten wurde die zeitliche Entwicklung der Absorbanz der OD-Streckschwingung im Temperaturbereich von 25-45°C ermittelt (Abb. 3). Bei höheren Temperaturen nimmt die Absorbanz schneller zu.

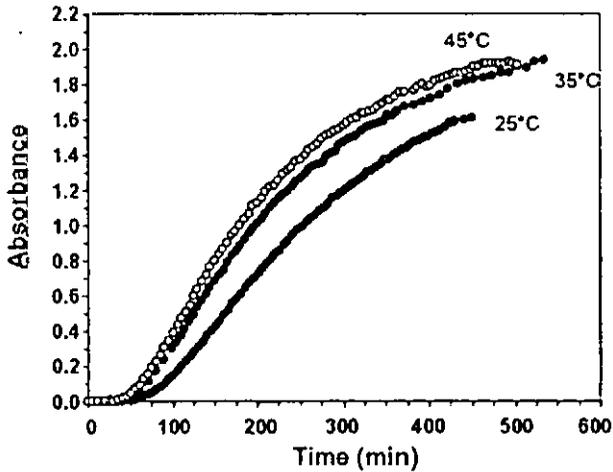


Abb. 3: Typische Abhängigkeit der Absorbanz der OD-Streckschwingung von der Zeit und Temperatur während des H<sub>2</sub>O-D<sub>2</sub>O Austauschexperimentes in einem Dickschliff aus Basalt.

Die Diffusionskoeffizienten für Protonen in den porösen Feldspäten liegen um ca. ein bis zwei Größenordnungen unter dem Selbstdiffusionskoeffizienten für flüssiges Wasser (Abb. 4). Unterschiede in den Diffusionskoeffizienten für flüssiges Wasser und wassergefüllte Poren sind auf die Geometrie der Poren und die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Porenoberflächen zurückzuführen. Es kann angenommen werden, dass Kapillareffekte und eine starke Tortuosität der Poren die Viskosität der Porenlösung erhöht und damit die Diffusion verringert.

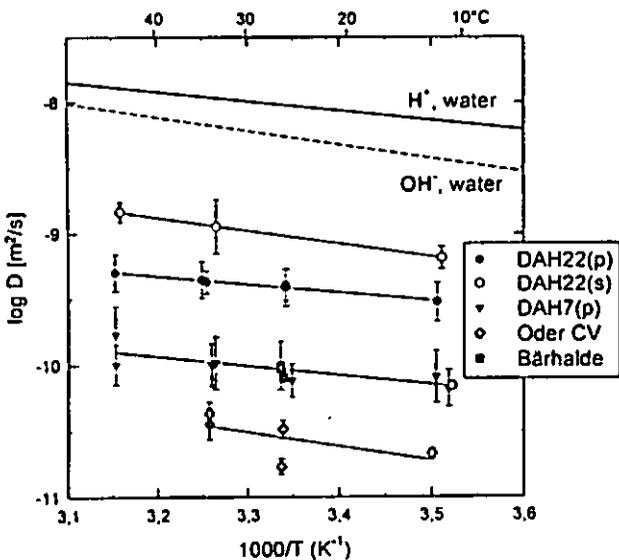


Abb. 4: Temperaturabhängigkeit der Diffusionskoeffizienten bei porösen Feldspäten.

Aus dem Vergleich des aus den Diffusionskoeffizienten ermittelten Tortuositätsfaktor mit dem Porenvolumen geht hervor, dass die Effizienz der Diffusion nicht einfach durch das Porenvolumen bestimmt wird. Das für den diffusiven Transport zur Verfügung stehende Porenvolumen kann kleiner sein als das Gesamtporenvolumen (Rowe et al., 1995). Für die alterierten Basalte wurde für eine Probe mit einem Porenvolumen von 6.3 Vol.% und weitgehendem Fehlen von Mineralneubildungen ein Diffusionskoeffizient von  $10^{-10.22}$  m<sup>2</sup>/s bei 25°C ermittelt, während dieser für eine Probe mit einem Porenvolumen von 7.7 Vol.% und hohen Anteilen an Umkristalliten geringer ist ( $10^{-10.38}$  m<sup>2</sup>/s).

Für poröse perthitisch entmischte Feldspäte konnte auch eine Richtungsabhängigkeit der Diffusion festgestellt werden (Abb. 4). Senkrecht zu den entlang der Entmischungslamellen entwickelten Poren wurde ein größerer Diffusionskoeffizient bestimmt (Probe DAH22(s)) als in Richtung der Entmischungslamellen (Probe DAH22(p)).

### Zusammenfassung und Ausblick

Austauschexperimente mit H-Isotopen zeigen, dass die Diffusion in den porösen Feldspäten und Basalt typischerweise 1-2 Größenordnungen langsamer abläuft als in flüssigem H<sub>2</sub>O. Die effektive Diffusivität von Wasser wird hauptsächlich durch physikalische und chemische Eigenschaften der Porenoberflächen, die Tortuosität der Poren und das Porenvolumen kontrolliert. Das Vorhandensein sekundärer Minerale in den Poren des primären Minerals bzw. Gesteins verschiebt die Porengrößenverteilung zu kleineren Durchmessern und trägt durch an den Oberflächen gebundenes H<sub>2</sub>O zur Verringerung des Diffusionskoeffizienten bei. Zum besseren Verständnis der steuernden Größen für den Diffusionskoeffizienten und seiner Richtungsabhängigkeit wurden röntgenmikrotomographische Untersuchungen zur dreidimensionalen Darstellung der Poren durchgeführt. Mit Hilfe der Bildanalyse sollen dann Richtungsvektoren für das Porensystem bestimmt werden.

### Literatur

- Dultz, S., H. Behrens, A. Simonyan, G. Kahr, T. Rath (2006): Determination of porosity and pore connectivity in feldspars from soils of granite and saprolite. *Soil Science* 171, 675-694.
- Nakashima, Y. (2001): Diffusion of H<sub>2</sub>O in smectite gels: Obstruction effects of bound H<sub>2</sub>O layers. *Clays and Clay Minerals* 51, 9-22.
- Rowe, R.K., R.M. Quigley, J.R. Booker, (1995) *Clayey barrier systems for waste disposal facilities*. 390 p., Spon.
- Simonyan, A., H. Behrens, S. Dultz (2007): Transport in porous feldspars: in-situ experiments using FTIR spectroscopy. *Transport in Porous Media*, submitted.

# Rekonstruktion von Besiedlungsmuster und -intensität einer Terra Preta anhand der kleinräumigen Nährstoffverteilung

Birk Jago<sup>1</sup>, Grosch Heiko<sup>1</sup>, Neves Eduardo<sup>2</sup>,  
Teixeira Wenceslau<sup>3</sup> und Glaser Bruno<sup>1\*</sup>

## 1. Einleitung

In Amazonien dominieren nährstoffarme Ferralsole, die nur schwer nachhaltig nutzbar sind (Zech, 1997). Innerhalb dieser Bodenlandschaft kommen allerdings aufgrund langandauernder anthropogener Nutzung durch präkolumbische Indianer tiefhumose, nachhaltig bewirtschaftbare Böden (Terra Preta) vor (Glaser et al., 2001; Zech et al., 1990). Besiedlungsdauer und -intensität, sowie ehemalige Siedlungsstruktur und Aktivitätsmuster führen kleinräumig zu unterschiedlichen Nährstoffgehalten durch Deposition von z.B. Küchenabfällen oder Exkrementen. Ziel dieser Studie war es deshalb, die Entstehungsgeschichte Terra Preta in Zentralamazonien anhand der kleinräumigen Nährstoffverteilung zu rekonstruieren.

## 2. Material und Methoden

Die 16 ha große Terra Preta Fläche Hatahara (Abb. 1) in Zentralamazonien wurde mittels einer rasterförmigen Kartierung (50 x 75 m) in 20 cm Abständen bis in eine Tiefe von 2 m beprobt und die Gehalte an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ), Gesamt-Stickstoff (N) und den pflanzenverfügbaren Nährstoffen P, K, Ca und Mg bestimmt. Die Elementvorräte wurden mit Hilfe des Kriging-Verfahrens räumlich interpoliert und daraus ein Modell für die Entstehung der Fläche konstruiert.

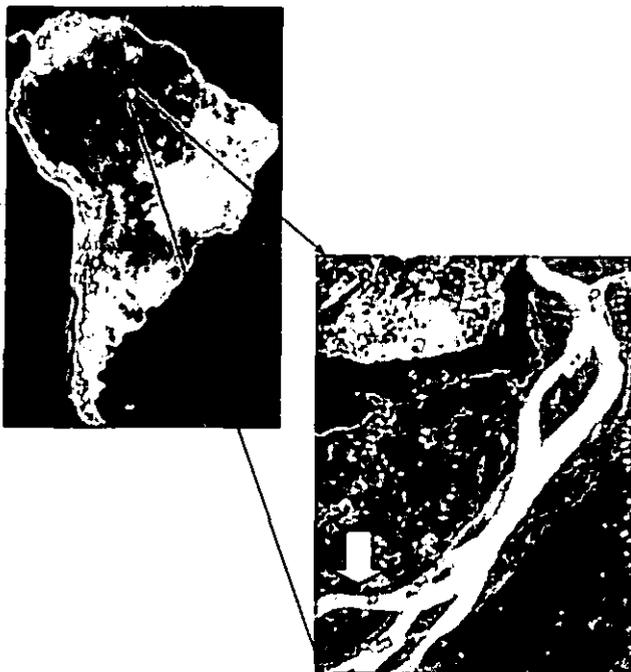


Abbildung 1: Lage der Terra Preta-Fläche „Hatahara“ nahe Manaus in Zentralamazonien (Brasilien).

## 3. Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse zeigen klar, dass die Fläche aus einem 8 ha großen Haupteintragsareal besteht, in dem einige der untersuchten Nährstoffe um einen Faktor von mehreren Hundert angereichert sind (Tab. 1). Ein ovaler Bereich vergleichsweise geringer Akkumulation innerhalb dieser Fläche lässt auf ehemalige Hausstandorte schließen, während periphere kleine Hügel hoher Nährstoffvorkommen als ehemalige, den Siedlungsraum begrenzende, Deponien anzunehmen sind (Abb. 2). Im Entwicklungsverlauf scheint sich die Fläche, von einigen Punkten ausgehend, recht schnell auf die maximale Größe ausgedehnt zu haben. Entsprechend einem von Archäologen angenommenen Besiedlungszeitraum von 400 - 500 Jahren (Neves et al., 2001) und einer grob abgeschätzten eingetragenen Gesamtposphormenge von 450 - 590 t, müssten durchschnittlich 1300 - 2200 Personen pro Besiedlungsjahr auf der Fläche gelebt haben.

Tabelle 1: Nährstoff-Anreicherungs-faktoren der Terra Preta-Fläche „Hatahara“ im Vergleich zum umliegenden Ferralsole.

	Minimal	Kernzone	Maximal
$C_{org}$	1	2	3
$N_{org}$	1	2	3
$P_{vert}$	5	505	834
$K_{vert}$	1	4	9
$Ca_{vert}$		175	232
$Mg_{vert}$		28	68
$Ca_{vert}^*$	10	1751	2323
$Mg_{vert}^*$	2	62	148
$P_{tot} (P)$	1	5	15

<sup>1</sup> Universität Bayreuth, Abteilung Bodenphysik, Universitätsstr. 30, 95447 Bayreuth

<sup>2</sup> Museo Archeologico, Universidad Sao Paulo, Brazil

<sup>3</sup> EMBRAPA Occidental, Manaus, Brazil

\* bruno.glaser@uni-bayreuth.de

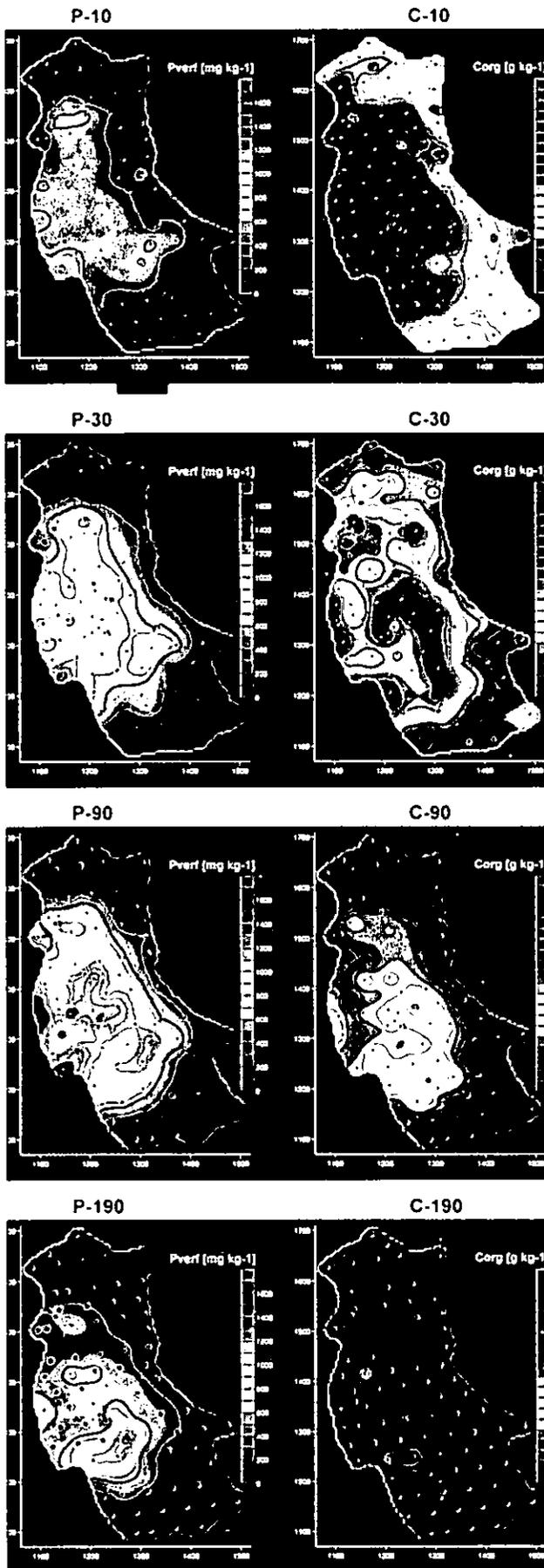


Abbildung 2. Kleinräumige Verteilung der verfügbaren P-Gehalte (Pverf) und der organischen Kohlenstoff-Konzentrationen (Corg) in verschiedenen Bodentiefen.

#### 4. Schlussfolgerungen

Weitere kleinräumige Untersuchungen können mehr Aufschluss über die Aussagekraft der vorgefunden Resultate liefern. Die weitere Anwendung innovativer Methoden, wie z.B. Phosphorfractionierung oder die Analyse von spezifischen Biomarkern kann einen großen Schritt zur Aufklärung der Entstehungsgeschichte beitragen, da Nährstoffanalysen nur verallgemeinerte Aussagen bezüglich spezifischer Eintragspfade (Abfälle, Exkremente, Dünger etc.) zulassen. In Verbindung mit kleinräumigen Probenahmen im postulierten Wohnbereich, sowie gezielter Beprobung der vorhandenen Hügel könnte überprüft werden, ob sich die beiden Strukturen z.B. in Hinblick auf den Gehalte an exkrementbürtiger Substanzen unterscheiden, was bezüglich der Rekonstruktion der Besiedlungsgeschichte der untersuchten Fläche sowie der allgemeinen Terra Preta-Genese zu einem weiteren wichtigen Erkenntnisgewinn beitragen würde.

#### 5. Literatur

- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., and Zech, W. (2001). The Terra Preta phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88, 37-41.
- Neves, E. G., Bartone, R. N., Petersen, J. B., and Heckenberger, M. J. (2001). The timing of Terra Preta formation in the central Amazon: New data from three sites in the central Amazon. pp. 10.
- Zech, W. (1997). Tropen - Lebensraum der Zukunft. *Geographische Rundschau* 49, 11-17.
- Zech, W., Haumaier, L., and Hempfling, R. (1990). Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In "Humic Substances in Soil and Crop Sciences. Selected Readings" (P. McCarthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm and P. R. Bloom, eds.), pp. 187-202. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison Wisconsin, USA.

## Mineralbestand in technologenen Substraten - neue Herausforderungen für die Bodenmineralogie

Jahn R.<sup>1</sup>, G. Grünewald, M. Kastler, S. Zikeli, K. Kaiser

### Einleitung

Mit der Zunahme an Flächen für Siedlung und Verkehr sowie der industriellen Produktion geht auch eine ständig wachsende Fläche mit Böden aus technologenen Substraten einher. Technologene Substrate können sowohl natürliche Materialien beinhalten als auch Materialien welche durch industrielle Prozesse entstanden sind. Vor allem letztere weisen häufig Komponenten und Eigenschaften auf, welche bislang von Bodenwissenschaftlern nur wenig beachtet wurden. Insbesondere ist über deren mineralogische Zusammensetzung, sphärischen Habitus und Anordnung häufig nur wenig bekannt. Im Folgenden wird dies am Beispiel von Böden aus Braunkohlenaschen und Abfallprodukten der Sodaindustrie aufgezeigt.

### Böden aus Braunkohlenasche

In der Region Halle-Merseburg-Bitterfeld wurden insgesamt ca. 52 Mio t Braunkohlenasche produziert, welche in zahlreichen Deponien (Sachsen-Anhalt: 6000 ha) deponiert aber auch in mehr oder weniger mächtigen Staubschleimern natürliche Böden bedecken oder eingearbeitet sind.

Neben zum Teil erheblicher Anteile von mehr oder weniger verbrannter (verkokter) Braunkohle (bis zu 40%) bestehen die Aschen vorwiegend aus Calcit, Quarz, Gips, Magnetit und amorphen Phasen (Glas). Daneben können Feldspäte, Bassanit, Brownmillerit, Markasit, Dicalcium-Ferrit, Hämatit und Mullit auftreten. Sowohl die teilweise Verbrennung als auch der Glasanteil resultieren in vielen Aschen in einem teilweise vesiculärem Porensystem (Zikeli, 2004).

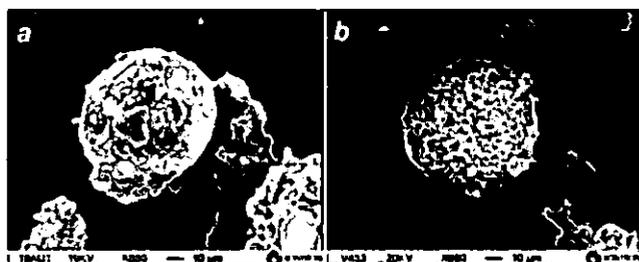


Abb. 1: a: Cenosphäre (massiv), b: Plerosphäre (hohl) in Böden aus Braunkohlenasche

Die Partikeldichte liegt wegen des hohen  $C_{org}$ -Anteils in den Aschen zwischen 2,1-2,6 g cm<sup>-3</sup>. Allgemein haben die Aschen hohe innere und äußere Oberflächen und sind häufig thixotrop. Fe-reiche Ceno- und Plerosphären (Abb. 1), besonders in Flugaschen, sind weitere besondere Merkmale. Wegen der relativ geringen Partikeldichten und hohem Porenvolumen sind die Trockenrohdichten mit 0,4-0,8 g cm<sup>-3</sup> äußerst gering. Insgesamt führen diese teilweise mineralogisch bedingten Faktoren im Vergleich zu Böden aus natürlichen Substraten zu sehr spezifischen Kenngrößen der Wasserbindung (Tab. 1). So ist das Gesamtporenvolumen mit 68-85 Vol.-% weitaus höher (je höher der Flugascheanteil, desto höher das GPV), ebenso die Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität (Kastler, 2006). Die in der KA5 (Ad-hoc-AG Boden, 2005) genannten Kennwerte können hier nicht verwendet werden.

Tab. 1: Vergleich von Kenngrößen der Wasserbindung von Ascheböden (<10 % Grus) mit KA5-Daten

	$\rho_t C_{TOC}$		LK		nFK		FK		PWP	
	g/cm <sup>3</sup>	%	KA5	Vol. %	KA5	Vol. %	KA5	Vol. %	KA5	Vol. %
Su2, n=11										
Mittelw	0,66	12,7	12,0	22	45,4	26	63,2	39	17,8	13
Stabw	0,15	14,6	4,8		5,2		5,1		6,9	
Su3, n=4										
Mittelw	0,59	16,7	17,1	19	36,6	29	56,3	46	19,7	17
Stabw	0,14	7,8	6,4		10,1		5,8		4,6	
Su4, n=3										
Mittelw	0,46	16,9	5,5	20	38,6	31	73,0	50	34,5	19
Stabw	0,02	4,3	0,8		6,2		1,2		5,3	
Ut2, n=2										
Mittelw	0,40	8,5	25,1	18	41,3	32	59,9	52	18,6	20
Stabw	0,03	3,2	3,9		3,7		3,6		0,1	

Bodenart Ascheböden:  $C_{TOC}$ ,  $CaCO_3$ -haltig und Gips-frei  
KA5-Werte für pt1-2, h5

Insbesondere die amorphen Phasen, über die nur wenig bekannt ist, führen in Ascheböden zu Besonderheiten in der Fähigkeit des Kationenaustausches. Insgesamt ist die KAK wegen des Kohleanteiles hoch (Mittelwert 57, max. 157 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>). Nach Herauslösen amorpher Bestandteile mit Oxalat reduzieren sich in feinkörnigeren und mit höheren Anteilen an Fe<sub>o</sub>, Al<sub>o</sub> und Si<sub>o</sub> versehenen Horizonten die Kationenaustauschkapazitäten um nahezu die Hälfte. Daneben haben Ascheböden erhebliche Anteile variabler (Zikeli, et al. 2004) sowie positiver Ladung (Jahn, 1998)

### Böden aus Rückständen der Sodaindustrie

Bei Bernburg (Sachsen-Anhalt) befinden sich großflächige Deponien (3,5 km<sup>2</sup>) mit Ca-reichen Rückständen der Soda-Produktion. Während der initialen Bodenbildung auf den alkalischen Rückstandshalden (pH  $CaCl_2 > 8$ ) kommt es schon kurz nach Ausbringung des Spülgutes (hauptsächlich Kalkmilch (CaO · H<sub>2</sub>O) sowie CaCO<sub>3</sub> und NaCl, keine Aschebeimengungen) unter einer natürlichen

<sup>1</sup> Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften,  
- Bodenkunde und Bodenschutz  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,  
Weidenplan 14, D-06108 Halle  
e-mail: reinhold.jahn@landw.uni-halle.de

Sukzession der Pflanzendecke (bis zu 70 Jahren alt) zu einem raschen einsetzen bodenbildender Prozesse.

Die mineralogische Zusammensetzung der untersuchten Chronosequenz ist sehr stark durch Carbonatisierung ( $\text{CaCO}_3$ , 15 Jahre: 45%, 70 Jahre: 70%) und Calcit geprägt. Daneben finden sich die LDH's (Layer Double Hydroxides) Hydrocalcite und Hydrocalumit sowie Thaumassite und Ettringite (Grünwald et al., 2007) (Abb. 2). Das Vorkommen anionischer Tone mit hohem Ladungsnulldpunkt ( $> \text{pH } 8$ ) ist Voraussetzung für die umfangreiche Akkumulation organischer Substanz in den untersuchten Böden.

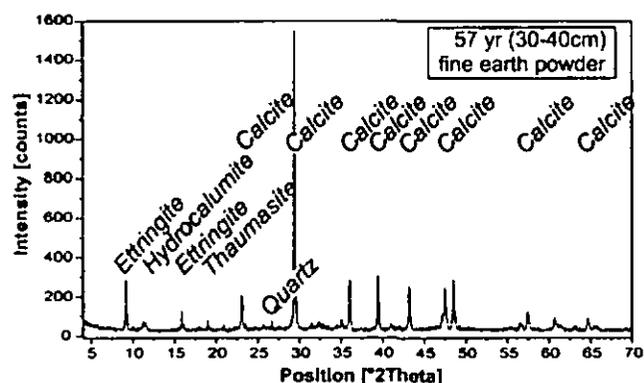


Abb. 2: Röntgenaufnahme (CuK $\alpha$ ) eines Horizontes aus Ca-reichem Spülgut der Sodaproduktion

Die Bildung und Transformation von Mineralphasen ist schnell und durch das absinken der pH-Werte von ca. 10 auf ca. 7,5 kontrolliert. Die Hydrocalcit-Hydrocalumit Phase scheint auch unter schwach alkalischen Bedingungen noch stabil zu sein.

Überraschend hoch sind auch hier wiederum die relativ hohen KAK-Werte (Abb. 3), da bei dem Mineralbestand eher positive Ladungsverhältnisse zu erwarten wären. Da mit fortschreitender Karbonatisierung die KAK absinkt (Abb. 3), muß auch hier vermutet werden, daß röntgenamorphe Phasen mit hoher KAK in der frühen Phase der Bodenbildung eine entscheidende Rolle spielen.

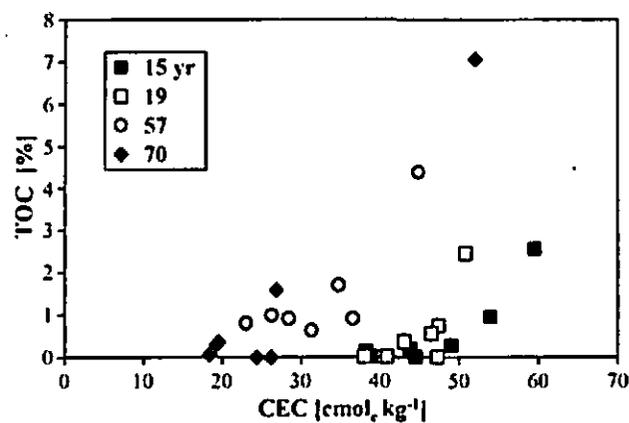


Abb. 3: Kationenaustauschkapazität einer Chronosequenz von Böden aus Ca-reichem Spülgut der Sodaproduktion

## Zusammenfassung

Die untersuchten Böden weisen allesamt im Vergleich zu Böden aus natürlichen Substraten außergewöhnliche Eigenschaften auf, welche in erheblichem Ausmaß mit dem Mineralbestand in Beziehung stehen. Ihr Mineralbestand weist Komponenten auf, welche bodenmineralogisch noch kaum bearbeitet wurden. Hinsichtlich der Austausch-eigenschaften sind offensichtlich amorphe oder short range ordered Mineralphasen von erheblicher Bedeutung. Diese bedürfen noch einer weitergehenden bodenmineralogischen Bearbeitung.

## Danksagung

Die Arbeiten wurden im Rahmen von Forschungsvorhaben durch das Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt (Asche Böden, Ca-reiche Substrate) sowie der DFG (Ca-reiche Substrate) gefördert.

## Literatur

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden*. 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). Schweizerbart, Stuttgart.
- Grünwald G., Kaiser K., Jahn R. Soil development and alteration of secondary minerals along a time series in alkaline soils derived from carbonatic wastes of soda production. *Catena* doi:10.1016/j.catena.2007.03.022.
- Jahn, R. 1998. BDF - Analytische Anforderungen für Fragen des vorsorgenden und akzidentiellen Bodenschutzes. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 87: 315-318.
- Kastler M. 2006. Einfluss der Pedogenese auf die räumliche Porengeometrie und damit verbundene hydraulische Transporteigenschaften in Böden aus Braunkohlenaschen. *Hallenser Bodenwissenschaftliche Abhandlungen Bd. 09*, (Hrsg.: R. JAHN), Der Andere Verlag, Osnabrück, Dissertation Halle/Saale.
- Zikeli S. 2004. Soil Development on Lignite Ash Disposal Sites. *Hallenser Bodenwissenschaftliche Abhandlungen Bd. 06*, (Hrsg.: R. JAHN), Der Andere Verlag, Osnabrück, Dissertation Halle/Saale
- Zikeli S., Kastler M. & R. Jahn 2004. Cation exchange properties of soils derived from lignite ashes. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 167: 439-448

# Einfluss der Trocknung auf die Eigenschaften von Allophan

A. Kaufhold<sup>1,3</sup>, R. Dohrmann<sup>2,3</sup>, R. Jahn<sup>1</sup>

## Einleitung

Ein Allophan-Rohstoffvorkommen von derzeit einzigartiger Qualität und Verbreitung (Allophan Gehalt: 60-80 Gew.-%, Mächtigkeit 5-8 m, Verbreitung ca. 4000 km<sup>2</sup>) in Ecuador wurde von Zeisig et al. (2005) beschrieben. Aufgrund der herausragenden Eigenschaften dieses natürlichen Materials (ca. 300 m<sup>2</sup>/g äußere Oberfläche, ca. 30 mmol/100 g einfach koordinierte und daher reaktive Oberflächengruppen) wurde das wirtschaftliche Anwendungspotential untersucht.

Für viele (umwelt)technische Anwendungen ist es notwendig, das Material zu mahlen und dafür zu trocknen. Bereits Gradwell & Birell (1954) stellten fest, dass Allophan nach der Trocknung nicht mehr dieselben Eigenschaften besitzt. Nach Kitagawa (1971) bilden sich bei 110 °C-Trocknung schicht-ähnliche Aggregate (Submikrometerbereich), die zwar zu einer geringeren spezifischen Oberfläche führen jedoch die PO<sub>4</sub>-Sorption nicht beeinträchtigen. Der Autor geht hierbei von einer rein physikalischen, also nicht von einer chemischen Veränderung aus.

Eigene Dispergierungsuntersuchungen zeigen, dass bergfeuchtes Material besser dispergiert als vorher luftgetrocknetes Material. Zum Verständnis dieser Prozesse wurden die Trocknungseigenschaften des allophanreichen Rohstoffs untersucht. In dieser Studie werden erste Ergebnisse von systematischen Trocknungsuntersuchungen vorgestellt.

## Material und Methoden

Die Untersuchungen konzentrieren sich auf ein 16 m mächtiges Profil NW' Santo Domingo, Ecuador. Hierbei wurde jeder Meter beprobt. Zur Charakterisierung des allophanreichen Materials wurden Röntgendiffraktometrie (XRD) mit quantitativer Rietveld-Analyse, Röntgenfluoreszenz-Analyse (XRF), Rasterelektronen-Mikroskopie (SEM), Differential-Thermo-Analyse mit Massen-Spektroskopie-Gasanalyse (DTA-MS), Infrarot-Spektroskopie (FTIR), potenziometrische Titration, Kationaustauschkapazität (KAK), selektive chemische Lösung, spezifische Oberflächenanalytik (N<sub>2</sub>-BET), und Kohlenstoff-Analyse (Leco-Ofen) durchgeführt.

Zum Verständnis der Trocknungseigenschaften wurden Arsenat- und Phosphat-Adsorption sowie Aufbereitungsmethoden wie Dispergierungs-, Granulierungs-, Flockungsverhalten (Kritische Koagulationskonzentration KKK) und Aggregatstabilität untersucht.

<sup>1</sup> Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, - Bodenkunde und Bodenschutz, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Weidenplan 14, D-06108 Halle, e-mail: [annette.kaufhold@web.de](mailto:annette.kaufhold@web.de)

<sup>2</sup> Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; Stilleweg 2, 30655 Hannover

<sup>3</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR); Stilleweg 2; 30655 Hannover

## Ergebnisse und Diskussion

### Charakterisierung

XRD-Analysen zeigen, dass die mineralogische Zusammensetzung des allophanreichen Tonmaterials mit der Tiefe (Tabelle 1) variiert. Es konnten zwei unterschiedliche Fazies identifiziert werden.

Die *Allophan-Fazies* (PM 4-01 bis PM 4-09) besteht hauptsächlich aus Allophan. Fe-Oxide (chem. Extraktion) und Imogolit (SEM) treten als Nebenkomponenten bzw. als Spuren auf. Vermikulit und Hornblende sind typische Nebenkomponenten dieser Fazies.

Die *Halloysit-Fazies* (PM 4-10 bis PM 4-16) besteht überwiegend aus Halloysit. Goethit ist eine kennzeichnende Nebenkomponente, Vermikulit sowie Hornblende fehlen.

Tabelle 1: Ergebnisse der qualitativen XRD Analyse

Probe	Identifizierte Minerale									
	röntgenamorph (Allophan, Imogolit, Fe-Oxide)	Halloysit	Gibbsit	Quarz	Cristobalit	Vermikulit	Hornblende	Feldspat	Goethit	Dolomit
PM 4-01	+			+						
PM 4-02	+			+						
PM 4-03	+			+						
PM 4-04	+			+						
PM 4-05	+			+						
PM 4-06	+			+						
PM 4-07	+			+						
PM 4-08	+			+						
PM 4-09	+			+						
PM 4-10		+								
PM 4-11		+								
PM 4-12		+								
PM 4-13		+								
PM 4-14		+								
PM 4-15		+								
PM 4-16		+								

+ = Hauptkomponente, ++ = Nebenkomponente, ++ = Nebenkomponente-Spur, - = Spur

Mit SEM (niedrig-Vakuum, Feldemissions-Kathode) wurden optische Unterschiede zwischen den zuvor beschriebenen Fazies festgestellt. Dafür wurde die luftgetrocknete Probe auf einem Kohlenstoff-„Leit-Tab“ präpariert. Die Allophan-Fazies (Abbildung 1a) besteht aus Allophan-Aggregaten, die eine wolkenartige Erscheinung haben. Im Gegensatz dazu zeigt die Probe der Halloysit-Fazies (Abbildung 1b) nicht aggregierte Körner mit deutlichen Korngrenzen. Der durchschnittliche Korndurchmesser liegt bei 600 nm.

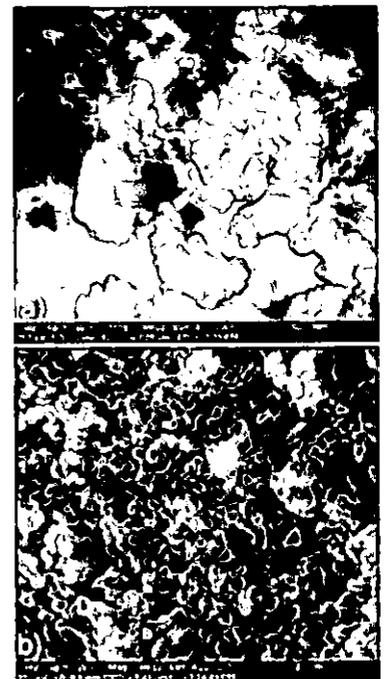


Abbildung 1: SEM Bild, Niedrigvakuum, Feldemissions-Kathode; a) Allophan-Fazies, b) Halloysit-Fazies

Die organische Kohlenstoff-Analyse (Leco) ergab, dass in dem 16 m Profil nur sehr geringe organische Kohlenstoff-Gehalte (< 1,4 Gew.-%, lokal < 0,4 Gew.-%) vorkommen.

Für ein natürliches Material besitzt der Allophan mit max.  $320 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$  eine sehr hohe spezifische Oberfläche ( $\text{N}_2$ -BET). Die Faziesbereiche konnten hiermit gut differenziert werden und lagen bei  $190\text{-}325 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$  (Allophan-Fazies) bzw.  $50\text{-}170 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$  (Halloysit-Fazies).

#### Spezielle Analytik zum Trocknungsverhalten

Um das Trocknungsverhalten zu analysieren wurden die Proben im grubenfeuchten (Suspension), luftgetrockneten, ofengetrockneten ( $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ ) und kalzinierten ( $200 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ ) Zustand untersucht.

Die Phosphat-Sorption der Trocknungsserie (Abbildung 2) ergab, dass die grubenfeuchten, luftgetrockneten und getrockneten Proben max.  $45 \text{ mmol}/100\text{g PO}_4$  adsorbieren, während die zuvor kalzinierten ( $200 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ ) Proben bis zu  $65 \text{ mmol}/100\text{g PO}_4$  adsorbieren.

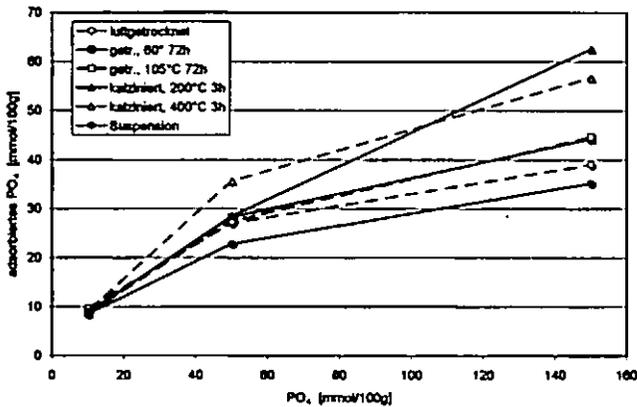


Abbildung 2: Phosphat-Sorption - Trocknungsserie

Bei der potenziometrischen Titration wurde festgestellt, dass die kalzinierten Proben im Vergleich zu den getrockneten Proben deutlich mehr reaktive Oberflächengruppen besitzen. Dies bestätigt die Phosphat-Sorptionsergebnisse.

Die Oberflächenmessung ( $\text{N}_2$ -BET) der Trocknungsserie ergab, dass die spezifische Oberfläche der untersuchten Proben mit steigender Temperatur stetig sinkt ( $60^\circ\text{C}$ :  $268 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ,  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $250 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ;  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $247 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ;  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $219 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ). Wie bei Kitagawa (1971) beschrieben tritt eine negative Korrelation zwischen  $\text{PO}_4$ -Sorption und spezifischer Oberfläche ( $f(T)$ ) auf. Zum Verständnis dieser Prozesse wurde von Abidin (2007) ein Modell vorgeschlagen.

#### Anwendungstests

Für spezielle Anwendungen (Festbettfilter in der Umwelttechnologie) ist es wichtig, stabile Aggregate herzustellen. Daher wurde die Aggregatstabilität untersucht, indem Granulate hergestellt wurden, die nach Trocknung auf ihren Staubanteil untersucht wurden. Für diese Messanordnung wurden natürliche Proben (PM4-5, PM 4-8, PM 4-12) und ein durch Hydrozyklon angereichertes Allophankonzentrat (Allophananteil: 95 Gew.-%, Korngröße:  $\leq 5 \mu\text{m}$ ) verwendet. Aus dem Allophankonzentrat konnten Aggregate mit einem Staubanteil von 1 Gew.-% hergestellt werden. Diese sind

erheblich stabiler als Aggregate natürlicher Proben mit einem Staubanteil von 8-12 Gew.-%.

Für viele Anwendung ist es notwendig, Informationen über das Dispergierungsverhalten vom Probenmaterial zu besitzen (Umwelttechnologie – Abwasserbehandlung). Zu diesem Zweck wurde die KKK von Suspensionen mit unterschiedlichen Feststoff-/Flüssigkeits-Verhältnissen, pH-Werten und Ionenstärken untersucht. Bei fast allen eingestellten Bedingungen koagulierte Allophan durch Bildung von Aggregaten. Bei einem pH Wert  $\leq 4$  und sehr geringen Ionenstärken bilden sich hingegen stabile Suspensionen, da bei pH 4 die Oberflächen mit Protonen gesättigt sind (potenziometrische Titration).

#### Zusammenfassung

Für viele technische Allophan-Anwendungen ist es wichtig, getrocknetes Probenmaterial zu verwenden. Dieses besitzt meist nicht die gleichen Eigenschaften wie feldfrisches (bergfeuchtes) Material. Durch einige Trocknungs-Vorbehandlungen können Eigenschaften sogar verbessert werden, was besonders für die industrielle Anwendung interessant ist.

Die Phosphat-Sorption und potenziometrische Titration zeigt, dass kalzinierte Proben mehr reaktive Oberflächen besitzen, jedoch eine geringere spezifische Oberfläche ( $\text{N}_2$ -BET,  $f(T)$ ) haben.

Mit folgendem Modellansatz wird versucht, einen kausalen Zusammenhang zu erstellen.

1. Allophan neigt bei Trocknung und Erhitzung zur Bildung von Aggregaten. Dies geschieht möglicherweise durch Bildung von Al-O-Al-Brücken. Dadurch sinken die Dispergierbarkeit und die spezifische Oberfläche.
2. Durch Kalzinierung ( $200 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ ) entstehen intrakristalline Defektstellen (Abidin et al., 2007), die besonders reaktiv sind. Dadurch steigt die Anzahl titrierbarer reaktiver Oberflächengruppen (potenziometrische Titration) und die Phosphat-Sorption.

#### Literatur

- Abidin, Z., Matsue, N., Henmi, T. (2007). Adsorption of amine species on nano-ball allophane and its molecular orbital mechanism, Abstracts Euroclay 2007, 199.
- Gradwell, M.W., Birrell, K.S. (1954). Physical properties of certain volcanic clays. N.Z.J. Sci. Tech., B 36, 108-122.
- Kitagawa Y. (1971). The "Unit Particle" of Allophane. The American Mineralogist 56, 465-475.
- Zeisig, A., Jahn, R., Dohrmann, R., Kaufhold, S. (2005) Allophane rich clay - a special clay from Santo Domingo de los Colorados (Ecuador), characterisation and potential application. In: Dohrmann, R., Kaufhold, S. [Hrsg.], Berichte der Deutschen Ton- und Tonmineralgruppe (DTTG), Celle, 11: 99-104.

## Effect of Fe<sup>II</sup> and humic acid on surface charge and dispersion of the clay fraction of a paddy soil

Minh Nguyen Ngoc\*, Stefan Dultz\*, and Jörn Kasbohm<sup>†</sup>

### Introduction

Dispersion is an important issue for clay leaching and contaminant transport in soils. In paddy soils of the Red River Delta (RRD), Vietnam, an increase of pH during the flooded period and also the presence of distinct amounts of humic acid (HA) might facilitate the dispersion of clay. Additions of lime and soluble salts from different sources such as fertilizers and the release of Fe<sup>II</sup> under reducing conditions are expected to counteract dispersion. In this study, the surface charge (SC) and dispersion properties of the clay fraction of the puddled horizon from a typical paddy soil of the RRD were determined at different pH and Fe<sup>II</sup>- and HA- concentrations.

### Methods and Materials

The clay fraction (<2 µm) was separated by sedimentation and decantation. The suspension was flocculated with NaCl and washed until salt-free. The XRD-patterns show that the clay fraction is mainly composed of illite, kaolinite, chlorite and mixed layer minerals. HA was extracted from the soil sample according to Swift (1996). For the experiments with HA, fine soil was pretreated with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in order to remove organic matter.

For the determination of the effect of Fe<sup>II</sup> on clay flocculation in presence of HA, 20 mg of the clay fraction and 0.001 mg of HA were mixed with 10 mL of Fe<sup>II</sup>-solutions (0–1 mmol L<sup>-1</sup>). The effect of HA on SC and flocculation was determined for concentrations of HA up to 100 mg L<sup>-1</sup>. The suspensions were adjusted to pH 3, 4, 5 and 6 with 0.1 M HCl.

For SC quantification, a particle charge detector (Mütek, PCD 03) was used by employing a titration with a charge-compensating cationic polyelectrolyte (Böckenhoff and Fischer, 2001).

Flocculation properties were determined by transferring the suspensions to test tubes. After 2 h sedimentation at room temperature, 2 mL of each suspension were sampled from the surface of the suspension, and the transmission was determined at 600 nm in an UV-VIS photometer. The ion concentration at a transmission of 50% (C<sub>50</sub> value) is used for the comparison of the affectivity of certain ions on dispersion.

### Results and Discussion

#### Effect of Fe<sup>II</sup> on dispersion at different pH

The flocculation efficiency of Fe<sup>II</sup> strongly depends on the pH (Fig. 1). At higher pH the concentration of Fe<sup>II</sup> needed for flocculation is vigorously increased. At pH 4, the C<sub>50</sub> value is 0.16, at pH 5 it is 0.34 and at pH 6 it is 0.78 mmol L<sup>-1</sup>. At pH 4, only 21% of the Fe<sup>II</sup> amount in solution is needed to reach the C<sub>50</sub> value in comparison with pH 6. At constant electrolyte levels, an increase in clay dispersion with increasing pH was reported (Suarez et al., 1984). In soils, the competitive binding of H<sup>+</sup> and Fe<sup>II</sup> by soil functional groups affects SC and soil solution chemistry. Fe<sup>II</sup> released or exchanged by H<sup>+</sup> at low pH can result in a change in SC to less negative values and accelerate flocculation (Chorom and Rengasamy, 1995). At pH 3 the clay fraction is flocculated in the whole concentration range from 0-1.0 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Besides the formation of edge-to-face structures, this might also be due to cation release by mineral dissolution. Even in soils with high amounts of permanent negatively charged clay minerals, the effect of pH on dispersion is a common finding, but it is most pronounced in kaolinitic soils with relatively high amounts of variable charged sites (Kaya, 2006).

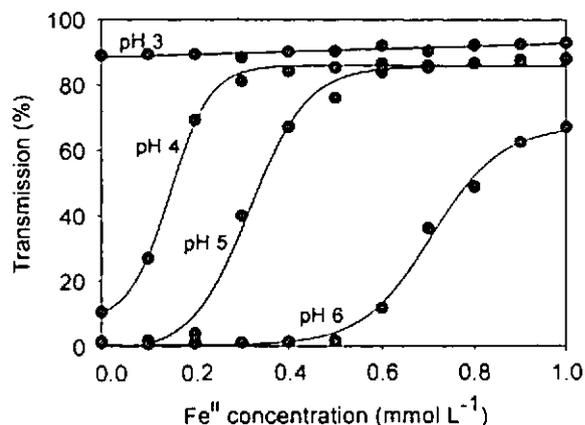


Fig. 1: pH-dependent flocculation of the suspension of the clay fraction at different Fe<sup>II</sup> concentrations.

\* Institute of Soil Science, Leibniz University of Hannover, Herrenhäuser Str. 2, D-30419 Hannover.

e-mail: [minh@itbk.uni-hannover.de](mailto:minh@itbk.uni-hannover.de)

<sup>†</sup> Institute of Geography and Geology, Greifswald University, Friedrich-Ludwig-Jahn Str. 17a, D-17487 Greifswald

*Influence of humic acid on surface charge*

In presence of HA, the SC of the suspension was observed to be more negative. At pH 4, 5 and 6, an addition of HA in amounts from 0 to 30 mg, L<sup>-1</sup> resulted in a decrease of the SC of the clay suspensions from -17.6 to -29.8, -19.2 to -46.6, -31.3 to -52.1 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, respectively (Fig. 2). With an increase of the amount of HA added, the SC continuously shifted to more negative values. At pH 3, where flocculation was usually observed, the presence of HA at a concentration of 40 mg L<sup>-1</sup> preserved a dispersion of the clay fraction. Most probably, this is due to a reversal of edge charge of the clay fraction from positive to negative in the presence of HA, so that the formation of edge-to-face structures and the resulting flocculation is prohibited.

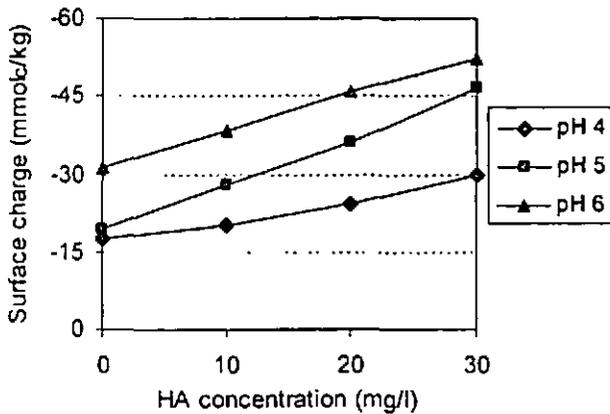


Fig. 2: Dependence of SC of clay fraction on HA concentration at different pH.

*Effect of Fe<sup>II</sup> on dispersion in presence of humic acid*

By adding HA to the suspension, the amount of Fe<sup>II</sup> needed for flocculation is increased severely (Fig. 3). At a HA concentration of 20 mg L<sup>-1</sup>, the C<sub>50</sub> values for Fe<sup>II</sup> were found to increase from 0.23 to 0.61 at pH 4 and from 0.49 to 0.82 at pH 5. With increasing pH values, the SC of HA and clay minerals becomes more negative. As a result, higher Fe<sup>II</sup> concentrations are required for the flocculation of the clay fraction. Already small additions of HA caused pronounced increases in colloidal stability and the coagulation rates became strongly dependent on ionic-strength. The increase in ionic strength generally resulted in decreased colloidal stability indicating that the suspensions were stabilized by electrostatic repulsive forces. Kretzschmar et al. (1998) reported that with an increase in pH from 4 to 6 and HA concentration from 0 to 6 mg L<sup>-1</sup> (TOC), colloidal stability of clay suspensions increased at different concentrations of NaClO<sub>4</sub>.

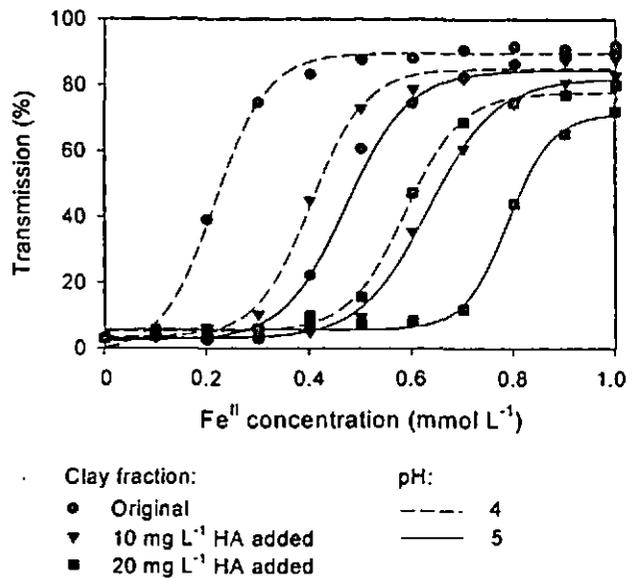


Fig. 3: pH-dependent flocculation of the clay fraction in presence of 10 and 20 mg L<sup>-1</sup> HA and increasing Fe<sup>II</sup> concentrations.

**Conclusions**

The presence of HA and soluble Fe<sup>II</sup> can affect clay dispersion in soils primarily by changing the negative SC of the clay fraction. Fe<sup>II</sup> was found to affect the SC of the clay fraction strongly and accelerate flocculation, while HA can change SC to more negative and facilitate clay dispersion. In the presence of HA, the effect of Fe<sup>II</sup> on the flocculation of clay fraction was observed to decrease severely. For the management of dispersive paddy soils the control of soil pH and the concentration of Fe<sup>II</sup> and dissolved organic matter are essential to avoid clay dispersion and thus prevent losses of nutrients and translocation of contaminants.

**References**

Böckenhoff, K., Fischer, W. R. (2001): Determination of electro-kinetic charge with a particle charge detector, and its relationship to the total charge. *Fresenius J. Analytical Chemistry* 371, 670-674.  
 Chorom, M., Rengasamy, P. (1995): Dispersion and zeta potential of pure clays as related to net particle charge under varying pH, electrolyte concentration and cation type. *European J. Soil Sci.* 46, 657-665.  
 Kaya, A. (2006): Settling of kaolinite in different aqueous environment. *J. Marine Georesources and Geotechnology* 24, 203-218.  
 Kretzschmar, R., Holthoff, H., Sticher, H. (1998): Influence of pH and humic acid on coagulation kinetics of kaolinite: A dynamic light scattering study. *J. Colloid Interface Sci.* 202, 95-103.  
 Suarez, D. L., Rhoades, J. D., Lavado, R., Grieve, C. M. (1984): Effect of pH on saturated hydraulic conductivity and soil dispersion. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 50-55.  
 Swift, R.S. (1996): *Methods of Soil Analysis. Part 3. SSSA, Book Series No. 5.* SSSA, Madison, WI, 1011-1069.

**Verlagerung von Vanadium entlang geochemischer Gradienten anhand zweier Landschaften des Schwarzwaldes**

Palmer, I.<sup>1</sup>, S. Fiedler<sup>1</sup> und K. Stahr<sup>1</sup>

**Einleitung und Problemstellung**

Vanadium ist als Spurenelement ubiquitär in der Landschaft vorhanden. Durch den komplexen Chemismus ( $V^{-1}$  bis  $V^{+5}$ , Komplexbildner, Redox- und pH-Sensitivität) existiert eine große Zahl an Vanadiumverbindungen in der Umwelt. Wichtige pedogene Sorptions- / Bindungspartner sind Fe-(Hydr)Oxide und die organische Substanz. Die Mobilität dieser Verbindungen wird kontrovers diskutiert (immobil vs. mobil). Eine Betrachtung der V-Verteilung auf Landschaftsebene fehlt bislang. Anhand zweier Catenen sollen mögliche intra- und interpedonale Verlagerungsvorgänge aufgezeigt werden. Die ausgewiesenen Akkumulationsbereiche sollen anhand eines geochemischen Barrierenmodelles diskutiert werden.

**Untersuchungsgebiet**

Es wurden zwei Untersuchungsgebiete mit jeweils einer Catena gewählt:

**Catena 1, Buggenried:** S-Schwarzwald (Granit), geprägt durch redoximorphe Böden. Bodenfolge: Pseudogley-Braunerde, Stagnogley-Gley, „Ockererde“.

**Catena 2, Klosterreichenbach:** N-Schwarzwald (Sandstein), geprägt durch podsolige Böden. Bodenfolge: Braunerde-Podsol, Eisenhumus-Podsol, Podsol-Braunerde.

**Methoden**

Die Gesamtvanadiumgehalte wurde mittels Mikrowellenaufschluss in Königswasser bestimmt. Zusätzlich wurden Daten von (Stahr et al., 1994) sowie (Stahr, 1973) für weitere Bodenparameter wie  $Fe_t$ ,  $Fe_d$ ,  $Al_t$ ,  $Al_d$ ,  $C_{org}$  und pH (KCl) herangezogen.

**Ergebnisse und Diskussion**

**Catena 1, Buggenried:**

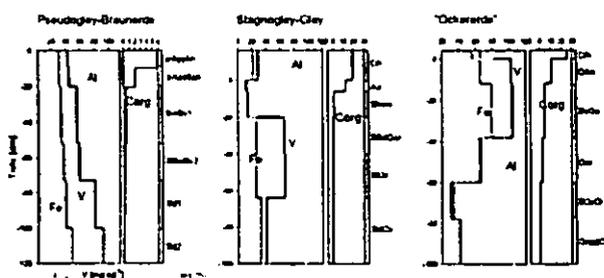


Abb. 1: Tiefenverteilung der V, Fe und Al-Gesamtgehalte, sowie der organischen Substanz in Buggenried

Die Braunerde zeigt eine leichte Zunahme von  $V_t$ ,  $Fe_t$  und  $Al_t$  mit der Tiefe (Residualakkumulation).

Im Stagnogley sind in den mittleren Stauwasserhorizonten stark erhöhte V-Gehalte zu finden. Durch die mäßig reduzierenden Bedingungen im Shew kommt es infolge Fe-Oxid / Hydroxid-Auflösung zu einer Vanadiummobilisierung.

<sup>1</sup>Institut für Bodenkunde und Standortlehre, Universität Hohenheim, Emil-Wolff-Str. 27, 70599 Stuttgart, ipalmer@uni-hohenheim.de

Die stark reduzierenden Bedingungen im HSDGor und IIGr hingegen bedingen die Bildung von V-Hydroxid (Fox and Doner, 2002; Wany and Goldhaber, 1992). Das V-Hydroxid gilt als schlecht löslich, sodass es zur Akkumulation des Vanadiums kommt. Die „Ockererde“ zeigt stark erhöhte V-Gehalte im OAh und BvGo. Es wird von einer reliefbedingten lateralen Anlieferung von Al, Fe und V in der Landschaft ausgegangen

In den gut durchlüfteten Oberbodenhorizonten der „Ockererde“ kommt es zur Bildung von amorphen, reaktionsaktiven Fe/Al-(Hydr)Oxiden. Eisenoxide sind stark mit Vanadium vergesellschaftet. Es kann sowohl als strukturelles Element eingebaut oder an den (Hydr)oxiden sorbiert werden (Peacock and Sherman, 2004; Schwertmann and Pfab, 1994; Schwertmann and Pfab, 1996; Singh and Gilkes, 1992; Taylor and Giles, 1970). Dies führt zu einer Vanadiumanreicherung in den entsprechenden Horizonten.

**Catena 2, Klosterreichenbach:**

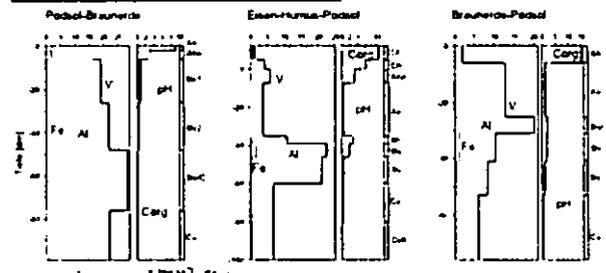


Abb. 2: Tiefenverteilung der V-Gesamtgehalte, sowie der dithionitlöslichen Fe und Al-Gehalte, des pH-Wertes und der organischen Substanz.

In der Podsol-Braunerde sind leicht erhöhte V-Gehalte im Unterboden zu finden. Hier wird von einer Umverteilung innerhalb des Profils (Residualakkumulation) ausgegangen.

Der Eisenhumus-Podsol hingegen, weist geringe V, Fe und Al-Gehalte im Ae und eine V-Anreicherung im Bh und Bs auf. Vanadium wird durch verschiedene organische Verbindungen komplexiert (Branca et al., 1990; Branca et al., 1992). Eine Verlagerung der organischen Komplexe hat dadurch eine gemeinsame Verlagerung von C und V zur Folge. In der Horizonten Bh und Bs kommt es zu einer Polymerisation / Präzipitation der organischen Komplexe und dadurch zu einer Anreicherung von V (Buurman and Jongmans, 2005; Lundström et al., 2000).

Im Braunerde-Podsol zeigen sich sowohl im Bsh und im Bh (aber auch schon im Ae) erhöhte V, Al und Fe. Hier ist von einer reliefbedingten lateralen Anlieferung des Vanadiums auszugehen. Wie schon beim Eisenhumuspodsol beschrieben, kommt es durch die Polymerisation / Fällung der organischen Substanzen auch hier zu einer Akkumulation der Elemente V, Al und Fe.

**Interpretation der Vanadiummuster anhand eines Barrierenkonzeptes**

Die Umverteilung von V setzt eine Mobilisierung, Transport und die Immobilisierung des Elementes voraus. (Perelmann, 1972) zeigte, dass Stoffflüsse entlang geochemischer Potentialgefälle erfolgen. Ändert sich das physikochemische Milieu, können diese Stoffflüsse zum Erliegen kommen. Eine solche Änderung wird als Barriere bezeichnet. Für die Verlagerung von Vanadium im Boden können drei Barrieren ausgewiesen werden:

- (1) **Oxidations- / Adsorptionsbarriere:** durch oxidative Verhältnisse im Boden kommt es zur Bildung von Eisen(hydr)oxiden. Vanadium wird entweder als strukturelles Element in die Eisen(hydr)oxide eingebaut oder an ihnen sorbiert (Abb. 3).
- (2) **Reduktionsbarriere:** bei stark reduzierenden Verhältnissen kommt es zur Bildung von dreiwertigem V / Fällung von V-Hydroxiden und dadurch zur Akkumulation von V (Abb. 3).

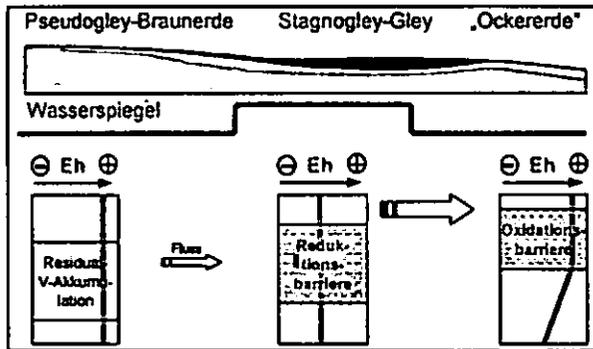


Abb. 3: V-Verlagerung anhand eines Redoxgradienten

- (3) **Polymerisationsbarriere:** Vanadium wird durch organische Substanz komplexiert und zusammen mit ihr verlagert. Kommt es zur Polymerisation / Präzipitation derselben, findet eine Akkumulation des Vanadiums statt (Abb. 4).

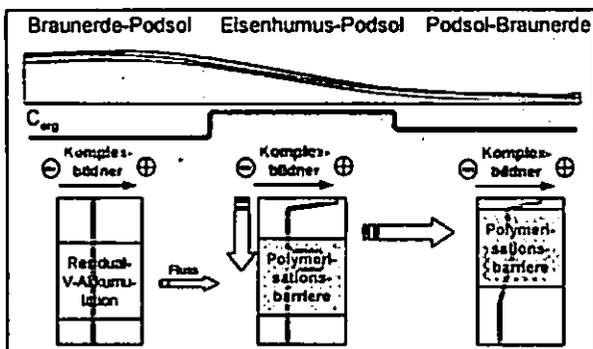


Abb. 4: V-Verlagerung durch Komplexbildung

Die ausgewiesenen Barrieren können sowohl lateral als auch vertikal ausgebildet sein.

#### Fazit

Vanadium kann im Boden sowohl vertikal als auch lateral verlagert werden. Die Translokation erfolgt dabei entlang geochemischer Gradienten (Redoxgradient, gelöste organische Substanz).

#### Literatur

Branca, M., G. Micera, A. Dessi and D. Sanna. 1992. Oxovanadium(IV) complex formation by simple sugars in aqueous solution. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 45 (3):169-177.

Branca, M., G. Micera, D. Sanna and A. Dessi. 1990. Complexation of oxovanadium(IV) by humic and tannic acids. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 39 (2):109-115.

Buurman, P. and A. G. Jongmans. 2005. Podzolisation and soil organic matter dynamics. *Geoderma*. 125 (1-2):71-83.

Fox, P. and H. Doner. 2002. Trace element retention and release on minerals and soil in a constructed wetland. *Journal of Environmental Quality*. 31 (1):331-338.

Lundström, U. S., N. Van Breemen and D. Bain. 2000. The podzolization process. A review. *Geoderma*. 94 (2-4):91-107.

Peacock, C. L. and D. M. Sherman. 2004. Vanadium(V) adsorption onto goethite ( $\alpha$ -FeOOH) at pH 1.5 to 12: A surface complexation model based on ab initio molecular geometries and EXAFS spectroscopy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 68 (8):1723-1733.

Perelmann, A. 1972. Geochemie epigenetischer Prozesse. Schriftenreihe der praktischen Geologen, 13. Akademie-Verlag Berlin.

Schwertmann, U. and G. Pfab. 1994. Structural vanadium in synthetic goethite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 58 (20):4349-4352.

Schwertmann, U. and G. Pfab. 1996. Structural vanadium and chromium in lateritic iron oxides: Genetic implications. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 60 (21):4279-4283.

Singh, B. and R. J. Gilkes. 1992. Properties and distribution of iron oxides and their association with minor elements in the soils of south-western Australia. *Journal of Soil Science*. 43 (1):77-98.

Stahr, K. 1973. Die Stellung der Böden mit Fe-Bändchen-Horizont (thin-iron-pan) in der Bodengesellschaft der nördlichen Schwarzwaldberge. [N.F. 69] Stuttgart, Arb. Inst. Paläont. Universität Stuttgart.

Stahr, K., M. Kleber, F. Rück, F. Hädrich, and R. Jahn. 1994. Böden puffern Umwelteinflüsse - Beispiele zum Stickstoffhaushalt und zur Verwitterungsintensität in Bodenlandschaften Baden-Württembergs. Hohenheimer bodenkundliche Hefte, 20. 121-134. Stuttgart, Universität Hohenheim. Babel, U., W. Fischer, K. Roth, and K. Stahr.

Taylor, R. M. and J. B. Giles. 1970. The association of vanadium and molybdenum with iron oxides in soils. *Journal of Soil Science*. 21 (2):203-215.

Wanty, R. B. and M. B. Goldhaber. 1992. Thermodynamics and kinetics of reactions involving vanadium in natural systems: Accumulation of vanadium in sedimentary rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 56 (4):1471-1483.

## Wirkung verschiedener Puffersysteme im Verlauf der Albeluvisol- und Podzolentwicklung in Südost-Norwegen

Daniela Sauer<sup>1</sup>, Isabelle Schüllli-Maurer<sup>1</sup>,  
Ragnhild Sperstad<sup>2</sup>, Rolf Sørensen<sup>3</sup>  
und Karl Stahr<sup>1</sup>

### Einleitung

Albeluvisols ( $\approx$ Fahlerden) und Podzols ( $\approx$ Podsole) sind in den kühleren Regionen des feucht-gemäßigten Klimas weit verbreitet. Auch bei uns nehmen diese Böden erhebliche Flächenanteile ein. Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen war es, den zeitlichen Verlauf der Entwicklung dieser Böden zu erfassen, d. h., festzustellen, wie viel Zeit erforderlich ist, bis die verschiedenen bodenbildenden Prozesse einsetzen bzw. zu einer morphologischen Profildifferenzierung führen. Geeignete Untersuchungsobjekte für derartige Fragestellungen sind Bodenchronosequenzen. Chronosequenzen, die das gesamte Holozän abdecken, sind jedoch rar, so dass sich die Frage nach der Zeitachse der Bodenentwicklung für viele Regionen nur eingeschränkt beantworten lässt. Die SO-norwegische Küste bietet gute Voraussetzungen zur Untersuchung von Bodenchronosequenzen, denn sie erfährt seit dem Rückzug des Eises am Ende der letzten Kaltzeit glazial-isostatischen Auftrieb, wodurch sukzessive frische Sedimente über den Meeresspiegel herausgehoben werden. Die Holozäne Meeresspiegelkurve ist für mehrere Küstenabschnitte aufgrund von <sup>14</sup>C-Datierungen bekannt, so dass aus der Höhe eines Standorts unmittelbar abgeleitet werden kann, seit welchem Zeitpunkt dort terrestrische Bedingungen herrschen (Abb. 1).

### Material und Methoden

Als Untersuchungsgebiete wurden Vestfold (westlich des Oslofjords) und Østfold (östlich des Oslofjords) ausgewählt, da dort die Meeresspiegelkurve sehr gleichmäßig verläuft. Zudem liegen die klimatischen Verhältnisse hier noch in einem für Mitteleuropa typischen Bereich, so dass die Beobachtungen (unter Berücksichtigung der Eigenschaften der Ausgangssubstrate) auf weite Teile Mitteleuropas übertragbar sind. Die Jahresmitteltemperaturen betragen 5,4–6,0 °C, die mittleren Jahresniederschläge 975–1094 mm (Vestfold) bzw. 751–829 mm (Østfold).

<sup>1</sup> Inst. für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, Emil-Wolff-Str. 27, D-70599 Stuttgart, E-mail: d-sauer@uni-hohenheim.de

<sup>2</sup> Norwegian Institute of Land Inventory, 1431 Ås, Norwegen

<sup>3</sup> Norwegian University of Life Sciences, 1432 Ås, Norwegen

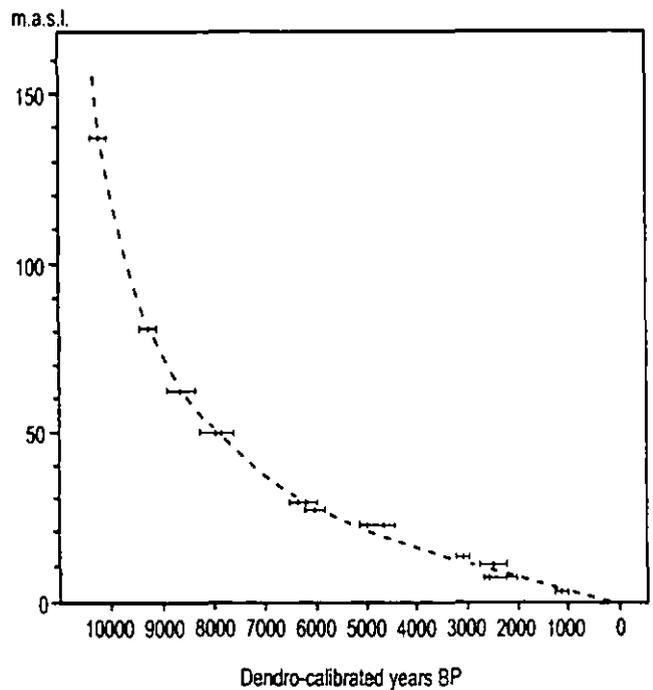


Abb. 1: Relative Meeresspiegelkurve des Gebiets (Henningsmoen, 1979).

Auf lehmigen marinen Sedimenten verläuft die Bodenentwicklung zu Albeluvisols (Schüllli-Maurer et al., 2007), auf Strandsanden zu Podzols (Sauer et al., 2008). In Vestfold wurde je eine Bodenchronosequenz auf lehmigen marinen Sedimenten und Strandsanden, in Østfold eine weitere Sequenz auf lehmigen Sedimenten angelegt. Jede Sequenz bestand aus sechs Profilen, die eine Zeitspanne von ca. 1.500 bis 11.000 Jahren umfassten. Die Böden wurden morphologisch beschrieben und horizontweise hinsichtlich ihrer stofflichen Zusammensetzung (RFA), pH, KAK, BS, Körnung, Tonmineralogie, Fe<sub>d</sub>, Mn<sub>d</sub>, Al<sub>d</sub>, Fe<sub>o</sub>, Mn<sub>o</sub>, Al<sub>o</sub>, und Si<sub>o</sub> analysiert.

### Ergebnisse

Bei der Auswertung der Routineanalysen fiel auf, dass der pH (H<sub>2</sub>O) während der Albeluvisolentwicklung zwar in den ersten 1.500 Jahren sinkt, anschließend jedoch mindestens 10.000 Jahre lang konstant um pH 4,9 bleibt (Abb. 2 oben). Bei der Podzolentwicklung fällt der pH ebenfalls in den ersten 2.000 Jahren ab, bleibt bis zum 4.300 Jahre alten Boden um pH 5 und sinkt dann auf Werte um pH 4,5, wo er zwischen 6.600 und 10.000 Jahren konstant bleibt (Abb. 2 unten).

Trotz des humiden Klimas und der damit verbundenen Basenauswaschung verhindern offensichtlich in allen untersuchten Chronosequenzen sehr effiziente Puffersysteme über mehrere Jahrtausende hinweg ein Absinken des pH-Werts unter pH 4,9 bzw. pH 4,5.

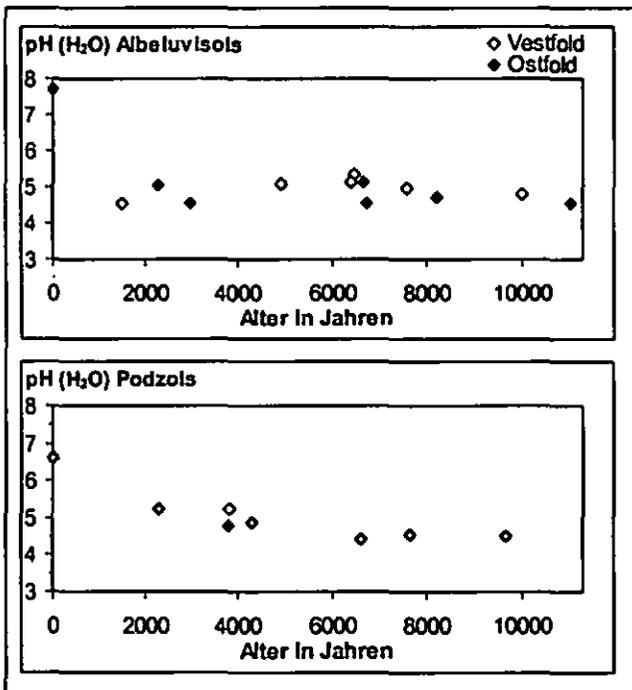


Abb. 2: pH (H<sub>2</sub>O) der Albeluvisolsequenzen (oben) und der Podzolsequenz (unten), gewichtete Mittel bis 90 cm Tiefe. Der 3.800 Jahre alte Boden der Podzolsequenz war durch ein 37 cm mächtiges Kolluvium überdeckt. Der weiße Datenpunkt ist das gewichtete Mittel über 90 cm, beginnend an der Oberfläche des begrabenen Bodens, der schwarze Punkt ist das Mittel über 90 cm, beginnend an der Oberfläche des Kolluviums.

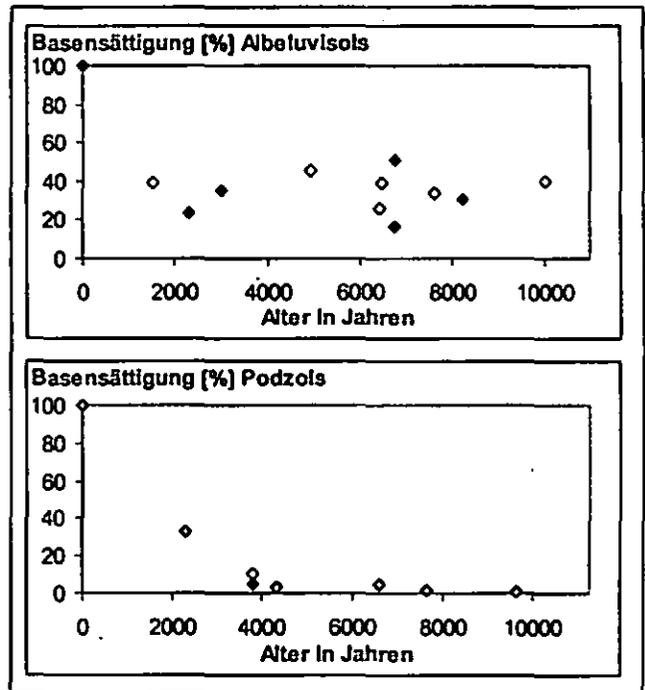


Abb. 3: Basensättigung, gewichtete Mittel bis 90 cm Tiefe (Erkürzung zur Darstellung s. Abb. 2).

### Welche Puffersysteme sind wirksam?

In den frischen Sedimenten erfolgt Pufferung durch Kalk aus Muschelstücken. Aufgrund des geringen Kalkgehalts des Strandsands bzw. der Oxidation von Sulfiden in den lehmigen Sedimenten sind die Carbonate nach kurzer Zeit aufgezehrt.

Es folgt Pufferung durch Kationenaustausch gegen H<sup>+</sup> sowie Protonierung der variablen Ladungen. Die Basensättigung nimmt dadurch in den Albeluvisols innerhalb von 1.500 Jahren auf 40% ab und variiert anschließend in Abhängigkeit von Vegetation und Mikroklima zwischen 20 und 50% (Abb. 3 oben). In den Podzols sinkt sie innerhalb von 4.000 Jahren auf <5% (Abb. 3 unten). Somit ist in der Albeluvisolsequenz dieses Puffersystem auch in den ältesten Böden noch wirksam.

Pufferung durch Tonmineralumwandlung spielt in den Böden der Albeluvisolsequenz eine untergeordnete Rolle, es findet lediglich in den E- und E/Bt-Verzahnungshorizonten eine Umwandlung von Illit zu Illit/Vermiculit-Wechselagerungen statt (Abb. 4 rechts, E: - 37 cm, E/Bt: - 60 cm). In den jüngeren Böden ist teilweise keine pedogene Veränderung des Tonmineralbestands zu erkennen (Abb. 4 links). Im Gegensatz dazu ist bei der Podzolsequenz eine Umwandlung von Illit zu Vermiculit zu beobachten, die mit zunehmendem Alter stark voranschreitet (Abb. 5). Im ältesten Podzol ist der Illit in den Bsh-Horizonten (7-76 cm Tiefe) vollständig aufgezehrt.

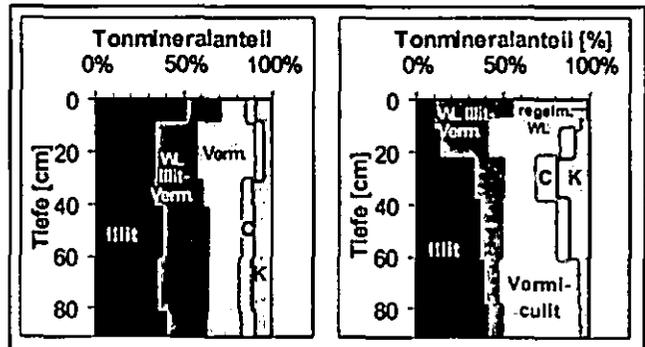


Abb. 4: Tonmineralzusammensetzung des jüngsten (links) und ältesten (rechts) Bodens der Albeluvisolsequenz in Ostfold.

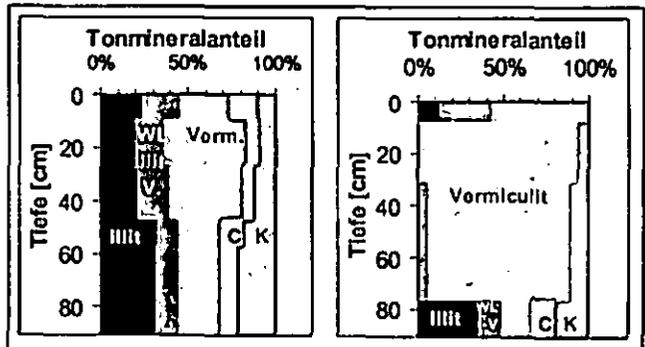


Abb. 5: Tonmineralzusammensetzung des jüngsten (links, 2.300 Jahre) und ältesten (rechts, 9.650 Jahre) Bodens der Podzolsequenz.

### Literatur

Henningsmoen, K. E. (1979): En karbon-datert strand-forskyvningskurve fra søndre Vestfold: Fortiden i søkelyset, Trondheim: 239-247.

Sauer, D., Schüllli-Maurer, I., Sperstad, R., Sørensen, R., Stahr, K. (2008): Podzol development with time in sandy beach deposits in southern Norway. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, angenommen.

Schüllli-Maurer, I., Sauer, D., Stahr, K., Sperstad, R., Sørensen, R. (2007): Soil formation in marine sediments of S-Norway: Investigation of soil chronosequences in the Oslofjord region. *Revista mexicana de ciencias geológicas* 24, 2: 237-246.

**Warum wissen wir so wenig über unsere Bodenminerale?**

Karl Stahr\*, Mehdi Zarci\*, Arie Singer\*\* und Daniela Sauer\*

In bodenkundlichen Veröffentlichungen, in Sonderheit bodengenetischer, bodenchemischer, physikalischer oft aber auch in bodenbiologischen, bodentechnologischen oder Abhandlungen zum Bodenschutz, gibt es Informationen zur Bodenmineralogie. Diese Informationen beruhen häufig auf so genanntem Vorwissen, d. h. auf älteren Erhebungen, oder geologischer oder allgemeiner naturkundlicher Beschreibung und sind wenig durch Analysen gestützt. Häufig findet man Angaben zur Tonmineralogie, die sich auf Röntgenbeugungsaufnahmen stützen oder solche, die über Bauschanalysen mineralogische Informationen ableiten. Andererseits ist bekannt, dass Bodenminerale eine Fülle von Informationen enthalten, die für die Entstehung der Böden als auch für die Nutzbarkeit und Belastbarkeit der Böden von großem Interesse sind. Hier gibt es viele Eigenschaften, die erlauben, das Bildungsmilieu, das Alter, die Zufuhr oder Abfuhr von Stoffen, die Herkunft bei Transporten und vieles andere mehr zu ergründen. Wir kommen also mit den ersten Überlegungen zu einer zweiten Frage. Warum werden die Möglichkeiten der Ergründung bodenmineralogischer Informationen nur unvollkommen genutzt? Darauf gibt es vier Antworten. Erstens die Kenntnisse fehlen, zweitens die Arbeitskraft steht nicht zur Verfügung, drittens die Ausrüstung reicht nicht aus, die Untersuchungen durchzuführen, viertens es fehlen wirklich noch Methoden, die Bodenminerale zu untersuchen. Insbesondere der letzten Frage soll nachgegangen werden. Dabei wird unterstellt, dass Bodenminerale in ihrer kristallographischen, elementaren oder isotopischen Zusammensetzung Informationen bergen, die bisher nicht gehoben sind. Wir stoßen häufig auf die Beobachtung, dass Bodenminerale sehr variabel sind und für die meisten klassischen Methoden der Mineralogie wenig zugänglich, weil zu klein.

Hierbei sei auf eine Studie von Meunier, (2006) verwiesen, der fragt: ‚Warum sind Tonminerale klein?‘ Seine Untersuchung befasst sich mit den Kristallisationsbedingungen in Böden und Sedimenten und kommt zu dem Schluss, dass durch die unterschiedlichen Bedingungen in Mikroumwelten das weitere Kristallwachstum häufig erschwert ist und es leichter fällt, in dem System einen neuen Kristallkeim zu bilden, denn einen alten weiter zu entwickeln. Er kommt zu dem Schluss, dass die kritische Energie und der kritische Radius bei der Bildung von Tonmineralen in einer engen Beziehung stehen und bei einer Vergrößerung der Kristalle in einem homogenen System die kritische Energie mit dem Radius wesentlich zunimmt.

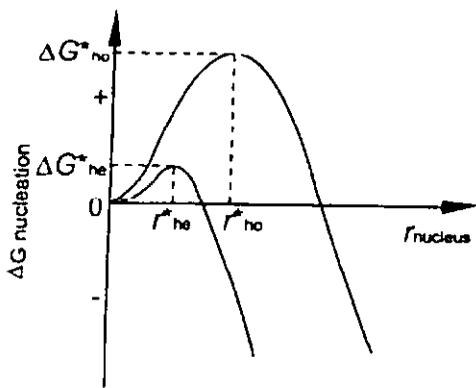


Abb. 1: Schematische Darstellung der kritischen Energie und des kritischen Radius bei homogener und heterogener Keimbildung nach Meunier (2006)

Tonminerale sind klein, weil sie zu viele „Fehler“ haben, z.B. Bodenkaolinit ist viel unregelmäßiger als Kaolinit aus Saproliten (Gilkes, 1994)

Er folgert, dass bei der Kristallisation so viele Fehlstellen eingebaut werden, dass der Kristall die Tendenz zum Weiterwachsen verliert. Diese Beobachtung, dass Bodenminerale klein sind, weil die Umweltbedingungen sich häufig ändern, wurde auch bereits 1994 von Gilkes gemacht, der bei Untersuchung von Kaoliniten in westaustralischen Lateritprofilen feststellte, dass die Kaolinite im Oberboden systematisch unregelmäßiger und schlechter kristallisiert sind als diejenigen, die sich in der Tiefe z. B. im Saprolit gebildet hatten. Dies hat offensichtlich mit den wechselnden Bedingungen in unseren Böden zu tun.

Unter Gleichgewichtsbedingungen streben Böden auch einen Gleichgewichtszustand zu. Dabei müsste je nach Bildungsbedingungen ein bestimmtes Mineral, oder eine Gruppe von Mineralen sich am Ende bilden. Welche das sind, hängt von der Wirkung der bodenbildenden Faktoren und von der Ausgangszusammensetzung des Bodens ab. So finden wir im Idealfall in Podsolen nur noch Quarz im Oberboden, in Ferralsolen Kaolinit, Gibbsit und Hämatit und in Vertisolen Smectit. Solche Mineralbestände stellen sich aber erst nach sehr langer Zeit und unter ständig gleichen Umweltbedingungen ein. Trotzdem können wir aus der Dominanz bestimmter Minerale ihre Herkunft ableiten. Dabei gilt es, die vier verschiedenen Grundrichtungen analytisch zu trennen. Bei jungen Böden ist immer die Überlieferung aus dem Gestein eine wichtige Richtung. Daneben spielt dann die Neubildung von Mineralen durch Umwandlung oder völlige Neukristallisation, unter Aufbrauch der gesteinsbildenden Minerale ein Rolle. Auf vielen Landoberflächen gibt es aber Bodenbildungsphasen, die unter anderen Bedingungen stattfanden, so dass sich stabile oder metastabile Minerale halten können, die reliktsch sind, oder einfach bereits lange gebildet wurden. Schließlich gibt es auf stabilen Landoberflächen meist eine nicht vernachlässigbare Zufuhr von Stoffen mit Wind-, Wasser- oder Schwerkraft, die zu einer Veränderung des aktuellen Mineralbestandes führen. Diese Prozesse gilt es zu trennen. Dabei ist es wichtig, dass man versucht, stabile Indikatoren für diese Prozesse heranzuziehen. Sie können oft in der Zusammensetzung der Spurenelemente, in der Zusammensetzung des Schwermineralspektrums und bei Änderung der Bedingungen auch in der Umkehrichtung der Bodenentwicklung festgestellt werden (Abb.2).

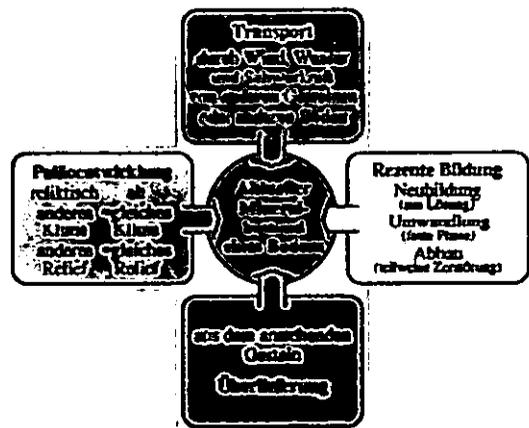


Abb. 2: Wichtige Quellen und Bedingungen für Minerale die in Böden auftreten.

Die Richtung der Bodenbildung lässt sich mit dem Faktorenansatz von Jenny generell charakterisieren. Dabei kann man im Hinblick auf die entstehenden Minerale unterscheiden, ob es sich um isochemische oder allochemische Umwandlungen handelt. Isochemische Umwandlungen können unter saprolitischen Bedingungen, oder bei Wüstenböden auftreten. Allochemische Bedingungen, häufig im humiden Klima, besonders bei drainenden Böden, oder auch bei topogener, stofflicher Anreicherung. Diese Gedanken könnten zu einer

Modellentwicklung führen (Abb. 3), wenn es nicht da Restriktionen gäbe.

(Gesteinsmineral x Zeit)	Klima, Relief Organismen	bodenbürtiges pedogenes	> Mineral
(Gesteinsmineral x Zeit)	$\frac{O_2 / CO_2}{H_2O}$	pedogenes Mineral	biochemisch
(Gesteinsmineral x Zeit)	$\frac{O_2 / CO_2}{H_2O + IOM/FM}$	pedogenes Mineral	allochemisch

Abb. 3: Bodenminerale in Raum und Zeit

Wohl die häufigste Restriktion, sind jahreszeitlich unterschiedliche Umlagerungs- und Redoxbedingungen. So gibt es im Mittelmeer, wie auch im Savannenbereich, ganz häufig jahreszeitliche Veränderungen der Redoxbedingungen und erst recht der Wasserbewegung. Wenn aber Verarmung und Anreicherung, Oxidation und Reduktion wechseln, so entstehen keine eindeutigen Mineralparagenesen in kurzer Zeit, bzw. die entstehenden sind durch kleine Kristallgrößen und unreine Kristalle gekennzeichnet. Ein weiteres, häufig bisher vernachlässigtes Argument für wechselnde Tendenzen der Mineralentwicklung, ist der Klimawandel. Wirkungen des Klimawandels können auch durch Landnutzungsänderungen ausgelöst oder verstärkt werden. Diese Tatsache gilt für die anorganische Phase des Bodens, wenn auch im Zuge der Atmosphärenveränderung hauptsächlich organische Umsetzungen herangezogen werden. Ein wichtiges, sehr häufig übersehenes Argument, ist die unterschiedliche Entwicklung innerhalb eines Bodens. So wird sich in und um einen Plagioklas die Mineralumwandlung prinzipiell anders gestalten als in und um einen Muskovit.

Wie können wir als Bodenmineralogen zur Verbesserung der Situation beitragen? Ein einfaches Hilfsmittel ist da die Ausschöpfung aller methodischen Möglichkeiten (Abb. 4), (Kallis, 2001).

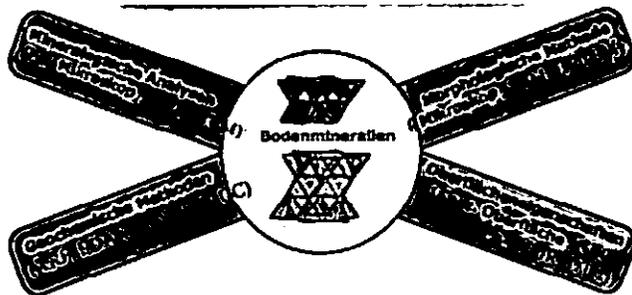


Abb. 4: Werkzeuge zur Bestimmung von Bodenmineralen

Wichtig ist es, dass die Oberflächeneigenschaften sehr stark an Umwandlungen beteiligt sind. Die volle Information der Bodenmineralogie kommt aber in der Regel nicht aus den Oberflächeneigenschaften, sondern aus dem Kern. Dabei ist es in der Mineralogie gute Tradition, auf die Morphologie zu achten. Morphologische Methoden gestatten vor allem über die Paragenese Entwicklungen, die nacheinander abgelaufen sind aufzudecken, bzw. Feinstrukturen aufzuklären (Singer, 1998). Mineralogische Analysen über Licht- und Doppelbrechung, Röntgenographie und Transmission helfen, insbesondere auch bei kleinen Mineralen, zu einer eindeutigen Charakterisierung. Äußerst wichtig sind auch geochemische Analysen, wobei die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung am Ort des Minerals am meisten Information liefert. Der komplexe Aufbau der Zusammensetzung des Bodenmineralbestandes erfordert es geradezu, den Boden zu fraktionieren. Hier wurden im Laufe der letzten Jahrzehnte verschiedene Methoden der Trennung entwickelt, bzw. verbessert. Dazu gehören die Korngrößenfraktionierung, die Schwerentrennung, die magnetische Trennung, die sequenzielle Auflösung und das

mechanische Herauslösen bestimmter Minerale, um sie besser erfassen zu können (Stahr et al., 2000).

Eine wichtige Feststellung kann uns in der Mineralogie, besonders der Tonminerale und ihrer Vorstufen hoffentlich weiterhelfen. Silizium ist nach Sauerstoff das wichtigste Element und gerade weil es so häufig ist, wurde es oft bei der Betrachtung vernachlässigt. Nun zeigt sich, dass oft in den Böden mehr Kieselsäure umverteilt wird, als bei allen anderen Stoffe zusammen. Dieses muss doch ein Fingerprint, auch im Mineralbestand hinterlassen. Ein solcher Fingerprint ergibt sich möglicherweise aus der isotopischen Fraktionierung des Siliciums bei Auflösung und Fällung (Basile-Doelsch et al., 2005). Bei der Auflösung werden gesetzmäßig die schwereren Siliciumatome bevorzugt, so dass die Zusammensetzung mit der Zeit schwerer wird, während umgekehrt, bei der Fällung sie wieder leichter werden. Deshalb sind in terrestrischen Böden die Siliciumsignale leichter als in marinen Bedingungen. Eine Verfeinerung müsste auch Informationen über Sickerwasser- oder Grundwasserbedingungen bei der Kieselsäureanreicherung erlauben (Abb. 5).

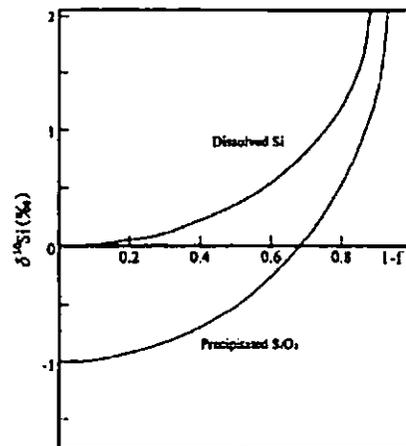


Abb. 5: Kinetik der Silizium-Isotop Fraktionierung bei Lösung und Fällung (nach Li et al. 1995)

Als Fazit bleibt also, nutzen wir das Methodenspektrum, was uns zur Verfügung steht und versuchen wir es zu erweitern. Gehen wir die vielen Geheimnisse, die der Mineralbestand unserer Böden noch birgt an und versuchen wir dabei, Lösungen für praktische Probleme und für das Verständnis der Bodenentwicklung anzubieten. So gesehen hat Bodenmineralogie auf jeden Fall eine Zukunft.

#### Literatur

Basile-Doelsch, I., Meunier, J.D. und Parron, C. (2005): Another continental pool in the terrestrial silicon cycle. – *Nature* Vol, 433, p. 399-402.  
 Kallis, P. (2002): Tertiäre Bodenbildung am nördlichen Rand des südwestdeutschen Molassebeckens (Schwäb. Ostalb), *Hoh. Bod. Hefte* 60, 281.S.  
 Meunier, A. (2006): Why are clay minerals small?, *Clay Minerals*, 41, p. 551-567.  
 Singer, A., K. Stahr und M. Zarei (1998): Characteristics and origin of sepiolite (Meerschaum) from Central Somalia. *Clay Minerals*, 33, 349-362.  
 Stahr, K., Kühn, J., Trommler, J., Papenfuß, K.H., Zarei, M. und Singer, A. (2000): Palygorskite-cement crusts (palycretts) in Southern Portugal. – *Austr. J. Soil Res.* 38, 269-188.

\* Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortlehre

\*\* Hebrew University of Jerusalem, Rehovot

# Optimierung der Extraktion amorpher Kieselsäure aus Böden und Prüfung mittels REM und EDX

Christine Stein, Daniela Sauer, Mehdi Zarei,  
Karl Stahr

## 1. Einleitung

Silizium ist das zweithäufigste Element der Erdkruste. Es ist in den meisten gesteinsbildenden Mineralen enthalten. Ebenso kommt es im Laborglas und beispielsweise in Spülmitteln für Laborspülmaschinen vor. Die Arbeit zur Kieselsäureextraktion erfordert deshalb spezielle Vorgehensweisen, welche diese Besonderheiten berücksichtigen.

## 2. Problemstellung

Primäre Silikate, sekundäre Minerale, amorphe und mikrokristalline Ausscheidungen von Kieselsäure liegen meist gleichzeitig und in unklaren Mischungsverhältnissen im Boden vor. Bei einer Extraktion werden alle Teile gleichzeitig in unterschiedlichem Maße angegriffen. Eine Trennung der amorphen Kieselsäure von anderen Kieselsäure-Fractionen im Boden mittels Extraktion ist daher nur rechnerisch durch die Verwendung von Zeitreihen möglich.

Bisher sind etwa 10 Methoden zur Extraktion amorpher Kieselsäure aus aquatischen

Sedimenten und Boden in der Literatur beschrieben (SAUER ET AL., 2006). In allen Fällen wird über unterschiedliche Zeiträume bei 80 bis 150°C extrahiert. Einige der Extraktionen erscheinen chemisch (Extraktionsmittel) oder mechanisch (permanentes Schütteln) sehr aggressiv. Bislang wird der rechnerische Ansatz mittels Zeitreihen nur in der marinen Sedimentologie zur Quantifizierung von Diatomeen benutzt (Abb. 1).

## 3. Material und Methoden

Aus einem Probenkollektiv aus Durisols und Endoduric Acrisols Süd-Portugals wurden nach ersten Vorversuchen möglichst unterschiedliche Proben ausgewählt. An diesen wurde eine Zeitreihen-Extraktion mit bis zu 11 Zeitschritten von 10 min bis zu 24 h durchgeführt. Bei einer Temperatur von 85°C wurde jeweils mit 5 verschiedenen Extraktionsmitteln gearbeitet. Aufgrund der Literaturangaben wurden 1%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 0.1 M Tiron und 0.5 M NaOH ausgewählt, zusätzlich wurden 0.2 M und 0.1 M NaOH verwendet.

Zur Kalkulation der Ergebnisse wird angenommen, dass Tonminerale und primäre Silikate von Beginn der Extraktion an mit relativ gleichmäßiger Geschwindigkeit gelöst werden. Die schlecht kristallinen und amorphen Kieselsäureformen werden hingegen deutlich schneller aufgelöst. Dadurch ergibt sich nach Auflösung der schwach kristallinen Fractionen eine Abflachung der Zeitkurve (Abb. 1). Wird der lineare Bereich nach diesem Knick bis zum Zeitpunkt 0 zurück extrapoliert, erhält man den Anteil an amorph oder schlecht kristallin gebundenem Si in der Probe.

## 4. Ergebnisse und Kontrolle der Extraktionen

Die Extraktionskurve mit Tiron zeigt den Knick und anschließenden linearen Anstieg am deutlichsten (Abb. 2). Allerdings kommt Tiron aufgrund der hohen Kosten von ca. 50 € pro Probe nicht als Standard-Extraktionsmittel in Betracht. Die Ergebnisse aus dieser Extraktion wurden jedoch als Maßstab zur Bewertung der anderen Extraktionen herangezogen. Für die hier dargestellte Probe lag der kalkulierte Gehalt an Si aus amorpher und schlecht kristallisierter Kieselsäure bei  $1,95 \text{ g kg}^{-1}$  Boden.

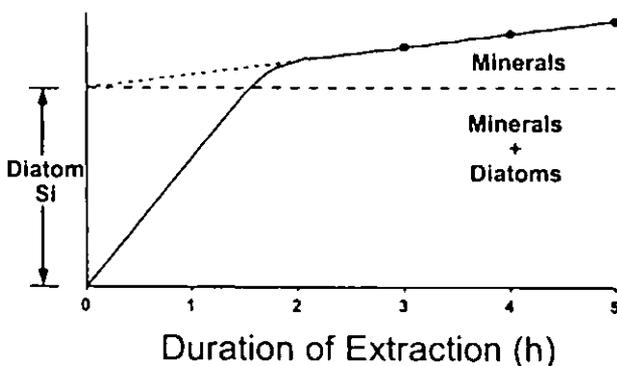


Abbildung 1: Zeitreihe zur Trennung von Si aus amorpher Kieselsäure (Bioopal) und Silikaten (DEMASTER, 1981).

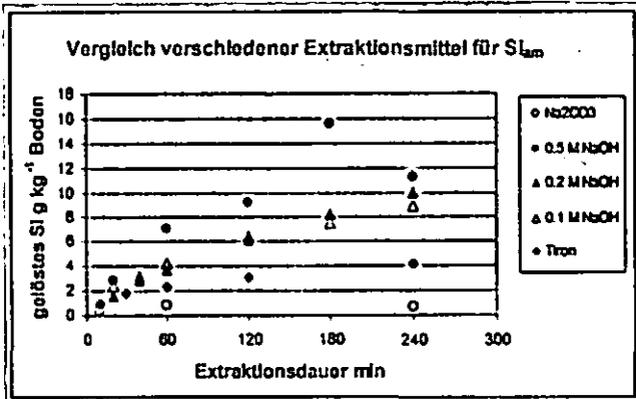


Abbildung 2: Vergleich der Zeitreihen aus der Extraktion mit 5 verschiedenen Extraktionsmitteln am Beispiel einer Probe

Die ähnlichsten Ergebnisse lieferte die Extrapolation der mit 0.2 M NaOH erzielten Werte. Im Falle dieser Probe betrug der errechnete Gehalt 2,24 g kg<sup>-1</sup> Boden. Die Werte der Extraktion mit 0.2 M NaOH erwiesen sich bei allen Proben als exakter im Vergleich zu den Werten aus der Extraktion mit 0.1 M NaOH. Die lineare Regression wies bei 0.2 M NaOH ein durchweg höheres Bestimmtheitsmaß auf als bei 0.1 M NaOH.

Die Behandlung der Proben mit 0.5 M NaOH war zu aggressiv, um die Abflachung des Anstiegs zuverlässig und probenunabhängig zu finden. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> löste auch nach mehreren Stunden noch nicht die aus der Tiron-Extraktionskurve kalkulierte Menge an amorpher Kieselsäure.

Die Kontrolle der Extraktionen erfolgte mittels REM und EDX. Abbildung 3 a) und 3 b) zeigt die noch unbehandelte Probe mit starken Verkrustungen.



Abbildung 3: REM-Aufnahmen (M. Zarei). a) Unbehandelte Probe, b) Ausschnitt aus a), q = Quarzkorn, am = Kieselsäureverkrustung; c) Probe nach 60 min Extraktion mit 0.5 M NaOH bei 85°C; d) Probe nach 60 min Extraktion mit 0.5 M NaOH bei 85°C.

Durch die Analyse mit EDX ließen sich Quarz (q) und amorphe Si- und Al-reiche Präzipitate (am) unterscheiden. Nach 60 min Extraktion mit 0.5 M NaOH waren die verbleibenden Quarzkörner weitgehend frei von Verkrustungen (Abb. 3 c). Am Bildrand sind angelöste Primärminerale erkennbar.

Ähnliche Auflösungserscheinungen zeigten sich auch schon nach 60 min Extraktion mit 0.2 M NaOH. Abbildung 3 d) zeigt einen angelösten Feldspat nach dieser Behandlung.

Die Zusammensetzung des 0.5 M NaOH-Extrakts nach 60 min war der mittels EDX gemessenen Zusammensetzung der amorphen Verkrustung sehr ähnlich. Beide enthielten mehr als 50 % Si, etwas weniger Al und lediglich Spuren von Fe. Alle NaOH-Extrakte wiesen jedoch nach 60 min bereits Si-Gehalte auf, die deutlich über dem errechneten Wert für die amorphe Fraktion lagen (Abb. 2).

#### 5. Fazit aus den bisherigen Ergebnissen

Bisher in der Bodenkunde verwendete Ansätze mit nur einer Extraktion zur Bestimmung des Si aus amorpher Kieselsäure (SAUER ET AL., 2006) sind im Licht der vorliegenden Ergebnisse als zu ungenau zu bewerten. Die Zeitreihen-Extraktion mit Tiron ermöglicht eine optimale Abgrenzung des Si aus amorphen Kieselsäurefraktionen gegenüber silikatisch vorliegendem Si. Aufgrund der hohen Kosten wird als bestmögliche Alternative die Extraktion mit 0.2 M NaOH vorgeschlagen.

#### Literatur

- DEMASTER, D.J. (1981): *The supply and accumulation of silica in the marine environment*. In: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Jg. 45, Nr. 10, S. 1715–1732.
- SAUER, D.; SACCONI, L.; CONLEY, D. J.; HERRMANN, L. ET AL. (2006): *Review of methodologies for extracting plant-available and amorphous Si from soils and aquatic sediments*. In: *Biogeochemistry*, Jg. 80, Nr. 1, S. 89–108.

# Veränderung der organischen Bodensubstanz nach Aufforstungen brasilianischer Grasländer mit *Pinus spp.*

M. Wiesmeier<sup>1</sup>, C. Rumpel<sup>2</sup>, A. Hilscher<sup>1</sup>,  
D. Dick<sup>3</sup>, H. Knicker<sup>1</sup>

## 1. Einleitung

Die Grasländer der „Campos“-Region in Südamerika stehen unter einem hohen Nutzungsdruck und gehören mit zu den am meisten gefährdeten Ökosystemen weltweit. Von etwa 14,1 Millionen ha im Jahr 1970 sank die Ausdehnung des Campos auf 10,5 Millionen ha im Jahr 1996. Die Ursachen der Zerstörung dieses Ökosystems sind neben Überweidung vor allem die Umwandlung zu land- und forstwirtschaftlichen Nutzflächen, wobei neben dem Sojaanbau die Aufforstung mit schnellwüchsigen Plantagenwäldern aus *Eucalyptus spp.* und *Pinus spp.* flächenmäßig am bedeutsamsten sind.

Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss von Aufforstungen mit *Pinus spp.* auf Gehalt und Zusammensetzung der organischen Bodensubstanz in südbrasilianischen Grasländern festzustellen. Neben der Bestimmung der C- und N-Gehalte, sowie der Ligninabbauprodukte und dem Anteil an pyrogenem Kohlenstoff wurde eine Analyse der stabilen C-Isotopenverhältnisse durchgeführt. Die chemische Charakterisierung erfolgte mittels der <sup>13</sup>C-NMR-Spektroskopie.

## 2. Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden im Hochland im Norden des Bundesstaates Rio Grande do Sul, Südbrasilien, durchgeführt. Bei den Böden handelt es sich um *Humic Leptosole* (WRB, 2006), die sich unter natürlichem Grasland befinden, das vorwiegend aus C4-Gräsern gebildet wird.

Der A-Horizont eines beweideten Graslands (B5, B6) sowie von 8-jährigen (B15, B16) und 30-jährigen (B12, B13) Aufforstungsflächen mit *Pinus spp.* wurde in Tiefen von 0-5, 5-10, 10-15,

15-25(30) und >25(30) cm beprobt. Das Material wurde getrocknet und gesiebt (2mm).

Die C/N-Gehalte und <sup>13</sup>C-Isotopenbestimmung wurde an einem CHN Auto-Analyser NA 1500 (Carlo Elba) durchgeführt. Die Identifizierung von Ligninderivaten erfolgte nach Oxidation mit CuO/NaOH bei 172°C für 6 h (HEDGES & ERTEL, 1982) mittels Gaschromatographie (HP 6890 mit einer SGE BPX-5-Säule).

Nach Demineralisierung mit 10% Flusssäure (HF) wurden die Proben mittels Festkörper-CPMAS-<sup>13</sup>C-NMR-Spektroskopie untersucht. Die Analyse erfolgte an einem Bruker DSX 200 bei einer Rotationsgeschwindigkeit von 6.8 kHz und einer Pulsverzögerung von 300 ms. Je Spektrum wurden 5000 - 300000 Einzelmessungen vorgenommen. Die Quantifizierung erfolgte durch Integration von chemischen Verschiebungsbereichen unter Berücksichtigung von Rotationsseitenbanden.

Die Bestimmung von pyrogenem Kohlenstoff (PyOM) (KNICKER et al., 2007) wurde an HF-behandeltem Probenmaterial durchgeführt. Mit Hilfe einer chemische Oxidation mit 0.1M K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> / 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bei 60°C im Ultraschallbad für 6 h wurde der Anteil an „chemical oxidation resistant elemental carbon“ (COREC) bestimmt. Der PyOM-Nachweis erfolgte über Bestimmung des aromatischen C-Anteils von COREC mittels Festphasen-<sup>13</sup>C-NMR-Spektroskopie

## 3. Ergebnisse und Diskussion

### C/N-Gehalte

In allen Bodentiefen zeigten die Graslandstandorte höhere C-Gehalte als die Kiefernflächen (Abb. 1). Im Durchschnitt wurden für die Standorte mit 8-jährigem Kiefern bewuchs um ca. 25% und für die 30-jährigen Standorte um ca. 29% höhere C-Konzentrationen festgestellt.

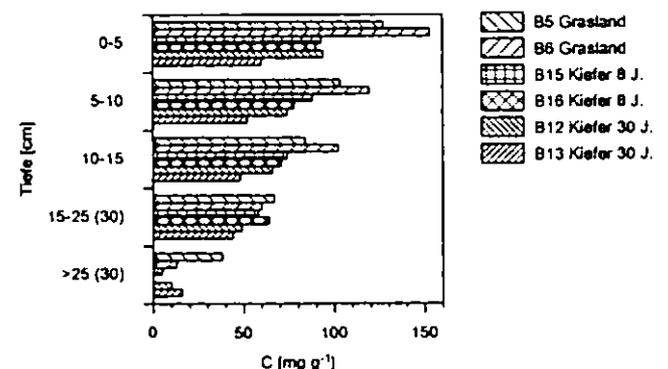


Abb. 1: C-Gehalte der Tiefenstufen aller Standorte.

Bei den N-Gehalten zeigen sich um ca. 29% (8-jährige Standorte) bzw. um ca. 46% (30-jährige

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Bodenkunde, Technische Universität München, 85350 Freising-Weihenstephan, Deutschland

<sup>2</sup> CNRS, Laboratoire de Biogéochimie des Milieux Continentaux, Centre INRA Versailles-Grignon, Batiment EGER, 78850 Thiverval-Grignon, Frankreich

<sup>3</sup> Instituto de Química, UFRGS, Avenida Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasilien

Standorte) niedrigere Werte gegenüber den Graslandstandorten.

In den obersten 10 cm der 30-jährigen Aufforstungen wurden im Vergleich zu den Graslandböden weitere C/N-Verhältnisse von ca. 20:1 festgestellt. Dies lässt sich mit dem Eintrag von Kiefernstreu (C/N 120:1) erklären.

$\delta^{13}C$ -Werte und Ligninabbauprodukte nach CuO-Oxidation

Bei der Bestimmung der C-Isotopensignatur zeigte sich ein deutlicher Unterschied zwischen der Nadelstreu (C3) mit einem  $\delta^{13}C$ -Wert von -29,3‰ und der org. Bodensubstanz (C4) mit  $\delta^{13}C$ -Werten von -13,4 – -18,7‰. Im Vergleich zum Boden unter Grasland konnte für die Flächen nach 8-jähriger Aufforstung keine Veränderung der  $\delta^{13}C$ -Werte festgestellt werden. Erst nach 30 Jahren war eine Abnahme des  $\delta^{13}C$ -Werts um 2,1 – 4,7‰ in den obersten 10 cm des Bodens erkennbar, was auf die C3-Isotopensignatur der Kiefernadeln hinweist.

Diese Beobachtung wird durch die starke Abnahme des Syringyl- zu Vanillylphenol-Verhältnisses (S/V) in den obersten 10 cm der 30-jährigen Kiefernflächen bekräftigt (Abb. 2).

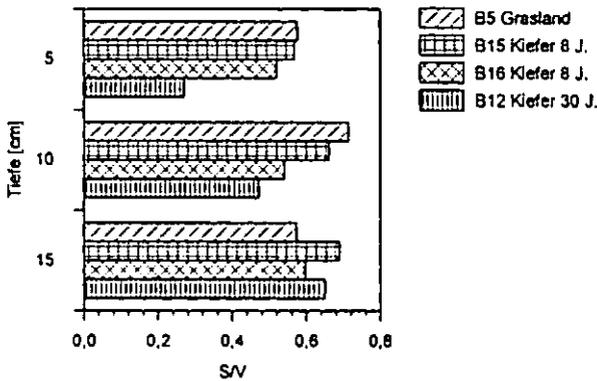


Abb.2: Verhältnis der Syringyl- zu Vanillyleinheiten (S/V)

Da Lignin in Kiefern kaum Syringyleinheiten aufweist, deutet das erhöhte Säure/Aldehyd-Verhältnis (Ac/Al)<sub>S</sub> dieses Monomers in den obersten 5 cm der 30-jährigen Standorte auf eine relative Anreicherung von oxidiertem Graslignin durch fehlenden Eintrag frischer Grasstreu. Die 8-jährigen Kiefernflächen wiesen keine Veränderungen der Ligninabbauprodukte auf.

$^{13}C$ -NMR-Spektroskopie und PyOM

Für die 30-jährigen, nicht aber für die 8-jährigen Flächen zeigte die NMR-Spektroskopie (Abb. 3) eine relative Zunahme an Alkyl-C und Aryl-C im Bereich von 0 – 10 cm. Dies kann mit einer Zunahme des Abbaugrads des organischen Bodenmaterials durch den geringeren Streueintrag nach Aufforstung gedeutet werden.

Eine Zunahme von Aryl-C mit der Bodentiefe bei allen Standorten kann mit einer Anreicherung aromatischer PyOM erklärt werden. Dies wurde mittels saurer Oxidation mit K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> bestätigt, die eine Zunahme dieser Komponenten von durchschnittlich 4,8% bei 0 – 5 cm auf 8,7% bei 15 – 25 cm ergab.

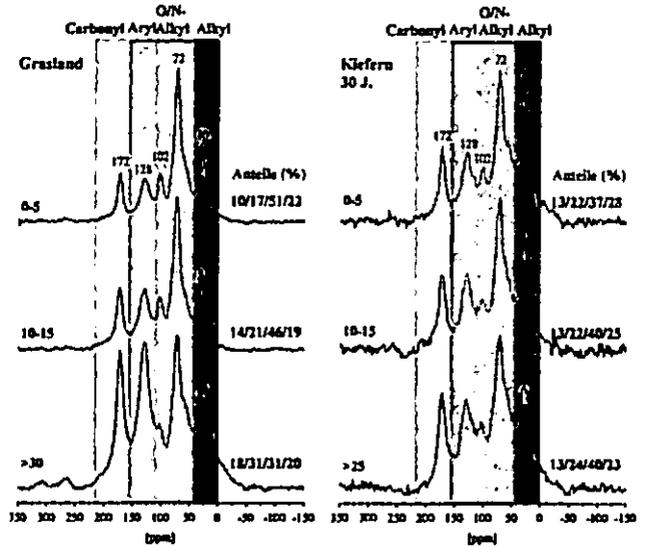


Abb.3:  $^{13}C$ -NMR-Spektren der Böden unter Grasland und der 30-jährigen Kiefernfläche als Funktion der Tiefe und die  $^{13}C$ -Intensitätsverteilung.

4. Zusammenfassung

Das mit den Aufforstungen einhergehende Ausbleiben von Bränden verringert deutlich die C- und N-Vorräte im Boden da die mit den Bränden verbundene jährliche Neubildung von Gräsern und Kräutern unterbunden wird. Darüber hinaus kommt es durch den Eintrag von Kiefernstreu bei den 30-jährigen Standorten zu einer Veränderung der chem. Zusammensetzung in den obersten 10 cm des Bodens mit einem fortgeschrittenen Abbaugrad der OS.

Durch Verlagerungsprozesse könnte es zur beobachteten Akkumulation von PyOM in tieferen Bereichen von 15 – 30 cm kommen.

Die Aufforstungen können sich langfristig negativ auf den jeweiligen Standort auswirken, da durch die C- und N-Verarmung die Nährstoffversorgung herabgesetzt ist. Außerdem wird der globale C-Kreislauf beeinflusst da weniger C in den Böden gespeichert wird.

Literatur:

KNICKER, H., MÜLLER, P., HILSCHER, A., 2007: How useful is chemical oxidation with dichromate for the determination of "Black Carbon" in fire-affected soils? Accepted.

HEDGES, J. I., ERTEL, J. R., 1982: Characterisation of Lignin by Gas Capillary Chromatography of Cupric Oxide Oxidation Products. Analytical Chemistry, 54 (2), 174-178.

WRB (IUSS Working Group WRB), 2006: World reference base for soil resources 2006. World Soil Resources Reports No.103, FAO, Rome.

**MITTEILUNGEN**  
**DER**  
**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN**  
**GESELLSCHAFT**

**Referate, Poster Kommission VIII**

Band 110

Heft 2

2007



## Die Anreicherung organischer Substanz im Boden durch veränderte Bodenbearbeitung im globalen Kontext (Ergebnisse einer Literaturrecherche)

Adam-Schumm, K.<sup>1</sup>, Billen, N.<sup>1</sup> und Stahr, K.<sup>1</sup>

### Ziel:

Ziel der Literaturrecherche war es, aktuelle Erhebungen in Baden-Württemberg (2004/2005) zu Vorratsänderungen von organischer Substanz in Böden, bedingt durch eine veränderte Nutzung mit anderen Langzeituntersuchungen zu vergleichen.

### Methode:

Es wurden nur Vergleichspaare aus der Literatur verwendet, die eine konventionelle Bodenbearbeitung, d.h. eine wendende Bodenbearbeitung mit Pflug als Referenzvariante beinhalten. Bei Recherche wurde der Schwerpunkt auf reduzierte Bodenbearbeitung im Sinne von nicht wendender Bodenbearbeitung und der Etablierung von Grünland und begrünten Brachen gelegt. Die zahlreichen Veröffentlichungen zum Ackerbau mit Direktsaat, also gänzlich ohne Bodenbearbeitung („No Tillage“) wurde nur begleitend recherchiert.

Aus 60 Quellen erfolgte die Auswertung mit 234 Vergleichspaaren, welche zusammen mit den aktuellen 33 Datensätzen aus Baden-Württemberg (2004/2005) ausgewertet wurden. Die Daten wurden nach Beprobungstiefe (0-10 und 0-20 cm Tiefe) und Information der Kohlenstoffgehalte (Angaben nur in Konzentration ohne Lagerungsdichte bzw. Massenangabe) organisiert und angepasst. Eine Auswertung in größere Tiefen hätte den Datenpool erheblich reduziert. Die Differenz von organischem Kohlenstoff (in % oder  $t\ C\ ha^{-1}$ ) zwischen konventioneller Bodenbearbeitung und reduzierter / keiner Bodenbearbeitung wurde wie folgt berechnet:

$$C_{\text{reduziert}} - C_{\text{pflug}} = C_{\text{veränderung}}$$

### Ergebnisse:

Die Zeit als abhängige Einflussgröße für die  $C_{\text{org}}$ -Anreicherung ist mittels Regressionsanalyse lediglich für das Grünland belegbar (Tab. 1). Für die Varianten reduzierte Bodenbearbeitung und Direktsaat ist keine Abhängigkeit zwischen  $C$ -Anreicherung und Nutzungsdauer nachzuweisen.

Die Differenzen der Paare ergaben häufig negative Werte (Abb.1 –3). Es erfolgte nach Nutzungsumstellung Abreicherung der organischen Substanz. Die möglichen Gründe sind auch kombinierbar:

- Klimawärmung
- Nutzungsgeschichte (ehemals Grünland)
- Einmalige Beprobung der Lagerungsdichte
- Einmalige Beprobung der Pflugvariante

Tab. 1: Kohlenstoffanreicherung in Abhängigkeit von Nutzungsdauer

Nutzungsänderung/ Umnutzung	n <sup>1</sup>	Tiefe <sup>^</sup> [cm]	Dauer <sup>°</sup> [a]	Differenz Ackerbau (konventionell) und Umnutzung in Abb. von Zeit	r <sup>2</sup>
$C_{\text{org}}$ [%]	24	10	9	$y = 0,02x + 0,14$	0,35
			25	20	14
Direktsaat	13	10	12	$y = 0,03x - 0,09$	0,41
			19	20	12
Grünland	20	20	9	$y = 0,07x - 0,19$	0,94
$C_{\text{org}}$ [ $t\ C\ ha^{-1}$ ]	27	10	10	$y = 0,23x + 0,18$	0,54
			66	20	13
Direktsaat	30	10	12	$y = 0,48x - 0,08$	0,63
			34	20	15
Grünland	10	10	6	$y = 1,47x - 5,06$	0,90
	45	20	8	$y = 0,39x + 1,64$	0,63

<sup>1</sup> Anzahl der Paarungen; <sup>^</sup> Daten berechnet in Bodentiefe; <sup>°</sup> gemittelte Dauer der Umnutzung; ° x: Dauer der Umnutzung [a], y Differenz konventionelle Ackerbau und Umnutzung

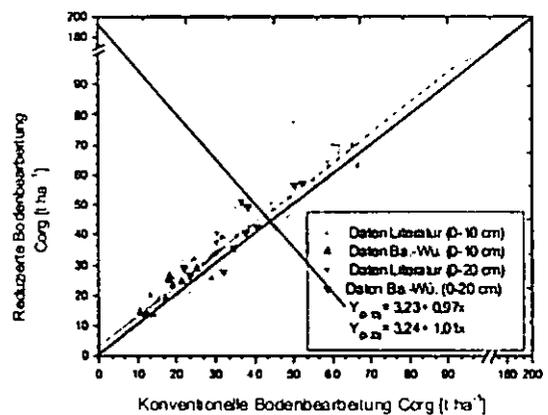


Abb. 1: Konventionelle Bodenbearbeitung im Vergleich zu reduzierter Bodenbearbeitung in den Tiefen 0-10 und 0-20 cm

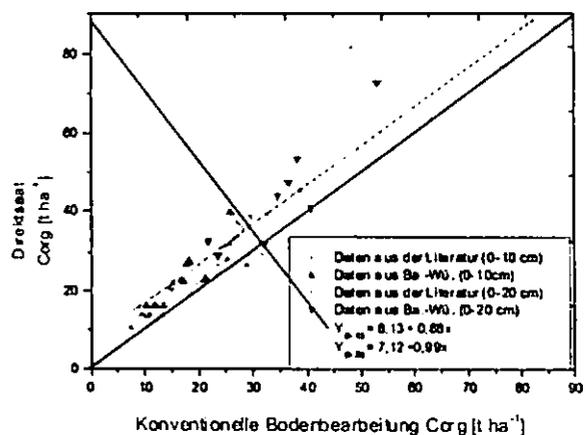


Abb. 2: Konventionelle Bodenbearbeitung im Vergleich zu Ackerbau ohne Bodenbearbeitung in den Tiefen 0-10 und 0-20 cm

<sup>1</sup> Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, Emil-Wolff-Str. 27, D-70599 Stuttgart

Tab. 2: Kohlenstoffanreicherung in Abhängigkeit von Nutzungsintensität

Nutzungs- Änderung/ Umnutzung	n <sup>1</sup>	Tiefe <sup>2</sup> [cm]	Dauer <sup>3</sup> [a]	Mittlere	Lineare Regression zw.	r <sup>2</sup>	Mittlere jährliche
				Zunahme	Ackerbau (konventionell)		Anreicherung
				C <sub>org</sub> -Boden <sup>4</sup>	und Umnutzung		C <sub>org</sub> -Boden <sup>5</sup>
				C [%]			C [%]
Reduziert	24	10	9	0,28 ± 0,07	y = 0,97x + 3,23	0,97	0,30 ± 0,08
	25	20	14	0,17 ± 0,05	y = 1,14x	0,98	0,12 ± 0,03
Direktsaat	13	10	12	0,40 ± 0,15	y = 1,03x - 0,07	0,93	0,35 ± 0,13
	19	20	12	0,20 ± 0,12	y = 0,99x + 1,23	0,82	0,17 ± 0,10
Grünland	20	20	9	0,42 ± 0,23	y = 1,13x + 0,10	0,74	0,46 ± 0,25
				t C ha <sup>-1</sup>			g C m <sup>-2</sup>
Reduziert	27	10	10	2,63 ± 0,94	y = 0,97x + 3,23	0,93	25,08 ± 8,98
	66	20	13	3,62 ± 1,17	y = 1,01x + 3,24	0,97	27,18 ± 8,82
Direktsaat	30	10	12	5,83 ± 1,78	y = 0,88x + 8,13	0,74	47,00 ± 14,35
	34	20	15	7,18 ± 2,51	y = 0,99x + 7,12	0,91	48,42 ± 16,92
Grünland	10	10	6	3,61 ± 3,17	y = 0,78x + 8,75	0,74	61,12 ± 53,65
	45	20	8	4,65 ± 1,50	y = 1,01x + 3,23	0,98	59,59 ± 19,27

<sup>1</sup> Anzahl der Paarungen; <sup>2</sup> berechnet in Bodentiefe; <sup>3</sup> gemittelte Dauer der Umnutzung; <sup>4</sup> ausgehend vom Referenzwert/konventionelle Bodenbearbeitung; <sup>5</sup> x: C<sub>org</sub>-Gehalte konventionelle Bodenbearbeitung, y: Umnutzung pro Einheit; <sup>6</sup> Mittlere Zunahme C<sub>org</sub> (gegenüber konventionelle Bodenbearbeitung) dividiert durch mittlere Dauer

Tab. 3: Vergleich der mittlere C<sub>org</sub> Anreicherung zwischen Daten der Literatur und aktueller Erhebung in Baden-Württemberg

Nutzungs- änderung/ Umnutzung	Tiefe <sup>1</sup> [cm]	Daten aus Literaturlauswertung		Mittlere Zunahme C <sub>org</sub> -Boden t C ha <sup>-1</sup>	Daten aus Baden-Württemberg 2004/2005		Mittlere Zunahme C <sub>org</sub> -Boden t C ha <sup>-1</sup>
		n <sup>2</sup>	Dauer <sup>3</sup> [a]		n <sup>2</sup>	Dauer <sup>3</sup> [a]	
Reduziert	10	27	10	2,63	12	11	2,12
	20	66	13	3,62	12	11	4,34
Direktsaat	10	30	12	5,83	8	10	6,40
	20	34	15	7,18	8	10	8,90
Grünland	20	45	8	4,65	3	11	13,41

<sup>1</sup> Anzahl der Paarungen; <sup>2</sup> Daten berechnet in Bodentiefe; <sup>3</sup> gemittelte Dauer der Umnutzung

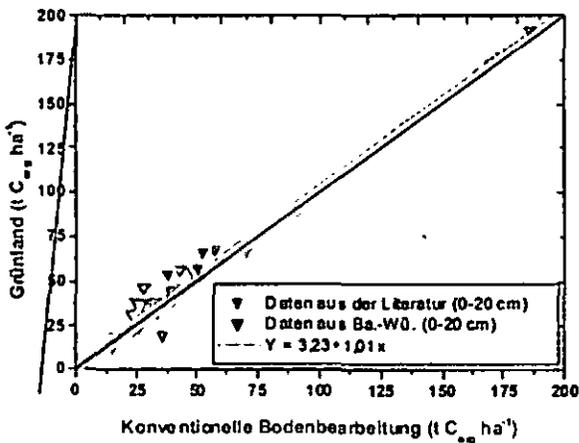


Abb. 3: Konventionelle Bodenbearbeitung im Vergleich zu Grünland in den Tiefen 0-20 cm

Im Vergleich der Mittelwerte der C<sub>org</sub>- Gehalte zwischen konventionellem Ackerbau und jeweiliger Umnutzung wurde für alle Paarungen ein hochsignifikanter (P < 0,1%) Unterschied festgestellt (Tab. 2). Die mittlere C<sub>org</sub>- Zunahme ist bei der Direktsaat (Tiefe 0-20 cm) mit 7,18 t ha<sup>-1</sup> am höchsten, gefolgt vom Grünland (4,65 t ha<sup>-1</sup>) und der Variante reduzierte Bodenbearbeitung (3,62 t ha<sup>-1</sup>).

Die Daten zur C-Anreicherung Baden-Württembergs sind Bestandteil der „globalen“ Auswertung. Im Vergleich der mittleren Differenz (C<sub>org</sub>-Anreicherung) liegen die aktuellen Erhebungen in Baden-Württemberg bei reduzierter Bodenbearbeitung und Direktsaat mäßig sowie bei Grünlandetablierung erheblich über dem Durchschnitt der globalen Auswertung.

**Schlussfolgerung:**

Änderung des Flächenmanagements kann zu starker Kohlenstoffsequestrierung führen. Dieses Ergebnis aus Baden-Württemberg konnte bei einer globalen Gegenüberstellung nur teilweise bestätigt werden. Die Begründung ist in den günstigen Standort- und Klimabedingungen und/oder in der Nutzungsgeschichte in Südwestdeutschland zu suchen.

**Literatur<sup>2</sup>:**

Angenendt, E., Billen, N., Gaiser, T., Triebe, S., Stahr, K., Zeddies, J. (2007): Bewertung von Strategien zur Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der landwirtschaftlichen Nutzung in Baden-Württemberg. Endbericht zum BWplus-Vorhaben BWK 24001. 167 S.

<sup>2</sup> (Gesamtlste kann bei den Autoren angefragt werden)

**Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus zur Biogaserzeugung auf die Humuswirtschaft**

Christian Ahl, Marco Lange und Sören Henke

1. Einleitung

Das Versuchsgut Relliehausen der Univ. Göttingen hat seit Okt. 2006 eine 230 kW Biogasanlage in betrieb genommen. Die Substratzufuhr besteht aus wirtschaftseigenem Dünger und Silomais. Auf dem Schlag „Burggraben“, eine pseudovergleyte Parabraunerde aus Löß über Buntsandstein (sm2), soll Mais im Daueranbau für die Biogasanlage angebaut werden. Die Auswirkungen der Monokultur „Energimais“ auf den Humushaushalt werden überprüft (Henke 2007 u. Lange 2006).

2. Material u. Methoden

Standort: 180 m üNN, 750 mm Niederschlag, 8,2 °C (langjähriges Mittel), Korngrößenverteilung: 3,4 % Sand, 81,8 % Schluff, 14,8 % Ton.

Die Beprobung erfolgte in einem 50 m x 25 m Raster an 74 Punkten auf dem 15 ha großen Schlag. Die Kohlenstoffgehalte wurden im C/N-Gaschromatographen gemessen.

Drei Varianten werden als zukünftige Fruchtfolgen des Energiepflanzenanbaus angenommen:

- a) Mais
- b) Mais und Zwischenfruchtbau
- c) Mais und Roggen als GPS

Die Daten zur Humuszehrung und Humusmehrung der Varianten wurden der DirektZahlVerpflV (KÖRSCHENS et al. 2004) und KOLBE u. PRUTZER (2004) entnommen. Die auszubringende Gärrestmenge richtet sich nach den Restriktionen der Düngeverordnung (DüV 2006).

3. Ergebnisse

Der Standort wurde nach KOLBE u. PRUTZER (2004) in die Standortgruppe 6: Lehm (Feinanteile zwischen 22 und 27 %) eingestuft, die sich daraus ergebenden Humusreproduktionskoeffizienten wurden in eine 10-jährige Abschätzung der Humusveränderungen übernommen.

Tab. 1: Humusvariationen in der Fläche

Klasse	% C	% Humus	% der Fläche
1	0,95	1,64	2,7
2	1,06	1,83	12,1
3	1,15	1,99	29,7
4	1,24	2,13	32,4
5	1,33	2,29	23
Mittel	1,20	2,08	100

Die Klasseneinteilungen ist in äquidistant mit 0,1 % vorgenommen worden.

Die Humuszehrung beträgt lt. KOLBE 700 kg Humus-C/ha pro Maisanbaujahr, für Roggen-GPS 420 Humus-C/ha, die Zufuhr 220 kg ROS-C/ha für den Zwischenfruchtbau und 243 kg ROS-C/ha für 30 t Gärrest-Ausbringung.

Tab. 2: C-Bilanz 10 Jahre

Ab- und Zufuhr Org. Material	Var. 1	Var. 2	Var. 3
	kg Humus - C/ha		
Energimais	-7000	-7000	-7000
Zwischenfrucht	-	2200	-
Winterroggen	-	-	-4200
Gärrest	+2430	+2430	+2430
Bilanzsaldo	-4570	-2370	-8770
Pro Jahr	-457	-237	-877

Die Verrechnung der C-Zehrung in Humusmengen für die 5 verschiedenen Klassen /Krumentiefe 30 cm und 1,5 g/ccm Trockendichte/ zeigt folgendes:

Tab. 3: Humusmengen nach 10 Jahren Energiepflanzenbau

Klasse	Aktuell	Var. 1	Var. 2	Var. 3
	(kg C <sub>org</sub> /ha)			
1	46000	41000	43300	36900
2	51000	46400	48600	42200
3	55000	51800	53000	46600
4	59000	54800	57000	50600
5	64000	57000	61400	55000
<b>MW</b>	<b>57800</b>	<b>50100</b>	<b>52700</b>	<b>46200</b>

Werden diese Mengen auf die nach Direktzahlverpflichtung vorgegebenen Kohlenstoffmindestwerte bezogen, wird der Wert von 0,87 % C bei höheren Tongehalten als 13 % in der Variante 1 u. 3 für die Klasse 1 unterschritten, in Var. 3 sogar deutlich. Ungewissheiten sind in der Wirkung des Gärrestes auf die ROS an diesem Standort aber vorhanden, da die bisher vorgenommene Einteilung in 6 Standortgruppen die Besonderheiten des Standortes Rellehausen, insbesondere die klimatische Situation, nicht widerspiegelt. Gleiches könnte auch für die Humuszehrung der Fruchtfolge darstellen.

Tab. 4: C-Gehalte nach 10 Jahren Energiepflanzenbau

Klasse	Aktuell	Var. 1	Var. 2	Var. 3
	% C			
1	0,96	0,85	0,9	0,87
2	1,07	0,97	1,01	0,88
3	1,15	1,06	1,10	0,97
4	1,23	1,14	1,18	1,05
5	1,33	1,19	1,28	1,15
<b>MW</b>	<b>1,2</b>	<b>1,04</b>	<b>1,1</b>	<b>0,96</b>

Nach Lange (2006) bewirkt nach Berechnungen des C-Kreislaufes auf der Basis der Erntemengen und des C-Abbaus in der Biogasanlage für die derzeitige Bewirtschaftungsweise und die zukünftige in Hinblick

auf den Humushaushalt die alleinige Gärrestgabe ca. eine 1 t C/ha/a geringere Zufuhr dar (Aktuell: 3,19-4,02 t C/ha/a; Zukunft: 1,99-2,95 t C/ha/a).

### 3. Fazit

- Energiemais – Fruchtfolgen sind humuszehrend
- Gärreste sind noch nicht abschließend in ihrer ROS beurteilt
- Standortspezifische C-Umsetzungen sind zu detaillieren

Empfehlung der UBA-Expertenkommission UBA 2007):

- Landwirtschaftlich erzeugte Biomasse ist so zu produzieren, dass die Böden mittel- und langfristig keine organische Substanz verlieren.

### 4. Literatur:

DüV (2006): Neufassung der Düngeverordnung vom 10. Januar 2006, BGBl Teil 1, Nr. 2, S. 33-43.

Henke (2007): Prognose zur Entwicklung der kleinräumigen Variabilität von Humusgehalten bei einer fortgesetzten Energiemaisfruchtfolge am Standort Rellehausen. – BSc – Arbeit Fakultät für Agrarwissenschaften, Göttingen, 2007

Kolbe, H. und Prutzer, I. (2004): Überprüfung und Anpassung von Bilanzierungs-Modellen für Humus anhand von Langzeitversuchen des Ackerlandes, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, FB Pflanzliche Erzeugnisse, Leipzig

Körschens, M.; Rogalsik, J.; Schulz, E (2004): Humusbilanzierung – Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. – VDLUFA Standpunkt

Lange (2006): Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus zur Biogaserzeugung auf die Humuswirtschaft der Domäne Rellehausen - - BSc – Arbeit Fakultät für Agrarwissenschaften, Göttingen, 2006

UBA (2007): Ableitung von Möglichkeiten und Grenzen der C-Sequestrierung in Böden Deutschlands“ - Experten-Workshop, 21. und 22.05.2007, Berlin

# Langfristeffekte von Winderosion auf leichten Böden Norddeutschlands – Auswirkungen und Ansätze zur ereignisbezogenen Quantifizierung

<sup>1</sup>Michaela Bach, <sup>1</sup>Rainer Duttmann

## 1 Einleitung

Im europäischen Vergleich kann die Winderosionsgefährdung in Deutschland als eher gering bezeichnet werden. Wie zu erwarten, lassen sich die Gefährdungsschwerpunkte einerseits in der Region um das Schwarze Meer verorten. Andererseits bildet die Insel Island im Nordatlantik den zweiten kontinentalen Gefährdungsschwerpunkt.

Wenngleich das Winderosionsgeschehen im kontinentalen, wie im übrigen auch im globalen Vergleich, als gering zu bezeichnen ist, so kam es in der Vergangenheit und kommt es heute nach wie vor immer wieder zu teils schweren Erosionsereignissen durch Wind auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland.

Aktuelle Übersichtsdarstellungen verdeutlichen, dass insbesondere die leichten Böden Norddeutschlands im nationalen Vergleich die am stärksten durch die Bodenerosion durch Wind betroffene Teilregion darstellen (Boardman & Poesen 2006).

Die Effekte der Bodenerosion lassen sich räumlich in on-site und off-site Wirkungen, sowie zeitlich in kurzfristig-begrenzte und langfristige Schäden unterteilen. Auswehung von Feinboden und organischer Substanz und eine allgemeine Degradation der Bodenstruktur führen langfristig zu einer Abnahme von Bodenfruchtbarkeit und Standortproduktivität, sowie einer Beeinträchtigung des Bodenwasserhaushaltes.

## 2 Material und Methoden

Das Untersuchungsgebiet Goldelund liegt im Nordwesten des Bundeslandes Schleswig-Holstein zwischen den Städten Flensburg im Nordosten und Husum im Südwesten. Mit seinen 18 km<sup>2</sup> Gesamtfläche ist das Untersuchungsgebiet teil des Naturraums Schleswiger Vorgeest. Innerhalb des Gesamtgebietes wurden drei Intensivuntersuchungsflächen ausgewählt, die hinsichtlich ihrer pedologischen Ausstattung, ihrer Nutzungsgeschichte und aktuellen Bewirtschaftung als repräsentativ für das Gesamtgebiet angesehen werden können.

In den Jahren 2004 bis 2007 wurden auf den Intensivuntersuchungsflächen Großer Maisschlag, BDF 04 und Hochacker jährlich Oberbodenproben in einem 50 x 50 m – Raster entnommen und auf folgende Gehalte hin analysiert: organischer Kohlenstoff, Gesamtstickstoff, pflanzenverfügbare Phosphor, Kalium und Magnesium, sowie Bodenart.

## 3 Ergebnisse

Winderosion führt langfristig gesehen durch bevorzugten Feinsubstanzaustrag zu einer Vergröberung des Oberbodens. Die an den Substanzaustrag gekoppelte Auswehung von organischer Substanz und Nährstoffen trägt zu einer Abnahme der Standortproduktivität bei. Flächen die langjährig diesen Phänomenen ausgesetzt sind, zeigen bezüglich ihrer physikalischen und chemischen Zusammensetzung teilflächenspezifische Heterogenitäten.

Mittels Rasterbeprobung der drei Intensivuntersuchungsflächen und räumlicher Interpolation der Stoffgehalte und Parameter soll der Frage nachgegangen werden, inwiefern sich die geschilderten Auswirkungen langfristiger Winderosion auf landwirtschaftlichen Nutzflächen nachweisen lassen.

Betrachtet man die teilflächenspezifische Abweichung ausgewählter Parameter vom Flächenmittelwert, so ergeben sich folgende Anreicherungs-/ Ab-

---

<sup>1</sup> Geographisches Institut der CAU zu Kiel  
Lehrstuhl für Physische Geographie  
-Landschaftsökologie und Geoinformation-  
bach@geographie.uni-kiel.de

reicherungsverhältnisse wie in Abbildung 1, hier dargestellt am Beispiel der Testfläche BDF 04.

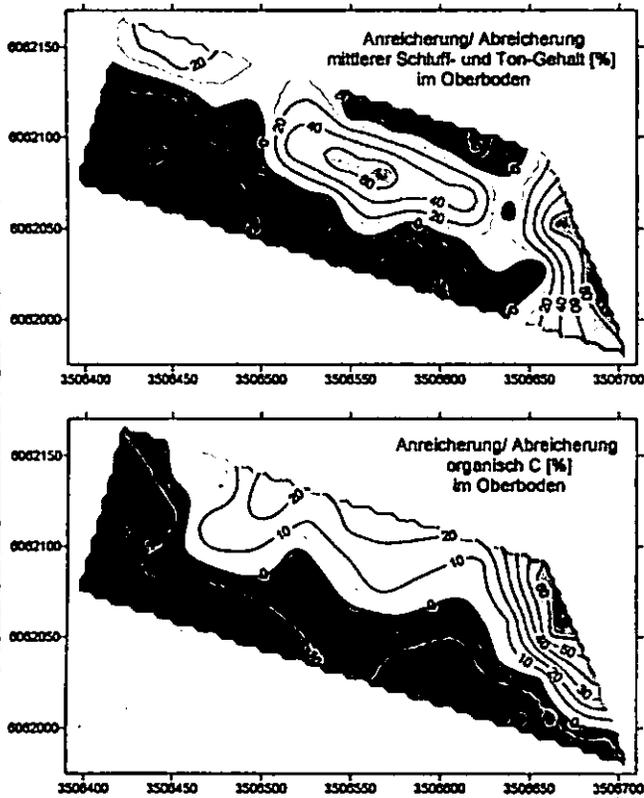


Abbildung 1: Auswirkungen langfristigen Winderosionsgeschehens (BDF 04)

Mit zunehmender Entfernung von der Ostgrenze des Schlags nimmt sowohl der relative Feinsubstanzanteil im Oberboden als auch der Gehalt an organischem Kohlenstoff ab und erreicht sein Minimum an der westlichen bzw. Südwestlichen Feldgrenze. Das sich abbildende Muster steht in engem Zusammenhang mit der Hauptwinderosionsrichtung. Hauptwindrichtung im Untersuchungsgebiet Goldelund ist erwartungsgemäß Westsüdwest, Haupterosionswindrichtung hingegen Ost (Duttmann & Bach 2006). Abbildung 1 verdeutlicht, dass mit zunehmender Windwirklänge der Feinsubstanzgehalt abnimmt und es des weiteren zu einer Abreicherung an organischem Kohlenstoff im Oberboden kommt. Teilflächen mit geringeren relativen Schluff- und Tongehalten sowie Gehalten an organischer Substanz zeigen des weiteren eine hohe räumliche Korrelation mit modellierten Nettoerosionsflächen aus Winderosi-

sionsmodellen. Schadenskartierungen und die Aussagen des bewirtschaftenden Landwirtes bezüglich der flächenspezifischen Hauptauswehungsregionen bestätigen die sich abbildenden Muster.

Ähnliche Muster zeichnen sich auf den anderen Intensivuntersuchungsflächen ab. Ein weniger deutliches Ergebnis zeigt dabei die Fläche Großer Maischlag, hier wird der Einfluss der Bearbeitungsrichtung auf das Winderosionsgeschehen deutlich.

Anhand der Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Winderosion auf landwirtschaftlichen Nutzflächen langfristig zu einer Vergrößerung des Oberbodens durch primären Feinsubstanzaustrag führt. Der hieran gekoppelte Austrag von organischer Substanz und Nährstoffen konnte auf den Intensivuntersuchungsflächen BDF 04 und Hochacker nachgewiesen werden und die sich abzeichnenden Anreicherungs/Abreicherungsmuster in Zusammenhang mit den langfristigen flächeninternen Erosions-/ Akkumulationsmustern gebracht werden.

#### Literatur

- Boardman, J. & J. Poesen (2006): Soil erosion in Europe, Chichester.
- Duttmann, R. & M. Bach (2006): Long-term wind erosion and its impact on soil heterogeneity in sandur plain landscapes in northern Germany. In: Horn, R., H. Fleige, S. Peth & X. Peng (Hrsg.): Soil management for sustainability. *Advances in Geocology*, 38, 309-319.

# Aufklärung abnormer Verläufe von Bodenatmungskurven mit Hilfe von PLFA-Profilen

Bartling, J.<sup>1</sup>, Mai, M.<sup>1</sup>, Kotzerke, A.<sup>1</sup>, Schlöter, M.<sup>2</sup>, Wilke, B.-M.<sup>1</sup>

## Einleitung

Die Messung der Bodenatmung ist eine Methode zur Beurteilung der Qualität von Böden hinsichtlich ihrer mikrobiellen Aktivität. Sie wird zur Beurteilung des ökotoxikologischen Potenzials von Böden, oder auch bei der Bewertung der Wirkung einzelner Chemikalien auf die Bodenmikroflora eingesetzt [ISO 17155, 2002].

Über den Vergleich der Parameter (Dauer der lag-Phase, Wachstumsrate, etc.) verschiedener Bodenatmungskurven können Rückschlüsse auf eventuell vorliegende Kontaminationen und deren Wirkung gezogen werden. Diese Kurven sind allerdings nur dann eindeutig interpretierbar, wenn sie einen „normalen“ Verlauf haben (Abb. 1, LUFA 2.1 Standardboden).

Ist der Verlauf der Kurve andersartig, d.h. treten beispielsweise zwei Kurvenmaxima („Doppelpeaks“) (Abb. 1, LUFA 2.1 + Xenobiotikum), oder auch ausgeprägte Schultern oder Terrassen auf, dann ist die Bestimmung der o.g. Parameter schwierig.

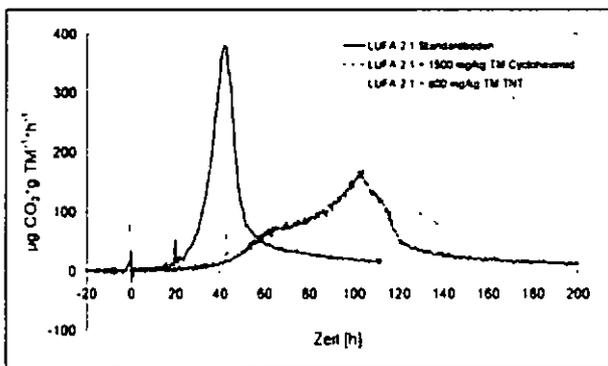


Abb. 1: Bodenatmungskurven: üblicher Verlauf und schwer interpretierbare Kurvenverläufe nach Zugabe von Cycloheximid und TNT

Ein Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die unterschiedlichen Organismengruppen zu identifizieren, die – wohl zeitlich nacheinander – hinter diesen „abnormalen“ Kurvenverläufen stecken.

Ein weiteres Ziel war es, den Verlauf der Glucoseverwertung während der Entstehung von Doppelpeaks nachzuvollziehen. Eventuell wird das Substrat nicht kontinuierlich, sondern abhängig von

der Wachstumsrate, bzw. Atmungsaktivität schubweise verwertet.

## Material und Methoden

Ein LUFA 2.1 – Standardboden wurde jeweils mit verschiedenen Xenobiotika versetzt. Davon wurden mehrere Aliquote in die  $\text{CO}_2$ -Messanlage gesetzt. Die Anlage misst in jeder Messzelle die  $\text{CO}_2$ -Masse über die Leitfähigkeitsänderung in Kalilauge, die sich über dem jeweiligen Bodenaliquot befindet. Nach einem Tag wurde ein leicht verwertbares Substrat aus Glucose (mit  $^{13}\text{C}_6$ -Glucose markiert), Ammoniumsulfat und Kaliumhydrogenphosphat zugegeben. Anschließend wurden zu markanten Zeitpunkten der Respirationkurve Bodenproben und Proben aus der Kalilauge entnommen.

In der Bodenprobe wurde die Mikroorganismenzusammensetzung bestimmt. Dafür wurden aus dem Boden die Phospholipidfettsäuren (PLFA) mit der bei Frostegård et al. [1993] beschriebenen Methode extrahiert. Die Benennung der Fettsäuren erfolgte vom Carboxylende aus.

Die Laugenprobe diente der Untersuchung der Glucoseverwertung und ihres Verlaufes. Dafür wurde das  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnis in der Lauge mit LC/MS bestimmt. Aus diesen Werten wurde der  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ -Wert berechnet.

## Ausgewählte Ergebnisse und Diskussion

### 1. PLFA-Zusammensetzung

Am Beispiel von Cycloheximid als Verursacher von Doppelpeaks sowie am Beispiel von Hexadecan als Verursacher von Terrassen in der Respirationkurve werden kurz einzelne Ergebnisse vorgestellt. Es werden in den Abbildungen der Übersichtlichkeit wegen nur ausgewählte, sich signifikant ändernde Fettsäuremarker dargestellt.

Cycloheximid als Antibiotikum, das selektiv auf eukaryotische Zellen wirkt, zeigt im Boden gegenüber der Kontrolle eine starke Atmungshemmung, als auch eine deutliche Verringerung der Fettsäurekonzentrationen (Abb. 2). Mit der Zeit allerdings scheinen sich die eukaryotischen Organismen zu erholen (Marker 18:3c6,9,12 und a16:0). Besonders interessant ist das Auftreten eines bis zu dem Zeitpunkt nicht vorhandenen Pilzmarkers (18:2δ9,12). Dieser tritt in besonders hoher Konzentration auf Höhe des zweiten Atmungspeaks auf. Da dies auch bei einem anderen Verursacher von Doppelpeaks, Trinitrotoluol (TNT), auftrat, scheinen Pilze mit diesem Marker durch die Repression der r-Strategen zu Beginn der Respirationmessung in der Lage zu sein, stark zu wachsen und das zweite Atmungskurvenmaximum zu verursachen.

<sup>1</sup> Technische Universität Berlin, Institut für Ökologie, FG Abfallbelastung der Landschaft: Johanna.Bartling@gmx.de

<sup>2</sup> GSF, Institut für Bodenökologie, 85764 Neuherberg

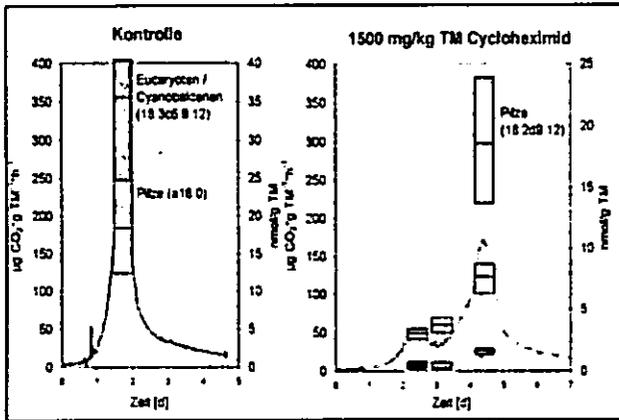


Abb. 2: Fettsäurekonzentrationen als Box-Whisker-Plots in LUFA 2.1 ohne und mit Cycloheximid-Zugabe; Atmungskurven im Hintergrund

Hexadecan ist ein für viele Mikroorganismen leicht verwertbarer Kohlenwasserstoff. So liegt der Schluss nahe, dass die in Abb. 3 rechts zu beobachtende Terrassenbildung nach dem Peakmaximum auf die Nutzung des Hexadecans als Kohlenstoffquelle nach Verbrauch der Glucose zurückzuführen ist.

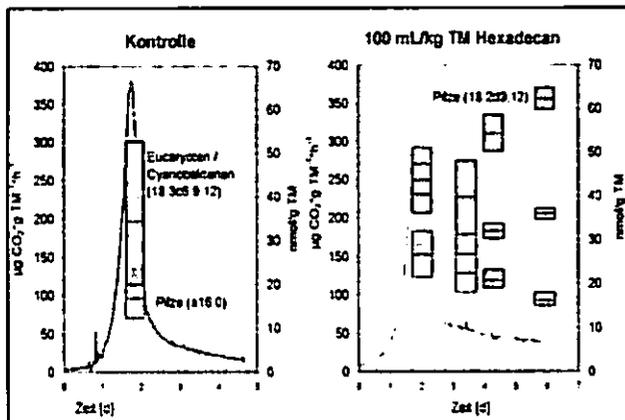


Abb. 3: Fettsäurekonzentrationen als Box-Whisker-Plots in LUFA 2.1 ohne und mit Hexadecan-Zugabe; Atmungskurven im Hintergrund

Mikroorganismengruppen, die das Hexadecan nicht nutzen können, gehen daher in ihrer Fettsäurekonzentration zurück (Marker 18:3c6,9,12 für Eukaryoten und Cyanobakterien). Diejenigen Gruppen, die Hexadecan als C-Quelle nutzen, steigen in ihrer Markerkonzentration an. Dies sind

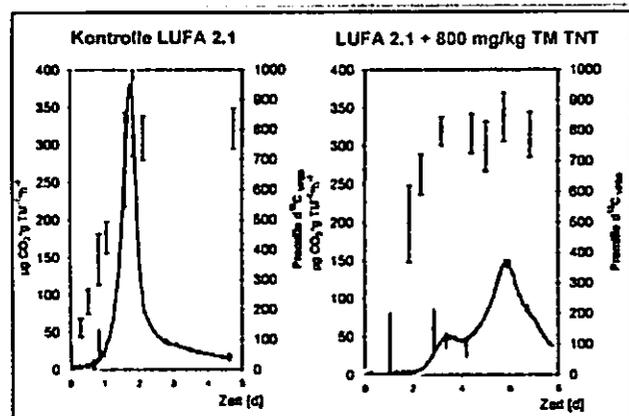


Abb. 4:  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ -Verlauf (Balken) während der Entstehung von Doppelpeaks

Pilze mit den Markern 18:2c8,12 und 18:0.

## 2. Verlauf des $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ -Wertes

Der  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ -Wert wurde zum einen bestimmt, um zu überprüfen, ob tatsächlich die Nutzung des Hexadecans als Kohlenstoffquelle für die Terrassenbildung verantwortlich ist. Zum anderen sollte die Hypothese überprüft werden, dass das Glucose-Substrat während der Doppelpeakentstehung abhängig von der Atmungsintensität schubweise verwertet wird.

Für das Hexadecan konnte gezeigt werden, dass der  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ -Wert nach Erreichen eines Maximums - zeitgleich zum Respirationsmaximum - kontinuierlich sinkt (hier nicht dargestellt). Das bedeutet, es wurde nur noch  $^{12}\text{C}-\text{CO}_2$  in der Lauge gelöst, welches aus dem Hexadecan stammen muss. Dadurch ist bewiesen, dass die Hexadecanverwertung die Terrassenbildung verursacht und die Organismengruppen mit den o.g. Markern zu dieser Verwertung in der Lage sind.

Die Verfolgung der Substratverwertung während der Doppelpeakentstehung ergab, dass die o.g. Hypothese verworfen werden muss. Der Verlauf des  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ -Wertes ändert sich gegenüber der Kontrolle während der Ausbildung von Doppelpeaks in Anwesenheit von TNT nicht (siehe Abb. 4). Dies konnte auch für den Verlauf des  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ -Wertes beim Versuch mit Cycloheximid gezeigt werden.

## Fazit

Bislang konnte ein Pilzmarker (18:2c8,12) als Verursacher des 2. Respirationsmaximums bei Doppelpeaks identifiziert werden. Dieser kann dann in Erscheinung treten, wenn die mikrobiellen r-Strategen zu Beginn der Atmungsmessung durch ein Xenobiotikum im Wachstum gehemmt werden.

In Anwesenheit von Hexadecan bildet sich nach dem Atmungsmaximum eine Terrasse aufgrund der Nutzung des Hexadecans als zusätzliche Kohlenstoffquelle.

## Danksagung

Es gilt großer Dank allen Co-Autoren, sowie Jürgen Esperschütz und Franz Buegger von der GSF für die Messung der Proben.

## Literatur

DIN ISO 17155 (2002): Bodenbeschaffenheit – Bestimmung der Abundanz und Aktivität der Bodenmikroflora mit Hilfe von Atmungskurven.

Frostegård, A., Tunlid, A., Bååth, E. (1993): Phospholipid fatty acid composition, biomass, and activity of microbial communities from two soil types experimentally exposed to different heavy metals. Appl. Env. Microbiology Vol. 59 No. 11 pp. 3605-3617.

## Messung und Simulation der klimawirksamen C-Anreicherung in Böden durch extensivierte Bewirtschaftung

Billen, N.<sup>1)</sup>; Röder, C.<sup>2)</sup>; Chen, H.<sup>2)</sup>; Gaiser, T.<sup>3)</sup>

### Ziele

Vor dem Hintergrund der Anrechenbarkeit von landwirtschaftlichen Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Speicherung beim globalen Emissionshandel soll mit der Messung und Simulation von Extensivierungsszenarien eine zuverlässige Modellierung mit EPIC für Südwestdeutschland gewährleistet werden.

### Methoden

An 13 repräsentativen Standorten Baden-Württembergs wurden Boden- und Managementanalysen durchgeführt zu den Bewirtschaftungsverfahren:

- Pflugbewirtschaftung,
- Reduzierte Bodenbearbeitung (pfluglos),
- Grünland- / Bracheetablierung.

Die Ergebnisse dienen in zwei Schritten der Kalibrierung des EPIC-Simulationsmodells:

#### 1. Literaturbasierte Kennwertanpassungen:

- bei der niederschlagsgebundenen N-Deposition (13 kg N/ha\*a n. [4])
- bei der N-Anreicherung durch N<sub>2</sub>-fixierende Bakterien in Brachen / Extensivgrünland (20 kg N/ha\*a n. [6])
- bei den organischen Düngern (Mist, Gülle) die typischen Nährstoffgehalte in Deutschland (6-11 % N in TM n. [7])

2. Regionalspezifische Kennwerteinstellungen durch fortlaufend-wiederholende Simulationsprozesse, um eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen den Humusveränderungen gemäß Messung und Simulation zu erreichen:

- bei der Durchmischungseffizienz der Bodenbearbeitungsgeräte (Ø 30 %)
- bei der wachstumssteuernden „Potential Heat Unit“ (Kulturspezifisch: 800-2200)

### Ergebnisse

Für Ø11,3 Jahre reduzierte Bodenbearbeitung gegenüber konventioneller Pflugbewirtschaftung (s. Abb. 1 und 3)

- simulierte EPIC eine Zunahme von Ø 0,341 Mg Humus-C \*ha<sup>-1</sup>\*a<sup>-1</sup>
- Ergaben die messanalytische Bodenuntersuchungen eine Zunahme von Ø 0,343 Mg Humus-C \*ha<sup>-1</sup>\*a<sup>-1</sup>

Für Ø10,6 Jahre Grünland- / Bracheetablierung gegenüber konventioneller Pflugbewirtschaftung (s. Abb. 2 und 3)

- simulierte EPIC eine Zunahme von Ø 1,253 Mg Humus-C \*ha<sup>-1</sup>\*a<sup>-1</sup>
- Ergaben die messanalytische Bodenuntersuchungen eine Zunahme von Ø 1,342 Mg Humus-C \*ha<sup>-1</sup>\*a<sup>-1</sup>

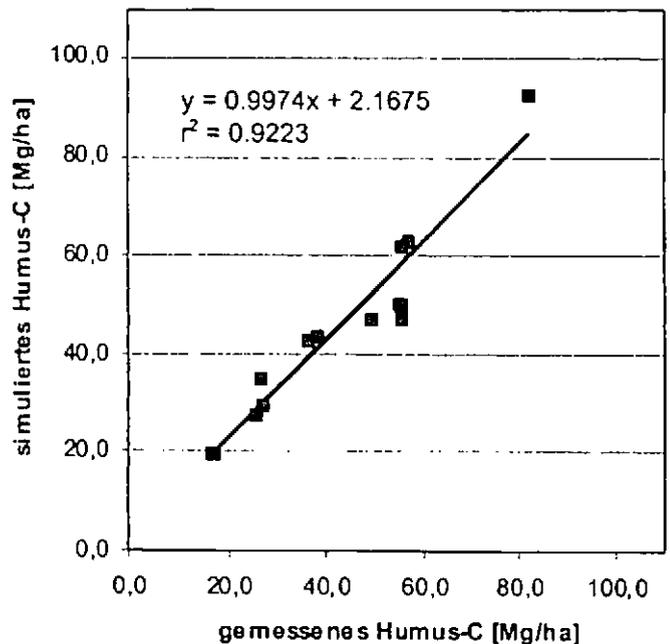


Abb. 1: Vergleich gemessener und EPIC-simulierter Humus-C-Mengen bei reduzierter Bodenbearbeitung

1 Universität Stuttgart, Institut für Landschaftsplanung und Ökologie,

2 Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortlehre,

3 Universität Bonn, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz

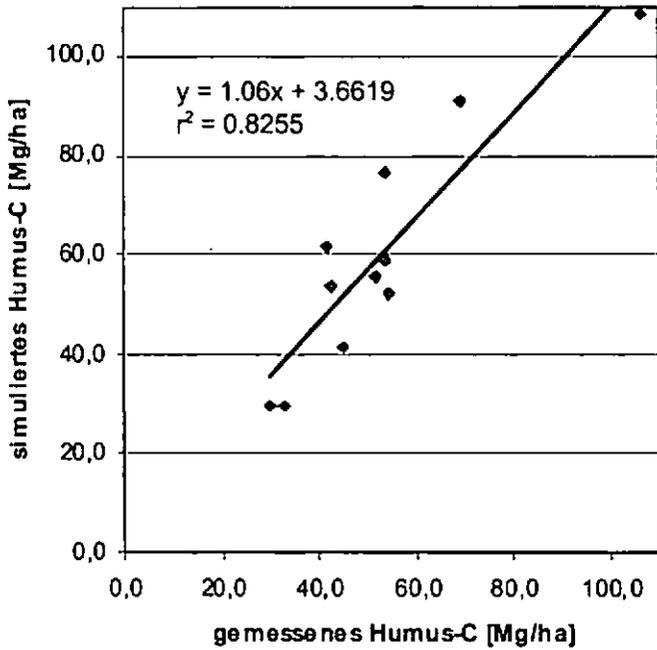


Abb. 2: Vergleich gemessener und EPIC-simulierter Humus-C-Mengen bei Grünland / Bracheetablrierung

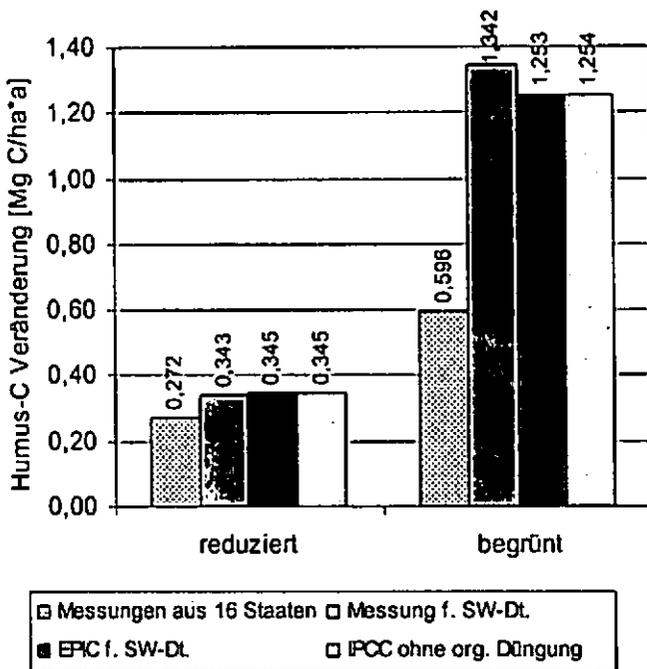


Abb. 3: Vergleich der mittleren C-Anreicherung nach verschiedenen Erhebungsmethoden (16 Staaten n. [1], Messung SW-Dt. n. [2], IPCC n. [5])

### Resumé

Um das bestehende Defizit bei der Eichung von Modellierungen [8] zur Abschätzung des C-Festlegungspotenzials in Abhängigkeit von standorttypischen Bedingungen in Mitteleuropa zu verringern, wurden Ergebnisse aus Feld- und Datenanalysen von 13 repräsentativen Standorten Südwestdeutschlands [2; 3; 9] als Orientierungsgrößen herangezogen.

Die einzelstandörtlichen EPIC-Simulationsergebnisse wichen zwar z.T. merklich von den Analyseergebnissen ab, im Durchschnitt wurden aber die Veränderungen durch reduzierte Bodenbearbeitung oder Grünland-/ Bracheetablrierung in SW-Deutschland sehr gut abgebildet. Somit können Simulationsrechnungen mit EPIC [10] die Grundlage einer regionalen Bilanzierung beim Emissionshandel bilden.

### Literatur

- [1] Adam-Schumm, K., N. Billen & K. Stahr (2007): Die Anreicherung organischer Substanz im Boden durch veränderte Bodenbearbeitung im globalen Kontext – Ergebnisse einer Literaturrecherche. – Mittlgn. Dt. Bodenkundl. Ges. (Jahrestagung 2007)
- [2] Chen, H., S. Marhan, N. Billen & K. Stahr (2007): Soil organic C and total N stocks as affected by different land uses in Ba.-Wü., southwest Germany. - J. Plant Nutr. Soil Sci. (subm.)
- [3] Deller, B. (2006): pers. Mitteilung über die Systemversuche Bodenbearbeitung durch das Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)
- [4] Führer, H.-W., H.-M. Brechtel, H. Ernstberger & C. Erpenbeck (1988): Ergebnisse von neuen Depositionsmessungen in der BRD und im benachbarten Ausland. - DVWK Mitt. 14, 1-85.
- [5] IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2003): Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Inst. for Global Environmental Strategies, Japan
- [6] Kahnt, G. (1983): Gründung. - DLG-Verl., Frankfurt am Main, 2. verb. Aufl., 146 S.
- [7] KTBL (2005). Faustzahlen für die Landwirtschaft. Darmstadt, 13. Auflage.
- [8] Neufeldt, H. (2005): Carbon Stocks and Sequestration Potentials of Agricultural Soils in the Federal State of Baden-Württemberg, SW Germany. - J Plant Nutr. Soil Sci. 168: 202-211
- [9] Röder, C (2007): Carbon Sequestration in S-W German Soils as affected by Agricultural Management – Validation of the EPIC Model. Master Thesis in "Protection and Agricultural Food Production ENVIROFOOD" at the University of Hohenheim / Germany, Institute for Soil Science and Land Evaluation, 114 p. (unpublished)
- [10] Williams, J.R. (1995): The EPIC Model. In Computer Models of Watershed Hydrology, pp 909-1000. Ed. by V.P. Singh. Highlands Ranch, CO: Water Resources Publ.

### Förderung

- BW-Plus (Projektträger des Landes Baden-Württemberg), Förderkennzeichen BWK24001
- DFG und Chinese Ministry of Education, internationales Graduierten Kolleg: Sustainable Resource Use in North China

## Bodengefügeschutz mit optimierter Fahrwerkstechnik – Ergebnisse aus einem Forschungsprojekt

Robert Brandhuber<sup>1</sup>,  
Rupert Geischeder<sup>1</sup>, Markus Demmel<sup>1</sup>

### Problemstellung

Bei der Zuckerrübenenernte kommen Maschinen mit den derzeit höchsten Gesamtgewichten in der landwirtschaftlichen Produktion zum Einsatz. Für Hersteller und Landwirte stellt sich die Frage, wie weit die Risiken von Unterbodenverdichtungen durch die Fahrwerksgestaltung verringert werden können. In einem Forschungsprojekt wurden verschiedene Fahrwerkskonzepte von 6-reihigen Köpfrödebunkern (KRB 6) bei praxisnahen Bedingungen in ihren Wirkungen auf das Bodengefüge verglichen.

### Hypothesen

Folgende Hypothesen liegen dem Versuchskonzept zugrunde:

1. Die sehr große Aufstandsfläche des Bandlaufwerkes verringert das Risiko von Unterbodenverdichtungen
2. Höhere Radlasten erhöhen das Risiko von Unterbodenverdichtungen
3. Jährlich wiederholte Belastungen bewirken additive Verformungseffekte

### Versuchskonzept

Auf einem Lössstandort in Niederbayern wurde ein Feldversuch mit insgesamt sechs Belastungsvarianten angelegt. Drei Belastungsstufen werden im folgenden betrachtet:

- (1) 1malige Rad-Überrollung bei teilgefülltem Bunker
- (2) 1malige Rad-Überrollung mit gefülltem Bunker
- (3) 1malige Band-Überrollung mit gefülltem Bunker

Die Reifeninnendrucke (Reifen 1050/50R32) wurden der Radlast bei Feldfahrt angepasst. Die Überrollungen erfolgten spurtreu (Einmessung und Steuerung mit RTK-GPS) über drei

Jahre jeweils zur Rübenenernte. Das Versuchsfeld wurde nicht beregnet.

### Messmethoden

Gemessen wurden die für die Belastung relevanten Fahrzeugparameter (Radlast, Aufstandsfläche), Bodendrucke bei der Überfahrt (Schlauchdrucksonden), Bodengefügekennwerte (direkt unterhalb der Krume und im Unterboden bei in ca. 40 cm Tiefe) kurz vor und nach den Überrollungen (beprobte wurde in jedem Jahr ein Drittel der Versuchsfläche quer zu den Parzellen), außerdem Wasserinfiltration und Erträge jeweils im Folgejahr (Veröffentlichung an andere Stelle).

### Ergebnisse

Die Radlasten reichen von 91 kN (Var. 1, Rad mit teilgefülltem Bunker) bis 141 kN (Var. 3, Band, voller Bunker). Bei den mittleren Kontaktflächendrücken liegen das geringer belastete Rad und das hoch belastete Band etwa auf gleichem Niveau (siehe Tabelle 1).

Tab. 1:  
Fahrzeugparameter (Mittelwerte 2004-2006):

Variante	Auflast (kN)	Aufstandsfläche (m <sup>2</sup> )	Mittl. Kontaktflächendruck (kPa)
(1) Rad	91	0,92	100
(2) Rad	131	0,94	141
(3) Band	147	1,61	94

Die Überrollungen fanden in den drei Jahren bei unterschiedlicher Bodenfeuchte statt. Die sehr dichte Beprobung offenbarte eine bodenartbedingte hohe räumliche Heterogenität.

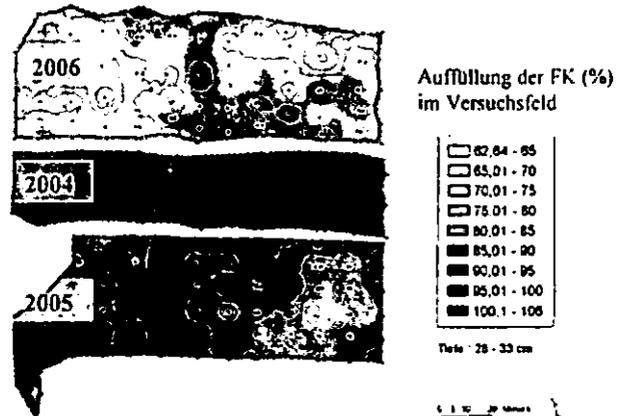


Abb. 1: Auffüllung der Feldkapazität in der Krumenbasis bei den Überrollungen 2004 - 2006

<sup>1</sup> Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft,  
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising  
e-mail: robert.brandhuber@lfl.bayern.de

Die Bodenfeuchte war 2004 am höchsten (nahe Feldkapazität) und 2006 am niedrigsten (Abb. 1). Wegen des langsamen Vordringens der spätherbstlichen Feuchtigkeitsfront war der Unterboden durchwegs trockener als die Krumbasis.

Die bei feuchten Bodenbedingungen im Jahr 2004 in 45 cm Tiefe mit elektronisch aufzeichnende Schlauchdrucksonden gemessenen Bodendrücke waren unter dem hoch belasteten Rad (Var. 1) erheblich höher unter dem hoch belasteten Band (Var. 3). In 2005 und 2006 waren die Messspeaks allerdings durchwegs zu niedrig für eine Auswertung. Im Frühjahr 2006 wurden deshalb auf einer weiteren Versuchsfläche Bodendrücke in größerem Umfang gemessen - mit gleichem Ergebnis (Detaillierte Veröffentlichung an andere Stelle).

Die vor und nach den Überrollungen erhobenen Gefügeparameter Gesamtporenvolumen, Luftkapazität und Pneumatische Leitfähigkeit zeigten gleichgerichtet folgendes Ergebnis: Das hoch belastete Rad (Var. 1) verursachte signifikante Verformungen in der Krumbasis (28-33 cm) in 2004 und 2005, im Unterboden (38-43 cm) in 2005. Für die Varianten 1 und 3 (niedriger belastetes Rad und hoch belastetes Band) konnten keine signifikanten Verformungen nachgewiesen werden (Vergleich vor und nach einer Überrollung).

Entsprechend diesen Befunden war 2005 nach der zweiten Überrollung ein signifikanter Unterschied zwischen den drei Varianten nachweisbar. Nach der dritten Überfahrt 2006 war diese Differenzierung jedoch nicht mehr vorhanden (siehe Abb. 2).

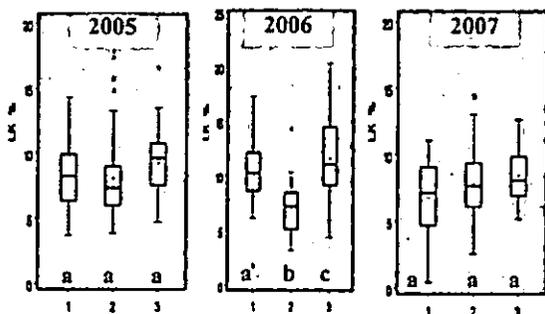


Abb. 2: Variantenvergleich der Luftkapazität in 38-43 cm Tiefe (n=45 je Boxplot)

Vergleicht man ausschließlich den Ausgangs- mit dem Endzustand, könnte man nach drei spurtreuen Überrollungen bei allen drei Varianten auf eine Verdichtung der Krumbasis und keine Verdichtung unterhalb dieser Tiefe schließen wollen (Abb. 3). Die Werte zwischen Versuchsbeginn und -ende unterliegen allerdings erheblichen Schwankungen, sodass die Zeitreihe als zu kurz beurteilt werden muss, um eindeutige Signale vom Rauschen der Daten trennen zu können (siehe Schwab et al. 2006).

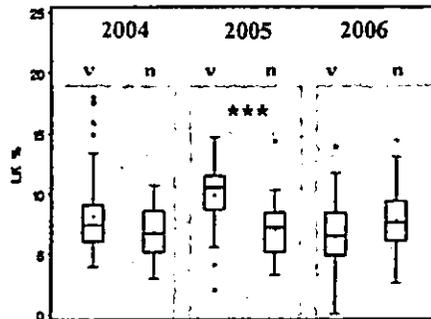


Abb. 3: Verlauf der Luftkapazität in 38-43 cm Tiefe bei Variante 2, Reifenrad mit hoher Auflast (jeweils vor und nach der Überrollung)

### Zusammenfassung und Beurteilung der Hypothesen

- (1) Das Band verursachte trotz sehr hoher Auflast keine signifikanten Verformungen im Unterboden (Bestätigung der Hypothese 1).
- (2) Die gegenüber Variante 1 um 40 kN höhere Radlast von Variante 2 führte zu signifikanten Verformungen unterhalb der Krume, allerdings nicht in jedem Jahr (Bestätigung einer präzisierten Hypothese 2: Zunehmende Radlast erhöht das Risiko von Unterbodenverdichtungen bei gleichem Fahrwerk und ähnlich großer Aufstandsfläche).
- (3) Additive Effekte sind wegen des Rauschens der Messwerte zwischen den Messterminen nach drei Jahren nicht nachweisbar (weder Widerspruch noch Bestätigung der Hypothese 3).

### Zitierte Literatur:

Schwab, P., Weisskopf, P., Oberholzer, H.-R., Scheid, S., Berli, M. (2006): Langzeitbeobachtungen von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften. Pilotprojekt LAZBO. Projektbericht Agroscope FAL Reckenholz, Zürich

# Pedogenese, Nutzung und Schutz von Muddeböden

Jana Chmielecki<sup>1</sup>, Jutta Zeitz<sup>2</sup>

## 1. Einleitung und Zielstellung

Muddeböden entstehen in ehemaligen Seen durch Luftzutritt bei Entwässerung. In Nord- und Mitteleuropa kommen Böden aus Mude nachweislich in Deutschland, Polen, Finnland und Schweden vor. Diese terrestrische Bodenbildung in subhydrisch entstandenen Bodensubstraten ist überwiegend durch anthropogene Wasserabsenkung verursacht. Die meist landwirtschaftliche Kultivierung der Böden führte zu einer sekundären Pedogenese, die sich in der Veränderung der chemischen und physikalischen Eigenschaften widerspiegelt. Die Standorte sind unter landschaftsökologischen Gesichtspunkten von Bedeutung, da es sich um Niedermoore bzw. Niedermoores ähnliche Standorte (Abb. 1) mit deren charakteristischen Funktionen handelt. Von besonderer Bedeutung sind die Lebensraum- sowie die Speicher- und Regelungsfunktion.



Abb. 1: Muddeböden am Dümmer

Ziel der Untersuchungen waren die Bestandsaufnahme der Eigenschaften verschiedener Mudearten, die Kennzeichnung der Pedogenese, die als Folge der Entwässerung von oberflächennahen Mudden auftritt sowie die Erarbeitung eines Klassifikationsvorschlages.

## 2. Methodik

Auf 13 Flächen wurden 60 Profile in Kalk-, Diatomeen- und Detritusmudden analysiert. Bei den Profilaufnahmen wurde besonderer Wert auf die detaillierte Beschreibung von morphologischen

Eigenschaften der Bodenhorizonte gelegt, da diese bisher in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5, 2006) nicht enthalten sind. Die chemischen und physikalischen Merkmale der Horizonte wurden in umfangreichen Laboranalysen ermittelt.

## 3. Ergebnisse

Die fortdauernde Entwässerung hat eine Veränderung wichtiger Bodeneigenschaften zur Folge und führt u.a. zur Ausbildung eines Sekundärgefüges. In Detritus- und Kalkmudden ließen sich mehrere Stadien der Gefügeentwicklung (vgl. Abb. 2 und 3) nachweisen, die von der Entwässerungstiefe abhängig waren. Die Detritusmudden wiesen maximal 5 Horizonte auf, die sich anhand ihres Gefüges unterscheiden lassen. Dabei wurde erstmalig ein sich aus mm-dünnen "Plättchen" aufbauendes Gefüge beschrieben. Die Kalkmudden wiesen 4 charakteristische Horizonte auf. Diagnostisch waren hier Go/Gr-Merkmale und Polyedergefüge.

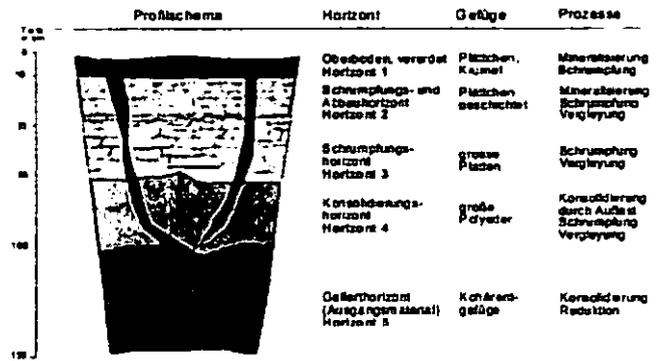


Abb. 2: Horizontentwicklung in Detritusmudden

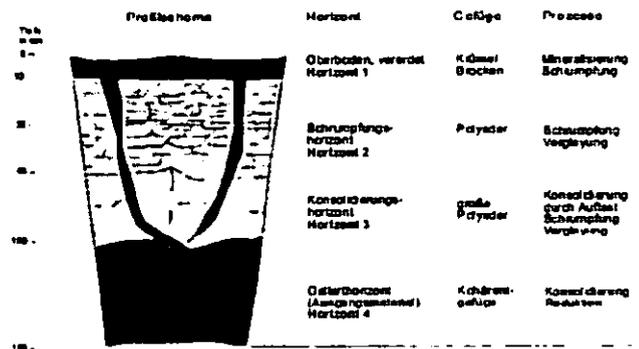


Abb. 3: Horizontentwicklung in Kalkmudden

Die Detritus- und Kalkmudden wiesen insgesamt geringe Substanzvolumina und Trockenrohdichten sowie hohe Porositäten auf (vgl. Tab. 1). Das Grobporenvolumen beträgt im Mittel zwischen rund 10 und 18 Vol.-%. Insbesondere bei den Detritusmudden gehen die großen Porenvolumina mit äußerst hohen Mittel- und Feinporenvolumina von mehr als 40 Vol.-% einher. Vereinzelt erreichte Kalkmudde sehr hohe Werte (36 Vol.-%), im Mittel blieben diese geringer (18 Vol.-%).

<sup>1</sup> Jacobsohnstr. 32, 13086 Berlin, jana.chmielecki@gmx.de

<sup>2</sup> Humboldt Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Invalidenstr. 42, 10099 Berlin

Tab 1: Mittelwerte und Standardabweichung (in Klammern) von Glühverlust (GV), Substanzvolumen (SV)

Substrat (N)	GV [Masse-%]	SV [Vol-%]	TRD [g/cm <sup>3</sup> ]
Detritusmudde (92)	56,1 (13,1)	15,8 (6,0)	0,3 (0,1)
Kalkmudde (107)	12,4 (7,0)	28,6 (8,4)	0,7 (0,2)

Infolge der Pedogenese kommt es bei allen Muddearten zu einer Veränderung bodenphysikalischer Kennwerte mit einer Zunahme Trockenrohddichte, abnehmendem Gesamtporenvolumen und der Veränderung des Verhältnisses zwischen Mittel- und Feinporen zugunsten des Feinporenvolumens (vgl. Abb. 4 und 5).

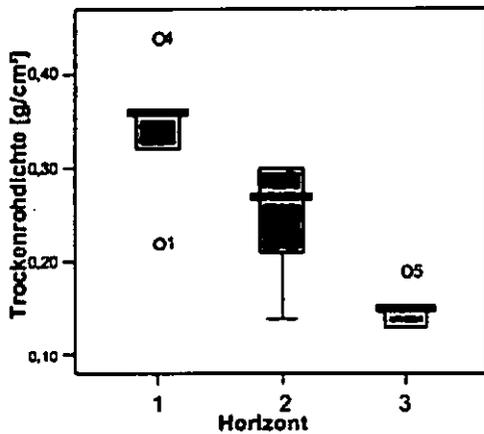


Abb. 4: Horizontspezifische Trockenrohddichten vor Detritusmudde

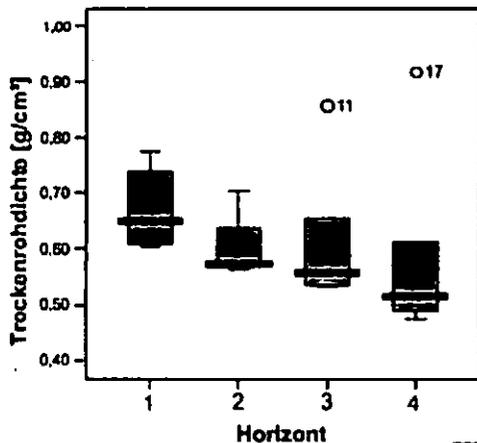


Abb. 5: Horizontspezifische Trockenrohddichten von Kalkmudde

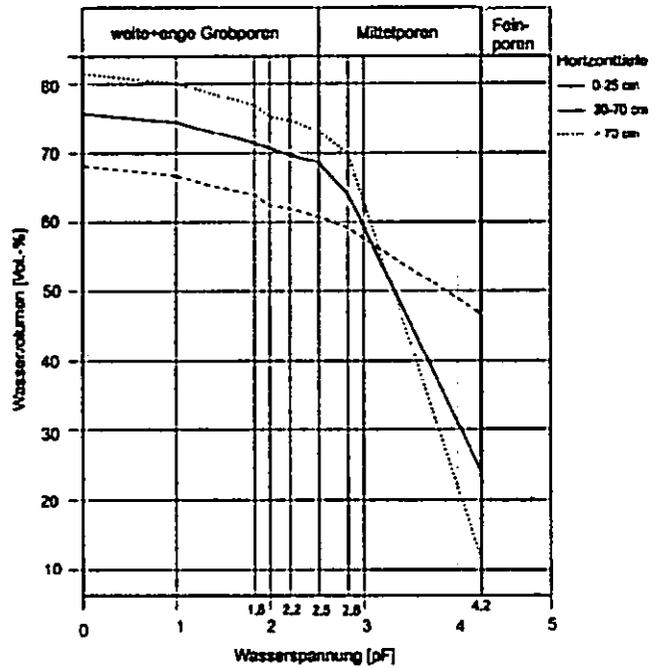


Abb. 6: pF-Kurven von Detritusmudde

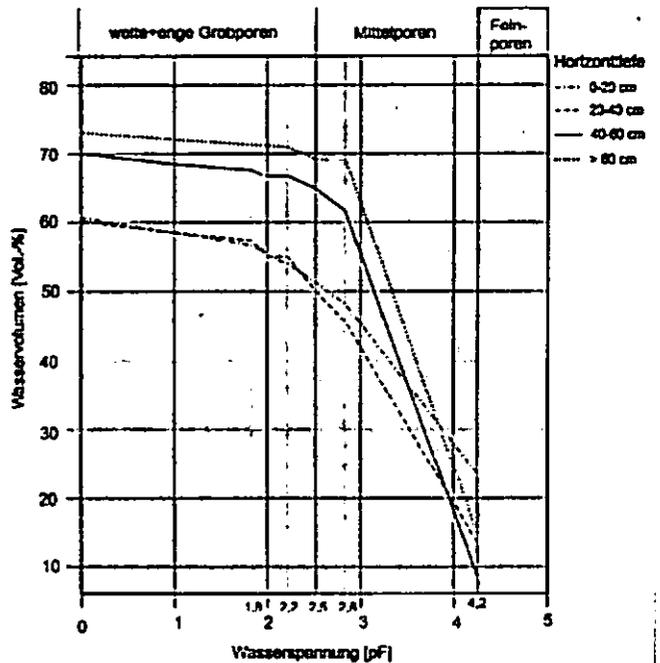


Abb. 7: pF-Kurven von Kalkmudde

#### 4. Schlussfolgerungen

Alle Muddearten weisen eine gegenüber den Mineralböden spezifische Horizontentwicklung auf, die primär durch Schrumpfungsprozesse und in eingeschränktem Maße auch durch Quellungsprozesse hervorgerufen wird. Folge der Schrumpfung ist die Ausbildung von Gefügekörpern, deren Größe und Form substratspezifisch ist. Einhergehend mit der Gefügebildung verändern sich bodenphysikalische Eigenschaften, wie z.B. TRD, Gesamtporositäten und Porenverteilung. Darauf basiert ein Vorschlag zur Deutschen Bodenkundlichen Systematik zur Kennzeichnung von Böden aus Detritus- und Kalkmudde.

## Repräsentative Humusgehalte in den Oberböden Deutschlands

Düwel, O.<sup>1</sup> & J. Utermann

### 1. Einleitung und Ziel

Bedarf an Informationen zu Gehalten an organischer Substanz in Böden ergibt sich aktuell z.B. national aus der Novellierung der BBodSchV, der Direktzahlungen-Verpflichtungsverordnung (DirektZahlVerpflV), dem zu erwartenden Klimaschutzstatistikgesetz (KS-StatG) und europaweit im Hinblick auf die vorgeschlagene Risikogebietsausweisung im Rahmen der geplanten europäischen Bodenrahmenrichtlinie an Bedeutung (Eckelmann et al. 2006).

Vor diesem Hintergrund wird das Ziel verfolgt, eine möglichst exakte und flächendeckende Aussage über typische Humusgehalte in Oberböden Deutschlands sowie deren Variabilität im Raum zu treffen. Diese sollen bestehende Informationen ergänzen und differenzierter charakterisieren.

### 2. Datengrundlagen

Für die verfolgte Fragestellung werden definierten Mindestanforderungen entsprechende Punktinformationen der Labor- und Profildatenbank des bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) eingerichteten Bodeninformationssystems (FISBo BGR) ausgewertet. Die Untersuchungen beschränken sich auf die Ermittlung von Humusgehalten in Oberböden, wobei der Oberboden aus einer Kombination aus Tiefenstufe und Horizontbezeichnung definiert wird. Unabhängig von der Horizontbezeichnung wird ein tiefengemittelter Corg - Gehalt bis zu einer Tiefenstufe von 10 cm für Böden unter Grünland und forstlicher Nutzung sowie 30 cm unter ackerbaulicher Nutzung berechnet.

Als bestimmende Größe für die Humusgehalte wird der Einfluss der Landnutzung, des Klimas und des Bodens berücksichtigt. Alle diesbezüglich benötigten Flächeninformationen lassen sich aus der in der Flächendaten-

bank des FISBo BGR vorgehaltenen nutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1:1.000.000 (BÜK 1000 N2.3) (BGR 2006) ableiten. Das Kartenwerk erlaubt (i) zur Berücksichtigung des Bodeneinflusses eine pedo-lithologische Aggregation zu Gruppen von Bodenausgangsgesteinen (BAG) (vgl. Utermann et al. 1999), (ii) eine Regionalisierung in Klimagebiete (nach Finke et al. 1998) und (iii) hinsichtlich der Nutzung Aussagen zur Verbreitung der Hauptlandnutzungsarten Acker, Grünland und Wald.

### 3. Methodisches Vorgehen

Methodisch wurde das zur Verfügung stehende Gesamtprobenkollektiv anhand der geographischen Lagekoordinaten den Gruppen der Bodenausgangsgesteine zugewiesen und entsprechend der Flächeninformationen nach Bodenausgangsgesteinsgruppen und Klimaregion sowie entsprechend der vorliegenden Punkt-/Profilangaben nach Nutzung unterschieden.

Für die so stratifizierten Einheiten wurden die gemessenen Corg - Gehalte in Humusgehalte umgerechnet und entsprechend der Vorgaben der Bodenkundlichen Kartieranleitung, 5. Auflage (KA5) klassifiziert. Anschließend wurden Kollektive der stratifizierten Einheiten mit einem Stichprobenumfang von  $n > 10$  statistisch ausgewertet und Häufigkeitsverteilungen für Corg - und Humusgehalte sowie für die ermittelten Humusklassen erstellt.

Als statistische Kennwerte wurden für die Corg - und Humusgehalte neben den Minima und Maxima die 25., 50., 75. und 90. Perzentilwerte sowie der Modalwert ermittelt. Mit dem Ziel einer Aussage zur Repräsentanz der Datenkollektive für die nach Bodenausgangsgestein, Klima und Landnutzung unterschiedenen Straten, wurden (i) die punktbezogenen Profilangaben mit den im FISBo BGR vorgehaltenen Flächeninformationen verglichen (inhaltliche Repräsentanz) und (ii) die jeweils zur Verfügung stehende Anzahl von Profilen mit Bezug auf die zu belegende Flächen-

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, 30916 Hannover  
E-mail: olaf.duewel@bgr.de

größe bewertet (flächenhafte Repräsentanz).

#### 4. Ergebnisse

Als Ergebnis der Repräsentanzprüfung zeigt sich, dass der überwiegende Anteil der gebildeten Straten durch die Datenkollektive ausreichend repräsentiert wird. Für alle Straten liegen Häufigkeitsverteilungen und statistische Kennwerte der organischen Substanz sowohl für Corg – als auch für Humusgehalte vor.

Wenngleich eine sich aus den Einzelwerten ergebende Differenzierung weitgehend durch die nach KA5 vorgenommene Klassenbildung verloren geht, eignen sich diesbezügliche Darstellungen für eine zusammenfassende Ergebnisübersicht. Abbildung 1 zeigt die relativen Häufigkeiten der Gehalte an organischer Substanz, klassifiziert nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA5) für die drei Hauptlandnutzungen Acker, Grünland und Forst.

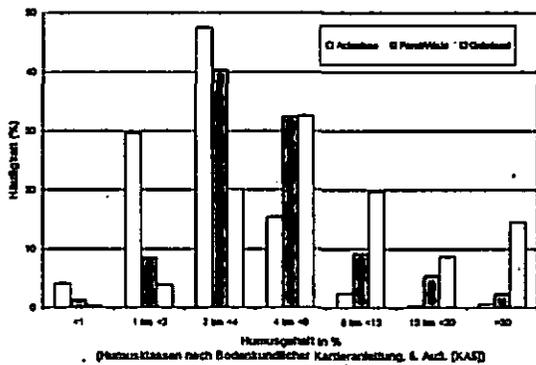


Abb. 1: Häufigkeitsverteilungen der Humusgehalte (Klassen nach KA5) für die drei Hauptnutzungsarten Acker, Grünland und Wald

Grundsätzlich ist eine Zunahme der Humusgehalte in der Reihenfolge Acker – Forst – Grünland zu beobachten: Während unter ackerbaulicher Nutzung die Humusgehalte überwiegend den Klassen  $h_2$  –  $h_3$  zuzuordnen sind, bewegen sie sich unter forstlicher Nutzung im Bereich  $h_3$  -  $h_4$  und unter Grünland im Bereich  $h_4$  –  $h_5$ .

Die eigentliche Zielgröße sind Gehalte an organischer Substanz in Oberböden unterschieden nach o. g. Differenzierung. Wie oben beschrieben, sind hierfür derzeit 79 stratifizierte Einheiten mit „typischen“ Humusklassen und deren Variabilität belegt.

Mit dem Ziel, einen visuellen Eindruck der ermittelten Kennwerte zu vermitteln, lassen

sich diese Ergebnisse mit Bezug auf das verwendete Kartenwerk ebenfalls flächenhaft darstellen (BGR 2007).

#### 5. Zusammenfassung

Unter Nutzung des FISBo BGR lassen sich auf Grundlage von ca. 9000 Profilen Humusgehalte in Oberböden Deutschlands unter Berücksichtigung des Einflusses der Landnutzung, des Klimas und des Bodens ermitteln. Derzeit können Aussagen zu Gehalten an organischer Substanz in Oberböden für 79 stratifizierte Einheiten getroffen werden (ca. 88 % der Landesfläche Deutschlands).

#### 6. Literatur

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) 2006: Nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK 1000 N2.3). – Auszugskarten Acker, Grünland, Wald; Digit. Archiv FISBo BGR; Hannover und Berlin

BGR 2007: Karte der Gehalte organischer Substanz in Oberböden Deutschlands. Digit. Archiv FISBo BGR; Hannover und Berlin

Eckelmann et al. (2006): Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats. ESB Research Report No.20, EUR 22185 EN, 94pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

Finke, et al. (1998): Georeferenced soil database for Europe manual of procedures. Vers. 1.0. Report EUR Commission of the European Communities 18092; Research report European Soil Bureau 5, Ispra(Italy)

Utermann et al. (1999): Methodische Anforderungen an die Flächenrepräsentanz von Hintergrundwerten in Oberböden. UBA Texte 95/99, 141 pp.

#### Dank

Den Verantwortlichen der Staatlich Geologischen Dienste Deutschlands sei an dieser Stelle für die Übermittlung wertvoller der Daten gedankt.

## Gesamtbetrachtung der Bodenerosionsprozesse (Wasser, Wind, Bearbeitung) in einer Bodenlandschaft des NO-deutschen Jungglazials

R. Funk<sup>1</sup>, D. Deumlich,  
M. Frielinghaus & M. Sommer

### Einleitung

Wasser- und Winderosion sind witterungsbedingte Prozesse, die in Bodenlandschaften räumlich differenziert auftreten. Bodenbearbeitung stellt dagegen einen ganzflächigen, mechanischen Eingriff dar, der ebenfalls zur Bodenverlagerung führt. Werkzeugabhängig erfolgt ein Transport in Bearbeitungsrichtung (Grubber u.ä.) bzw. ein zusätzlicher seitlicher Versatz von Bodenmaterial (Pflug). Diese Art der Bodenverlagerung wurde bis in die 90-er Jahre als unbedeutend und in der Bilanz als ausgeglichen angesehen, obwohl er in Landschaften mit hoher Reliefenergie ein bedeutender Faktor der Bodenlandschaftsentwicklung und der Bodenheterogenität sein kann. Im kuppigen Jungmoränengebiet führt die Bearbeitungserosion\* im Bereich der größten Reliefkrümmung (Scheitel-, Oberhangpositionen) zu deutlichen Bodenabträgen, die bislang fälschlich der Wassererosion zugeordnet werden.

\*Bearbeitungserosion ist die hangabwärts gerichtete Nettobodenverlagerung, = Differenz zwischen hangauf- und hangabwärts gerichteter Bodenverlagerung.

### Ziel

Eine komplette Bilanz der Bodenerosionsformen in agrarisch genutzten Bodenlandschaften muss alle Anteile quantifizieren und bewerten (Sommer et al.). Am Beispiel eines Schrages sollen die Wirkungen der drei Erosionsformen (Wasser-, Wind-, Bearbeitungserosion) demonstriert werden, um daraus Forschungsbedarf für gekoppelte Modellierungsstrategien abzuleiten.

### Methodik

Zur Abbildung des komplexen raum-zeitlichen Wirkens und der relativen Bedeutung der verschiedenen Bodenerosionsformen kommen das Wassererosionsmodell EROSION-3D

(Schmidt et al. (1996), v. Werner (1995), das Winderosionsmodell WEPS (Skidmore et al. 1995) sowie das Tillage Erosion Prediction Program (TEPP, Li & Lobb 2006) zur Anwendung.

### Ergebnis

Die Simulationen für den Beispielsschlag weisen die durch die einzelnen landschaftsändernden Prozesse besonders betroffenen Areale korrekt aus:

- Wassererosion – Bereiche der Abflusskonzentration
- Bearbeitung – konvexe Vollformen (Kuppen) und Oberhangkanten
- Winderosion – Kuppen, sandige Areale

Als nachteilig erwiesen sich die Modelleinschränkungen, so die Einzelschlagsimulation in WEPS (eine Bodenart, keine Berücksichtigung der Topografie), die durch die Simulation für alle auf dem Schlag vorkommenden Bodenarten und die anschließende Addition der relativen Anteile umgangen werden konnte (Tab. 1). TEPP ist darüber hinaus in der vorliegenden Version auf eine maximale Pixelanzahl (ca. 32000) begrenzt, die Bodenart bleibt unberücksichtigt, nur die Wölbung geht als Rechengröße ein. Die Übertragung der Resultate in ein GIS ist demzufolge schwierig.

Während in EROSION-3D eine vollständige GIS-Anbindung gewährleistet ist, bleiben neben deren Fehlen in WEPS und TEPP derzeit auch weitere wichtige Einflussfaktoren in der landwirtschaftlichen Praxis wie Landschaftselemente und wechselnde Bearbeitungsrichtungen unberücksichtigt.

Bodenart der BoS	Flächenanteil (%)	Austrag in t/ha	Anteil der Suspension
S	0.6	26.3	0.41
IS	31.9	14.2	0.86
SL	54.5	13.1	0.81
sL	8.4	9.8	0.63

WEPS-Simulation: April,  $u_{max}$  8m/s

Tab. 1: Bodenausträge durch Winderosion auf dem Beispielsschlag

<sup>1</sup> Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, e-mail: rfunk@zalf.de, Tel: 033432-82321

Im Ergebnis einer ersten Simulation der praxisüblichen konventionellen Bearbeitung über 10 Jahre mit der Anwendung von Pflug, Grubber und Egge werden Höhendifferenzen von bis zu 35 cm Abnahme in Toppositionen und Zunahmen bis 25 cm in Akkumulationsarealen am Hangfuß berechnet. (Dazu wurden die modellseitig für jedes Rasterelement berechneten Bodenabträge in t/ha in mm Höhenänderung umgerechnet.) Die sich ergebende Frage ist, gibt TEPP den Einfluss der Bearbeitungseingriffe annähernd richtig an oder wird er überschätzt? Analysen von Höhenänderungen in den letzten ca. 80 Jahren im Untersuchungsgebiete durch Vergleich von Höhenpunkten im Messtischblatt und aktueller Höheninformationen weisen den Trend der Höhenänderungen nach (Abb. 1).

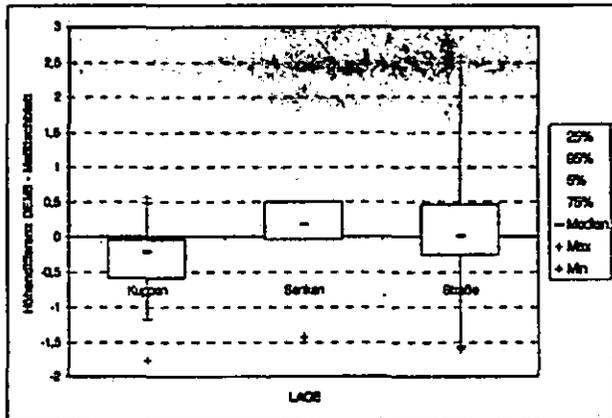


Abb. 1: Analyse von Höheninformationen im Raum Prenzlau (Aktuelle Höhe - Höhe im Messtischblatt)

Diese Höhenänderungen sind im Topbereich weniger durch Wassererosion bedingt, da dort die kinetische Energie des Oberflächenabflusses noch sehr gering ist. Selektive Einflüsse durch Winderosion, vor allem auf Sandkuppen, sind jedoch zu berücksichtigen.

Durch Wassererosion beeinflusst sind insbesondere die Bereiche der Abflussakkumulation (Tiefenlinien) sowie mittlere und untere Hangbereiche

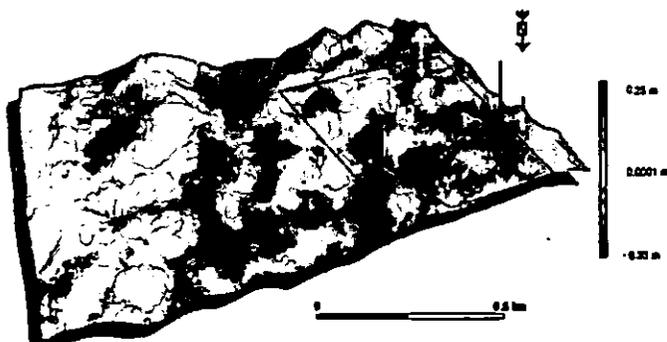


Abb. 2: Reliefveränderung durch extreme Starkregen (Landschaftsausschnitt) Simulation: 100jähriger Starkregen (R-Wert: 150 N/h), Mais, Mai, 2 Iterationen

che (Abb. 2). Treten Kombinationseffekte, wie in Abb. 3 durch den schwarzen Pfeil markiert, z.B. durch Bearbeitungserosion und Winderosion auf Sandkuppen ein, können Landschaftsänderungen beschleunigt werden.

**Fazit/Ausblick**

Die Berücksichtigung einzelner Erosionsformen führt zur drastischen Unterschätzung der Bodenverlagerungen in Landschaften. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer Gesamtbetrachtung aller Teilprozesse, die Kopplung der relevanten Einzelmodelle sowie der Aufbau einer zentralen Datenbank.

Die Validierung der Modellresultate und die weitere Aufklärung der Anteile/Interaktionen der Erosionsarten erfordern die Etablierung komplexer Experimente als auch die Prozessbeobachtung mittels Fernerkundung. Modellbegrenzungen gilt es zu überwinden und die GIS-Kopplung zu realisieren.

**Literatur:**

Schmidt, J., v. Werner, M., Michael, A. (1996): EROSION 2D/3D - Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser. Sächs. Landesanstalt f. Landw. Dresden.  
 v. Werner, M. (1995): GIS-orientierte Methoden der digitalen Reliefanalyse zur Modellierung von Bodenerosion in kleinen Einzugsgebieten. Ph.D. Thesis, Berlin, FU Berlin.  
 Li, S., Lobb, D. A. (2006): VB-Code Software for Tillage Translocation and Tillage Erosion Estimation. Soil Science Dept., University of Manitoba, Canada  
 Skidmore et al. (1995): Wind erosion prediction system. Techn. Handbook USDA-ARS.  
 Sommer, M., Gerke, H.H., Deumlich, D. (acc.): Modelling soil landscape genesis - A "time split" approach for hummocky agricultural landscapes. GEODERMA

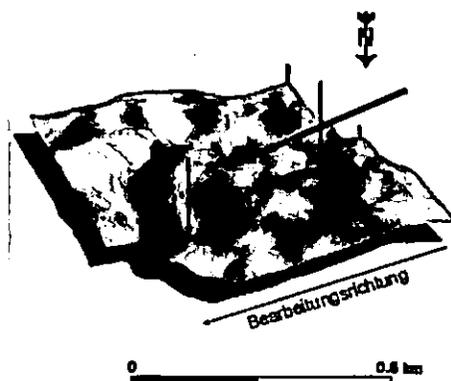


Abb. 3: Reliefveränderung durch Bodenbearbeitung (Teil des Landschaftsausschnitts)

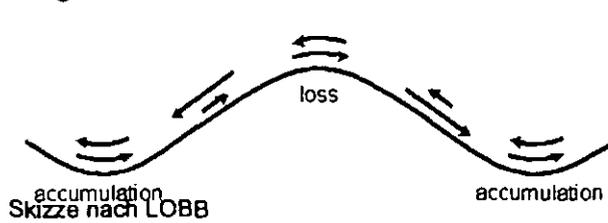
**Bearbeitungserosion als wichtiger Aspekt der Landschaftsentwicklung**

Frielinghaus, M.\*; Kietzer, B\*\*; Schkade, U.\*\*; Sommer, M.\*; Bork, H.-R.\*\*\*

Bodenerosion als Faktor der Landschaftsentwicklung spielt besonders bei der Erklärung der Jungmoränenlandschaft und der vorliegenden Muster eine Rolle. Um einen Eindruck zu erhalten, welche Bodenmengen vom Ort ihrer Entwicklung im Laufe der Jahrtausende in andere Ökosysteme transportiert wurden, haben Bork et al. (1998) unter Betonung der methodischen Schwierigkeiten flächendeckende Feststoffbilanzen für große Räume geschätzt. Ein mittlerer flächenhafter Abtrag (Wassererosion) von 40 – 70 cm wird für beackerte Hänge der mittel- und norddeutschen Regionen angegeben. Bork führt aus, dass die Landschaftsentwicklung einer intensiven Dynamik unterliegt. Landschaften als Geosysteme können sich im Quasi – Gleichgewichtszustand befinden, bis die Intensivierung der Landwirtschaft zur Destabilisierung führt. Diese äußert sich in verstärkter Bildung von Abfluss auf der Bodenoberfläche, erhöhter Wassererosion, hohen Stoffausträgen durch vertikale Auswaschung und laterale Stofftransporte. Neben den wassererosionsbedingten Stofftransporten werden die mechanischen Eingriffe der Bodenbearbeitung immer mehr als Einflussfaktoren angesehen. Die Bearbeitungserosion (tillage erosion) wird in Kanada und Belgien seit einigen Jahren in Bodenschutzprogrammen beachtet (Govers et al. 1996; Lobb et al., 2000)

**Was ist Bearbeitungserosion?**

Unter Bearbeitungserosion (tillage erosion) wird die Neuverteilung von Boden in Ackerlandschaften als Folge der Bodenbearbeitung verstanden. Sie unterscheidet sich von der einfachen Translokation durch Bodenverluste an konvexen und Bodenakkumulation an konkaven Hangabschnitten.



Um die Schätzungen der Sedimentverlagerung etwas genauer zu machen, wurden am Standort Müncheberg für einen definierten Zeitraum akkumulierte Sedimentationsakkumulation mittels einer Cäsiumdifferenzierung am Hang mit langjährigen Messungen zum Bodenverlust durch Wassererosion verglichen.

**Unterschiede der Sedimentverlagerung zwischen Wasser- und Bearbeitungserosion**

Hangposition	Wassererosion	Bearbeitungserosion
Oberhang	teilw. Verlust	Verlust
Mittelhang	Verlust	teilw. Verlust
Unterhang	Verlust oder Akkumulation	Akkumulation
Senke	Akkumulation oder Verlust	Akkumulation
Gesamtfläche	Netto-Bodenverlust	kein Netto-Bodenverlust., meist Akkumulation

Zur Aufklärung der auftretenden Differenz in der Sedimentationsrate verursacht durch Wassererosion und durch Bearbeitungserosion wurde ein Feldexperiment zur Quantifizierung der Bodentranslokation durch verschiedene Werkzeuge angelegt, um für künftige Flächenbilanzen diese Erosionsform mit einbeziehen zu können (siehe Funk et al. sowie Sommer et al. 2007, in diesem Heft).

Der Versuchsstandort ist eine Flach-Catena der stark übersandeten Grundmoränen mit anhydromorphen Böden aus schwach lehmigem Sandboden bei einer mittleren Hangneigung von 7 %.

Ergebnisse der Caesiumuntersuchungen:

<sup>137</sup>Cs wurde bis in Tiefen von 45 cm unter Flur gemessen und den Fall-out Ereignissen seit 1954 zugeordnet. Der Vergleich mit den Referenzflächen ergab für den Zeitraum 1972 bis 1986 einen hohen Durchschnittswert der Sedimentation am Hangfuß von etwa 34 t /ha/a. Nach 1986 stieg das Niveau des Caesium auf der gesamten Fläche an, die Differenzierung der vorangegangenen Sedimentverlagerung war aber deutlich erkennbar. (Li et al., 1999)

Ergebnisse der Wassererosion

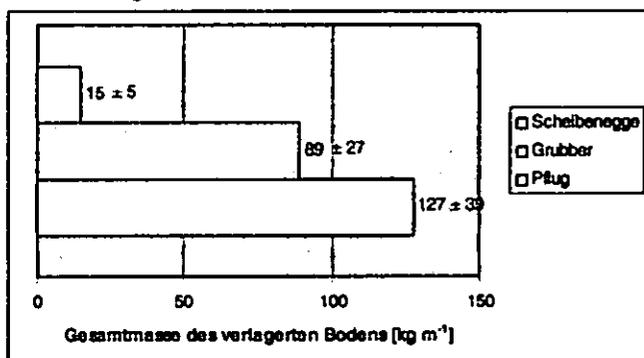
Im gleichen Zeitraum wurden in den Plots (45 m lang, 9 m breit) Oberflächenabfluss und Bodenabtrag gemessen. In Abhängigkeit von der Niederschlagserosivität und der jeweiligen Bodenbedeckung ergaben sich jährliche Mittelwerte von ca 12 t /ha (0 bis 490 kg je Plot). Eine Erklärung für die Differenz der Sedimentmenge wurde mittels der Prüfung der Translokation durch Pflug-, Grubber- und

\* ZALF Müncheberg  
 \*\* Bundesanstalt f. Strahlenschutz Berlin  
 \*\*\* Universität Kiel

## Scheibeneggenbearbeitung (Frielinghaus et al, 2004)

### Ergebnisse der Bearbeitungserosion

Vergleich der verlagerten Bodenmasse bei der Bearbeitung mit der Scheibenegge, dem Grubber und dem Pflug



Mengenmäßig den stärksten Eingriff verursachte der Pflug, gefolgt vom Grubber und von der Scheibenegge.

Der Eingriff der Werkzeuge hängt erheblich von der Hangmorphologie ab. Erste Modellrechnungen mit dem Massebilanzmodell von Walling (1997), mit dem die Gesamtbodenverlagerung an Hängen geschätzt wird, und die Gegenrechnung mit dem Modell E2D/ E3D (Schmidt, 1996) zeigt das deutlich. An Flachcatenen der stark übersandeten Grundmoräne mit anhydromorphen Böden (Beispiel Flachcatena Müncheberg mit konvexem Oberhang) werden etwa 64 % der Bodenverlagerung der Bearbeitungserosion zugeschrieben. Bei Steilcatenen der Sandhügel und -hänge mit anhydromorphen Böden (Beispiel Steilcatena Basedow mit hohem Anteil konvexer Abschnitte) werden 68 % der Bodenverlagerung als Ergebnis der Bearbeitungserosion geschätzt. Bei Flachcatenen der mächtig bis schwach übersandeten Grundmoräne mit vorwiegend anhydromorphen Böden (Beispiel Streckhang Augustenfelde) wurden 89 % der Bodenverlagerung als Ergebnis der Wassererosion geschätzt (Kietzer, 2007)

### Erste Schätzung der Bodentranslokation bei verschiedenen intensiven Bewirtschaftungssystemen (kg je m<sup>-1</sup>)

Anbausystem	Pflug	Grubber	Scheibenegge	Summe
<b>I konventionell</b>	3 x pflügen	1x grubbern	3x schieben	
Zuckerrüben- Winterweizen- Wintergerste- Zuckerrüben	381	89	45	515
<b>II konservierend</b>	1 x pflügen	2 x grubbern	3 x schieben	
Wintergerste-Seni- (abfrierend)-Mais (Mulchsaat)- Winterweizen- Winterroggen mit Untersaat	127	89	45	261
<b>III Intensivanbau (Biogaserzeugung)</b>	4 x pflügen		4.x schieben	
Mais-Mais-Mais-Mais	508		60	568

### Ausblick

In kuppigen Moränenlandschaften mit einem hohen Anteil an konvex geformten Steilcatenen ist die Bodenerosion seit der Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung eine Ursache für die Zunahme der Standortheterogenität und der charakteristischen Musterausprägung.

Im intensiven Ackerbau mit konventioneller Bodenbearbeitung kann neben der Wassererosion die Bearbeitungserosion einen erheblichen Anteil an der Veränderung der Bodenlandschaften haben.

Die ersten Untersuchungen zeigen die Unterschiede der längerfristigen Translokation an verschiedenen ausgeformten Hängen und erlauben eine Abschätzung der potentiellen Wassererosion und der Bearbeitungserosion. Die eingesetzten Modelle waren allerdings noch nicht zufriedenstellend, mit ihrer Hilfe konnte aber auf das Problem hingewiesen werden.

Die Untersuchung der Bearbeitungsgeräte mit verschiedenen bestückten Werkzeugen müssen weiter vertieft werden, da endgültige Aussagen zur Differenzierung der Translokation erst bei Variation der Bodenfeuchte, der Bearbeitungstiefe und -geschwindigkeit sowie der Lagerungsdichte getroffen werden können.

Das Zusammenwirken von Wasser- und Bearbeitungserosion ist weiter aufzuklären. Die Destabilisierung durch Translokation wird eventuell zu einer Erhöhung der Bodenerodibilität führen.

Die ersten Untersuchungsergebnisse bestärken die positiven Ansätze zur Reduzierung der konventionellen zugunsten der konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren, die sich wegen der erhöhten Bodenbedeckung zum Schutz vor Wassererosion bereits bewährt haben und bei denen die Anzahl der in den Boden eingreifenden Werkzeuge stark reduziert ist.

(Literaturangaben beim Verfasser)

# Feuchtigkeitsabhängige Dynamik des Sedimentaustrags unter Windkanalbedingungen

\*K. Fruhner, \*H. Fleige, \*R. Horn, \*M. Tews

## 1 Einleitung

Die Bodenstabilität ist ein ausschlaggebender Faktor für die Reduktion des Winderosionsrisikos in der Vorgeest Schleswig-Holsteins („Sandergeest“). Bei vorherrschenden Sanden (hohe Erodibilität) wird die Stabilität der Oberböden der im Untersuchungsgebiet dominierenden Podsole im Wesentlichen von der Bodenfeuchtigkeit bestimmt. Dem Sedimentaustag müssten sich demnach feuchteassoziierte Parameter (Wassergehalte und -Spannungen) zuweisen lassen. Im Focus der Untersuchung stand die Quantifizierung „kritischer“ Wassergehalte und -Spannungen für den Beginn des Saltationserosionsprozesses.

## 2 Material und Methoden

Oberbodenmaterial (Acp-Horizont) eines Gley-Podsols aus Flugsand (mSfs, 6,5% Humus, GPV 64% mit 36% LK, 24% nFK, 4% TW) über Sandersand wird bei freilandentsprechender Lagerungsdichte von  $\sim 1,0 \text{ g cm}^{-3}$  3,4 cm hoch in die Messstrecke (H\*B\*L 0,75\*0,72\*5,6m) des Windkanals eingebracht. Der Axiallüfter des nicht-zirkulären Windkanals saugt Umgebungsluft an und drückt sie, laminar ausgerichtet und beschleunigt, in die Messstrecke; in diese wurden eine Mikrowellensonde (Firma TEWS) in 0,2 cm und die Labortensiometer (Tensio 130, UGT) in 0,5; 1,0 und 1,5 cm Tiefe von unten vertikal 24 h vor Versuchsbeginn eingebaut. Der sedimentbeladene Luftstrom passiert ein statisches Anemometer (0,56 m), zwei höhenauflösende Flaschenfallen (MWAC, 4 Höhen von 1,7 bis 23,4 cm;  $0,48 \text{ cm}^2$  Öffnungsfläche), eine zeitauflösende Sedimentafalle (SUSTRA; 5,8 cm Höhe;  $19,6 \text{ cm}^2$  Öffnungsfläche) mit gekoppelter Wägeeinheit und verläßt den Windkanal (Abb.1)

\*Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Olshausenstr. 40, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24118 Kiel, [k.fruhner@soils.uni-kiel.de](mailto:k.fruhner@soils.uni-kiel.de)

\*TEWS Elektronik, Sperberhorst 10, 22459 Hamburg, [kontakt@tews-elektronik.com](mailto:kontakt@tews-elektronik.com)

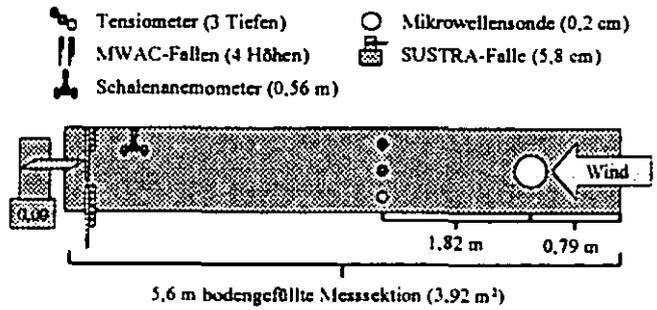


Abb. 1: Sensorausstattung und Einbaupositionen.

Es wurden 3 unterschiedliche Anfangsoberflächenwassergehalte (Tab. 1) eingestellt und 10 sukzessive Messungen je Tag bei konstanter Wind geschwindigkeit ( $6,8 \text{ ms}^{-1}$ ) durchgeführt. Die Varianten wurden entsprechend ihres Wassergehaltes in Feuchteklassen eingeteilt. N0 kennzeichnet den Zustand vor der ersten, N10 entspricht der 10. Bewindung.

Tab. 1: Teststruktur der Bewindungsversuche, eingeteilt nach Anfangswassergehalt und Feuchteklasse.

Wassergehalt (Volumen-%)	11,0-13,6	6,3	3,7
Feuchteklasse	1	2	3
n	20	10	20

Die Stabilitätsparameter Winkel der inneren Reibung und Kohäsion wurden im Oberflächenscherscherapparat nach Zhang et al. (2001, modifiziert) gemessen (Fruhner et al., 2006). Der „kritische“ Wassergehalt ( $\theta_{krit}$ ), bzw. -Spannung ( $\Psi_{krit}$ ) wird durch den manifesten signifikanten Austragsanstieg, hervorgerufen durch die Verminderung der wirksamen Meniskenfläche mit zunehmender Austrocknung, ausgewiesen.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### „Kritischer“ Wassergehalt:

Der Sedimentaustag (Abb. 2) ist signifikant höher in Feuchteklasse 3, als in 2 und 1. Parallel weisen verringerte Winkel der inneren Reibung und Kohäsion (nicht dargestellt) auf eine reduzierte Stabilität und so erhöhte Deflationsgefahr bei Trockenheit hin. Der „kritische“ Wassergehalt wird für den Übergangsbereich von Feuchteklasse 2 zu 3, entsprechend zwischen 6,3 und 3,7 Volumen-% Anfangsfeuchte ausgewiesen.

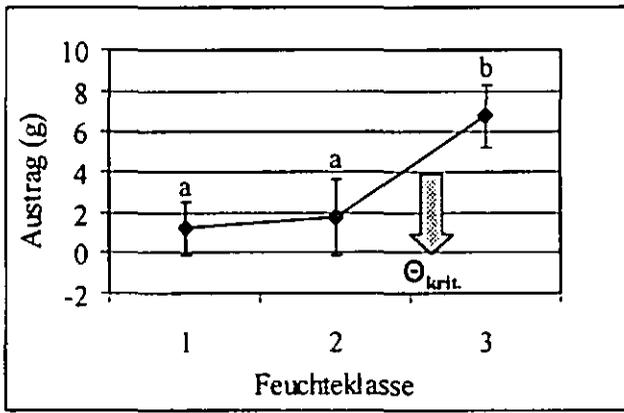


Abb. 2: Austragssumme (SUSTRA) und „kritischer“ Wassergehalt als Funktion der Feuchteklasse. Die Balken kennzeichnen das 95%-ige Konfidenzintervall (ANOVA), Signifikanztest Fisher LSD.

„Kritische“ Wasserspannung:

Im Verlauf der Bewindung sinkt die Wasserspannung in allen Tiefen (0,5>1,0>1,5 cm) und Feuchteklassen (1,2>3; nicht dargestellt). Das absolut niedrigste Wasserspannungsniveau und maximaler Austrag wird bei geringem Anfangswassergehalt in Feuchteklasse 3 erreicht. Steigende Wassergehalte resultieren in höherer Wasserspannung und reduziertem Austrag (Feuchteklasse 1<2<3; Abb. 3).

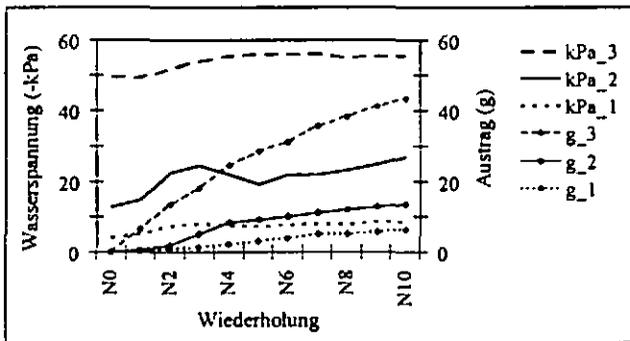


Abb. 3: Änderung der Wasserspannung (kPa; 0,5 cm) und Austräge (g) (SUSTRA, summiert) im Verlaufe der Bewindungsversuche als Funktion des Anfangswassergehaltes. Ziffern 1-3 kennzeichnen die Feuchteklasse, N0 den Zustand vor Bewindung, nachfolgende Ziffern den zu Beginn der jeweiligen Messung.

Im Bereich niedriger Wasserspannung steigt der Austrag von Feuchteklasse 2 zu 3 signifikant an (Abb. 4), so dass der „kritische“ Wassergehaltsbereich zwischen -30 und -50 kPa eingegrenzt wurde.

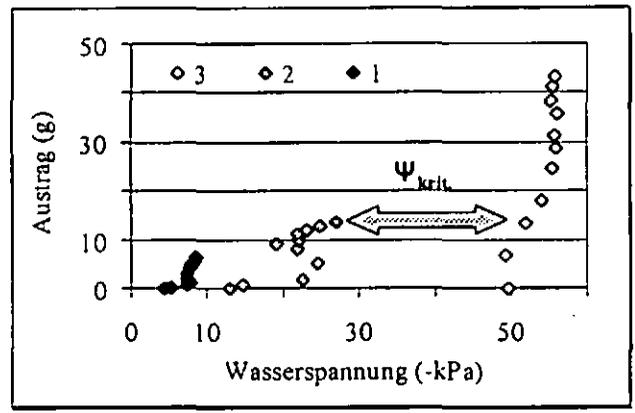


Abb. 4: Beziehung zwischen SUSTRA-Sedimentaustrag und „kritische“ Wasserspannung (0,5 cm) im Verlaufe der bewindungsbedingten Wasserspannungsänderung als Funktion des Ausgangswassergehaltes (Ziffern 1-3 kennzeichnen die Feuchteklasse).

4 Fazit

Der Sedimentaustrag durch Saltation unterliegt einer wassergehalts- und wasserspannungsabhängigen Dynamik. Die Wasserspannung sinkt mit zunehmender Bewindungsdauer, abnehmender Anfangsfeuchtigkeit und Einbautiefe der Tensiometer. Parallel steigen die Austräge, deren Höhe positiv mit der der Wasserspannung korreliert ist. Der „kritische“ Bereich wird zwischen 6,3 und 3,7 Volumen-% Anfangsoberflächenwassergehalt, bzw. -30 und -50 kPa Wasserspannung ausgewiesen. Bei Unterschreiten dieses Bereiches fungieren diese aufgrund der Abnahme der wirksamen Meniskenfläche nicht mehr als erosionskontrollierende Parameter.

5 Literatur

Fruhner K, Horn R, Fleige H (2006): Einfluss von Wasserspannung und Humusgehalt auf die Bodenstabilität eines Gley-Podsols in der Schleswig-Holsteinischen Vorgeest. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 109, 6-7.

Zhang B, Zhao QG, Horn R, Baumgartl T (2001): Shear strength of surface soil as affected by soil bulk density and soil water content. Soil Till. Res. 59: 97-106.

# GIS-gestützte Verwehungsfall-Analyse – Bodenerosionsforschung „von unten“ – das Beispiel Goldelund

Von Hassenpflug, W.<sup>1</sup> und R. Bauman<sup>2</sup>

## 1. Einleitung

Forschung „von unten“ meint hier den Ausgang von den konkreten Bodenverwehungs-Ereignissen und -formen in der Agrarlandschaft Mitteleuropas.

Diese sind deutlich komplexer als durch gegenwärtig bestehende Modelle abbildbar. Deshalb ist es wichtig, Ereignisse, die stattgefunden haben, möglichst genau zu dokumentieren und archivieren, um sie auch in Zeiten geänderter Rahmenbedingungen (Klima-wandel?) und geringerer Verwehungsintensität als Referenz verfügbar zu haben.

Ein GIS Bodenverwehung Schleswiger Geest (GIS BVSL) soll den Rahmen bilden, in dem ereignisbezogene terrestrische Daten, Bilder und Bodenproben mit Luftbildauswertungen und amtlichen Geodaten des Raumausschnitts zusammengebracht werden und möglichst auch allgemein verfügbar gehalten werden sollen.

## 2. Das BVSL GIS

Dazu gehören innerhalb eines Ausschnitts von etwa 100 DGK5-Blättern im Naturraum 697 (Niedere Geest)

- Verwehungsformen-Kartierungen aus Luftbildern
- Erfassung der Feldgrenz-Beschaffung
- Terrestrische Ereignis-Kartierungen
- Bodenproben aus Ereignissen
- Fotos und Videosequenzen
- Beobachtungsprotokolle

Diese waren ursprünglich analog und werden schrittweise digitalisiert bzw. soweit möglich, mit Koordinaten versehen.

Hinzu kommen die amtlichen Geodaten, insbesondere zu Boden-Kennwerten für die statistischen Erklärungsansätze.

## 3. Evidenzbasierte Aussagen zur Bodenverwehung

Schon die bloße anhaltende Beobachtung im Gelände ermöglicht eine Vielzahl von Aussagen.

1. **Verwehung durch Ostwinde** dominiert im Landesteil Schleswig aufgrund seiner Nähe zum skandinavischen Hoch; besonders ausgeprägt ist dies im Frühjahr.

2. Ein sichtbar gewordenes Verwehungsereignis resultiert kumulativ aus einer **Vielzahl einzelner Vorgänge von Erosion, Transport und Ablagerung**, jeweils, wenn die entsprechende Windgeschwindigkeit am Boden über- bzw. unterschritten wird.

3. An Gräben kann die **Sprungweite saltierender Körner** abgeschätzt werden. So wurden bei Windstärke 4 bis 6 Korngrößen von 0.2 bis 0.6 mm zu 50% über einen 3 m breiten Graben verfrachtet.

4. An **Wallhecken findet eine Sortierung** statt: die schwereren Körner werden vor dem Wall ausgefällt. – Die ostwestliche Luv-Lee Sortierung von gröberem zu feinerem Korn an Wällen belegt so auch ohne akute Verwehung a) das Auftreten von Verwehung b) dessen dominant ostwestliche Richtung (Hassenpflug 2004, S.234)

5. **Feldgrenzüberschreitender Sandtransport** kann als deutlicher Indikator für höhere Verwehungsintensität gelten.

6. **Wälder (auch Moore) sind Senken** für die feineren Korngrößenfraktionen, die in den Sandfahnen fehlen (Hassenpflug 2004, S.235). Die erhöhten oberflächennahen Schluff-, Ton- und Humusanteile in Waldstücke hinein belegen deren Funktion als Staubsenken in der Landschaft.

## 4. Ansätze einer Auswertung des BVSL GIS

Die Auswertungen wurden fortlaufend unter Nutzung der ständig wachsenden technischen Möglichkeiten durchgeführt (Hassenpflug 1981, Hassenpflug und Kopp 1993)

Hier seien davon angesprochen:

### 1. Die Festlegung der Bodendauerbeobachtungsfläche BDF 4, Goldelund

Die BDF 4 Goldelund, die einen Standort mit Verwehungsprägung repräsentieren soll, wurde 1992 zusammen mit dem federführenden Landesamt für Natur und Umwelt SH (Dr. Cordsen) u.a. aufgrund der

<sup>1</sup> Geographisches Institut der Universität Kiel, [hassenpflug@geographie.uni-kiel.de](mailto:hassenpflug@geographie.uni-kiel.de)

<sup>2</sup> vormals Geographisches Institut der Universität Kiel, [Ronald\\_B@gmx.de](mailto:Ronald_B@gmx.de)

Schadenskartierungen festgelegt. Aus Gründen der Flächenverfügbarkeit liegt sie leider ca. 300 m nördlich des durch starke Verwehung ausgewiesenen Areals, mehr in Richtung einer anmoorigen Grünland-Niederung; dies beeinflusst die Repräsentativität der dort erhobenen Messwerte.

**2. Die Verwehungsformen** lassen sich typisieren und auf unterschiedliche Faktorenkonstellationen beziehen.

Innerhalb eines **Verwehungsfalles** führt die Konstruktion von **Verwehungsprofilen** (Transsekten) zu reduzierter Komplexität und besserer Auswertbarkeit und zur Annäherung an die im BMFT-Projekt „Quantifizierung der Bodenerosion durch Wind II“ angewandte physikalisch begründete Modellierung des Sandtransports.

2. Gut sichtbare (komplexe, feldgrenzüberschreitende) Verwehungsfälle verteilen sich mit deutlichen verwehungsfreien Zwischenräumen auf das Untersuchungsgebiet. Ihre Dichte lag 1969 bei 6.8 pro km<sup>2</sup>, 1960 bei entsprechend geringerer Windstärke nur bei 3,3.

3. 1990 reichten schon 30 m Feldlänge (**Mindestfeldlänge**) aus, um Sandfahnen im leeseitigen Feld zu bewirken; das ergibt sich aus Verwehungsprofil-Auswertungen und kann ein Eckpunkt bei der Planung von Windschutzhecken sein; Extremereignisse sind durch Hecken allein nicht zu verhindern.

**4. Flächen- und Mengenbilanzen** lassen sich mittels GIS gut fundieren. Beispielsweise wurden in der Gemeinde Goldelund (ohne südlichen „Zipfel“ des Gemeindegebiets) auf 10,4 km<sup>2</sup> 300 000 m<sup>2</sup> Sand-Akkumulation nach Feldgrenz-Überschreitung ermittelt; auf den luvseitigen Feldern mit Auswehung ließen sich 1700000 m<sup>2</sup> Flächen mit einem dünnen Sandschleier (feldinterne Akkumulation) aus-messen.

Erst die Verteilungsmuster der Auswehung und Ablagerung im Luftbild lassen erahnen, wie problematisch Ableitungen allein aus Messungen an einem oder wenigen Punkten sind.

Bei Ergänzung der Flächenmessungen mit terrestrischen Abschätzungen der Mächtigkeit (5 cm in den Sandfahnen, 1 cm in den luvseitigen Schleiern) und einem spezif. Gewicht von 2.6 ergaben sich für das obige Gebiet Sandfahnenmassen von 3900 t und

von 420 t in den feldinternen Sandschleiern, jeweils ohne die per Suspension weiter transportieren Feinanteile des Ausgangsbodens.

## 5. Ausblick

Die im Blattschnitt der DGK5 erstellten Kartierungen sind weiter zusammenzufügen und für die statistische Analyse vorzubereiten. - Ältere terrestrische Erhebungen, besonders auch Fotos, sind noch zu scannen und geocodieren.

Da die alle Daten und Materialien nicht vollständig publiziert werden können, wäre für sie - wie für viele andere erosions- und bodenkundlich interessanten Daten (Bilder, Tabellen, Karten, Protokolle u.a.) - zu überlegen, wo und wie sie bei gegebener Bedeutsamkeit über die Schaffenszeit der Forscher hinaus erhalten und verfügbar gehalten werden könnten.

## 6. Literatur- und Quellenangaben

Hier nur vom Autor zu Region und Thematik; siehe umfassender:

<http://www.hassenpflug.geographie.uni-kiel.de/data/Literatur.pdf>

- HASSENPFUG, W., RICHTER, G. (1972): Formen und Wirkungen der Bodenabspülung und -verwehung im Luftbild. Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, Heft 10. Selbstverlag der Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn-Bad Godesberg.
- HASSENPFUG, W. (1974): Das Wirkungsgefüge der Bodenverwehung im Luftbild. Tagungsberichte und wissenschaftliche Abhandlungen 39. Deutscher Geographentag Kassel 1973, Wiesbaden, S. 550-556.
- HASSENPFUG, W. (1976): Sandverwehung und Windschutzwirkung im Luftbild (1971). In: Bodenerosion in Mitteleuropa, hrsg. von G. Richter (Wege der Forschung Bd. CCCCXXX) Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt
- HASSENPFUG, W. (1981): Die Flächen- und Mengenbilanz eines Sandsturmes auf der Schleswiger Geest - eine Abschätzung aus Luftbildern, Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch 30, S. 335-340.
- HASSENPFUG, W. und KOPP, G. (1993): Die Schadens/Faktorenkartierung 1:5000 für die Schleswiger Geest und ihre Bedeutung im Bodeninformationssystem. In: Mitteilgn. Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch. 72, S.1193-1196
- HASSENPFUG, W. (1995): Quantifizierung der Bodenerosion durch Wind II - Teilvorhaben D. Projekt-Nr.: 0339332 D. Teilprojektleiter W. HASSENPFUG. Kiel (Schlußbericht BMFT-Verbundprojekt)
- HASSENPFUG, W. (1998): Bodenerosion durch Wind. In: G. RICHER (Hrsg.): Bodenerosion - Analyse und Bilanz eines Umweltproblems, S. 69-82
- HASSENPFUG, W. (2004): Winderosion (Kap. 2.42), Schutz vor Winderosion (Kap. 3.72). In Handbuch des Bodenschutzes, Hrsg. H.-P. BLUME, Landsberg (ecomede-Verlag), 3. überarbeitete Auflage S.231-244, 695-699

# Kennzeichnung „naturnaher Böden“ anhand von Bodenvariabilität und –heterogenität als Ausdruck ökosystemarer Selbstorganisation

F. Hornschuch<sup>1</sup>, W. Riek<sup>1,2</sup>

## 1 Fragestellung und Arbeitshypothese

Die Naturwaldforschung in Deutschland hat sich bei der *Bewertung von Naturnähe* bisher auf den Vergleich der bestandesstrukturellen, mykologischen, botanischen, zoologischen und genetischen Qualität von Natur- und Wirtschaftswäldern konzentriert. Der Begriff der „Naturnähe“ taucht aber auch im Zusammenhang mit der „Archivfunktion“ von Böden für die „Naturgeschichte“ auf. Hierbei werden jedoch sehr allgemeine und ungenaue *Kenzeichen für naturnahe Böden* vorgeschlagen, die ihre Schutzwürdigkeit begründen sollen (z.B. ungestörter Profilaufbau, überlieferte Nutzungsgeschichte). Gezielte bodenkundliche Analysen als Grundlage einer Quantifizierung der Naturnähe fehlen bislang.

Bei den Untersuchungen wurde davon ausgegangen, dass sich bei natürlichen Waldökosystemen über mehrere Bestandesgenerationen durch ökosystemare Selbstorganisationsprozesse und zufällige, natürliche Störungen andere *Bodenmuster* herausbilden als in Wirtschaftswäldern, wo die Pedogenese anthropogen beeinflusst wird (Homogenisierung der Bestandesstruktur, flächige Bodenbearbeitung durch Saat und Pflanzung, Bodenverdichtung und –verwundung durch Rückarbeiten usw.). Das auf WITTAKER (1972, zit. in MÖHLENBERG 1993) zurückgehende mehrstufige Diversitätskonzept der Biologie bzw. Ökologie wurde auf den Waldboden übertragen und die *Variabilität* ( $\alpha$ -Diversität) und die *Kleinräumige Heterogenität* ( $\beta$ -Diversität) von Bodenkennwerten in Natur- und Wirtschaftswäldern verglichen.

Über erste Ergebnisse im Blick auf die Horizontierung sowie die organische Bodensubstanz wurde bereits berichtet (HORNSCHUCH & RIEK 2007).

## 2 Material und Methoden

**Flächenauswahl:** Auf Sandböden Brandenburgs und der Neumark (Polen) wurden drei standörtlich vergleichbare Flächen-Paare (Reinbestände) mit Rot-Buche, Traubeneiche und Wald-Kiefer mit jeweils geringer anthropogener Störung (Naturwälder, „Urwälder“) und solche mit starker forstlicher Beeinflussung, jedoch mit standortgerechter Vegetation (Wirtschaftswälder) ausgewählt (HORNSCHUCH & RIEK 2005, 2006).

**Probenahme:** Je Untersuchungsfläche wurden entlang eines 80 x 80 m-Kreuztransektes 221 Einstiche mit Wurzelbohrer ( $\varnothing = 8$  cm) vorgenommen. Der Punkt-Abstand betrug in wiederkehrenden Intervallbereichen 40, 80 oder 160 cm. Die Mineralbodensäulen bis 40 cm Tiefe wurden in 7 Tiefenstufen zerlegt.

**Parameter:** Horizontmächtigkeit, pH-Wert, Humus-, C-, N-Gehalt, Kationenaustauschkapazität (eingeschränkt), Sättigung der Elemente Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Mn (eingeschränkt), in *geringerer räumlicher Intensität*: Trockenrohdichte, gravimetrischer Wassergehalt,

Bestandesniederschlag, lokaler Bestandesstrukturindex, Kronenindex, Bodenvegetation, Lumbriciden

**Auswertung:** Streuungsmaße, wie Standardabweichung und Variationskoeffizient, wurden mit SPSS 13.0 berechnet (deskriptive Statistik); Autokorrelationslänge, Nuggeteffekt und Schwellenwert mit VARIOWIN 2.2.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Variabilität ( $\alpha$ -Ebene)

In der Regel finden sich in den Naturwäldern höhere Variabilitätskoeffizienten für verschiedene Bodenparameter (0-5 cm, Tab. 1). Im Kiefern-Wirtschaftswald variieren einige Parameter relativ stärker als im Naturwald, z.B. der Humus- und C-Gehalt. Möglicherweise liegt das an den sehr geringen Humusvorräten des jungen Bodens auf Flugsanddünen (Regosol) und an Holzkohlespuren.

### 3.2 Kleinräumige Heterogenität ( $\beta$ -Ebene)

Im Buchen- und Eichen-Naturwald sind die Autokorrelationslängen des Humus-, C- und N-Gehaltes größer als in den Wirtschaftswäldern (Tab. 2). Dagegen sind beim Kiefern-Paar die Muster im Wirtschaftswald großflächiger - mit Ausnahme des pH-Wertes und der Sättigung mit basischen Kationen (Ca, Mg, K, Na). Ausgesprochen große Autokorrelationslängen einiger Parameter (Humus, C-, N-Gehalt, AKe in 0-5 cm > 10 m; K- und Na-Sättigung in 30-40 cm Tiefe > 30 m) sind in diesem Fall wahrscheinlich auf die historisch und geologisch nachgewiesene (anthropogene) Übernutzung zurückzuführen (Holzkohlespuren, holozäne Dünenbildung).

## 4 Diskussion

Wegen Ausgeglichenheit des Bodenzustandes infolge Stabilität und vergleichsweise hohem Humusgehalt werden in ausgedehnten Urwäldern auf verschiedenen Expositionen die gleichen Wald- und Bodentypen vorgefunden (KORPEL, 1995). Ein ähnlicher Effekt konnte durch die Untersuchung auf der Bestandesskala nachgewiesen werden (größere Autokorrelationslängen).

Waren innerhalb der Fläche die gleichen geologischen Ausgangsbedingungen erfüllt und erfolgte keine direkte anthropogene Beeinflussung des Bodens, werden räumliche Bodenmuster primär durch ober- und unterirdischen Strukturen des rezenten Baumbestandes und teilweise auch früherer Bestandesgenerationen verursacht.

Da der Gehalt organischer Substanz in nährstoffarmen, sandigen Mineralböden vor allem durch den (Fein-) Wurzelumsatz bestimmt wird, ist die räumliche Heterogenität des Humusgehaltes sowie des C- und N-Gehaltes und der AKe mit der Struktur der spezifischen *Wurzelsysteme* verbunden. Mit der Anreicherung von „Dauerhumus“ werden frühere Bestandessituationen archiviert. Mit zunehmender Extensivität der Grob- und Feinwurzelsysteme (Buche < Eiche < Kiefer, POLOMSKI & KUHN 1998, HORNSCHUCH & RIEK 2006) nehmen auch die Autorrelationslängen des Humusgehaltes zu. Diese Tendenz trifft jedoch nicht für die Bestände Buchen-Wirtschafts- und Kiefern-Naturwald zu. Im Buchenbestand sind die Autokorrelationslängen mit weniger als 2 m sehr gering. Der altersmäßig stark differenzierte Kiefern-Naturwald weist ähnliche Humus-Autokorrelationslängen wie die Laubbaumbestände auf. Bemerkenswert ist, dass die räumliche Verteilung des Feinwurzelsystems in diesem Bestand nur bei kleinem Suchkreisradius ( $r=4$ m, ggü. 10m) modelliert werden konnte (HORNSCHUCH & RIEK 2006).

<sup>1</sup> Fachhochschule Eberswalde, 16225 Eberswalde, fhornschuch@fh-eberswalde.de; wriek@fh-eberswalde.de

<sup>2</sup> Landesforstanstalt Eberswalde, 16225 Eberswalde, Winfried.Riek@LFE-E.Brandenburg.de

Tab. 1 und 2: Variationskoeffizienten (oben) und Autokorrelationslängen (unten)

Überschneidungen zwischen den Naturwald- und Wirtschaftswald-Varianten. Ob im Unterboden die kleinräumige Heterogenität von pH-Wert und Elementsächtigungen die rezente oberirdische Bestandessituation abgebildet oder gar frühere Strukturen archiviert werden, ist im Gegensatz zum Humusgehalt fraglich.

	Rot-Buche		Trauben-Eiche		Wald-Kiefer	
	Wirtsch.wald	Naturwald	Wirtsch.wald	Naturwald	Wirtsch.wald	Naturwald
Protonengehalt						
Humusgehalt						
in 0-5 cm:	Variationskoeffizient [%]		Variationskoeffizient [%]		Variationskoeffizient [%]	
pH-Wert	5,13	<b>12,51</b>	4,49	<b>5,41</b>	4,43	<b>4,82</b>
Humusgehalt	30,66	<b>26,67</b>	36,39	<b>56,63</b>	<b>59,98</b>	58,07
C-Gehalt	32,27	<b>29,33</b>	37,02	<b>34,39</b>	<b>66,23</b>	60,97
N-Gehalt	33,32	<b>35,46</b>	39,63	<b>62,80</b>	56,58	<b>58,26</b>
AKe	18,95	<b>48,67</b>	18,48	<b>35,75</b>	37,91	<b>41,82</b>
Ca-Sättigung	40,29	<b>47,46</b>	57,91	<b>86,06</b>	47,32	<b>56,96</b>
Mg-Sättigung	30,49	<b>34,92</b>	36,04	<b>43,42</b>	<b>38,66</b>	36,22
K-Sättigung	22,77	<b>24,41</b>	31,19	<b>36,4</b>	30,33	<b>30,34</b>
Na-Sättigung	<b>33,48</b>	30,44	35,65	<b>48,65</b>	28,92	<b>35,82</b>
Al-Sättigung	27,96	<b>52,16</b>	9,14	<b>24,00</b>	14,50	<b>18,32</b>
Fe-Sättigung	47,47	<b>88,82</b>	20,53	<b>38,36</b>	<b>28,26</b>	23,17
Mn-Sättigung	<b>54,72</b>	53,62	79,14	<b>138,63</b>	<b>120,98</b>	93,81
TRD	11,27	<b>12,20</b>	<b>14,82</b>	14,38	2,48	<b>2,42</b>

5 Zusammenfassung und Ausblick  
Sandböden unter naturnahen Buchen und Eichenbeständen besitzen eine höhere Variabilität als entsprechende Wirtschaftswälder. Eine große Streuung verschiedener Bodenparameter ist auch in jungen Böden mit geringen Humusgehalten anzutreffen, wie im untersuchten Fall eines bewirtschafteten Kiefernbestandes auf Flugsanddüne. Gleichzeitig scheinen sich großflächigere Muster auszubilden, die bei Bewirtschaftung zerstört oder durch kleinräumigere Strukturen überlagert werden. Diese räumlichen Muster lassen sich trotz Vorliegen von Erklärungsansätzen in den verschiedenen Tiefen

	Rot-Buche		Trauben-Eiche		Wald-Kiefer	
	Wirtsch.wald	Naturwald	Wirtsch.wald	Naturwald	Wirtsch.wald	Naturwald
pH-Wert						
Humusgehalt						
in 0-5 cm:	Autokorrelationslänge [m]		Autokorrelationslänge [m]		Autokorrelationslänge [m]	
pH-Wert	5,16	<b>5,51</b>	<b>11,44</b>	2,03 ?	4,20	<b>7,32</b>
Humusgehalt	1,64	<b>8,40</b>	6,40	<b>7,20</b>	<b>15,12</b>	3,62
C-Gehalt	2,49	<b>12,60</b>	4,20	<b>6,60</b>	<b>12,92</b>	3,98
N-Gehalt	2,20	<b>26,40</b>	2,17	<b>6,60</b>	<b>10,88</b>	3,62
AKe	3,24	?	2,91	?	<b>10,8</b>	2,87
Ca-Sättigung	6,16	8,40	8,40	?	3,98	<b>6,03</b>
Mg-Sättigung	6,82	?	?	?	2,84	<b>3,61</b>
K-Sättigung	6,46	4,97	4,97	?	<b>4,47</b>	3,69
Na-Sättigung	23,28	3,03	3,03	?	4,05	<b>7,10</b>
Al-Sättigung	5,99	8,88	8,88	?	<b>6,00</b>	5,89
Fe-Sättigung	7,92	5,68	5,68	?	<b>8,40</b>	2,84
Mn-Sättigung	7,70	14,62	14,62	?	<b>1,23</b>	3,69

Der pH-Wert und die Sättigungsgrade dagegen dürften stärker mit der aktuellen, oberirdischen Bestandessstruktur zusammenhängen, da Kronenstrukturen und der Stammablauf eine Niederschlags- und Depositionsumverteilung im Bestand bewirken. Autokorrelationslängen des pH-Wertes von 5,00 bis 5,50 m im Oberboden der Buchenbestände unterstützen diese Vermutung, da Buchen einen ausgeprägten Stammabfluss aufweisen und die mittleren Stammabstände 5-7 m betragen (Elementsächtigungen im Buchen- und Eichen-Naturwald wurden nicht bestimmt). Während zwischen Natur- und Wirtschaftswäldern die Variabilitäts- und Heterogenitätsunterschiede des Humusgehaltes in verschiedenen Tiefenstufen ungefähr gleich sind, gibt es bei den pH-Tiefenprofilen der Buchen- und Eichenbestände

nicht immer gut interpretieren. Die Ergebnisse dienen einer ersten Orientierung über die kleinräumige Bodenheterogenität in Natur- und Wirtschaftswäldern auf Sandstandorten. Zur Validierung sollten die Untersuchungen bei optimiertem Probenahmedesign auf mehr Flächen ausgedehnt werden.

Literatur

HORNCHUCH, F.; RIEK, W. (2005): Bodenheterogenität: Indikator für Biodiversität und Naturnähe? - Problemstellung, Ziele, Methodik. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 106: 27-28.  
 HORNCHUCH, F.; W. RIEK (2006): Heterogenität und Musterbildung in Waldböden als Indikator für Biodiversität und Naturnähe. DFG-Projekt RI 1219 / 1-1, Abschlussbericht, Fachhochschule Eberswalde, 141 S. + 41 S. Anlagen, unveröff.  
 HORNCHUCH, F.; W. RIEK (2007): Heterogenität der organischen Bodensubstanz in Abhängigkeit von Naturnähe und Waldtyp. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 109: 12-13.  
 KORPEL, S. (1995): Die Urwälder der Westkarpaten. Stuttgart, 310 S.  
 MÖHLENBERG, M. (1993): Freilandökologie. Heidelberg, Wiesbaden, 514 S.  
 POLOMSKI, J.; N. KUHN (1998): Wurzelsysteme. Hrsg. Eidgen. Forsch.anst. f. Wald, Schnee u. Landsch., Birmensdorf, Bern, Stuttgart, Wien, 290 S.

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (RI 1219/1-1) und der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (05HS021/2) für die Finanzierung der Untersuchungen.

## Böden und Biotopentwicklungspotentiale in Naturschutzgebieten der Stadt Bonn

Martin Kehl, Marie-Luise Linder & Armin  
Skowronek<sup>1</sup>

### Einführung

Naturschutzgebiete städtischer Ballungsräume unterliegen starker Beanspruchung durch die ansässige Bevölkerung und Erholungssuchende. Dies gilt auch für die Bonner Schutzgebiete „Düne Tannenbusch“ (DT) und „Rodderberg“ (RB), in denen Trocken- und Halbtrockenrasen auf Dünen sand bzw. auf Basalt-Tephra vorkommen. Die Naturschutzziele werden hier z.T. nicht erreicht, was u.a. auf Nährstoffeinträge durch Tierkot und Vorhandensein nicht standort-rechter Pflanzenarten zurückgeführt wird.

Ziel unserer Untersuchungen war es, die Böden der o.g. Naturschutzgebiete hinsichtlich ihres Biotopentwicklungspotentials zu kennzeichnen. Hierzu wurden im Frühjahr 2004 Profilgruben und Bohrtransekte entlang von Hangcatenen angelegt und beprobt. Der Trophiegrad und Wasserhaushalt der Böden wurde mittels Nährstoffuntersuchungen ( $N_{\min}$ ,  $P_{\text{CAL}}$ ,  $KAK_{\text{eff}}$ ,  $pH_{\text{CaCl}_2}$ , Basensättigung) und bodenphysikalischer Kenngrößen (Textur, nutzbare Feldkapazität, Wasserdurchlässigkeit) charakterisiert.

### NSG Düne Tannenbusch

Die 1989 unter Schutz gestellte umbaute Düne ist der 6,8 ha große Rest einer ehemals 8 km langen und bis zu 600 m breiten Flugsanddecke, die Hochflutablagerungen der Niederterrasse des Rheins aufliegt. Die Düne diente im 17. und 18. Jhd. als Jagdrevier, wurde als Soldatenfriedhof genutzt und war nach Rodung (1817) etwa 120 Jahre militärischer Übungsplatz. Während der Umbauung der Düne wurde Sand als Baumaterial entnommen und örtlich Bauschutt deponiert. Die Düne wurde zudem u. a. mit Pappeln, Robinien und Schlehen bepflanzt, die der Düne heute einen parkähnlichen Charakter verleihen. Ziele des Naturschutzes sind die Förderung und Wiederherstellung einer dünentypischen Pioniervegetation.

Die Böden sind überwiegend mittel- bis feinsandige, mäßig entwickelte Braunerden, die örtlich auch Lagen lehmiger Sande enthalten. In diesem Fall erreicht die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum  $95 \text{ l/m}^2$  (Tab. 1). Die reinsandigen Standorte erreichen – nach auf Tabellen der KA 5 beruhenden Schätzungen (s. Ad-hoc-AG Boden 2005) – Werte zwischen 60 und  $80 \text{ l/m}^2$ . Kleinräumige Unterschiede der pH-Werte sowie der Ton- und Humusgehalte ergeben eine große Spannbreite der  $KAK_{\text{eff}}$  und der S-Werte

(vgl. Tab. 1). Auch die  $P_{\text{CAL}}$ -Gehalte variieren stark und nehmen teilweise mit der Tiefe zu (Abb. 1), was Folge von Umlagerungen und der wechselvollen Nutzungsgeschichte ist. Während die  $N_{\min}$ -Gehalte als gering bis sehr gering einzustufen sind, variiert die durch  $KAK_{\text{eff}}$ , S-Wert und  $P_{\text{CAL}}$  charakterisierte Nährstoffverfügbarkeit insgesamt stark. Die Düne Tannenbusch ist daher nicht durchgängig als extrem nährstoffarm und phosphorlimitiert anzusehen, wie dies für Sandrasen als typisch gilt (vgl. Quinger & Meyer 1995). Die Böden nehmen daher unterschiedliche Trophiegrade im Ökogramm ein (Abb. 2).

### NSG Rodderberg

Bereits 1927 unter Schutz gestellt, beherbergt der mit etwa 500 000 Jahren jüngste Vulkan der Bonner Umgebung mehr als 40 Pflanzenarten der Roten Liste NRW. Weitere Arten sind in den letzten Jahrzehnten verschwunden, was dazu veranlasste, die Flächen seit 2001 wieder extensiv zu beweiden und Ackerrandstreifen auf den angrenzenden Äckern einzurichten.

Die skelettreichen Regosole und Ranker des Rodderbergs sind trockene bis extrem trockene Pflanzenstandorte und weisen auch geringe Nährstoffpotentiale auf (Tab. 1). Ein erhöhter, nutzungsbedingter Trophiegrad ist nicht nachzuweisen (Abb. 2), die Böden weisen somit hohe Biotopentwicklungspotentiale auf.

### Fazit

Die für Sandmagerrasen z.T. sehr hohen Nährstoffpotentiale der Böden der Düne Tannenbusch erschweren das Erreichen der Schutzziele. Hier ist ein Abschieben der oft nährstoffreichen Oberböden erforderlich, um dünentypische Pioniervegetation zu fördern. In beiden Schutzgebieten sind jedoch auch Böden verbreitet, die hohe Potentiale für das Erreichen der Leitbilder aufweisen. Defizite sind dann nicht bodenbedingt, sondern bestehen in fehlender Akzeptanz der Bevölkerung für Betretungsverbote oder für aufwändige Pflegemaßnahmen, wie z.B. für das Entfernen der Baumvegetation auf der Düne Tannenbusch. Eine stärkere Berücksichtigung von Böden bei der Ausweisung und Bewirtschaftung von Naturschutzgebieten erscheint wichtig, um Standortverhältnisse umfassend bewerten zu können.

### Literatur

- Ad-hoc-AG Boden (2005<sup>5</sup>): Bodenkundliche Kartieranleitung. – Hannover, 438 S.  
Müller, U. (2004<sup>7</sup>): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. – Arbeitshefte Boden 2004/2, Hannover, 409 S.  
Quinger, B. und Meyer, N. (1995): Lebensraumtyp Sandrasen. Landschafts-Pflegekonzept Bayern II.4. – Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen und Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (Hrsg.), München, 253 S.

<sup>1</sup> INRES-Bodenwissenschaften, Universität Bonn, Nussallee 13, 53115 Bonn, E-mail: mkehl@uni-bonn.de

Tab. 1: Bodenpotentiale in den NSG Düne Tannenbusch (DT) und Rodderberg (RB).

NSG	nFKWe l/m <sup>2</sup>	kf Median cm/Tag	pH	KAK <sub>eff</sub> mol <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	S-Wert mol <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	P <sub>CAL</sub> kg/ha	N <sub>min</sub> kg/ha
DT	95 <sup>1)</sup>	74-415 <sup>1)</sup>	4,0-7,3	5-117	3-117	43-264	<1-10
Bewertung	trocken	hoch bis extrem			sehr gering bis hoch	gering bis hoch	(sehr) gering
RB	39 <sup>2)</sup>	287, 568 <sup>2)</sup>	5,2-7,5	12-56	12-56	7-37	<1-10
Bewertung	sehr trocken	extrem			mäßig bis mittel	gering	(sehr) gering

<sup>1)</sup>nach Stechzylinderuntersuchungen an Profil DT 3  
<sup>2)</sup>nach Stechzylinderuntersuchungen an Profil RB 3

Abb. 1: Variation des pflanzenverfügbaren Phosphors mit der Bodentiefe und im effektiven Wurzelraum (We: 0-60 cm Bodentiefe) entlang von Catenen der Düne Tannenbusch.

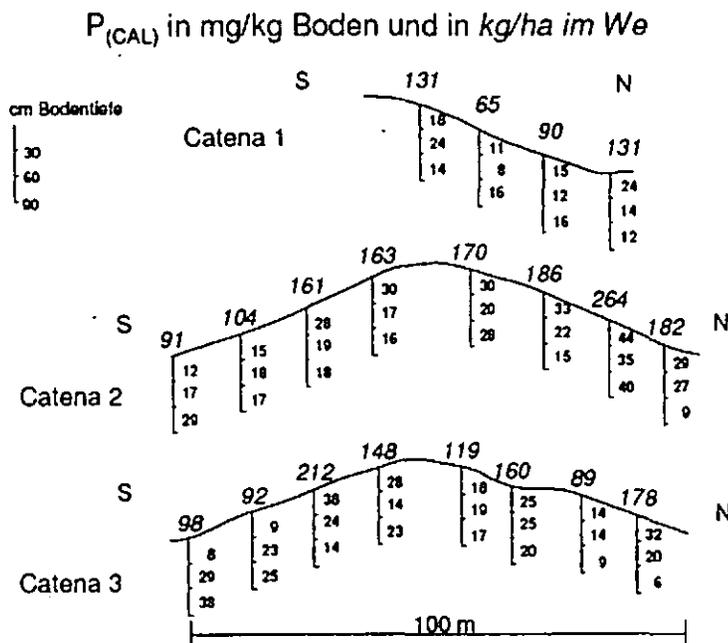


Abb. 2: Auszug aus dem Ökogramm nach Müller (2004, verändert) mit Standorten der NSG Düne Tannenbusch (DT) und Rodderberg (RB).

Bodenkundliche Feuchtestufe												
mittel trocken (3)												
trocken (2)		DT	DT			DT			DT			
stark trocken (1)		RB	RB									
dürr (0)												
Nährstoffpotential im We (kmol <sub>e</sub> /ha)	< 300			300 - 600			> 600			Salz- böden	SM-be- lastete Böden	Moore
Pufferbereich	<4,2	4,2- 6,2	>6,2	<4,2	4,2- 6,2	>6,2	<4,2	4,2- 6,2	>6,2			

# Funktion, Entwicklung und Potenzial von Böden in ökologisch angepassten Landnutzungssystemen semi-arider Gebiete (Nordwestküste Ägyptens)

Klammer, O.<sup>1</sup>; Zierdt, M.<sup>1</sup> & T. Vetter<sup>2</sup>

## 1. Einleitung

Ausgangspunkt dieses Beitrags ist die Feststellung, dass 84 % der weltweit produktiven Trockengebiete anfällig für Dürren und Desertifikation sind. In der Regel sind zunehmender Bevölkerungsdruck und unangepasste Landnutzung Ursache für die Landdegradation in semi-ariden Gebieten (Faz Cano et al. 2005 und Vetter 1997). Gemäß dem Satz „The past is the key to the future“ werden in diesem Beitrag antike Water-Harvesting-Strukturen (Vetter 1996) in ihrem hydro- und pedologischen Umfeld charakterisiert, um den Begriff angepasste Landnutzung vor dem Hintergrund ehemaliger (römisch-byzantinische Zeit) und heutiger Wirtschaftsweisen zu diskutieren. Voraussetzung für einen solchen Vergleich ist die Annahme, dass sich die klimatischen Bedingungen im Untersuchungszeitraum nicht wesentlich verändert haben. Ergebnisse von Kuper & Kröpelin (2006) und Kuper et al. (2007) bestätigen diese Annahme.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt an der Nordwestküste (NWK) Ägyptens, ungefähr 8 km westlich der heutigen Hafenstadt Marsa Matruh. Das Nildelta mit der Hauptstadt Kairo ist ca. 500 km entfernt. Die vielseitigen kulturellen Einflüsse auf diese Region werden in der Namensgebung der Stadt Marsa Matruh deutlich. Aus dem ptolomäischen Parätonium wurde später Ammonia bevor der heutige Name Marsa Matruh entstand. Miozän abgelagerte Sedimentgesteine der Moghra-Formation im Liegenden und der Marmarica-Formation im Hangenden bilden den geologischen Untergrund bevor die pliozäne Hagif-Formation den Abschluß zur Oberfläche bildet (Said 1962). Ausgangsmaterial der Bodenbildung sind fossilienhaltige Kalksteine der Marmarica-Formation mit mergeligen Zwischenschichten, sowie in zurücktretendem Maße kolluviale und äolische Ablagerungen.

Bei 145 mm mittlerem Jahresniederschlag erreichen die räumlich und zeitlich sehr variablen Niederschläge selten die agronomische Trockengrenze (200 bis 300 mm), unter der Feldbau eigentlich nicht mehr möglich ist, was die Besonderheit von Water-Harvesting-Strukturen erklärt. Nur durch gezielte Bewirtschaftung kann unter diesen marginalen Bedingungen Feldbau betrieben werden. Das wenige Niederschlagswasser wird in speziell bewirtschafteten Einzugsgebieten „geerntet“ und als Oberflächenabfluss auf landwirtschaftliche Nutzflächen geleitet, auf denen es eingestaut und vom Boden gespeichert wird (Abb. 1).

Nur bei günstigen hydro- und pedologischen Bedingungen ist eine effiziente Nutzung möglich. Antike landwirtschaftliche Nutzflächen werden im Arabischen als karm bezeichnet.

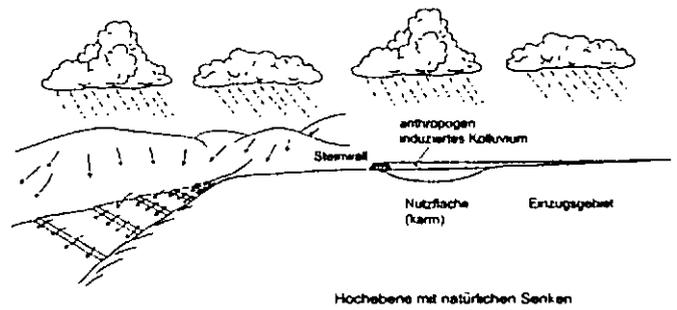


Abb. 1: Water-Harvesting an der NWK Ägyptens (Hillel 1998, verändert)

### 2.2 Durchgeführte Untersuchungen

Zur hydrologischen und bodenkundlichen Charakterisierung von Einzugsgebieten- und Nutzflächen wurden topographische Geländesurveys sowie Landnutzungs- und Oberflächenkartierungen durchgeführt. Die bodenkundliche Ansprache (Profilaufnahme) mit anschließender Probennahme erfolgte in Profilgruben. Horizontspezifische Mischproben wurden aus den Profilen im Einzugsgebiet und auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen (karm) genommen und auf die Parameter Bodenart, Rohdichte, pH-Wert, EC-Wert, Corg, CaCO<sub>3</sub> sowie Anionen und Kationen untersucht. Kennwerte zum Wasser- und Lufthaushalt der Böden (Luftkapazität [LK], Feldkapazität [FK], permanenter Welkepunkt [PWP] und nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum, [nFK<sub>wc</sub>]) wurden in einer ersten Annäherung gemäß KA 5 (Ad-hoc-AG Boden 2005) abgeschätzt. Infiltrationsraten wurden mit dem Haubeninfiltrometer gemessen und nach Gardner (1958) und Wooding (1968) in hydraulische Leitfähigkeiten (kf-Wert) umgerechnet.

## 3. Ergebnisse

Die topographischen Voraussetzungen für Water-Harvesting auf den nördlichen Hochebenen stellen sich als günstig dar. Bei einer Geländeneigung von 1,2 % im Einzugsgebiet wird der nach Niederschlagsereignissen generierte Oberflächenabfluss bei Überschreiten der Infiltrationsrate des Bodens in nordöstliche Richtung auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen geleitet, auf denen er eingestaut und vom Boden gespeichert wird (Abb. 2).

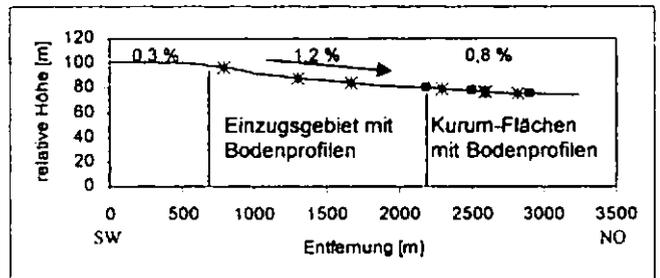


Abb. 2: Gebietshydrologie im Untersuchungsgebiet

Auf den Einzugsgebietsflächen wurden bei bodenkundlichen Kartierungen Leptosols und flachgründige Calcisols mit den typischen Oberflächencharakteristika eines yermic horizons vorgefunden. Auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen hingegen Haplic Calcisols, deren Oberflächen durch Bodenbearbeitung gestört sind (Tab. 1). Aus diesen Standortbedingungen resultieren die im Median niedrigeren

<sup>1</sup> Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Naturwiss. Fakultät III, Institut für Geowissenschaften, Von-Seckendorff-Platz 4, 06120 Halle

<sup>2</sup> Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Mathematisch-Naturwiss. Fakultät, Institut für Geographie und Geologie, Jahnstraße 16, 17487 Greifswald

hydraulischen Leitfähigkeiten der Böden im Einzugsgebiet gegenüber den höheren hydraulischen Leitfähigkeiten der Böden auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen. Entwicklungsprogramme des ägyptischen Staates (Subventionierung von Saatgut und Kraftstoff) verursachen eine heutzutage fortschreitende ackerbauliche Nutzung im ehemaligen Einzugsgebiet. Das Pflügen im ehemaligen Einzugsgebiet und der wassergängige Untergrund führen dort zu deutlich höheren hydraulischen Leitfähigkeiten als auf den ehemaligen Nutzflächen (karm-Strukturen). Die Funktion des antiken Einzugsgebietes als Generierungsgebiet von Oberflächenabfluss ist heutzutage nicht mehr gegeben oder stark reduziert.

Des Weiteren unterscheiden sich die Böden von Einzugsgebiet und Nutzflächen in ihrer Wasserspeicherkapazität (nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum). Geringfügige Unterschiede der Böden im Einzugsgebiet und den landwirtschaftlichen Nutzflächen hinsichtlich der vorkommenden Bodenarten und Humusgehalte lassen hohe Wasserspeicherkapazitäten nur auf Böden mit ausreichend mächtigem Solum (karm-Strukturen) zu.

Die heutige undifferenzierte Landnutzung im Einzugsgebiet schneidet also die tiefgründigen Böden mit hoher Wasserspeicherkapazität (karm-Strukturen) von der Wasserversorgung aus dem Einzugsgebiet ab. Die heute genutzten „Einzugsgebietsböden“ zeichnen sich aufgrund ihrer Flachgründigkeit durch eine geringe Wasserspeicherkapazität aus und sind daher für Feldbau nicht geeignet.

Tab. 1: Bodenkundliche Standortcharakteristika von Einzugsgebiet und Nutzflächen im Vergleich

Parameter	Einzugsgebiet	Nutzfläche
<b>Bodentyp</b>	Leptosols, Calcisols	Calcisols
<b>Oberflächen ehemalig rezent</b>	ungestört weitestgehend gestört	gestört gestört
<b>Landnutzung ehemalig rezent</b>	ext. Weide ext. Weide + Acker	Ackerbau Ackerbau
<b>Bodenarten Oberboden Unterboden</b>	Lu Tu3, Lt3, Lt2	Lu Tu3, Lt3, Lt2
<b>Kf-Werte [cm/min] Min</b>	0,006 (0,094)*	0,031
<b>Max</b>	0,093 (0,150)*	0,087
<b>MW</b>	0,035 (0,132)*	0,051
<b>Median</b>	0,035 (0,141)*	0,053
<b>Gründigkeit [cm] Min.</b>	9	75**
<b>Max</b>	35	155**
<b>MW</b>	26	104**
<b>Median</b>	30	85**
<b>nFK<sub>wc</sub> [mm] Min.</b>	7	95**
<b>Max</b>	37	208**
<b>MW</b>	28	125**
<b>Median</b>	33	101**

\* rezent gepflügte Bereiche im Einzugsgebiet

\*\* Unterschätzung der Ergebnisse, Pürckhauerkartierungen maximal bis 1 m Tiefe durchführbar

#### 4. Schlussfolgerungen

Die Lage, Funktion und Konstellation antiker Water-Harvesting-Strukturen, die komplexe zusammengehörende Systeme bildeten und heute – aus Unwissen und mangelnder Erfahrung - weder unterhalten noch restauriert werden, sind archäologische Zeugnisse für eine angepasste, optimierte Wasserbewirtschaftung und das Potential des abflussunterstützten Feldbaus (runoff agriculture) in der Region. Basierend auf Erfahrungswerten zeigte die ehemalige Bevölkerung ein ausgeprägtes Ressourcenverständnis. Durch gezieltes Nutzflächen- und Einzugsgebietsmanagement verstand sie es unter den marginalen ökologischen Bedingungen des Naturraumes Landnutzung zu betreiben. Die heutige Nutzung der ehemaligen Einzugsgebiete als Ackerflächen birgt große Risiken und führt oftmals zu Ernteausfällen. Eine Beschränkung der Nutzung auf die antiken Nutzflächen reduziert zwar die Anbaufläche, ist aber aufgrund pedologischer Eigenschaften effizienter und führt zu höheren Erträgen und höherer Ausfallsicherheit.

#### 5. Danksagung

Der vorliegende Beitrag ist aus dem Teilprojekt A7 „Ausprägung mobiler Lebens- und Wirtschaftsformen in Abhängigkeit von ökologischen Ressourcen in der Nordwestküstenregion Ägyptens von der Antike bis in islamische Zeit“ des Sonderforschungsbereichs (SFB) 586 „Differenz und Integration“ entstanden. Der SFB 586 beschäftigt sich mit den Interaktionen von mobilen und sesshaften Wirtschafts- und Lebensformen im Trockengürtel der Alten Welt und wird finanziert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), der an dieser Stelle für die finanzielle Unterstützung gedankt werden soll.

#### 6. Literatur

- Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Aufl., Schweizerbart'sche Vertragsbuchhandlung, Hannover.
- Faz Cano, A., Ortiz Silla, R. & A.R. Mermut (2005): Sustainable Use and Management of Soils – Arid and Semiarid Regions. – *Advances in Geocology* 36, Catena Verlag GmbH, Reiskirchen.
- Gardner, W.R. (1958): Some steady-state solutions of unsaturated moisture flow equations with application to evaporation from a water table. *Soil Science* 85: 228-232.
- Hillel, D. (1998): *Environmental Soil Physics*. Academic Press, London.
- Kuper, R. & S. Kröpelin (2006): Climate-Controlled Holocene Occupation in the Sahara: Motor of Africa's Evolution. *Science* 313: 803-807, Washington.
- Kuper, R., Möhlig W., Bollig, M. & O. Bubbenzer (2007): Environmental change and cultural history in northeastern and southwestern Africa. In: Kuper, R. (eds.): *Atlas of Cultural and Environmental Change in Arid Africa. – Africa Praehistorica* 21, Köln.
- Said, R. (1962): *The Geology of Egypt*. Elsevier Pub. Co., Amsterdam.
- Vetter, T. (1996): Probleme und Möglichkeiten der Landnutzung am Nordrand der Libyschen Wüste (Nordwest-Ägypten). *Zbl. Geol. Paläont. Teil 1, Heft 7/8*: 813-822.
- Vetter, T. (1997): Zur Landnutzung in einer marginalen Region Ägyptens unter Berücksichtigung der nationalen Versorgungssituation. – *Hallesches Jahrb. Geowiss., Reihe A*, 19: 137-146, Halle (Saale).
- Wooding, R.A (1968): Steady infiltration from a shallow circular pond. – *Water Resources Research* 4: 1259-1273.

# Investigation of archaeal 16S rDNA diversity of a Chinese paddy soil

Stefan Knauth\* and Rolf Tippkötter

## 1. Introduction

Chinese paddy soils are known to be a major source of the climate relevant greenhouse gas methane. In addition to the studies of soil physical and soil chemical processes it is important to investigate the diversity of the microbial population which is responsible for biological processes, such as the methanogenesis in flooded rice fields. The presented study reveals information about the archaeal diversity of a Chinese paddy soil with emphasis on the detection of methanogenic Euryarchaeota.

## 2. Material and Methods

Soil samples were collected from the Tai Lake region (Jiangsu Province) in South East China (31° 05' N 120° 46' E). Total DNA was extracted using the Fast-DNA<sup>®</sup> Spin Kit for Soil (Qbiogene) following the manufacturers instructions. Archaeal 16S rRNA genes were amplified using the primer set ARC8F and ARC1492R (Teske et al., 2002). The PCR reaction mix consisted of 75 mM Tris-HCl, 20 mM (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0.01% (v/v) Tween 20, 50 μM dNTPs, 1.5 mM MgCl<sub>2</sub>, 0.5 μM of each primer, 1.25 U *Taq* polymerase and 75 ng of DNA (final concentrations given). PCR was conducted starting with an initial step of denaturation for 3 min at 94°C, followed by 30 cycles of 1 min denaturation at 95°C, 1 min annealing at 55°C and 2 min extension at 72°C, with a final extension of 5 min. The amplicon quality was controlled by agarose electrophoresis, purified by the innuPREP Gel Extraction Kit (Analytik Jena) and cloned into the pSC-A vector (Stratagene) according to the manufacturer instructions. Randomly selected clones were sequenced by AGOWA (Berlin) and processed sequences were chimera checked using the Pintail programme version 1.0 (Ashelford et al., 2005). Phylogenetic investigations were first performed using the Basic Local Alignment Tool (Blast); ([www.ncbi.nlm.nih.gov/blast](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/blast)) and further phylogenetic analysis was done using the ARB programme package (Ludwig et al., 2004). Rarefaction analysis was performed using the Analytic Rarefaction software version 1.3 (<http://www.uga.edu/strata/software/Software.html>).

## 3. Results

Initial Blast analysis revealed a high number of archaeal 16S rDNA sequences which were not present in public sequence databases. For most of the analysed clones (18) related sequences were found belonging to groups of uncultured Crenarchaeota. Only one clone showed a 100 % similarity to a sequence in the public databases with accession number U62815, which is affiliated to uncultured Crenarchaeota.

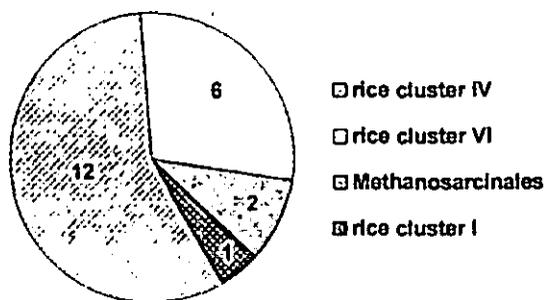


Fig. 1. Cluster distribution of 21 analysed clones of the archaeal clone library.

For only three clones related euryarchaeotal were present in the databases. A subsequent chimera check using Pintail version 1.0 showed no anomalous sequences.

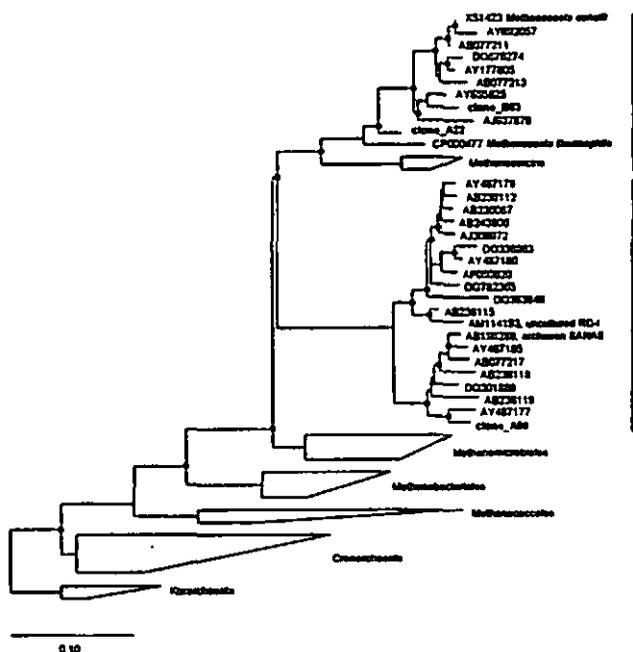


Fig. 2. Methanogenic euryarchaeotal clones represented in a neighbour-joining phylogenetic tree based on selected 16S rRNA sequences. Dots (•) represent bootstrap values > 50 % after 500 resamplings. *Aquifex pyrophilus* was used as out-group (not shown).

\* University of Bremen, Institute of Soil Science UFT, Leobener Str., D 28359 Bremen  
sknauth@uni-bremen.de

Further phylogenetic analysis using the ARB programme package showed an affiliation of twelve clones to the rice cluster IV (Großkopf et al., 1998) and six clones to the rice cluster VI (Lueders et al., 2000) (Fig. 1). According to the classification of DeLong (1998) Rice cluster IV and VI are also known as group 1.3b and 1.1b of uncultured Crenarchaeota.

Two of the euryarchaeotal clones clustered within the Methanosarcinales (Methanosaetaceae) and one within the Rice Cluster I (Großkopf et al., 1998) (Fig. 2) a group of methanogenic Archaea, which is supposed to be highly relevant for methanogenesis (Conrad et al., 2006) and which could be cultivated recently (Sakai et al., 2007). No sequences related to the Methanomicrobiales, Methanobacteriales and Methanococcales were detected.

Rarefaction analysis (Fig. 3) shows that more sequencing effort should be done to achieve a more correct coverage of the diversity of present phylogenotypes.

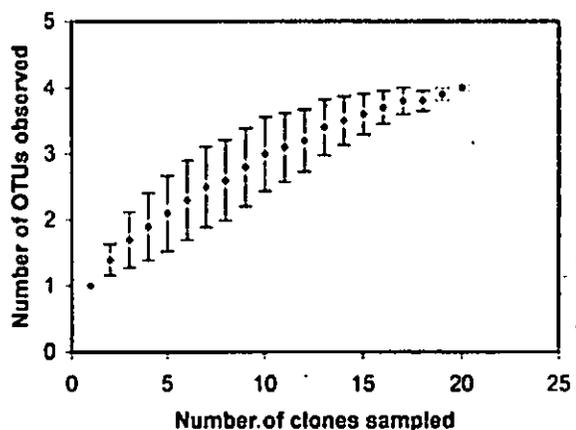


Fig. 3. Rarefaction curve generated for the 16S rRNA genes in the archaeal clone library. Error bars indicate variance.

#### 4. Conclusion

The investigation of microbial diversity by molecular methods still reveals a high number of unknown archaeal 16S rDNA phylotypes. This indicates that there is still a need to investigate the diversity of microorganisms in order to identify the organisms responsible for biological processes.

In this study which was mainly performed to identify methanogenic archaea it could be that only archaea affiliated to rice cluster I and the Methanosaetaceae were responsible for methane production in the investigated soil. This interpretation should be regarded with care, because the number of sequenced clones is relatively low. The missing of sequences of other groups of methanogenic archaea like Methanomicrobiales, Methanobacteriales and Methanococcales and

the rarefaction analysis (Fig. 3) give further reason for a careful interpretation.

It seems more likely that the detected sequences represent the most abundant or better the highest 16S rRNA gene copy number of euryarchaeotal sequences. It can be assumed that further archaeal sequences will possibly be detected after more sequencing effort, an assumption which is also reflected in the rarefaction analysis (Fig. 3).

An interesting fact is the relatively high number of detected Crenarchaeota compared to the number of detected Euryarchaeota. Further screening and sequencing of the clone library will reveal whether this ratio will remain the same, which actually could be a true feature of the archaeal soil population.

#### 5. References

- Teske, A., Hinrichs, K.-U., Edgcomb, V., de Vera Gomez, A., Kysela, D., Sylva, S. P., Sogin, M. L., and Jannasch, H. W., (2002), Microbial Diversity of Hydrothermal Sediments in the Guaymas Basin: Evidence for Anaerobic Methanotrophic Communities, *Appl. Environ. Microbiol.*, 68, 1994-2007
- Ashelford, K. E., Chuzhanova, N. A., Fry, J. C., Jones, A. J., and Weightman, A. J., (2005), At Least 1 in 20 16S rRNA Sequence Records Currently Held in Public Repositories Is Estimated To Contain Substantial Anomalies, *Appl. Environ. Microbiol.*, 71, 7724-7736
- Ludwig, W., Strunk, O., Westram, R., Richter, L., Meier, H., Yadhukumar et al. (2004), ARB: a software environment for sequence data, *Nucleic Acids Res.*, 32, 1363-1371
- Großkopf, R., Stubner, S., and Liesack, W., (1998), Novel Euryarchaeotal Lineages Detected on Rice Roots and in the Anoxic Bulk Soil of Flooded Rice Microcosms, *Appl. Environ. Microbiol.*, 64, 4983-4989
- Lueders, T. and Friedrich, M., (2000), Archaeal Population Dynamics during Sequential Reduction Processes in Rice Field Soil, *Appl. Environ. Microbiol.*, 66, 2732-2742
- DeLong, E. F., (1998), Everything in moderation: Archaea as 'non-extremophiles', *Curr. Opin. Genet. Dev.*, 8, 649-654
- Conrad, R., Erkel, C. and Liesack, W., (2006), Rice Cluster I methanogens, an important group of Archaea producing greenhouse gas in soil, *Curr. Opin. Biotechnol.*, 17, 262-267
- Sakai, S., Imachi, H., Sekiguchi, Y., Ohashi, A., Harada, H., and Kamagata, Y., (2007), Isolation of Key Methanogens for Global Methane Emission from Rice Paddy Fields: a Novel Isolate Affiliated with the Clone Cluster Rice Cluster I, *Appl. Environ. Microbiol.*, 73, 4326-4331

## Einfluss dreimaliger Befahrung mit einem 6-reihigen Zuckerrübenroder auf Porosität und Funktionalität des Bodens bei differenzierter Bodenbearbeitung

H.-J. Koch, H. Heuer und O. Tomanová

### Einleitung

Hohe Radlasten, wie sie an landwirtschaftlichen Fahrzeugen heute auftreten, können insbesondere durch den Einsatz bei hoher Bodenfeuchte zu Bodenverdichtungen führen. Besonders schutzbedürftig ist der Unterboden. Bisher ist wenig untersucht, ob Böden bei nur flach lockernder, konservierender Bearbeitung im Vergleich zur Pflugwirtschaft unempfindlicher gegenüber mechanischer Belastung sind. Ebenso liegen bislang keine gesicherten Daten zu möglichen kumulativen Effekten wiederholter Befahrungen im Laufe mehrerer Jahre unter Berücksichtigung gegebenenfalls ablaufender Regenerationsprozesse vor. Um diese Aspekte zu untersuchen, wurde in einen langjährigen Bodenbearbeitungsversuch eine dreimalige Befahrung mit einem 6-reihigen Zuckerrübenroder (KRB) integriert.

### Material und Methoden

Die Studie wurde am Standort Harste bei Göttingen (Löss, Ut3; 8,8 °C; 602 mm) in einem 1992 angelegten Versuch mit dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung durchgeführt (30 cm tief gepflügt = LBW (Lockerbodenwirtschaft), <10 cm tief gegrubbert = FBMW (Festbodenmulchwirtschaft); 3 Felder à 4 Wdh., Zuckerrübe-Getreide-Getreide auf je einem Feld). Zusätzlich zur Versuchsbewirtschaftung mit leichten Maschinen wurde eine Hälfte jeder Bodenbearbeitungsparzelle ab dem Herbst 2001 jährlich ein Mal mit einem teilbeladenen KRB (Radlast 8-12 Mg; 90-140 kPa berechneter mittlerer Kontaktflächen-druck) bei Bodenwassergehalten von 22-35 m<sup>3</sup> 100 m<sup>-3</sup> Spur an Spur befahren. Nach insgesamt 3-maliger Befahrung einer Teilparzelle folgten erneut Zuckerrüben, durch den zeitversetzten Beginn der Befahrung je Feld ein Mal im Zeitraum 2004-2006 (Tab. 1). Unter Zuckerrüben wurden folgende Bodenparameter erfasst: Eindringwiderstand (EDW, 0-60 cm), Luftkapazität und Pneumatische Leitfähigkeit (UGT Münche-

berg; sichtbar durchgängige Makroporen mit Silikon verschlossen) bei pF 1,8 an Stechzylindern (250 cm<sup>3</sup>) aus den Tiefen 18-23, 40-45 und 55-60 cm (Heuer et al. 2006).

Tab. 1: Versuchsablauf

	Feld		
	1	2	3
Ernte Zuckerrübe	09/02	09/01	09/03
1. Befahrung	11/02	10/01	11/03
2. Befahrung	11/03	11/02	11/04
3. Befahrung	11/04	11/03	11/05
Aussaat Zuckerrübe	04/05	04/04	04/06
Eindringwiderstand	04/05	04/04	05/06
Stechzylindernahme	04/05	05/04	05/06

### Ergebnisse und Diskussion

Mit zunehmender Tiefe stieg der EDW in beiden Bearbeitungsverfahren an (Abb. 1): Im Oberboden erreichte er Maximalwerte von 0,8-1,0 MPa bei LBW (5-10 cm Tiefe) und 1,5-1,7 MPa bei FBMW (15-25 cm Tiefe). Die deutlich erhöhten Werte bei FBMW befinden sich unterhalb der Bearbeitungsgrenze und sind vor allem durch natürliche Setzungsvorgänge des Lössbodens und den Maschineneinsatz im Zuge der regulären Bewirtschaftung bedingt. In beiden Bearbeitungssystemen war der EDW in 5-25 cm Tiefe durch die Befahrung geringfügig erhöht. Zum Unterboden hin stieg (LBW) bzw. fiel (FBMW) der EDW auf einheitliche Werte. Im Unterboden traten keine gerichteten Unterschiede zwischen den Varianten auf.

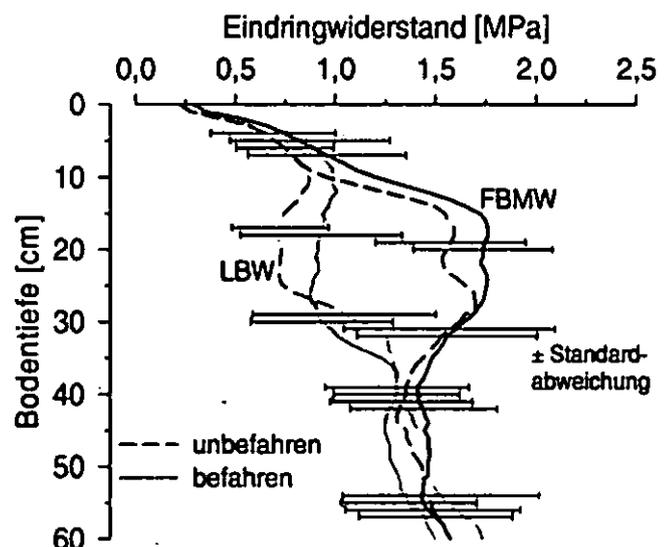
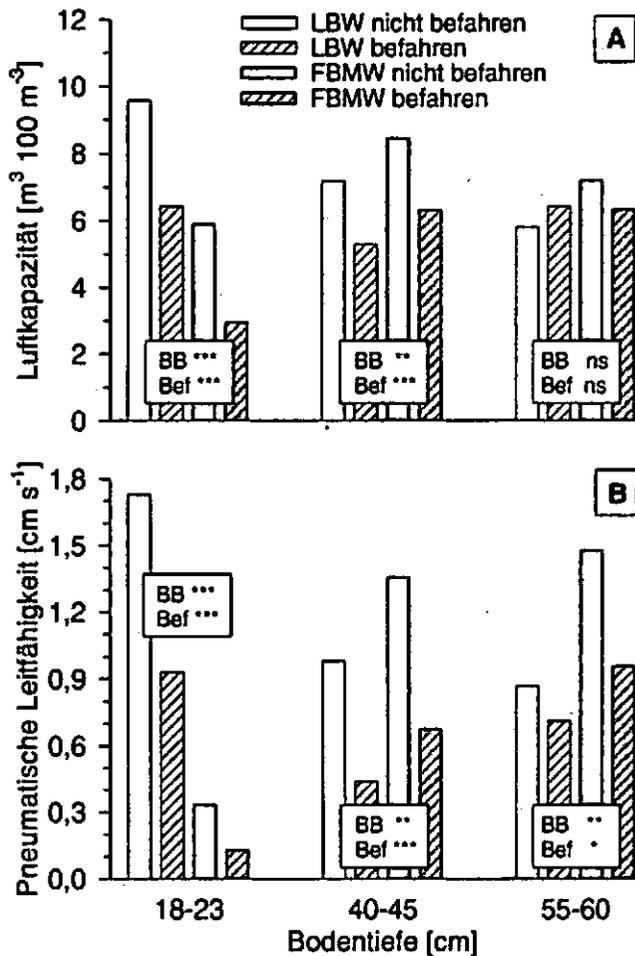


Abb. 1: Einfluss von Bodenbearbeitung und Befahrung auf den Eindringwiderstand des Bodens. Mittel 2004-2006. LBW = Lockerbodenwirtschaft, FBMW = Festbodenmulchwirtschaft.

In 18-23 cm Tiefe verminderte FBMW Luftkapazität und Pneumatische Leitfähigkeit signifikant gegenüber LBW (Abb. 2). Ebenso senkte die wiederholte Befahrung die Werte beider Parameter erheblich. Die Luftkapazität überstieg nur in der Variante LBW-nicht befahren die von Werner und Paul (1999) genannte untere kritische Grenze für das Pflanzenwachstum von  $8 \text{ m}^3 100 \text{ m}^{-3}$ . Trotz der erhöhten Bodenfestigkeit im Verfahren FBMW (Abb. 1) sank der Wert nach Befahrung von 6 auf ca.  $3 \text{ m}^3 100 \text{ m}^{-3}$  ab. Für die Pneumatische Leitfähigkeit liegen am Pflanzenwachstum ausgerichtete Orientierungswerte bislang nicht vor, der häufigkeitsbezogenen Einstufung von Knoch und Hanus (1965) zufolge sind Werte  $< 1,19 \text{ cm s}^{-1}$  als gering einzustufen. Dieser Wert wird von drei der vier Varianten unterschritten (Abb. 2 B). Bei der Bewertung muss berücksichtigt werden, dass für die Messung der Pneumatischen Leitfähigkeit sichtbare, vertikal durchgängige, d.h. biogene Makroporen verschlossen wurden und die Messwerte ausschließlich die Leitfähigkeit des verbleibenden Poren-

systems widerspiegeln. Die verschlossenen vertikalen Bioporen dürften jedoch eine hohe Stabilität gegenüber der verdichtenden Wirkung des Rades aufweisen, sofern ausgeprägte Scher- und Knetvorgänge unterbleiben. Dies zeigen auch eigene Ergebnisse (nicht dargestellt). Somit steigert der Ausschluss der durchgängigen Bioporen die Sensitivität der Pneumatischen Leitfähigkeit als Messparameter für Veränderungen vor allem im Bereich der weiten Grobporen. Die Leistungsfähigkeit des Porensystems in-situ wird hierbei jedoch nur teilweise charakterisiert. Im Verfahren FBMW deutlich häufiger vorgefundene Regenwurmrohren (nicht dargestellt) dürften sich positiv auf verschiedene Merkmale des Wasser- und Lufthaushaltes auswirken.

In 40-45 cm Tiefe waren Luftkapazität und Pneumatische Leitfähigkeit bei LBW signifikant niedriger als bei FBMW (Abb. 2). Vermutlich war hierfür die verdichtende Wirkung des in der offenen Furche fahrenden Schlepperrades im System LBW ursächlich. Ebenso traten bei beiden Parametern signifikante Befahrungseffekte auf. Übereinstimmend mit der darüber liegenden Schicht waren in 55-60 cm Tiefe bei der Pneumatischen Leitfähigkeit höhere Werte bei FBMW gegenüber LBW und in der Variante nicht befahren gegenüber befahren zu finden. Bei der Luftkapazität traten weder bearbeitungs- noch befahrungsbedingte Effekte in dieser Tiefe auf. In keiner Tiefe wurden relevante Wechselwirkungen beobachtet.



### Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ergebnisse belegen für einen Lössboden, dass langjährig reduzierte Eingriffstiefe zu einer Gefügedegradierung des ehemals bearbeiteten Teils der Krume und zur Gefügeverbesserung im Unterboden führen kann. Wiederholte Befahrung mit einer schweren landwirtschaftlichen Maschine (KRB) beeinträchtigte die Struktur in der Krume trotz regelmäßiger Lockerung mit dem Pflug und das Gefüge des Unterbodens sowohl bei pflügender als auch bei stark reduzierter Bodenbearbeitung. Ein Schutzeffekt extrem flacher Bearbeitung für den Unterboden wurde unter den vorliegenden Befahrungsbedingungen nicht festgestellt. Offen ist die Bedeutung dieser Befunde für das Pflanzenwachstum.

### Literatur

- Heuer, H., Tomanová, O., Koch, H.-J. (2006): Zuckerindustrie 131, 777-784.  
 Knoch, H.G., Hanus, H. (1965): Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 111, 10-23  
 Werner, W., Paul, R. (1999): Wasser Boden 51/12, 10-14

Abb. 2: Einfluss von Bodenbearbeitung (BB) und Befahrung (Bef) auf Luftkapazität (A) und Pneumatische Leitfähigkeit bei  $pF 1,8$  (B) in drei Tiefen. Mittel 2004-2006. LBW = Lockerbodenwirtschaft, FBMW = Festbodenmulchwirtschaft.

## Winderosionspotentiale in Abhängigkeit von Eigenschaften natürlicher semi-arider Oberflächen

Maurer, T.<sup>1</sup>, Hermann, L., Mounkaila, M.,  
Gaiser, T., Stahr, K.

### Einleitung und Motivation

Die spezifischen Winderosionspotentiale von natürlichen Oberflächen sind - neben Art und Intensität des Pflanzenbewuchses - wesentlich von den morphologischen Eigenschaften der jeweiligen Oberflächen abhängig. Zu diesen Eigenschaften zählen insbesondere die Textur des Oberbodens, die Oberflächenrauigkeit, die Verkrustungsintensität und der Krustentyp sowie die Art der Bodenbearbeitung. Diese Faktoren beeinflussen nach Entfernen der Vegetation entscheidend die aerodynamischen Eigenschaften und letztlich auch das Emissionsverhalten der Oberflächen. Um den relativen Einfluss der kombinierten Oberflächeneigenschaften zu ermitteln, werden genormte Wind- (Strömungs-)bedingungen benötigt. Natürliche Sturmereignisse bieten diese selbstverständlich nicht und finden auch nicht mit der gewünschten Regelmäßigkeit statt. Für das der vorliegende Studie zugrunde liegende Messprogramm wurde daher ein mobiler Windtunnel entworfen und gebaut.

### Das Messprogramm

Der Windtunnel bietet eine Testsektion von 9,70 m Länge sowie Windgeschwindigkeiten von bis zu 16 ms<sup>-1</sup> (Maurer et al. 2006). Für die Messung des dynamischen Verlaufs des Windfeldes wurden vier Staurohre verwendet, der höhenabhängige Massentransport wurde mit Hilfe von fünf MWAC-Sedimentfängern ermittelt. Das Arbeitsgebiet befindet sich in einem SW-NO verlaufenden Transekt im SW der Republik Niger, der ca. 200 km breit und 500 km lang ist. Schwerpunkte der Windtunnelmessungen bildeten die Regionen um Niamey (SW), Filingué, Dogondoutchi (Mitte) und Tahoua (NO). Die Standorte der Experimente wurden nach Dominanz des jeweiligen Oberflächentyps ausgewählt. Es wurde darauf geachtet, dass die Oberflächen vegetationsfrei sind und keine Bodenbearbeitung in der aktuellen und vorjährigen Saison stattgefunden hat. Alle Messungen wurden in der Trockenzeit durchgeführt, um den Einfluss von Oberbodenfeuchte auszuschließen.

Neben den Sedimentproben aus den Catchern wurden auch Proben des jeweiligen Oberbodens genommen, um einen Texturvergleich zu ermöglichen. Die Textur der Sedimentproben wurde aufgrund der teilweise sehr geringen Probemengen mit Hilfe eines Laserpartikelzählers gemessen.

### Oberflächentypen im Arbeitsgebiet

Die wesentlichen Oberflächentypen, die im Arbeitsgebiet angetroffen werden sind:

1. Plateauoberflächen, bestehend aus den klastischen Serien des Continental Terminal (CT). Diese Oberflächen sind meist mehr oder weniger dicht mit Steinen bedeckt. In Depressionen beziehungsweise in Abhängigkeit von der lokalen Geologie weisen diese Oberflächen auch biogene Krusten oder Dekantationskrusten auf. Neben den Plateaus treten im SW des Arbeitsgebietes auch Inselberge aus präkambrischen Metamorphiten auf
2. Pedimente und Peneplains am Fuß der Plateaus und Inselberge. Diese Oberflächen sind entweder mehr oder weniger intensiv verkrustet oder mit einer Sanddecke überzogen.
3. Sanddecken, gekappte Dünenfelder, aktive und inaktive Dünen. Diese Oberflächen sind zum einen sehr dominant in der Fläche, zum anderen, trotz ihres Nährstoffmangels, wichtig für die regionale Landwirtschaft, da sie leicht bearbeitbar und sehr gut infiltrierbar sind. Meist handelt es sich um die stabilisierten Überreste pleistozäner und holozäner Dünenfelder, aber auch um weniger konsolidierte jüngere Ablagerungen oder aktive Dünen. Unterhalb des Oberbodens weisen diese Oberflächen sehr oft so genannte strukturelle Krusten (Casenave & Valentin 1989) auf, die nach Verwehung der losen Sandauflage zu Erosionskrusten werden können.

### Ergebnisse

Sowohl hinsichtlich ihrer aerodynamischen als auch hinsichtlich ihrer Emissionseigenschaften lassen sich die Oberflächen im Arbeitsgebiet in drei grundlegende Gruppen einteilen: Sandoberflächen, Steinoberflächen und Krustenoberflächen.

1. **Aerodynamische Eigenschaften:** Aus dem Verlauf des Windprofils lassen sich die sog. spezifischen Rauigkeitslängen der jeweiligen Oberflächen ablesen. Die Steinoberflächen weisen dabei erwartungsgemäß die höchsten Rauigkeitslängen auf, die Krustenoberflächen im Schnitt die mit Abstand geringsten. Die Sandoberflächen liegen in ihrer Rauigkeit dazwischen. Die Rauigkeitslänge der Sandoberflächen erhöht sich insbesondere während der Erosionsphase, in der saltierende Partikel Energie aus dem bodennahen Windfeld aufnehmen und damit für ein steileres Windprofil und eine höhere „Oberflächenrauigkeit“ sorgen. Aus

---

<sup>1</sup>Universität Hohenheim  
Institut für Bodenkunde und Standortslehre (310)  
Emil-Wolff-Str. 27  
D-70593 Stuttgart  
Epost: tomaurer@uni-hohenheim.de

dem Verlauf des Windprofils und entsprechenden Beobachtungen während des Experiments lassen sich auch die Grenzgeschwindigkeiten ableiten, d.h. die Geschwindigkeiten, bei denen der Großteil der Partikel in Bewegung kommt. Analog zur Rauigkeit weisen Steinoberflächen die höchsten Grenzgeschwindigkeiten auf, die Krustenoberflächen entsprechend die geringsten.

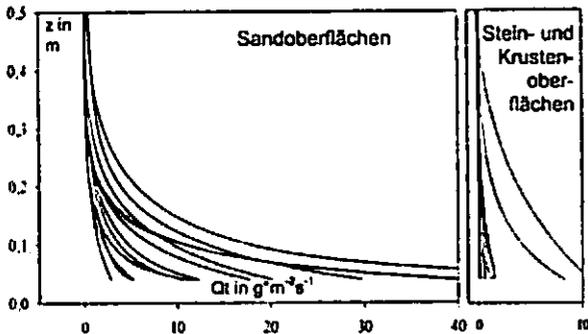


Abbildung 1: Direkter Vergleich der Gesamtmassenflüsse von Sand-, Stein- und Krustenoberflächen

**2. Massenflüsse:** Bei den gemessenen Höhenprofilen des Gesamt- ( $Q_t$ ) und Staubmassenflüsse ( $Q_{PM10}$ ) zeigen sich nahezu analoge Eigenschaften der Oberflächengruppen (Abb. 1). Die Sandoberflächen lassen sich hinsichtlich ihres  $Q_t$  nochmals unterteilen in eine stark und eine moderat emittierende Gruppe, was hauptsächlich mit dem spezifischen Alter und dem Konsolidierungszustand der entsprechenden Oberfläche zusammenhängt. Im Vergleich zu den Sandoberflächen emittieren Krusten- und Steinoberflächen um mindestens eine Größenordnung weniger Material, meistens aus einer dünnen Auflage von losen Partikeln in Sand- und Schluffgröße. Bei den  $Q_{PM10}$  sind die Unterschiede zwischen den Oberflächengruppen weniger deutlich, insbesondere wegen des geringeren  $PM10$ -Gehalts der Sandoberflächen. Absolut gesehen emittieren diese jedoch auch am meisten Staub aufgrund der hohen Gesamtemissionen. Die Höhenverteilung der Staubpartikel innerhalb des Windprofils zeigt ebenfalls oberflächenspezifische Unterschiede: insbesondere bei den Steinoberflächen lassen sich diese Unterschiede durch die oberflächeninduzierte Verteilung der Turbulenz erklären.

**3. Vergleich mit der Oberbodentextur:** Die Oberbodentextur lässt sich lediglich im Fall der Sandoberflächen mit der Textur des emittierten Sediments korrelieren. Bei den Stein- und insbesondere bei den Krustenoberflächen wird das Korngrößenspektrum nicht in den Emissionen wiedergegeben, bedingt durch die Fixierung des Oberbodenmaterials in mehr oder weniger stabilen Krusten bzw. durch den Schutz der Oberfläche vor Erosion. Innerhalb des Arbeitsgebiets kann bei einem Ton- und Schluffanteil von mehr als 25% eine Grenze zwischen verkrusteten Oberflächen und

Oberflächen mit loser (Sand-)Auflage unterschieden werden (Abb. 2). Oberhalb dieses Punktes sind Texturdaten nicht mehr korrelierbar.

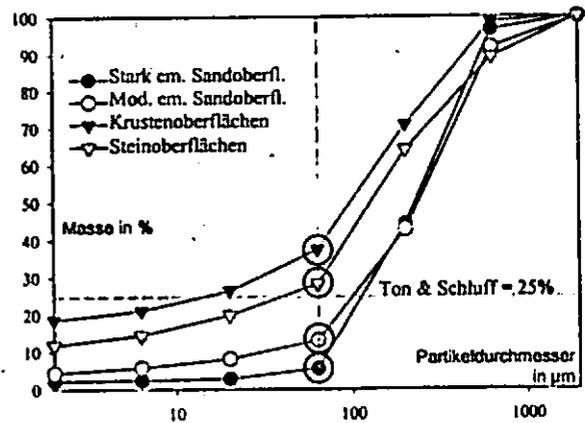


Abbildung 2: Die Oberbodentextur als Grenzwert für verkrustete Oberflächen und Sandoberflächen.

### Zusammenfassung

Die Eigenschaften vegetationsfreier Oberflächen bestimmen wesentlich ihre Anfälligkeit für Winderosion, modifizieren aber auch das Windprofil. Innerhalb des Arbeitsgebietes in SW-Niger lassen sich drei grundlegende winderosionsrelevante Oberflächengruppen identifizieren: Sand-, Stein- und Krustenoberflächen. Diese Gruppen unterscheiden sich sowohl hinsichtlich ihrer aerodynamischen Eigenschaften als auch hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens, wobei die Unterschiede bei den Gesamtemissionen ausgeprägter sind als bei den Staubemissionen. Eine Korrelation zwischen Oberbodentextur und Textur des emittierten Sediments ist nur bei den Sandoberflächen möglich, da sich hier das gesamte Korngrößenspektrum mobilisieren lässt. In den von feinkörnigen Partikeln dominierten Oberflächen schützen Verkrustung und Skeletgehalt vor Windverwehungen (zumindest im Windtunnelversuch), so daß in der Regel lediglich bei den meisten dieser Oberflächen vorhandene, sehr dünne Schleier losen Materials mobilisiert werden kann.

### Literatur

- CASENAVE, A. UND VALENTIN, C. (1989): Runoff capability classification system based on surface features criteria in semi-arid areas of West Africa. *Journal of Hydrology*, 130: 231-249
- MAURER, T.; HERRMANN, L., MOUNKAILA, M; GAISER, T. UND STAHR, K. (2006): A mobile wind tunnel for wind erosion field measurements. *Journal of Arid Environments* 66: 257-271
- MAURER, T. (2007): Wind erosion and mineral dust emission potentials of Sahelian surfaces. *Dissertation. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte 81, Universität Hohenheim.*

# Stofftransport in einem konventionell und konservierend bewirtschafteten Lössboden – Multitracer-Feldversuch

G. Machulla, M. Brak, O. Nitzsche und W. Schmidt

## 1. Einleitung

Der langjährige Einsatz pflugloser Bodenbewirtschaftungsverfahren im Sächsischen Lößhügelland hat sich als präventive und wirksamste erosionsmindernde Maßnahme bewährt. Gegenwärtig werden in Sachsen mind. 34% (rund 246 Tsd. ha) der Ackerfläche konservierend bearbeitet. Die Bodenoberfläche der pfluglos bewirtschafteten Schläge weist im Vergleich zu den gepflügten Schlägen eine Auflage auf, welche aus Mulch oder nicht untergepflügten Ernterückständen besteht. Diese Oberflächenbedeckung fördert die Humusakkumulation und die bodenbiologische Aktivität sowie die daraus resultierende Zunahme der Anzahl wasserstabiler Bodenaggregate und Makroporen (Nitzsche et al., 2001). Die dadurch verbesserte Niederschlagsversickerung lässt jedoch befürchten, dass die an der Bodenoberfläche produktionsbedingt ausgebrachten Agrochemikalien mit dem wasser gebundenen Transport in die ungesättigte Bodenzone und bei Starkregenereignissen sogar bis ins Grundwasser gelangen können.

Vor diesem Hintergrund werden unter praxisüblichen Bedingungen Versuche zur erosionsbedingten Verfrachtung von Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln in Abhängigkeit von angewandten Bodenbewirtschaftungsverfahren durchgeführt.

## 2. Material und Methoden

Zur Charakterisierung des Transportverhaltens mineralischer und organischer Agrochemikalien wurden Multitracer-Feldversuche auf konventionell (gepflügt) und konservierend (Mulchsaat, Direktsaat) bewirtschafteten Ackerflächen eines Lößstandortes in der Lommatzcher Pflege (Sachsen) durchgeführt (Tab. 1). Die Simulation starker Niederschläge (1,9 mm/min, 20 min Dauer) fand auf 12 Parzellen mit jeweils 1 m<sup>2</sup> Fläche an den zwei Terminen 16.10.2006 und 26.03.2007 statt. Zur Erfassung des vertikalen und horizontalen Stofftransportes kamen Brillant Blau, KBr, Ammonitrat-Harnstoff-Lösung und

das Präparat Durano (Wirkstoff: Glyphosat) als Tracersubstanzen zu Anwendung. Die quantitative Tracererfassung erfolgte in 1) Wasser- und Sedimentproben des Oberflächenabflusses und 2) den bis zu 1m Tiefe alle 10cm entnommenen Bodenproben von den beregneten und unberegneten Flächen.

Tab.1: Ausgewählte Standort- und Bodenparameter (0-30 cm Tiefe)

Parameter	Pflug	Mulch	Direktsaat
Lage	Sächsisches Lößhügelland Lüttewitz, 270-280 m ü. NN		
Klimadaten	Ø: 8,1°C; 643 mm		
Sand (%)	5	4	7
Schluff (%)	81	76	75
C <sub>t</sub> (%)	1,11	1,40	1,52
Bodenart	Ut3	Ut4	Ut4
Bodensubtyp	Parabraunerde-Pseudogley		
Bodenbearbeitung	seit 1991 konservierend		
Anbau	2003 – WW 2004 – WW 2005 – ZR/WW	2006 – WW 2007 – WW 2008 – ZR/WW	

Die Masseschwerpunkte (MMP) zu Darstellung der Tiefenverlagerung von Brillant Blau und Bromid wurden mittels Momentanalyse kalkuliert.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

Die pfluglose Bodenbewirtschaftung in den Varianten Mulchsaat und Direktsaat wirkt sich in der 8- bis 10-fachen Reduzierung des Oberflächenabflusses und des Bodenabtrages im Vergleich zur umgepflügten Variante aus (Tab. 2).

Tab.2: Oberflächenabfluss und Bodenabtrag an zwei Beregnungsterminen

Parameter	Datum	Pflug	Mulch	Direktsaat
Bedeckungsgrad (%)	1	0,5 ± 0,6	33 ± 4,9	83 ± 2,4
	2	96 ± 1,0	84 ± 3,6	81 ± 6,6
Bodenfeuchte (%)	1	24 ± 1,5	27 ± 1,2	28 ± 1,3
	2	28 ± 1,0	31 ± 1,2	33 ± 1,4
Oberflächenabfluss mm	1	23 ± 4,7	2,2 ± 0,3	2,2 ± 0,1
	2	3 ± 1,8	3,3 ± 1,8	8,6 ± 3,1
Bodenabtrag g/m <sup>2</sup>	1	194 ± 84	23 ± 7,3	28 ± 25
	2	17 ± 8,0	23 ± 8,5	49 ± 11

Datum 1: 16.10.2006, Datum 2: 26.03.2007

Die Entwicklung des Winterweizenbestandes bis zum März 2007 und die Erhöhung des damit verbundenen Bodenbedeckungsgrades führte auf der Pflugvariante zu einer besseren Niederschlagsinfiltration. Die Direktsaatvariante wies

dagegen wassererosionsbedingte Niederschlags- und Bodenverluste auf, welche diejenigen der Mulchsaat- und Pflugvariante um das 3-fache übertrafen. Dieser Sachverhalt ist auf eine deutlich höhere Lagerungsdichte von  $1,46 \text{ g cm}^{-3}$  der langjährig nicht bearbeiteten Variante zurück zu führen. Die Lagerungsdichte der Pflugvariante betrug  $1,36 \text{ g cm}^{-3}$ .

Stickstoff und Phosphor wurden sowohl mit dem Oberflächenwasser als auch mit dem Sediment verlagert. Die Höhe des Austrages verhielt sich dabei konform zum Oberflächenabfluss (Tab. 3).

Tab.3: Stoffaustrag bzw. Einträge während simulierter Beregnung

Parameter	Datum	Pflug	Mulch	Direktsaat
P kg/ha	1	1,52	0,24	0,19
	2	0,00	0,00	0,23
N kg/ha	1	7,19	1,40	1,10
	2	0,52*	0,55*	1,91*
Glyphosat im Wasser $\mu\text{g/m}^2$	1	0,91	0,05	0,13
	2	0,17	0,48	1,85
Glyphosat im Boden $\text{mg/m}^2$	1	20,4	15,0	13,2
	2	8,21	10,9	5,19

Datum 1: 16.10.2006, Datum 2: 26.03.2007,

\* kalkuliert auf der Basis der  $N_t$ -Werte im Sediment während der Beregnung am 16.10.2006

Die Stofffrachten der konservierend bearbeiteten, frisch bestellten Flächen waren am ersten Beregnungstermin 6-fach geringer als die der Pflugvariante. Obwohl am zweiten Beregnungstermin eine Reduzierung von Nährstoffausträgen auch für die Pflugvariante zu verzeichnen war, ist die Fracht, die höchsten Mengen von  $1,91 \text{ kg/ha N}$  und  $0,23 \text{ kg/ha P}$  in der Direktsaatvariante mit eingeschlossen, insgesamt als gering zu bezeichnen.

Die Tiefenverteilung vom Brillant Blau und Bromid im Bodenprofil lässt erkennen (Abb. 1), dass die MSP dieser Tracer in der gepflügten Variante die maximale Tiefe von 7 bzw. 11 cm aufwiesen. Dagegen infiltrierte in der Mulchsaat das Bromid 5,5 cm und in der Direktsaat das Brillant Blau 6 cm sowie das Bromid 8 cm tiefer im Vergleich zur Tracerverfrachtung in der gepflügten Variante. Eine starke Differenzierung der MMP innerhalb eines 1 m Transektes in den langjährig pfluglos bewirtschafteten Varianten deutet auf einen ausgeprägten makroporenbundenen Wasser- und Stofffluss hin. In früheren Untersuchungen wurde bereits gezeigt, dass die pfluglosen Bearbeitungsverfahren eine bemerkenswerte Erhöhung der Regenwurmtätigkeit und demzufolge eine hohe Anzahl an kontinuier-

lichen Makroporen fördern (Nitzsche et al., 2001).

#### 4. Schlussfolgerungen

Die starken Niederschläge können auf den Ackerflächen des Sächsischen Lösshügellandes dazu führen, dass die kurz vor dem Regenereignis applizierten Agrochemikalien a) auf unbewachsenem und trockenem Boden wassererosionsbedingt verfrachtet werden und somit zu Kontamination der Oberflächengewässer bzw. Geländesenken beitragen und b) insbesondere im feuchten Boden in den Unterboden ausgetragen werden. Durch pfluglose Bodenbearbeitung werden Oberflächenabfluss und -stoffverfrachtung minimiert. Hinsichtlich des Kontaminationsrisikos für Grundwasser sollte diese Bodenbewirtschaftung standortangepasst angewandt werden.

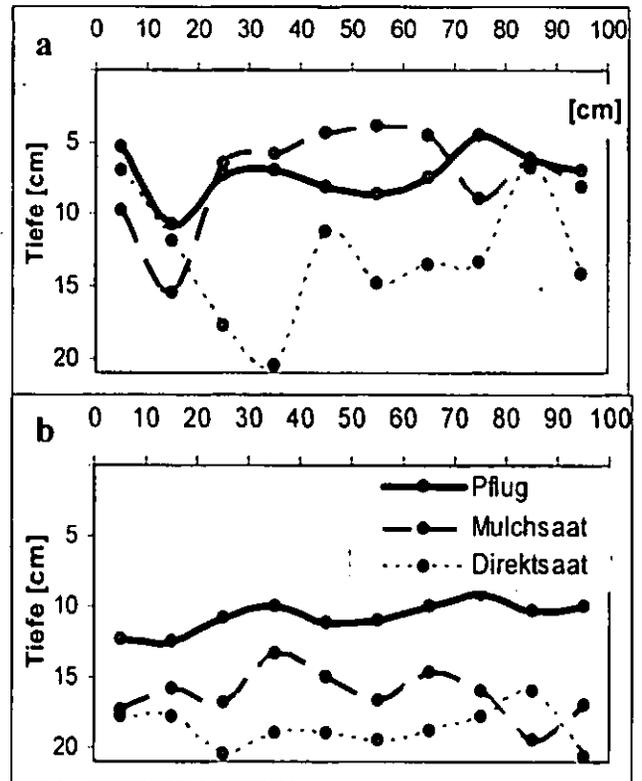


Abb. 1: Massenmittepunkte für Brillant Blau (a) und Bromid (b) in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungsverfahren (Beregnung am 26.03.2007)

#### Literatur

Nitzsche, O., Krück, S., Schmidt, W., Richter, W. (2001): Reducing soil-erosion and phosphate losses and improving soil biological activity through conservation tillage systems. In: 1<sup>st</sup> World Congress on Conservation Agriculture. Madrid, 1-5 October, 2001. Garcia-Torres, L., Benites, J., Martinetz-Vilela, A. (Hrsg.), Volume II, pp. 185-189.

# Umsetzung der EG-WRRL in Hessen – Auswertung der Bodenschätzungsdaten zur Abgrenzung von Maßnahmenräumen und Aufstellung eines Maßnahmenprogramms

Ricarda Miller & Matthias Peter<sup>1</sup>

## 1 Anlass und Zielsetzung

Für Grundwasserkörper, die nach Einstufung der Bestandsaufnahme der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) den guten Zustand bis zum Jahr 2015 nicht oder wahrscheinlich nicht erreichen, muss bis 2009 ein Maßnahmenprogramm vorgelegt werden, mit dessen Hilfe die Erreichung des guten Zustands realisiert werden soll. In mehreren Pilotprojekten zur Erstellung von Maßnahmenprogrammen wurden in Hessen Vorschläge für die Maßnahmenplanung erarbeitet und erprobt, wobei den einzelnen Projekten unterschiedliche Schwerpunkte zugrunde lagen.

## 2 EG-WRRL-Pilotprojekt Modau

Im Pilotprojekt Modau in Südhessen (Federführung Regierungspräsidium Darmstadt) lag der Arbeitsschwerpunkt auf der Maßnahmenplanung zur Verminderung der diffusen Stickstoffeinträge aus der landwirtschaftlichen Nutzung in das Grundwasser (PETER & MILLER 2006). Das Einzugsgebiet der Modau erstreckt sich von der Nördlichen Oberrheinniederung im Westen über die Hessische Rheinebene bis zum Vorderen Odenwald und ist von stark unterschiedlichen Standorteigenschaften und Landnutzungen geprägt. Im westlichen Bereich („Hessisches Ried“) sind tiefgründige Böden aus fluvialen Sedimenten bzw. Böden mit einem relativ hohen Lössanteil und – damit verbunden – ein intensiver Ackerbau, insbesondere Gemüsebau, zu finden. Die flachgründigeren Böden und das stärkere Relief lassen im Bereich des Odenwalds einen weniger intensiven Ackerbau zu, es dominieren Grünlandnutzung und Viehhaltung.

## 3 Aufbereitung und Nutzung der Bodenschätzungsdaten

Im Rahmen der Projektbearbeitung zur Abgrenzung von Maßnahmenräumen wurden die vom Hessischen Landesamt für Umwelt (HLUG) aus dem Projekt „Bodenfunktionsbezogene Auswertung von Bodenschätzungsdaten für Hessen“ zur Verfügung gestellten, hoch aufgelösten Auswertungsergebnisse der Bodenschätzung („BFD 5L“) zu Feldkapazität (FK) und nutzbarer Feldkapazität (nFK) verwendet. Die Auswertungsmethoden setzen dabei direkt auf dem Klassenzeichen der Bodenschätzung auf und sind anhand von bodenkundlichen Aufnahmen von über 3.500 Grablochbeschrieben der Bodenschätzung validiert (MILLER et al. 2005).

Die Datenbasis stellt auf Attributseite die Angaben zur Bodenschätzung im Automatisierten Liegenschaftsbuch

(Folie 32 ALB) und auf Geometrieseite die Flurstücke der Automatisierten Liegenschaftskarte (Folie 001 ALK) dar. Nach den im oben genannten Projekt des HLUG zur Auswertung von Bodenschätzungsdaten entwickelten und validierten Methoden wird die Bodenzahl der Bodenschätzung mit einem bodenartspezifischen Faktor multipliziert und so die nFK bzw. FK des Bodens berechnet (MILLER et al. 2005). Ergebnis ist ein flächengewichteter Mittelwert der Auswertungsergebnisse der verschiedenen Bodenschätzungsangaben pro Flurstück, mit dem auf der Geometrieebene der Flurstücke weitere Berechnungen durchgeführt werden können (FRIEDRICH & SCHMANKE 2005).

## 4 Sickerwasserrate, Nitrataustragsgefährdung und tolerierbare Rest-N-Werte

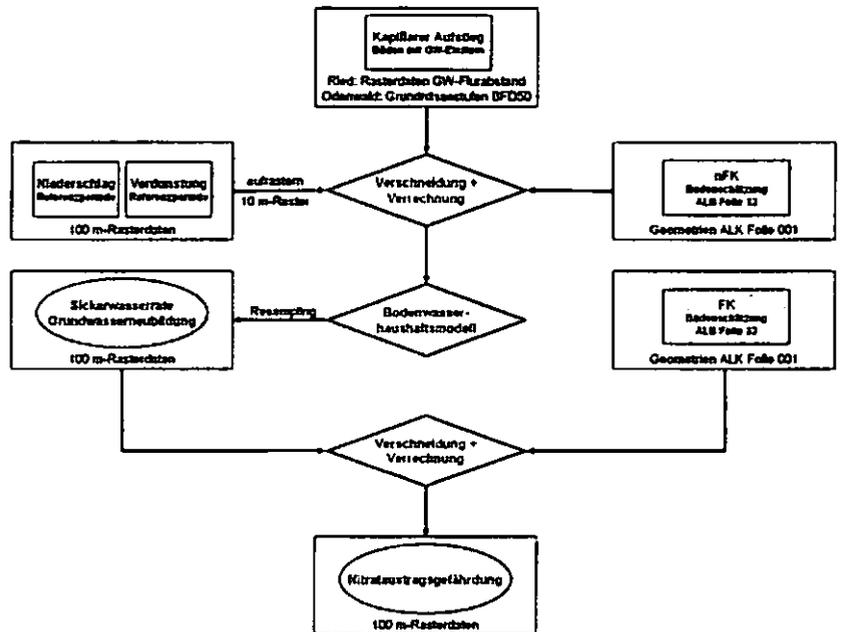


Abb. 1: Datenaufbereitung und Berechnungen

Die Auswertungen der Bodenschätzungsdaten wurden einerseits zur Ermittlung der Sickerwasserrate (SWR) und Grundwasserneubildung (GWN) mit dem für ganz Hessen im HLUG eingesetzten Berechnungsmodell (HLUG 2005) verwendet und darauf aufbauend zur Abschätzung des Nitratauswaschungspotenzials der landwirtschaftlich genutzten Fläche eingesetzt (vgl. Abb. 1). Zudem wurde sowohl eine Abschätzung der Nitratbelastung des Grundwassers als auch die Ableitung von tolerierbaren Stickstoff-Emissionswerten aus der landwirtschaftlichen Nutzung durchgeführt.

Für die Berechnung der SWR und GWN wurden die im 100 m-Raster vorliegenden Verdunstungs- und Niederschlagsdaten (DWD, Referenzperiode 1971-2000) auf 10 m aufgerastert, mit den nFK-Auswertungsergebnissen der Bodenschätzung auf Flurstücksebene verschneidet und in das Bodenwasserhaushaltsmodell und Modell zur Regionalisierung der Grundwasserneubildungsrate des HLUG eingespeist. Für Böden mit Grundwassereinfluss wurden die Angaben zum Kapillaren Aufstieg (KA) für den Bereich des Hessischen Rieds aus Grundwasserflurabstand-Rasterdaten (aus dem Jahr 2000, entspricht mittl. Verhältnissen; KA für Böden mit Grundwasserflurabstand bis 1,50 m) und für den Bereich des Odenwalds aus den Grundnässestufen (G0-G6) der Bodenflächendaten 1:50.000 (BFD50, KA für Böden mit G4-G6) gewonnen.

<sup>1</sup> Ingenieurbüro Schnittstelle Boden, Belsgasse 13, 61239 Ober-Mörlen, Tel. 06002-92391, info@schnittstelle-boden.de

Bei der Ermittlung der Nitrataustragsgefährdung (NAG) wurden die gerasterten Ergebnisse der SWR-Berechnung wiederum auf die Flurstücke bezogen und mit den FK-Ergebnissen aus der Bodenschätzungsauswertung verrechnet. Ergebnis ist eine flurstücksbezogene NAG, die sowohl für weitere Betrachtungen auf Flurstücksebene als auch für Aggregationen auf kleinerer Maßstabsebene (z. B. Gemarkungsebene) zur Verfügung steht.

### 5 Abgrenzung von Maßnahmenräumen

Ein Ziel des EG-WRRL-Pilotprojekts Modau war die Abgrenzung von Maßnahmenräumen auf Gemarkungsebene, in denen ein hohes Belastungspotenzial für das Grundwasser besteht (Abb. 2). In die Abgrenzung gingen neben der Nitrataustragsgefährdung auch ein aus den InVeKoS-Daten (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem der Agrarverwaltung) zusammengefasster Landnutzungsindex sowie Daten zur aktuellen Nitratbelastung der Grundwassermessstellen ein (Tab. 1). Die Aggregation der Daten auf Gemarkungsebene erfolgte jeweils über die Berechnung des flächengewichteten Mittels der Einzelflächen.

Tab. 1: Parameter zur Abgrenzung von Maßnahmenräumen (Gemarkungsebene)

Parameter	Einstufung
<b>Landnutzungsindex</b>	
Anteil Acker-, Gemüse- und Gartenbaufläche sowie Obst- und Rebland (AGRO) an der LN (%) (Gemarkung)	5 Klassen, in 20 %-Schritten
Anteil Sommerfrüchte an der Ackerfläche (%) (Gemarkung)	5 Klassen, in 20 %-Schritten
N-Anfall aus der Viehhaltung (kg N/ha viehhaltende Betriebe) (Gemarkung)	5 Klassen in 30 kg N/ha Schritten
Anteil Gemüse- und Gartenbaufläche an AGRO (%) (Gemarkung)	bei > 5% Erhöhung um 1 Klasse
<b>mittlere NAG</b>	
FK Bodenschätzung (Flurstück)	5 Klassen (KA3)
mittlere jährliche Sickerwassermenge (Flurstück)	in mm/a (nicht klassifiziert)
Austauschhäufigkeit AH des Bodenswassers (nach DBG 1992) (Flurstück)	$AH (\%/a) = (SWR (mm/a) / FK (mm)) \cdot 100$
NAG (Flurstück) → Aggregation auf Gemarkungsebene	AH in 5 Klassen nach DBG 1992
<b>aktuelle Nitratbelastung der Grundwassermessstellen</b>	
Nitratbelastung 1999-2005 für die Einzugsgebiete der Messstellen → Aggregation auf Gemarkungsebene	Mittelwert >37,5 mg/l

### 6 Fazit und Ausblick

Die Verwendung der Daten der Bodenschätzung sowie der InVeKoS-Landnutzungsdaten der Agrarverwaltung ermöglichten eine hoch aufgelöste Datenauswertung auf Einzelschlagsebene, die sowohl für direkte Aussagen vor Ort verwendet werden können, als auch mittels Aggregation für eine übergreifende regionale Aussage zur Verfügung steht. So kann einerseits durch die hohe räumliche Auflösung der Daten die Akzeptanz der Landwirte für die Maßnahmen gewonnen werden, andererseits aber auch großflächige Aussagen und Bewertungen, beispielsweise auf Landesebene, erfolgen, ohne dass weitere aufwändige Datenerhebungen notwendig sind.

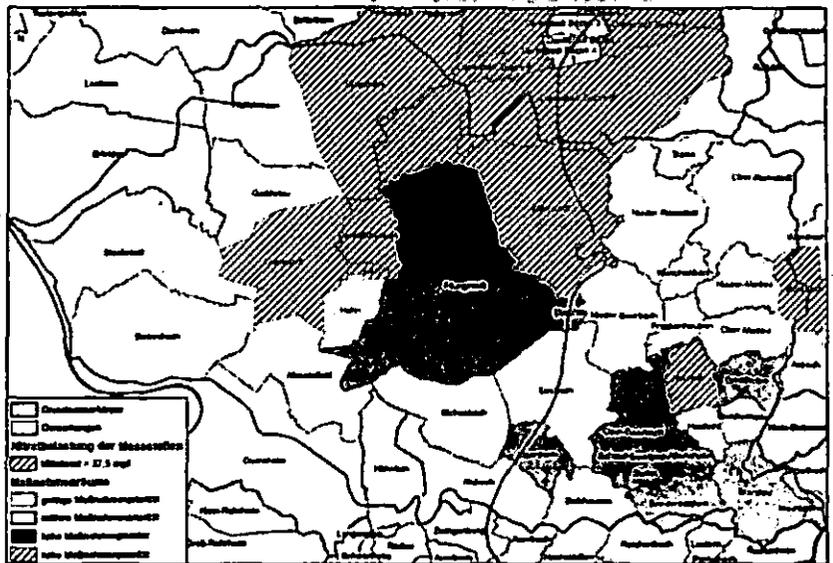


Abb. 2: Maßnahmenräume aus gemarkungsbezogenem Landnutzungsindex und Nitrataustragsgefährdung sowie aktueller Grundwasserbelastung (basierend auf statistischem Mittelwert > 37,5 mg/l) im Gebiet des hessischen WRRL-Pilotprojekts Modau

Die Methode zur Abgrenzung von Maßnahmenräumen ist problemlos auf andere Räume (Grundwasserkörper, Naturräume etc.) übertragbar, da die erforderliche Datengrundlage wie Klimadaten (Deutscher Wetterdienst), Bodendaten BFD5L (auf Basis ALB bereits hessenweit für die landwirtschaftliche Nutzfläche vorhanden, in den meisten anderen Bundesländern ebenfalls nutzbar), Landnutzungsdaten (InVeKoS), Grundwassermessstellen (HLUG) landesweit vorhanden ist sowie anerkannte und validierte Berechnungsmethoden verwendet wurden.

Für eine hessenweite Umsetzung ist nicht nur die hier vorgestellte Abgrenzung der Maßnahmenräume, sondern auch die Durchführung des im Pilotprojekt Modau entwickelten regionalspezifischen Konzepts zur Beteiligung der regionalen Fachöffentlichkeit geplant.

### 7 Literatur

- FRIEDRICH, K. & M. SCHMANKE (2005): Erfahrungen zur landesweiten Auswertung von Daten zum Schätzungsnachweis (ALB Folie 32) und Vergleich mit Auswertungen der Folie 042 (ALK) für Belange des Bodenschutzes in Hessen. Mitt. Dtsch. Bdkl. Ges. Bd. 107 (2), 723-724.
- HLUG (2005): Neue Verfahren zur Modellierung/Regionalisierung der Grundwasserneubildung. – Fortbildung im Umweltsektor, 12. Juli in Idstein. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 1-140.
- MILLER, R., SAUER, S. & TH. VORDERBRÜGGE (2005): Die Daten der Bodenschätzung als Grundlage für landesweite Auswertungskarten zum Bodenschutz. – Ein Projekt der Geologischen Dienste Hessen und Rheinland-Pfalz. Bodenschutz 3/05, 83-87.
- PETER, M. & R. MILLER (2006): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen, Pilotprojekt Modau, Bereich Grundwasser - Erstellung eines Maßnahmenprogramms für ein kleines Einzugsgebiet im Sinne der EG-WRRL. Abschlussbericht. Im Auftrag des Regierungspräsidiums Darmstadt, 1-94.

## Boden- und Gewässerschutz verknüpfen: Bilanzierung und Optimierung der Wirksamkeit von Maßnahmen zum Schutz vor Erosion und Stoffaustrag am Beispiel eines Teileinzugsgebiets der Leine

Thomas Mosimann und Heiko Westphal

### Problemstellung

Die rechtlichen Rahmenbedingungen (Bodenschutzgesetz, Cross Compliance, Wasserrahmenrichtlinie, Naturschutzgesetz, Hochwasserschutz) verlangen, Bodenerosion und Partikelaustrag unter dem Boden- und Gewässerschutz zu betrachten. Schutzmaßnahmen auf den einzelnen Parzellen und in den Betrieben insgesamt müssen deshalb unter beiden Aspekten ermittelt und umgesetzt werden. Auf der Ebene ganzer Einzugsgebiete stellt sich zudem die Frage nach der Wirksamkeit und Kosteneffizienz von Maßnahmen auf den Hängen und in der Aue. In Niedersachsen wurde deshalb im Jahr 2005 ein integriertes Pilotprojekt mit folgenden Zielen in Gang gesetzt:

- Entwicklung eines Instrumentes zum Erkennen von Flächen mit Gewässeranschluss zur Sensibilisierung der Landwirte für den Stoffaustrag.
- Entwicklung eines Konzeptes für eine differenzierte Beratung für Flächen mit und ohne Gewässeranschluss.
- Ermittlung von Schutzmaßnahmen mit der besten Kosten-Nutzenrelation unter Betrachtung von Hangeinzugsgebiet und Aue.

### Methoden

Der erste Schritt quantifizierte die Austräge einzelner Schwerpunktgebiete mit dem Bodenerosionsmodell EROSION 3D ereignisbezogen. Dafür wurden Niederschläge ausgewählt, die Überschwemmungen in der Aue verursachen. Die Simulation rechnete die Gebietsausträge für die aktuelle Landnutzung und verschiedene mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen entwickelte zukünftige Nutzungsszenarien (s. Abb. 1).

Mit dem Bodenerosionsschlüssel (MOSIMANN & SANDERS 2004) wurde für sechs ausgewählte Pilotbetriebe die Erosionsgefährdung schlaggenau erfasst.

Der neu entwickelte Schlüssel zur Ermittlung des Gewässeranschlusses von Ackerflächen prüfte alle Schläge auf Stoffaustrag. Ergänzend mit dem Bodenerosionsschlüssel ist so eine umfassende Beurteilung der Gefährdung eines Schlages, bzw. eines angrenzenden Gewässers möglich.

Aus dem mit EROSION 3D errechneten Abtrags- und Depositionsgeschehen wurden Gebietsaustragskoeffizienten ermittelt, die zur Bilanzierung und Berechnung (unter anderem von SDR-Werten, s. u.) verwendet wurden.

Das Erosions- und Sedimentationsgeschehen in der Aue wurde von der Firma GEUM.tec hydraulisch modelliert und damit erosionsaktive Flächen in der Talebene ermittelt.

Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen führte eine umfassende ökonomische Bewertung der Maßnahmevorschläge zum Boden- und Gewässerschutz durch und entwickelte das Beratungskonzept.

### Ergebnisse

Abb. 1 zeigt die simulierten Austräge der vier Schwerpunktgebiete innerhalb der Hangbereiche. Darin werden die relativen Gebietsausträge von sechs Szenarien im Vergleich zur aktuellen Nutzung betrachtet.

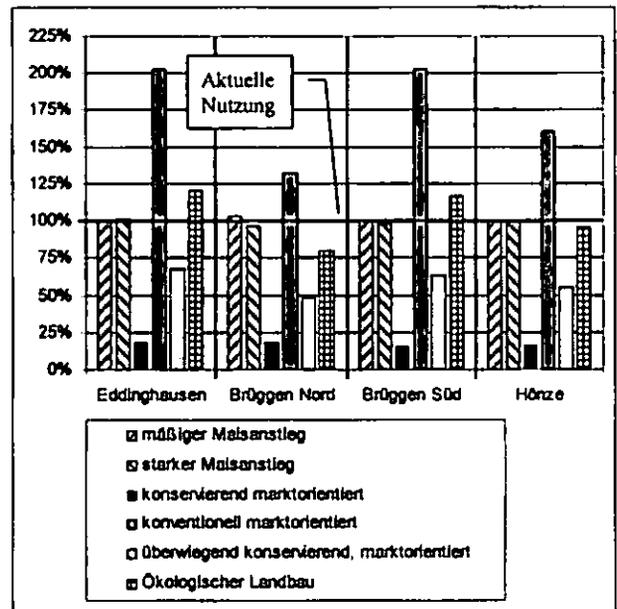


Abb. 1: Relativer Gebietsaustrag der Szenarien im Vergleich zur aktuellen Nutzung (= 100 %), getrennt nach Schwerpunktgebieten.

Durch eine Landnutzung ohne gute fachliche Praxis würden gegenüber heute bis zu zweimal höhere Austräge entstehen (s. Abb. 1). Bei einer auf Boden- und Gewässerschutz optimierten landwirtschaftlichen Nutzung ist eine Senkung des Austrags auf 20 % des heutigen Stands möglich. Die Ausdehnung der Maisanbaufläche für Biogasproduktion um bis zu 30 % (statt Zuckerrübe und teilweise Winterweizen) führt zu keinen nennenswerten Änderungen des Austrags. Im ökologischen Landbau ist der Gebietsaustrag im Vergleich zur aktuellen Bewirtschaftung sehr stark von der Art der Bodenbearbeitung abhängig, weicht jedoch auch hier maximal um 21 % ab.

Eine mit Hilfe des Gewässeranschlussschlüssels differenzierte Betrachtung der Gebietsausträge zeigt, dass Flächen mit Gewässeranschluss einen höheren Austrag aufweisen als Flächen ohne Gewässeranschluss. Der tatsächliche Gebietsaustrag, die Sediment Delivery Ratio (SDR), liegt auf angeschlossenen Flächen bei durchschnittlich rund 80 %; nicht angeschlossene Flächen weisen einen SDR-Wert von ca. 50 % auf. Diese Werte gelten gebiets- und szenarienübergreifend.

Um vom Austrag der vier Schwerpunktgebiete auf den Austrag des gesamten Hangeinzugsgebiets zu schließen, erfolgt eine Extrapolation der Werte auf Basis von Relief- und Landnutzungsverteilungen. Der sich daraus ergebende Eintrag von den Hangeinzugsgebieten pro Kilometer Aue ist szenarienbezogen ähnlich verteilt wie die relativen Gebietsausträge für ein Schwerpunktgebiet (s. Abb. 1). Die Bandbreite des Eintrags liegt zwischen 99 und 1016 t/km Aue. Bei aktueller Nutzung werden knapp

600 t/km Aue eingetragen (vgl. Tab. 1). Die Eintragsmenge ist gebietsunabhängig sehr stark von der Art der Bodenbearbeitung und der Höhe des Hackfruchtanteils abhängig. Tab. 1 zeigt alle Eintragswerte.

Szenario	Eintrag (t/km Aue)
Aktuelle Nutzung	573
Mäßiger Maisanstieg	585
Starker Maisanstieg	576
Konventionell marktorientiert	1016
Überwiegend konservierend, marktorientiert	342
Konservierend marktorientiert	99
Ökologischer Landbau	601

Tab. 1: Stoffeintrag in Tonnen pro Kilometer Leineue, differenziert nach Szenarien.

Differenzierte Bilanzierungen von Auen- und Hangbereich führen zur räumlichen Identifizierung von Erosions- und Sedimentationspotenzialen. Dabei überwiegt natürlich im Hangbereich Erosion und in der Aue Sedimentation. Vergleichend betrachtet übersteigt das Sedimentationspotenzial des Auenbereichs das Erosionspotenzial des Hangbereichs bei ähnlicher Landnutzung um ein Vielfaches.

Zur Kosten-Nutzen-Analyse von Maßnahmen dienen drei mit EROSION 3D modellierte Szenarien: Die aktuelle Nutzung laut Befragung der Landwirte, die Fruchtfolge dieser aktuellen Nutzung, allerdings vollständig konservierend angebaut, und eine zukünftige, optimierte Mais-Fruchtfolge (ZR-WW-Mais-WW-WW). Für diese drei Szenarien wurden in allen vier Schwerpunktgebieten die durchschnittlichen Deckungsbeiträge pro Hektar und Jahr berechnet. Abb. 2 zeigt die Deckungsbeiträge und deren relative Veränderungen jeweils beim Vergleich zur aktuellen Nutzung.

Szenario	Relativer Gebietsaustrag
Aktuelle Nutzung	100 %
Aktuelle Nutzung, komplett konservierende Bearbeitung	16 %
Zukünftige, optimierte Mais-Fruchtfolge	17 %

Tab. 2: Änderung des relativen Gebietsaustrags beim Vergleich dreier Szenarien (Durchschnitt der vier Schwerpunktgebiete).

Unabhängig von der gewählten Fruchtfolge basiert die Kosten-Nutzen-Bilanz bei vollständig konservierender Bearbeitung auf einer Reduktion der Gebietsausträge um rund 85 % (s. Tab. 2). Der durchschnittliche Deckungsbeitrag bleibt bei Beibehaltung der aktuellen Fruchtfolge aber vollständig konservierendem Anbau nahezu unverändert (s. Abb. 2 oben).

Durch eine Umstellung auf die optimierte Mais-Fruchtfolge (s. Abb. 2 unten) lassen sich höhere Gewinne bei gleichzeitig reduzierten Gebietsausträgen erzielen. Dieser Gewinn für die Landwirte entsteht im Wesentlichen durch den Wegfall der finanziell ertragschwachen Wintergerste und einer unterschiedlich starken Ausweitung des ertragreichen Zuckerrübenbaus. Bei der Umsetzung dieses Szenarios würden also umfangreiche Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen einen durchschnittlichen Anstieg des Deckungsbeitrags von ca. 26 €/ha\*a<sup>-1</sup> zulassen. Daraus ergibt sich der „Faustwert“: Eine Ausstragsreduktion um 1 t/ha führt zu einem Anstieg des Deckungsbeitrags von rund 4,50 €/ha\*a<sup>-1</sup>.

	Aktuelle Nutzung Ø Deckungsbeitrag	Fruchtfolge der aktuellen Nutzung komplett konservierend Ø Deckungsbeitrag	Änderung des Deckungsbeitrags Aktuelle Nutzung vs. Aktuelle Fruchtfolge
Eddinghausen	516 €/ha*a <sup>-1</sup>	508 €/ha*a <sup>-1</sup>	
Brüggen Nord	453 €/ha*a <sup>-1</sup>	448 €/ha*a <sup>-1</sup>	
Brüggen Süd	426 €/ha*a <sup>-1</sup>	423 €/ha*a <sup>-1</sup>	
Hörze	488 €/ha*a <sup>-1</sup>	486 €/ha*a <sup>-1</sup>	
Anteil konservierende Bearbeitung	Ø 16 %	100 %	Ø Änderung des Deckungsbeitrags: -1 %

	Aktuelle Nutzung Ø Deckungsbeitrag	Zukünftige, optimierte Mais-Fruchtfolge komplett konservierend Ø Deckungsbeitrag	Änderung des Deckungsbeitrags Aktuelle Nutzung vs. Mais-Fruchtfolge
Eddinghausen	516 €/ha*a <sup>-1</sup>	525 €/ha*a <sup>-1</sup>	
Brüggen Nord	453 €/ha*a <sup>-1</sup>	507 €/ha*a <sup>-1</sup>	
Brüggen Süd	426 €/ha*a <sup>-1</sup>	507 €/ha*a <sup>-1</sup>	
Hörze	488 €/ha*a <sup>-1</sup>	448 €/ha*a <sup>-1</sup>	
Anteil konservierende Bearbeitung	Ø 16 %	100 %	Ø Änderung des Deckungsbeitrags: +6 %

Abb. 2: Änderung des Deckungsbeitrags beim Vergleich dreier Szenarien. Weitere Informationen im Text.

Ähnlich positive Ergebnisse durch konservierende Anbauverfahren (u. a. bei Zuckerrüben) ermittelte BRUNOTTE ET AL. bereits 1995. Auch BÖHM ET AL. (2002) untersuchte die Kosten-Wirksamkeits-Beziehung von Gewässerschutzmaßnahmen.

### Fazit

Gemessen am Niedersächsischen Qualitätsstandard (Erosionsgefährdungsstufe 1) sind auf 2 % der Fläche Maßnahmen zum Bodenschutz und auf 35 % Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz erforderlich. Um diesen Standard zu erfüllen reichen in der Regel Mulchsaat, Schlagteilung und die Reduktion des Hackfruchtanbaus als Maßnahmen aus. Für das Erreichen des ökologischen Wunschstandards (Stufe 0) sind meist Schlagteilung, Verzicht auf Hackfrüchte oder sogar Brachen erforderlich. Um eine hohe Effizienz in der landwirtschaftlichen Beratung zu erreichen, ist die Verknüpfung von Boden- und Gewässerschutz entscheidend. Sie gelingt nur, wenn im Kontakt zwischen Berater und Landwirt die Flächen mit Maßnahmen zum Gewässerschutz direkt ermittelt werden.

### Literatur

- BÖHM, E. ET AL. (2002): Kosten-Wirksamkeitsanalyse von nachhaltigen Maßnahmen im Gewässerschutz, in: UBA-Texte 12/02, Berlin, 344 S.
- BRUNOTTE, J. ET AL. (1995): Was Erosionsschutz konkret bringt, in: DLG-Mitteilungen August 1995, 20-25.
- MOSIMANN, TH. & S. SANDERS (2004): Bodenerosion selber abschätzen – Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater in Niedersachsen, Hannover, 28 S.

# Bodenschutzatlas Sachsen – Bodenflächendaten für die Landesplanung –

Matthias Peter<sup>1</sup>, Ricarda Miller<sup>1</sup>, Arnd Bräunig<sup>2</sup>

## 1 Grundlagen und Zielsetzung

Mit der Erstellung der Bodenübersichtskarte im Maßstab 1: 200.000 (BÜK200) liegen flächendeckend einheitliche Basisdaten zur Verbreitung der Böden im Freistaat Sachsen vor. Auf der Grundlage dieser Basisdaten wurden für eine landesweite Übersicht Bodenkennwerte, Bodenfunktionen und Bodengefährdungspotenziale abgeleitet. Hiermit steht eine wichtige Grundlage für bodenbezogene Fragestellungen und Entscheidungsprozesse in Landes- und Regionalplanung sowie in den Bereichen Naturschutz, Hydrologie, Geowissenschaften und Land- und Forstwirtschaft im Arbeitsmaßstab 1: 100.000 bis 1: 200.000 zur Verfügung.

Die Auswertungen werden als Bodenatlas Teil 4 in der Reihe Materialien zum Bodenschutz des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie in Form einer DVD mit Karten und Erläuterungsheft im pdf-Format sowie GIS-Daten und GIS-Funktionalitäten veröffentlicht (LFUG SACHSEN 2007).

## 2 Inhalte

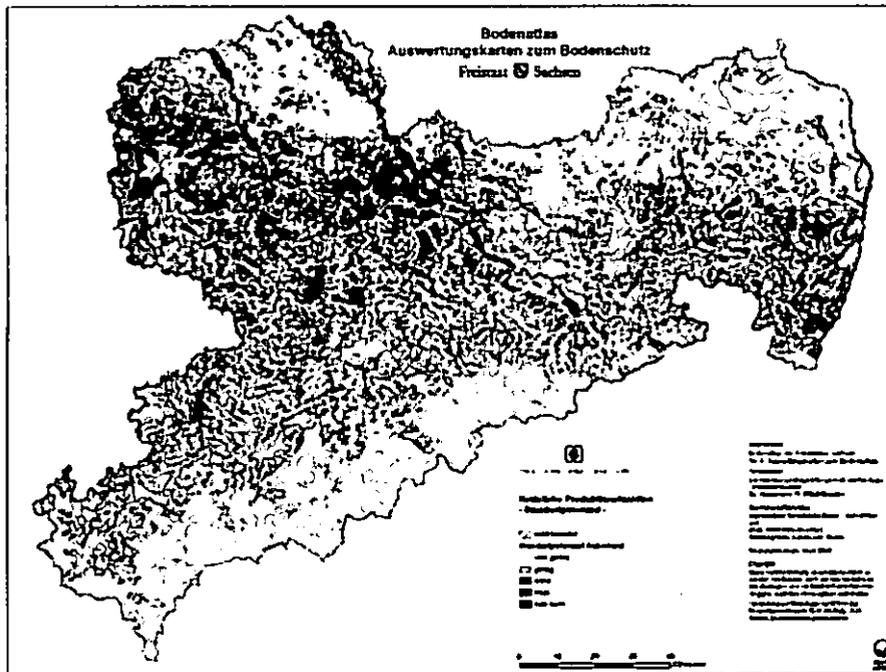


Abb. 1: Natürliches Standortpotenzial Acker im Freistaat Sachsen

Das Kartenwerk setzt den Schwerpunkt auf den nicht-stofflichen Bodenschutz und beinhaltet 18 Bodenbewertungsthemen mit insgesamt 49 Auswertungskarten. Wichtige Kennwerte des Bodenwasserhaushaltes, die Einflüsse auf den Landschaftswasserhaushalt besitzen, wie z. B. langjährige mittlere Sickerwasserrate, nutzbare Feldkapazität und Feldkapazität sowie Infiltrationslei-

stung bei Starkregen werden vorgestellt. Ein Großteil der Auswertungen bezieht sich zudem auf die Ableitung von Bodenfunktionen und Gefährdungspotenzialen, deren Ergebnisse u.a. in den Karten zur Bewertung der natürlichen Produktionsfunktion von Ackerböden und Ackerstandorten, zur Erosionsgefährdung, zur Nitratauswaschungsgefährdung und zur Archivfunktion zu finden sind. Zudem sind Grundlagenkarten zu bodenkundlichen Einheiten und Substraten sowie 15 Umweltübersichten zu den Themen Klima, Geologie, Relief und Landnutzung enthalten.

## 3 Datengrundlagen

### Bodendaten

In der sächsischen Bodenübersichtskarte im Maßstab 1: 200.000 werden 219 Bodengesellschaften unterschieden, die durch rund 10.000 Einzelflächen abgegrenzt werden. Die Bodengesellschaften bestehen aus Leit- und Begleitböden, wobei die Leitböden höhere Flächenanteile innerhalb der Bodengesellschaft aufweisen als die Begleitböden.

Zu jeder Bodengesellschaft wird eine Leitbodenform (LBF), bei 76 Bodengesellschaften zusätzlich eine zweite Bodenform (BBFa) näher bodenkundlich beschrieben. Diese zusätzlich beschriebene Bodenform nimmt einen wesentlichen Flächenanteil in der Bodengesellschaft ein. Die übrigen Begleitbodenformen einer Bodengesellschaft werden aufgelistet, jedoch nicht bei der Auswertung berücksichtigt.

Insgesamt stehen somit 295 Bodenformen für die Bodenbewertung zur Verfügung. Diese Bodenformen sind in den Daten zur Bodenübersichtskarte 1: 200.000 durch Bodenparameter näher beschrieben (z. B. Bodenartenschichtung, Humusform, Humusstufe, Carbonatstufe, Vernässungsgrad, ökologischer Feuchtegrad, Grundwasserstand).

### Weitere Daten

Daten zur Geologischen Übersicht, zur Relieffanalyse auf Basis des ATKIS-Geländemodells des Landesvermessungsamtes, zu Klima, Klimaräumen und Klimatischer Wasserbilanz sowie zur Landnutzungsklassifikation CORINE Land Cover (Coordinated Information on the Environment) werden für die Darstellung der Umweltübersichten verwendet. Zudem gehen sie in

Auswertungskarten, die aus Bodendaten und weiteren Daten ermittelt werden, wie Infiltrationsleistung bei Starkregen, mittlere jährliche Sickerwasserrate, natürliche Bodenfruchtbarkeit, natürliches Standortpotenzial, Nitratrückhaltevermögen des Bodens, Nitratauswaschungsgefährdung des Standorts sowie Erosionsgefährdung durch Wasser und Wind ein.

Die Auswertungskarten zu den Bodenkennwerten werden mit verschiedenen Bezugsebenen angeboten: mit standardisierten Bodentiefen (3 dm, 10 dm, 13 dm, 15 dm), nutzungsspezifischen Durchwurzelungstiefen

<sup>1</sup> Ricarda Miller & Matthias Peter, Ingenieurbüro Schnittstelle Boden, info@schnittstelle-boden.de

<sup>2</sup> Arnd Bräunig, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, arnd.braeunig@smul.sachsen.de

(effektiver Wurzelraum für Ackerland, Grünland, naturnaher Wald) oder realer Landnutzung, die wiederum auf der Landnutzungs-klassifikation CORINE Land Cover basiert.

#### 4 Auswertungsmethoden

Die Bodenbewertung beruht für die Bodenparameter nutzbare Feldkapazität, Feldkapazität, Luftkapazität, gesättigte Wasserleitfähigkeit, mittlere jährliche Sickerwasserrate, Nitratrückhaltevermögen, Nitrataustragsgefährdung und potenzielle Erosionsgefährdung durch Wasser bzw. Wind zunächst auf Standardberechnungsverfahren. Diese wurden bei nutzbare Feldkapazität, Feldkapazität sowie effektive Durchwurzelungstiefe modifiziert, um sie an die Verhältnisse des Landes Sachsen anzupassen. Diese Anpassung fand über die Auswertung von ca. 5.000 Labordatensätzen der bodenkundlichen Landesaufnahme statt.

Für die Parameter Infiltrationsleistung bei Starkregen, natürliche Bodenfruchtbarkeit Acker sowie natürliches Standortpotenzial Acker kamen Methoden zum Einsatz, die im Rahmen des Projektes weiterentwickelt wurden. Für diese wird beispielhaft im Folgenden die Durchführung und Verifizierung der Methode natürliches Standortpotenzial Acker vorgestellt.

#### Natürliches Standortpotenzial Acker (vgl. Tab. 1)

Neben der Eignung des Bodens beeinflussen weitere Standortbedingungen die Möglichkeiten der Ackernutzung. Als wichtige Bewertungsgrößen dienen die Menge an pflanzenverfügbarem Wasser (Summe aus nutzbarer Feldkapazität im Wurzelraum, kapillarem Aufstieg aus dem Grundwasser und den Sommerniederschlägen), die Länge der optimalen Wachstumszeit (Wärmeverhältnisse, Anzahl Tage mit Tagesmitteltemperatur > 10 °C) sowie die Hangneigung der Fläche, da diese zu Bewirtschaftungerschwernissen führen kann. Als vergleichbarer Indikator für die Menge an pflanzenverfügbarem Wasser kann auch das Verhältnis von realer zu potenzieller Verdunstung (ETR : ETP) herangezogen werden. Je enger das Verhältnis, um so günstiger ist die Wasserversorgung zu beurteilen.

Tab. 1: Kriterien und Klassifikation der Methode natürliches Standortpotenzial Ackerland

Stufe	1	2	3	4	5
Bewertung Standortpotenzial	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Summe pflanzenverfügbares Wasser in mm	≤ 450	> 450 bis ≤ 500	> 500 bis ≤ 600	> 600 bis ≤ 650	> 650
ETR/ETP-Quotient	≤ 0,75	0,75 bis ≤ 0,8	0,8 bis ≤ 0,9	0,9 bis ≤ 0,95	> 0,95
Hangneigung in °	> 10	≤ 10 bis 8	≤ 8 bis 6	≤ 6 bis 4	≤ 4
Anzahl Tage mit Tagesmitteltemperatur > 10 °C	≤ 140	140 bis ≤ 150	150 bis ≤ 160	160 bis ≤ 170	> 170

#### 5 Verifizierung und Ergebnisse

Die Ergebnisse der modifizierten Berechnungen wurden im Rahmen einer Befragung von 5 unabhängigen Experten überprüft und beurteilt. Zudem wurden die – mithilfe der oben beschriebenen, weiter entwickelten Methoden –

gewonnenen Aussagen zur Leistungsfähigkeit der Böden hinsichtlich ihrer Infiltrationsleistung bei Starkregen, der natürlichen Bodenfruchtbarkeit Acker sowie des natürlichen Standortpotenzials von den Experten eingestuft und gegebenenfalls verändert (vgl. Abb. 2). Diese Verifizie-

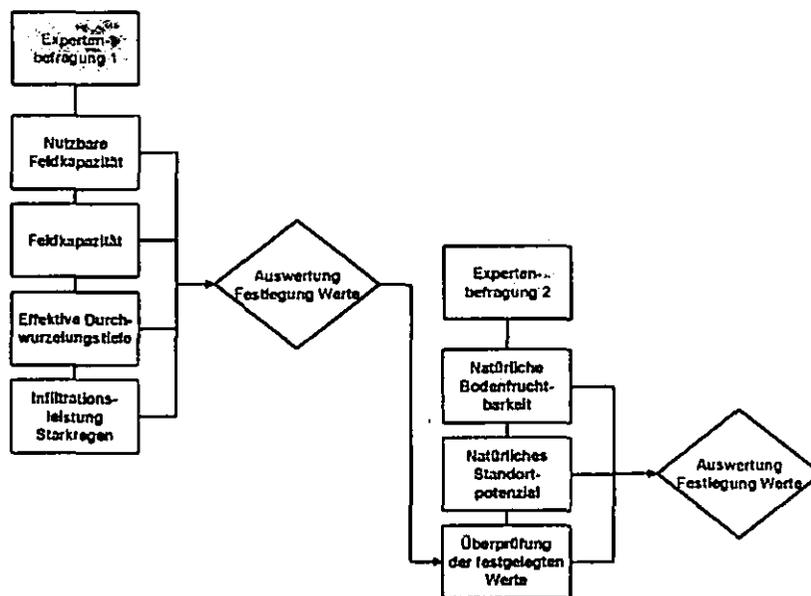


Abb. 2: Iterativer Prozess der Expertenbefragung

rung der Ergebnisse fand in einem iterativen Prozess mit zwei Befragungsrunden statt, bei dem in der zweiten Runde die Ergebnisse der ersten überprüft wurden. Die Ergebnisse der jeweiligen Expertenrunde wurden – wie beim Delphi-Test allgemein üblich – durch Mittelwertbildung der Einzelbewertungen gewonnen. Um zu überprüfen, ob die Expertenbefragung im vorliegenden Fall eine probate Vorgehensweise darstellt und belastbare Ergebnisse liefert, wurde eine statistische Analyse für die einzelnen bewerteten Parameter vorgenommen. Diese Analyse ergab hohe Raten von übereinstimmenden Expertenangaben zwischen 58 und 93 % bei durchweg geringen Variationskoeffizienten.

#### 6 Fazit

Mit den Auswertungskarten zum Bodenschutz liegen umfangreiche und geprüfte Aussagen für bodenbezogene Fragestellungen der Landes- und Regionalplanung sowie für die Bereiche Naturschutz, Hydrologie, Geowissenschaften und Land- und Forstwirtschaft im Maßstab 1: 200.000 vor.

#### Literatur

LFUG SACHSEN (2007): Bodenatlas des Freistaates Sachsen, Teil 4: Auswertungskarten zum Bodenschutz. DVD, Juni 2007, Dresden.

## Neue Anbau- und Verwertungsstrategien bei der Bioenergieerzeugung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen

Manfred Renger\* und Konrad Scheffer\*\*

Der Anbau von Energiepflanzen bietet die Chance boden- und umweltschonende Anbauverfahren zu entwickeln und in der Praxis einzuführen, die folgende Anforderungen erfüllen:

- ganzjähriger Bodenschutz und Minimierung der Bodenerosion
- Minimierung von Nährstoffausträgen und Schließen von Nährstoffkreisläufen
- kein chemischer Pflanzenschutz
- Artenvielfalt und Tolerierung der Begleitflora
- hohe Flächenproduktivität für eine hohe Rentabilität.

Die bisherigen landwirtschaftlichen Anbausysteme erfüllen diese Anforderungen nur teilweise (s.Tabl). Dies trifft auch für den Ökolandbau zu. Er erfüllt zwar die Anforderungen im ökologischen Bereich, die Flächenproduktivität ist aber im Vergleich zu konventionellen Anbausystemen niedriger. Ein Anbausystem, das sämtlichen aufgeführten Anforderungen gerecht werden kann, ist das von der Arbeitsgruppe Scheffer (2000) entwickelte Zweikulturnutzungssystem (s. Tab. 2). Es beinhaltet den Anbau und die Ernte der Gesamtbiomasse von zwei Kulturen im Laufe eines Jahres. Dabei werden eine Winter- und eine Sommerfrucht in Folge angebaut. Beide Kulturen werden vor der Vollreife geerntet und energetisch genutzt. Die geerntete Biomasse wird als Silage konserviert. Für die Fruchtfolgegestaltung haben sich die in Tab3 aufgeführten Fruchtarten bewährt (Grass & Scheffer 2005). Die Zweikulturnutzung eröffnet die Möglichkeit, ökologische und ökonomische Zielsetzungen in Einklang zu bringen (s. Tab.2). Mit der Zweikulturnutzung findet daher auch der Ökolandbau einen problemlosen Einstieg in die Biomasseerzeugung, ohne dass Ertragsminderungen auftreten.

Verfahren zur Verwertung der Silage:

Die feucht konservierte Biomasse (Silage) kann nach zwei in Abb 1 schematisch dargestellten Verfahren genutzt werden. Bei dem Verfahren 1 wird die gesamte gehäckselte und silierte Biomasse vergoren. Mit dem dabei anfallenden Biogas werden in Blockheizkraftwerken (BHKW) Strom und Wärme erzeugt.

Beim Verfahren 2 wird die Silage mechanisch entwässert. Der Presssaft enthält etwa 45 % der ursprünglichen festen Biomasse in Form von Zucker, Stärke, Eiweiß und Fetten, die in einer Biogasanlage leicht und sehr schnell vergoren werden. Das Pressgut mit einem Wassergehalt von ca. 50 % kann nach weiterer Trocknung entweder als Heizmaterial in Form von Pellets oder Briketts zur Wärmeerzeugung oder als Rohstoff für die Kraftstoffherzeugung genutzt werden.

Verfahren 2, das kombinierte Verarbeitungsverfahren, besitzt im Vergleich zu Verfahren 1 folgende Vorteile:

- Durch die Trocknung des Pressgutes der feucht konservierten Biomasse kann die ertragreichste und ökologisch günstige landwirtschaftliche Nutzungsform der Biomasseproduktion (Feuchtgutlinie in Form der Zweikulturnutzung) für die Herstellung von Brennmaterial für Heizung oder von Rohstoffen für die BtL-Erzeugung nutzbar gemacht werden. Mit dem Brennmaterial verfügen die Landwirte über ein Produkt, mit dem man bei steigenden Heizöl- und Erdgaspreisen ebenfalls höhere Erlöse erzielen kann.
- Die Energienutzungsformen Strom, Wärme oder Kraftstoff lassen sich dem jeweiligen Bedarf anpassen.
- Durch die Gewinnung von Presssaft werden aus dem Brennmaterial erhebliche Mengen an brenntechnisch störenden und umweltbelastenden Mineralstoffen wie Stickstoff, Chlorid und Kalium entfernt. Dadurch kann das Brennmaterial ohne

Probleme auch in sehr kleinen Heizanlagen verbrannt werden.

- Cellulose und Lignin werden energetisch genutzt.
- Mähgut von Biotop- und Naturschutzflächen kann voll energetisch genutzt werden.
- Da die Wärmenutzung nicht direkt an die Biogasanlage gekoppelt ist, können Silageaufbereitungs- und Biogasanlagen auch ortsfrem installiert werden.
- Verbesserung der Wertschöpfung im ländlichen Raum, da wesentliche Arbeitsschritte auf dem landwirtschaftlichen Betrieb verbleiben.
- Die Energienutzungseffizienz ist bei Verfahren 2 um ca. 50 % höher als bei Verfahren 1.

Schlussfolgerungen:

Der Vergleich der verschiedenen Nutzungsformen (s. Tabl und 2) zeigt, dass das Zweinutzungssystem sowohl ökologisch als auch ökonomisch den anderen Nutzungssystemen deutlich überlegen ist. Daraus ergibt sich in Verbindung mit dem von der Bundesregierung und auch der EU vorgegebenen Ziel, bis zum Jahr 2010 5,75 % des gesamten Kraftstoffbedarfs aus Biomasse zu erzeugen, ein zeitliches Problem. Da andere Kraftstoffproduktionsverfahren erst nach 2010 zur Verfügung stehen, kann das festgesetzte Ziel für 2010 nur über die Erzeugung von Rapsölmethylester und Ethanol erreicht werden. Der Anteil von 5,75 % entspricht einer Kraftstoffmenge von ca. 3,1 Mio. t (=3,9 Mrd.l). Legt man die in Tab 1 aufgeführten Kraftstoffnettoerträge zugrunde, ergibt sich ein Flächenbedarf von ca. 3,12 Mio ha. Die auf dieser Fläche produzierte Kraftstoffmenge von 3,9 Mrd. l entspricht einer Energiemenge von 39 TWh bzw. 140 PJ. (DRL 2006). Würde man auf der 3,12 Mio. ha umfassenden Fläche Feuchtbioasse produzieren und mit dem in Abb.1 dargestellten kombinierten Verarbeitungsverfahren (Presssaft- und Pressgutnutzung) Biogas für die Stromerzeugung und Brennmaterial für die Wärmeerzeugung gewinnen, so ließe sich der Energieertrag um das 4,8-fache steigern.

Daraus ergibt sich die Forderung bei der Festlegung von Zielvorgaben und Förderungsmaßnahmen die erzielbare Energieeffizienz der Biomassenutzung stärker zu berücksichtigen. Das vorrangige Ziel sollte dabei der Ausbau der Wärmenutzung und nicht wie bisher die Kraftstoffproduktion sein (DRL 2006). Dies spart auch die indirekten Subventionen, die z.B. bei der Ermäßigung der Mineralölsteuer entstehen. Würde man einen Teil dieser eingesparten Gelder als Anreiz für die Verbesserung der Wärmenutzung einsetzen, so könnte ein zusätzlicher positiver Effekt erreicht werden. Das Energieeinsparpotenzial wird auf 50 % geschätzt.

Literatur

DRL, (2006): Die Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft. Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landschaftspflege (DRL) Heft 79 134 S.

Grass, R. & Scheffer, K (2005). Alternative Anbaumethoden: Das Zweikulturnutzungssystem. – Natur und Landschaft, 80, H 9/10, 435-439.

Scheffer, K. (2005): Bereitstellungskonzepte von Biomasse für die Kraftstoffproduktion: - / EuroSolar-Konferenz, Bonn Februar 2005 Tagungsband 7 S.

\*37574 Einbeck, Koppelweg 3

\*\*37133 Friedland, Großer Bruch 15

Tab. 1 Ökologische und ökonomische Bewertung verschiedener Anbausysteme

Rapsanbau für Rapsöl- und Rapsölmethylesterproduktion	Getreide-, Zuckerrüben- und Kartoffelanbau für die Ethanolherzeugung
<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Reinkultur; keine Wildpflanzen keine geschlossenen Nährstoffkreisläufe</li> <li>&gt;hoher Mineraldünger- Herbizid-, Fungizid- und Insektizideinsatz</li> <li>&gt;hohe Nitratauswaschungsgefahr aufgrund hoher Reststickstoffgehalte in Form von zurückgebliebenen Blattmassen am Ende der Vegetationszeit</li> <li>&gt;Erträge: 3-5t Rapskom/ha (Mittel 4 t/ha)</li> <li>&gt;Nettobiomasseertrag/ha in l Öl-äquivalent: 1500 l/ha</li> <li>&gt;Kraftstoffnettoertrag nach Berücksichtigung der Konversionsverluste: 1 200 l/ha</li> <li>&gt;Flächenbedarf für die Deckung von 5,75% des Gesamtkraftstoffbedarfs: 3,25 Mio. ha -</li> <li>Gesamtbewertung:</li> <li>Naturhaushalt— Flächenproduktivität—</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Reinkultur, keine Wildpflanzen, hoher Mineraldüngeraufwand</li> <li>&gt;hoher Herbizid-, Fungizid- und Insektizideinsatz</li> <li>&gt;keine ganzjährige Bodenbedeckung daher Gefahr für Erosion und Nährstoffverlagerung</li> <li>&gt;keine geschlossenen Nährstoffkreisläufe</li> <li>&gt;Erträge: 8-16 t Trockenmasse/ha (Mittel ca. 12 t/ha)</li> <li>&gt;Nettobiomasseertrag/ha in l Öl-äquivalent: ca. 3800 l/ha</li> <li>&gt;Kraftstoffnettoertrag nach Berücksichtigung der Konversionsverluste: 1300 l/ha</li> <li>&gt;Flächenbedarf für die Deckung von 5,75% des Gesamtkraftstoffbedarfs: 3,0 Mio. ha -</li> <li>Gesamtbewertung:</li> <li>Naturhaushalt— Flächenproduktivität—</li> <li>Bewertung +++ = sehr gut, -- = sehr schlecht</li> </ul>

Tab. 2 Bewertung der Zweikulturnutzung

- Artenvielfalt durch Arten- und Sortenmischungen
- Tolerierung von Wildpflanzen
- fast geschlossene Nährstoffkreisläufe
- sehr geringer Mineraldüngeraufwand
- keine Fungizide und Insektizide
- in der Regel auch keine Herbizide
- minimale Bodenbearbeitung, dadurch geringerer Humusabbau
- Erträge: 20-30 t Trockenmasse/ha (Mittel 25 t/ha)
- Nettobiomasseertrag in l Öläquivalent 11000 l/ha
- Kraftstoffnettoertrag nach Berücksichtigung der Konversationsverluste bei BtL-Erzeugung: 5500 l/ha
- Flächenbedarf für die Deckung von 5,75 % des Gesamtkraftstoffbedarfs: 0,71 Mio ha
- Bewertung: Naturhaushalt +++ Ertrag +++
- +++ sehr gut -- sehr schlecht

Tab. 3 Geeignete Pflanzen für das Zweikulturnutzungssystem

Erstkulturen	Zweikulturen
Weizen	Mais
Roggen	Sonnenblumen
Winterhafer	Sudangras
Triticale	Zuckerhirse
Raps	Hanf
Rübsen	Senf
Weidelgras u. a.	Phacelia
Wintererbsen	Örztlich
Inkernatklée	Erbsen
Winterwicken	Wicken

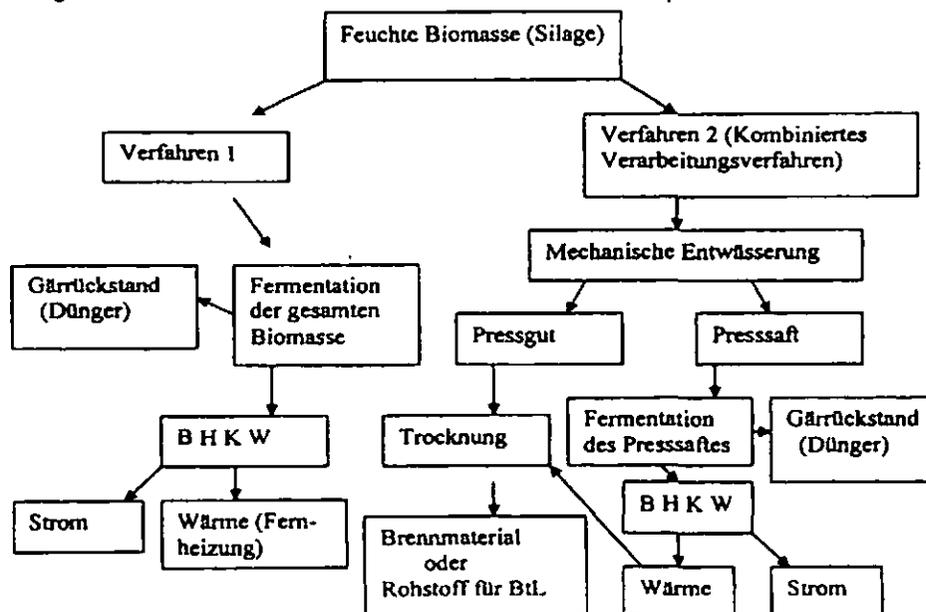


Abb. 1: Schematische Darstellung und Bewertung von zwei Verfahren zur Biogaserzeugung

# Beschleunigt erhöhte Biodiversität den Stickstoffkreislauf in einem Grünlandökosystem?

S. Rosenkranz, Y. Oelmann, W. Wilcke

## 1. Einleitung

Im Rahmen einer Forschergruppe wird der Einfluss der Biodiversität auf Stoffkreisläufe in einem experimentellen Grünland untersucht (Roscher et al., 2004).

Ein Ergebnis der ersten Projektphase (2002-2005) war eine negative Korrelation zwischen Biodiversität und der Konzentration gelösten organischen Stickstoffs (DON) in der Bodenlösung (Oelmann et al., 2007). Zwei alternative Erklärungsansätze sind möglich:

- (1) Durch die verstärkte Konkurrenz in diverseren Systemen nehmen Grünlandpflanzen vermehrt organischen Stickstoff auf und
- (2) gesteigerte Biomasseproduktion und erhöhte Artenzahl führen zu beschleunigter Umsetzung von organischen zu anorganischen N-Verbindungen.

Hier sollte der Zusammenhang zwischen Artenzahl und Mineralisation getestet werden. Dies musste durch den Ansatz mehrerer Experimente geschehen, da die Mineralisation durch eine Vielzahl von Umweltfaktoren beeinflusst wird.

## 2. Standort und Methoden

Die Versuchsfläche des „Jena-Experiments“ liegt bei Jena (50°55' N, 11°35' E; 130 m ü NN).



Abb. 1: Luftbildaufnahme des Jena-Experimentes (Foto: Jussi Baade, 2003).

Im Experiment wurden 92 große Plots angelegt, die einem Texturgradienten folgend in 4 Blocks parallel zum Fluss Saale angeordnet sind.

Professur für Bodengeographie/Bodenkunde, Geographisches Institut, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 55099 Mainz, e-mail: s. rosenkranz@geo.uni-mainz.de

Sechzig Grünlandarten aus vier funktionellen Gruppen (Leguminosen, Gräser, kleine und große Kräuter) wurden als 1-, 2-, 4-, 8-, 16- oder 60-Arten-Mischungen zufällig auf den Plots verteilt. Zusätzlich wurden Brachflächen eingerichtet. Die Artenzahl wurde über Jäten erhalten. Das Experiment begann im Frühjahr 2002.

### 2.1. In-Situ-Mineralisation

Hier sollte getestet werden, wie sich das flächenspezifische Milieu auf die Mineralisation auswirkt. In 90 Plots wurden identische Mineralisationsröhrchen eingebaut. Die Röhrchen bestanden aus PE. Sie wiesen an der Wandung eine 0,2 mm Schlitzung auf, um den plotspezifischen Mikroorganismen Zugang zu ermöglichen. Deckel und Boden wurden mit Stopfen verschlossen.

Pro Plot wurden fünf mit unterschiedlichen Substraten gefüllte Röhrchen eingebaut. Je 50g Einheitsboden (vom Rande der Jenaer Versuchsfläche) wurden mit je 5g zerkleinertem Pflanzenmaterial (Blind, Gräser, Leguminosen, kleine und große Kräuter) vermischt und in die Röhrchen eingebracht. Die Inkubation erfolgte für 6 Wochen in 0-10 cm Tiefe. Anschließend wurde aus jedem der 450 Röhrchen ein Aliquot mit 1 M KCl extrahiert. Die  $\text{NH}_4^+$ - und  $\text{NO}_3^-$ -Konzentrationen der Extrakte wurden photometrisch mit einem Continuous Flow Analyser (CFA) von Bran+Lübbe gemessen.

### 2.2. Ex-Situ-Mineralisation

In diesem zweiten Ansatz wurde das Klima (Temperatur ca. 20°C, Wassergehalt ca. Feldkapazität) konstant gehalten. In 90 Inkubatoren wurden je 100 g plotspezifischer Boden und 10 g plot-spezifisches Pflanzenmaterial inkubiert. In regelmäßigen Abständen (nach Tag 1, 2, 3, 5, 7, dann wöchentlich) wurden die Inkubatoren mit einer N-freien Nährlösung perkoliert. Anschließend wurden die  $\text{NH}_4^+$ - und  $\text{NO}_3^-$ -Konzentrationen der Perkolate wieder mittels CFA bestimmt. Der Versuch lief über 12 Wochen.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

### 3.1. In-Situ Mineralisation

Die Ammonifikation korrelierte (auf den pflanzenbestandenen Flächen) eng mit der Artenzahl (Abb. 2).

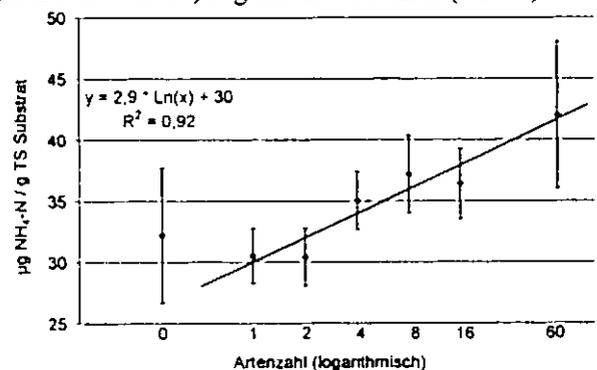


Abb. 2: Zusammenhang zwischen In-Situ-Ammonifikation und Artenzahl.

Diese erhöhte Ammoniumfreisetzung im In-Situ-Experiment könnte damit zusammen hängen, dass höhere Artenzahlen zu mehr Biomasse auf den Plots und damit zu besserer Beschattung führen (Hector et al., 1999). Dies würde ein stabileres Kleinklima mit günstigeren Wassergehalten im Boden bewirken. Abbildung 3 stützt diese Annahme. Wir finden hier einen klaren Zusammenhang zwischen der Artenzahl auf den Plots und dem Wassergehalt in 0-10cm Tiefe.

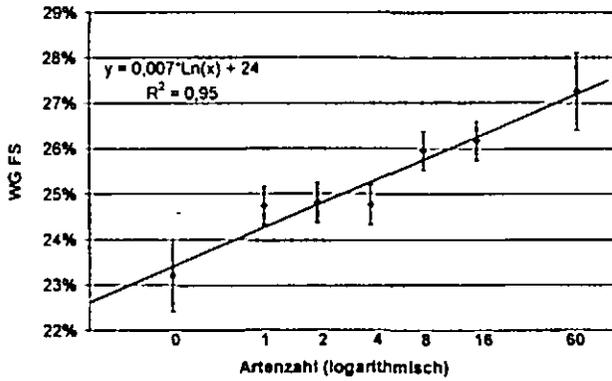


Abb. 3: Zusammenhang zwischen den In-Situ-Wassergehalten und der Artenzahl.

Jedoch dürfte nun im Ex-Situ-Experiment kein Zusammenhang zwischen Ammonifikation und Artenzahl zu finden sein, da hier der Wassergehalt konstant gehalten wurde.

Abbildung 4 zeigt die Ammonifikation im Verhältnis zur Artenzahl auf den Plots aus dem Ex-Situ- Mineralisationsexperiment.

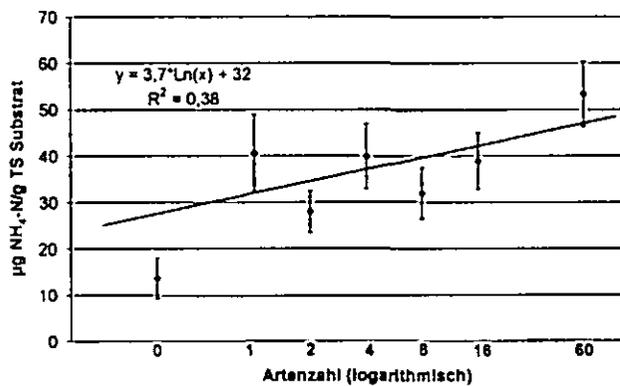


Abb. 4: Zusammenhang zwischen der Ex-Situ-Ammonifikation und der Artenzahl

Auch hier scheint es einen Zusammenhang zwischen der Artenzahl und der Ammonifikation zu geben. Die Streuung der Daten ist allerdings größer. Dennoch ergab sich eine positive Korrelation zwischen Artenzahl und Ammonifikation. Folglich kann der Wassergehalt alleine den beobachteten Zusammenhang zwischen Artenzahl und Ammonifikation nicht erklären. Eine alternative Erklärung wäre, dass die höhere Biomasse und/oder die qualitative Zusammensetzung der Streu auf den artenreicheren Flächen die mikrobielle Aktivität stimuliert.

Die Ergebnisse der Nitrifikation (nicht dargestellt) zeigen im Ex-Situ-Experiment einen ähnlichen Zusammenhang mit der Artenzahl wie die Ammonifikation.

Die Auswertung der In-Situ-Nitrifikation ist noch nicht abgeschlossen.

#### 4. Schlussfolgerungen

Wir fanden in diesen ersten Experimenten starke Indizien für eine Beschleunigung der Mineralisation mit steigender Artenzahl auf unseren Versuchsplots.

Die Identifikation der Ursachen erfordert jedoch weitere Untersuchungen. Trotzdem lassen sich bereits jetzt zwei Hypothesen zur Erklärung unserer Beobachtungen formulieren:

- (1) Je mehr Arten vorhanden sind, desto günstiger wird das Kleinklima für die Mineralisation in den oberen Bodenlagen.
- (2) Durch höhere Biodiversität steigt auch die Masse und Variabilität an umsetzbarem Substrat. Dies führt zu höheren Stoffumsätzen.

Weitere Einflüsse wie eventuelle Nährstofflimitierungen oder die Diversität der Mikroorganismen müssen noch getestet werden.

#### 5. Dank

Diese Untersuchungen wurden durch die DFG finanziert (FOR 456/I-1 und Wi 1601/3-1, -2). Dank gebührt den Initiatoren des Jena Experimentes B. Schmid, E.-D. Schulze und W. Weisser sowie den Koordinatoren des Jena-Experimentes C. Roscher, J. Schumacher und A. Weigelt. Weiterer Dank gilt allen hilfreichen Mitstreitern.

#### 6. Literatur

Hector, A., B. Schmid, C. Beierkuhnlein, M.C. Caldeira, M. Diemer, P.G. Dimitrakopoulos, J.A. Finn, H. Freitas, P.S. Giller, J. Good, R. Harris, P. Hogberg, K. Huss-Danell, J. Joshi, A. Jumpponen, C. Körner, P.W. Leadley, M. Loreau, A. Minns, C.P.H. Mulder, G. O'Donovan, S.J. Otway, J.S. Pereira, A. Prinz, D.J. Read, M. Scherer-Lorenzen, E.D. Schulze, A.S.D. Siamantziouras, E.M. Spehn, A.C. Terry, A.Y. Troumbis, F.I. Woodward, S. Yachi und J.H. Lawton. 1999. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science* 286:1123-1127.

Oelmann, Y., W. Wilcke, V.M. Temperton, N. Buchmann, C. Roscher, J. Schumacher, E.D. Schulze und W.W. Weisser. 2007. Soil and plant nitrogen pools as related to plant diversity in an experimental grassland. *Soil Science Society of America Journal* 71:720-729.

Roscher, C., J. Schumacher, J. Baade, W. Wilcke, G. Gleixner, W.W. Weisser, B. Schmid und E.D. Schulze. 2004. The role of biodiversity for element cycling and trophic interactions: an experimental approach in a grassland community. *Basic and Applied Ecology* 5:107-121.

# Physikalischer Bodenschutz im Wald: zwischen Beeinträchtigung und Schaden

Sciacca Stéphane<sup>1</sup>, B. Frey<sup>1</sup>, J. Kremer<sup>2</sup>, Peter Lüscher<sup>1</sup>

## Einleitung

Das Befahren von Waldböden mit schweren Forstmaschinen kann tiefgreifende und langanhaltende Strukturveränderungen verursachen, die wichtige Bodenfunktionen beeinträchtigen. Die Originalität dieser Untersuchung besteht darin, dass die ökologische Funktionalität befahrener Böden aufgrund von mikrobiologischen und physikalischen Befunden untersucht wird.

## Ziel

Das Ziel dieser Untersuchung ist, dass Beeinträchtigung und Bodenschaden unterschieden werden, mit mikrobiologischen und physikalischen Untersuchungen an definierten Fahrspurtypen.

## Methode

Nach der Auswahl der Testfläche in Messen (Kanton Solothurn, Schweiz) wurde für die Kartierung der Fahrspuren eine Typisierung mittels morphologischer Ansprache angewandt (vgl. Abb. 1). Diese Typisierung übernimmt klare, einfache und nachvollziehbare Kriterien, die die Kommunikation für die Praxis erleichtert (vgl. Abb. 2).

Der Anteil beeinträchtigter Fläche in Messen beträgt insgesamt 8%<sup>1</sup> davon sind 1.6% Spurtyp I, 1% Spurtyp II, 2.4% Spurtyp III, 2.2% Spurtyp IV (flächig befahren) und 0.8% Spurtyp V (vermutete oder nicht typisierbare Fahrspur).

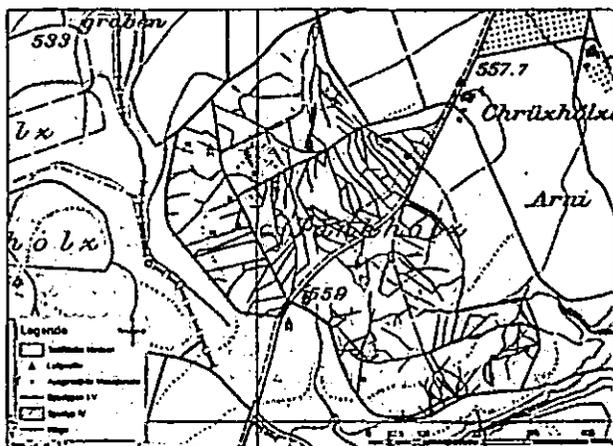


Abb. 1: Feinerschliessung auf der Testfläche im Kanton Solothurn (Stand 2006).

<sup>1</sup> Die Berechnung verwendet die Radspurbreite für die Spurtypen I und V, die Radspurbreite plus 10 cm beidseits für den Spurtyp II, die Radspurbreite plus 50 cm beidseits für den Spurtyp III und die gesamte beeinträchtigte Fläche für den Spurtyp IV.

<sup>1</sup> Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Schweiz

<sup>2</sup> Technische Universität München (TUM), am Hochanger 13, D-85354 Freising, Deutschland

In den morphologisch unterschiedlichen Fahrspurtypen wurden die Veränderungen der mikrobiellen Struktur von Bodenpopulationen mittels molekularbiologischen Methoden analysiert.

Dieselben Stellen wurden ebenfalls mittels bodenphysikalischen Parametern wie gesättigte und ungesättigte Wasserleitfähigkeit, Gasdiffusion mittels Radon, intrinsische Luftleitfähigkeit, Porenkontinuität, Lagerungsdichte und Grobporenstruktur mittels Computertomographie untersucht.

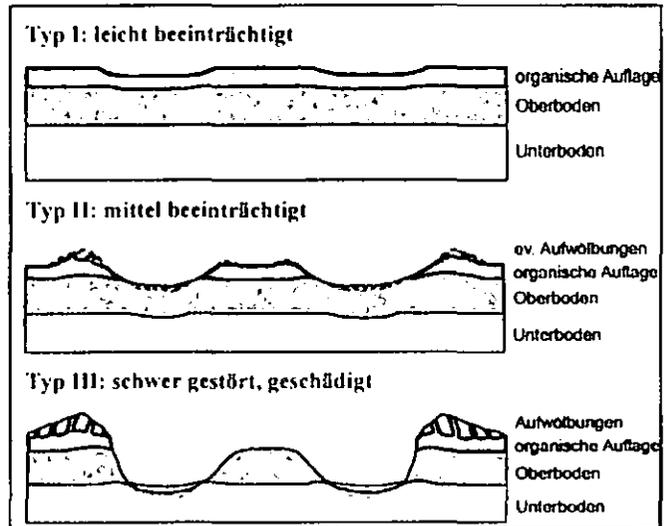


Abb. 2: Visuelle Typisierung der Fahrspuren nach Störungsgraden.

## Ergebnisse

### Bodenbiologie

Die Struktur mikrobieller Bodenpopulationen ist in Spurtyp III gegenüber den Spurtypen I, II und Referenz stark verändert. Die Proben vom Spurtyp III lassen sich in der Referenz, in der Fahrspur und zwischen den Fahrspuren klar unterscheiden (vgl. Abb. 3).

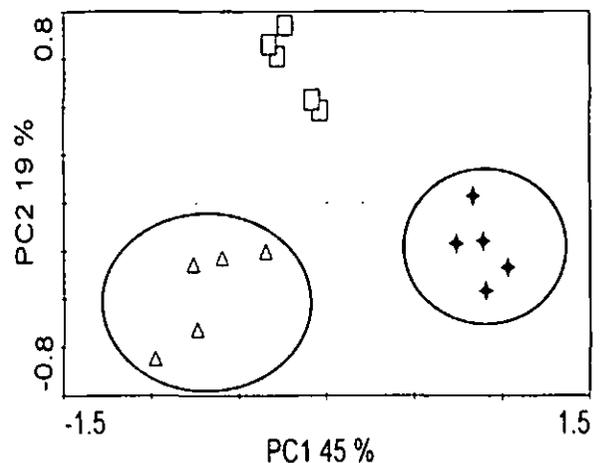


Abb. 3: Veränderungen der Struktur mikrobieller Bodenpopulationen (Tiefe 5-10 cm). Spurtyp III: schwer gestört, geschädigt.

✦ Referenz, □ Zwischen den Fahrspuren, △ In der Fahrspur.

In den Spurtypen I und II unterscheiden sich währenddem die Fahrspur und Referenz nicht eindeutig voneinander (vgl. Abb. 4).

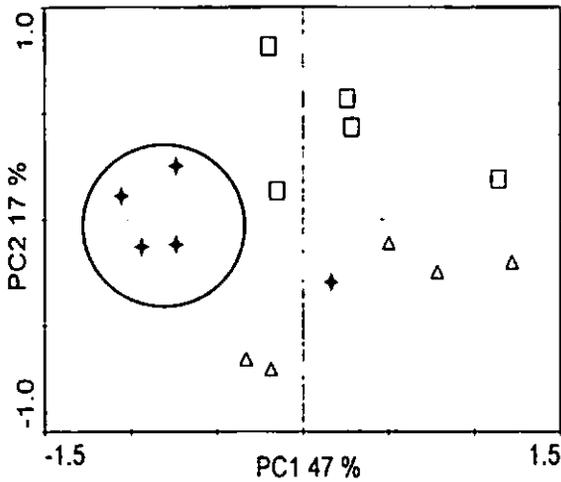


Abb. 4: Veränderungen der Struktur mikrobieller Bodenpopulationen (Tiefe 5-10 cm). Spurtyp I: leicht beeinträchtigt und Spurtyp II: mittel beeinträchtigt. ✦ Referenz, □ Zwischen den Fahrspuren, Δ In der Fahrspur.

#### Bodenphysik

Die unterschiedliche Zusammensetzung der mikrobiellen Bodenpopulationen zwischen Spurtyp III und den Spurtypen I und II korreliert mit den bodenphysikalischen Untersuchungen. Die gemessenen Parameter im Spurtyp III bezüglich der Spurtypen I und II sind stark reduziert (vgl. Abb. 5 und 6).

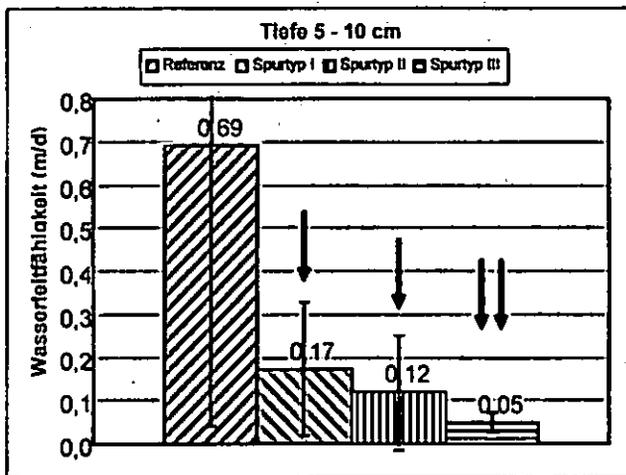


Abb. 5: Gesättigte Wasserleitfähigkeit (Tiefe 5-10 cm). Spurtyp I: leicht beeinträchtigt, Spurtyp II: mittel beeinträchtigt und Spurtyp III: schwer gestört, geschädigt.

Die gesättigte Wasserleitfähigkeit zwischen 5 und 10 cm Tiefe zeigt eine regelmässige Abnahme von Spurtyp I bis Spurtyp III (vgl. Abb. 5). Die gleiche Tendenz ist sichtbar bei der Luftleitfähigkeit, die bei den Entwässerungsstufen 30, 60, 150 und 300 mbar einen klaren Zusammenhang zur

Intensität der Bodenbeeinträchtigung (Störungsgrade) aufweist (vgl. Abb. 6).

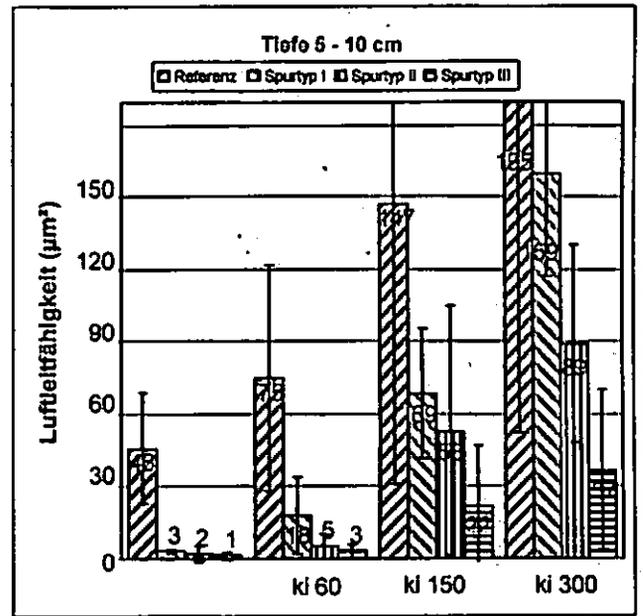


Abb. 6: Intrinsische Luftleitfähigkeit (Tiefe 5-10 cm). Spurtyp I: leicht beeinträchtigt, Spurtyp II: mittel beeinträchtigt und Spurtyp III: schwer gestört, geschädigt.

#### Schlussfolgerungen und Ausblick

Die physikalische Beeinträchtigung des Bodens hat ebenfalls Konsequenzen auf die Bodenmikrobiologie und insbesondere auf die Zusammensetzung der mikrobiellen Lebensgemeinschaften. Damit wir die ökologische Grenze zwischen Beeinträchtigung und Schaden im Hinblick auf die Befahrbarkeit festlegen können, ist der Spurtyp II genauer zu untersuchen.

Die nächsten Schritte werden sein, die Datenbasis auf weiteren Standorten mit unterschiedlichen Bodeneigenschaften zu erweitern und vertiefte Untersuchungen zum Spurtyp II durchzuführen.

#### Bibliographie

- HARTMANN M., FREY B., KOLLIKER R., et al. 2005. Semi-automated genetic analyses of soil microbial communities: Comparison of T-RFLP and RISA based on descriptive and discriminative statistical approaches. *Journal of microbiological methods* 61 (3): 349-360
- KREMER J., WOLF B., und MATTHIES D. 2002. Structural deformation of artificial macropores under varying load and soil moisture. *Journal of plant nutrition and soil science* 165 (5): 627-633
- LUESCHER P., THEES O., FRUTIG F. und S. SCIACCA. 2006. Physikalischer Bodenschutz im Wald als Teil der Arbeitsqualität. BGS-Bulletin 2006
- LUESCHER P., THEES O. und FRUTIG F. 2005. Physikalischer Bodenschutz im Wald ist kein Luxus. *Zürcher Wald* 6/2005

## Auswirkungen verschiedener Bodennutzungssysteme auf ausgewählte physiko-chemische Bodeneigenschaften und pflanzenbauliche Parameter

M. Resat Sümer, Jutta Zeitz

### Einleitung

Bodennutzungssysteme lösen differenzierte Wirkungen in Ackerbausystemen aus. Sie verursachen kurz- oder längerfristige physiko-chemische Veränderungen des Bodenzustandes was sich auf die Rentabilität der Produktion auswirkt. Der Einfluss verschiedener Bodennutzungssysteme auf Bodenfruchtbarkeit soll anhand von physikalischen und chemischen Bodenkennwerten untersucht werden.

### Problemstellung

Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Bodennutzungssysteme auf die Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit liegen in der Europäischen Union vor. Besonders im Zusammenhang mit nachhaltiger Bodennutzung sind jedoch heute noch viele Fragestellungen ungeklärt. Ein wichtiger Aspekt ist der spezifische Einfluss des Standortes. Viele Prozesse der Produktions- und Regulierungsleistung von Agrarökosystemen sind noch nicht in dem Maße bekannt, dass sie durch Bewirtschaftungsmaßnahmen gezielt gesteuert werden können. Im Vordergrund des Vorhabens stehen langjährige Einflüsse von drei ausgewählten Faktorstufen (+Ca, -Ca, +Stallmist, -Stallmist und die zwei Bodenbearbeitungsstufen: flach (bis 17 cm) und tief (bis 28 cm)) auf physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften und Pflanzenparameter am Versuchstandort in Berlin-Dahlem.

### Material und Methoden

#### Standortbeschreibung

Tabelle 1: Allgemeine Angaben zum Standort Berlin-Dahlem

Geographische Lage	Breite: 52° 28' N, Länge: 13° 18' E, Höhe ü. NN: 51 m
Bodentyp	Parabraunerde (mit schwachen Merkmalen der Fehlerde) FAO-Klassifikation: Albic Luvisol
Bodenart	schwach schluffiger bis mittel lehmiger Sand (Krume) schluffig lehmiger Sand bis sandig toniger Lehm (Unterboden)

Adressen: M.Resat Sümer ([mehmet.resat.suemer@staff.hu-berlin.de](mailto:mehmet.resat.suemer@staff.hu-berlin.de)) und Jutta Zeitz ([jutta.zeitz@agrar.hu-berlin.de](mailto:jutta.zeitz@agrar.hu-berlin.de)) Humboldt Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich- Gärtnerei Fakultät, Fachgebiet Bodenkunde und Standortlehre, Invalidenstr. 42, 10115 Berlin

### Bodenphysikalische Parameter

Tabelle 2: Bodenphysikalische Parameter zum Standort Berlin-Dahlem

Schicht [cm]	Korngrößenfraktion (%)			TRD [g cm <sup>-3</sup> ]	FK [mm]	PWP [mm]	nFK [mm]
	Sand	Schluff	Ton				
0-30	72,1	25,0	2,9	1,72	72,5	13,7	58,7

### Bodenchemische Parameter

Tabelle 3: Bodenchemische Eigenschaften in der Krume 0-30 cm zum Standort Berlin-Dahlem

pH	Ct [%]	Nt [%]	P [mg 100 g <sup>-1</sup> ]	K [mg 100 g <sup>-1</sup> ]	Cu [ppm]	Zn [ppm]	Pb [ppm]	Cd [ppm]
6,3	0,7	0,07	18,2	15,3	7,9	28,4	20,0	0,143

### Methodik

Von den 192 Parzellen wurden in Abhängigkeit der Faktorstufen 48 Parzellen zur Entnahme von Bodenproben ausgewählt. Aus diesen Parzellen wurden aus 10-15 cm und 20-25 cm Tiefe gestörte Bodenproben entnommen. Diese Bodenproben wurden hinsichtlich der bodenphysiko-chemischen Parameter pH, Humus, C/N und Aggregatstabilität untersucht. Der Korntrag ist unmittelbar nach der Ernte gewogen und für jedes Teilstück ermittelt worden. Auf den Untersuchungsflächen wurden mit sehr enger Rasterbohrung die Substratschichtung erfasst und später mittels Computerprogramm „Surfer“ ausgewertet. Im Frühjahr 2006 wurden mit einem Penetrologger die Durchdringungswiderstände erfasst.

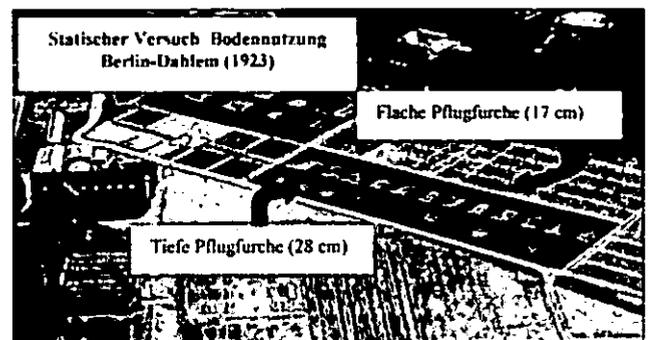


Abb. 1: Statistischer Versuch Bodennutzung Berlin-Dahlem

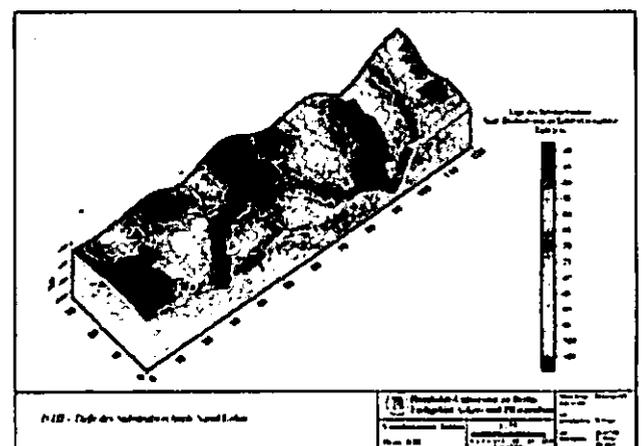


Abb. 2: Darstellung der Substratschichtung im Feldversuch DIII

Tabelle 4: Ergebnisse von ausgewählten bodenphysikalischen-chemischen Parameter und Korntrag

Pflanzensystem	pH 0-15cm	pH 25-35cm	Humus P4		Aggregat S P4		GN 0-15cm	GN 25-35cm	Korntrag (t/ha)	
			0-15cm	25-35cm	0-15cm	25-35cm				
flach (17cm)	(+)Schärfen (+)Kalk	5,8 ab	5,9 c	1,7 cd	1,5 cd	13,0 ab	13,5 ab	13,6 a	13,6 cd	27,9 b
	(-)Schärfen (+)Kalk	4,4 c	4,3 b	1,6 bc	1,6 bc	13,5 ab	11,4 ab	14,0 a	13,0 bc	23,8 b
	(+)Schärfen (-)Kalk	6,0 e	6,0 c	1,9 ab	1,8 ab	13,2 ab	13,8 ab	14,8 a	14,0 cd	25,9 b
	(-)Schärfen (-)Kalk	4,0 bc	4,0 b	0,8 a	0,8 a	11,0 a	12,7 a	13,2 a	14,3 d	23,7 b
tief (17cm)	(+)Schärfen (+)Kalk	5,5 ab	5,6 c	1,8 c	1,8 d	13,7 d	15,6 abc	14,4 a	12,6 a	24,6 b
	(-)Schärfen (+)Kalk	3,9 ab	3,9 ab	1,6 c	1,1 abc	13,0 cd	14,5 c	14,7 ab	13,0 ab	26,8 b
	(+)Schärfen (-)Kalk	5,4 d	5,6 c	1,4 d	1,4 abc	13,5 bc	14,6 bc	14,7 ab	13,8 abc	23,5 b
	(-)Schärfen (-)Kalk	3,5 a	3,5 a	1,3 d	1,1 abc	13,4 bc	12,0 c	15,0 b	13,9 abc	13,2 a
LSI <sub>max</sub> (6-5%)	0,6	0,6	0,76	0,8	1,05	2,11	1,0	0,6	6,41	

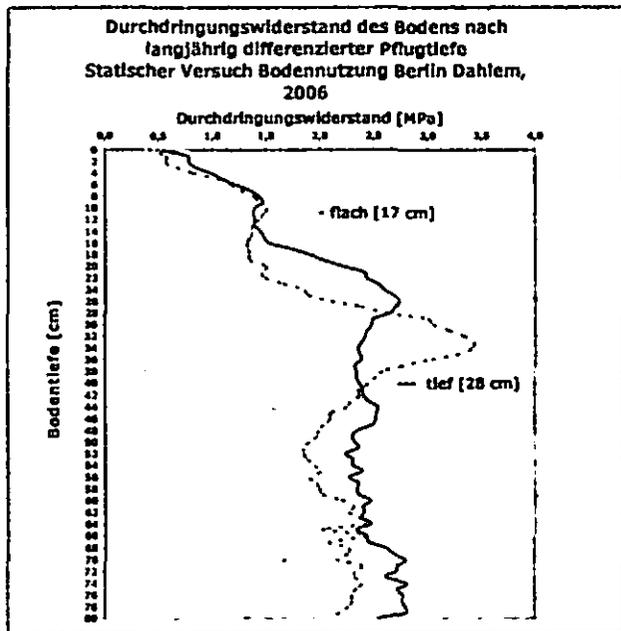


Abb. 3: Durchdringungswiderstand des Bodens im Feldversuch DIII

**Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

Erste Untersuchungen zur Substratschichtung zeigen, dass bei der Horizontmächtigkeit des Sandes und des Lehms ein stark variierender Verlauf vorliegt. Bei einer geringen Neigung der Oberfläche ergibt sich eine Decksandmächtigkeit zwischen 35-110 cm (Abb. 2). Nach langjährig differenzierter Pflugtiefe ergeben sich nach Untersuchungen mit einem Penetrologger zwischen den Tiefen 17-28 cm und 28 -40 cm die deutlichsten Unterschiede (Abb. 3).

Die pH-Werte variieren generell zwischen 3,5 und 6,0 und weisen bei tiefer Bodenbearbeitung höhere Werte auf als bei flacher. Der höhere Humusgehalt auf den flach bearbeiteten Versuchspartellen zeigt, dass es auf den tief bearbeiteten Flächen seit vielen Jahren zu einem Verlust kam. Der Anteil der stabilen Aggregate in den flachen Bodenbearbeitungsflächen weist höhere Werte auf. Das Verhältnis zwischen Gesamtkohlenstoffgehalt und Gesamtstickstoffgehalt liegt in allen Parzellen in beiden

Bodentiefen zwischen 12,45 und 15,63. Bis auf die Variante ohne Stallmistdüngung und ohne Kalkdüngung in der flachen Bodenbearbeitung konnten zwischen den Kornträgen keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. Bei tiefer Bodenbearbeitung ergaben sich tendenziell höhere Kornträge im Vergleich zur flachen Bodenbearbeitung. Langzeituntersuchungen zeigten, dass unterschiedliche Bodennutzungssysteme zur Veränderungen von physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften führten. Diese Untersuchungen sollen künftig weitere detaillierte Erkenntnisse zur Bodenstruktur und Bodenfruchtbarkeit liefern.

# Phosphatgehalte in Böden - Das Gedächtnis des Bodens für historische Wohn- und Siedlungsstrukturen

Kathlin Schweitzer

Stark erhöhte Phosphatgehalte im Boden können noch heute ein Indiz sein für eine ehemalige Besiedlung. Sie sind das Resultat einer beträchtlichen Anreicherung von organischen Abfällen im Boden während vor- und frühgeschichtlicher Siedlungsepochen (Zölitz & Heinrich, 1990). Auch gedüngte Äcker, Stellplätze und Wege für Vieh können anhand erhöhter Phosphatgehalte noch heute nachgewiesen werden (Lienemann, 1989). Die Phosphatgehalte im Boden werden aufgrund dessen in der Archäologie zur Aufklärung historischer Siedlungs-, Wohn- und Wirtschaftsstrukturen eingesetzt.

## 1. Problemstellung

Zur archäologischen Phosphatuntersuchung werden regional abhängig unterschiedliche Analysemethoden bevorzugt. Bodengeologische Verhältnisse und aktuelle landwirtschaftliche Bodennutzung sind zu berücksichtigen (Zölitz & Heinrich, 1990).

Für Untersuchungen auf einem Grabungsfeld im nordostdeutschen Tiefland war zu klären:

- ob Gesamt-P-Gehalte ausreichend scharf Wohn- und Wirtschaftsstrukturen markieren,
- ob natürliche, bodengeologisch bedingte Unterschiede bei der Interpretation der Gesamt-P-Gehalte zu berücksichtigen sind,
- wie stark langfristige landwirtschaftliche Bodennutzung die historisch bedingte P-Akkumulation im Boden überzeichnet.

## 2. Material und Methodik

Die Phosphatuntersuchungen wurden auf einer archäologischen Grabungsfläche an der Grenze Brandenburg / Mecklenburg Vorpommern nordöstlich der Ortschaft Penkun durchgeführt.

Geologisch handelt es sich dabei um eine Grundmoräne mit den typischen Boden- und Substratverhältnissen. Das Gelände fällt mit schwacher Neigung zu einem nördlich gelegenen See ab.

Die Probenahme erfolgte im 25 m Raster an der Untergrenze des Ap-Horizontes und im Unterboden unmittelbar an der Obergrenze des folgenden Horizontes (Al, Bv, iCv oder eCv), 10 cm und 20 cm darunter. In vermutlichen Wohnbereichen wurden Proben im 0,5 m

Raster 10 cm unterhalb des jetzigen Ap-Horizontes entnommen.

In den Proben erfolgte die Bestimmung des Gesamt-P-Gehaltes mittels  $H_2SO_4-HClO_4-HNO_3$ -Aufschluss (VDLUFA, 1997).

Als Referenzwerte dienten die im Bodeninformationssystem des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg erfassten Gesamt-P-Gehalte vergleichbarer Böden, bestimmt mittels Königswasser-aufschluss. Ein Methodenvergleich ergab, dass durch die hier verwendete Aufschlussmethode insgesamt etwas höhere P-Gehalte ermittelt werden, die Relationen zwischen den untersuchten Mineralbodenhorizonten jedoch erhalten bleiben.

Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS. Die P-Verteilungskarten wurden mittels GIS-Software MapInfo erstellt.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

### 3.1. Gesamt-P-Gehalte und ihre räumliche Verteilung auf der Grabungsfläche

Da davon ausgegangen werden muss, dass der Ap-Horizont durch die gegenwärtige landwirtschaftliche Nutzung maßgeblich überprägt ist, konzentrieren sich die Untersuchungen auf den Unterboden.

Generell wird angenommen, dass in historischen Siedlungsbereichen der Gesamt-P-Gehalt im Boden erhöht ist (s.o).

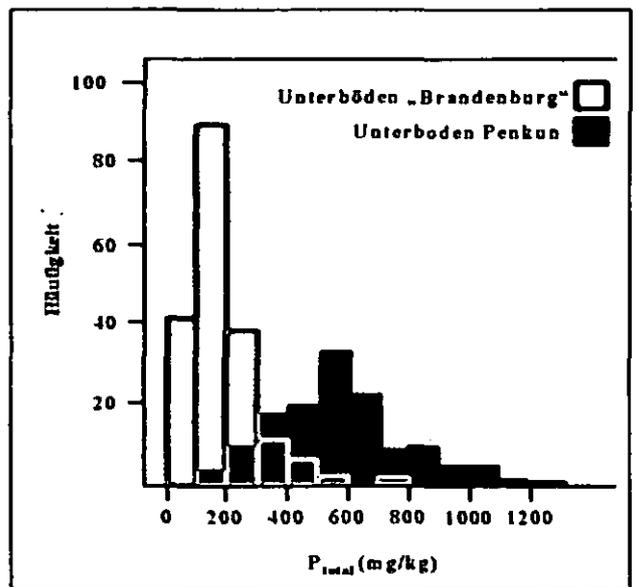


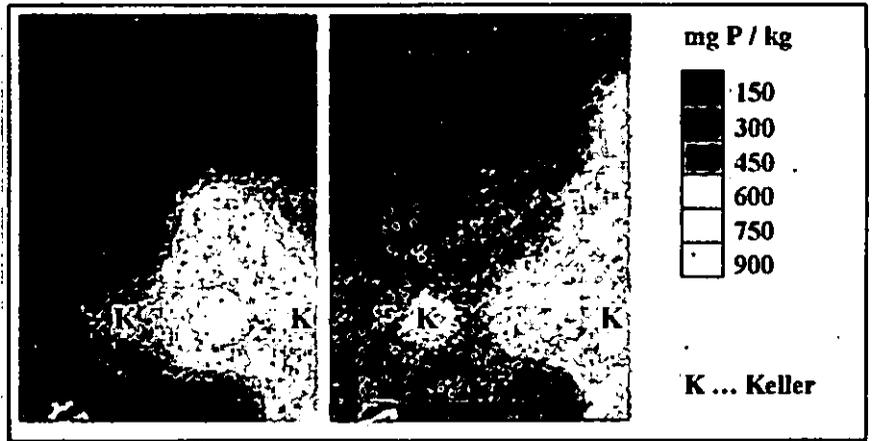
Abb. 1:

Häufigkeit von Gesamt-P-Gehalten im Unterboden der Grabungsfläche (Penkun, n=80) und in der Stichprobe Brandenburger Böden (n=193)

Auch mit Berücksichtigung der unterschiedlichen Analysemethoden bestätigen die Histogramme (Abb. 1) eine frühere Besiedlung durch eine deutliche Verschiebung zu hohen P-Gehalten auf der Grabungsfläche. Der Gesamt-P-Gehalt variiert im Vergleich zu dem der Brandenburger Böden extrem von 165 bis 1264 mg P / kg Boden (vgl. Abb. 3). 75 % der Werte liegen über 427 mg P / kg, 10 % über 935 mg / kg.

Abb. 2

Differenzierung des Gesamt-P-Gehaltes auf der Grabungsfläche:  
 10 cm unterhalb des Ap (links)  
 20 cm unterhalb des Ap (rechts)  
 (Grafik: A.Pollex 2006, bearbeitet)



Während bei Untersuchungen im nordwestdeutschen Tiefland bereits P-Gehalte von 200 – 400 mg P / kg im Vergleich zum natürlichen Phosphatgehalt von  $\pm 50$  mg / kg im Boden als deutlich erhöht eingestuft werden (Zimmermann, 2001), kann im hiesigen Bereich erst bei 400 – 600 mg P / kg von einer erhöhten P-Anreicherung im Unterboden gesprochen werden.

Die räumliche Verteilung der P-Gehalte (Abb. 2) ist klar strukturiert und korrespondiert gut mit den früheren (mittelalterlichen) archäologischen Befunden.

### 3.2. Substrat- und horizontbedingte Variation der Gesamt-P-Gehalte

Die Auswertung von insgesamt 193 Ael-, Bv-, Bt- und C-Horizonten vergleichbarer Böden Brandenburgs ergab, dass bodengeologisch bedingte Unterschiede zwischen den Horizonten (entsprechende Bodenartenunterschiede eingeschlossen) nicht signifikant und im Verhältnis zu denen auf der Untersuchungsfläche vernachlässigbar sind (vgl. Abb. 3). Zu gleichen Ergebnissen kam Zimmermann (1992, zit. in Zimmermann, 2001) bei seinen Untersuchungen im nordwestdeutschen Küstenbereich.

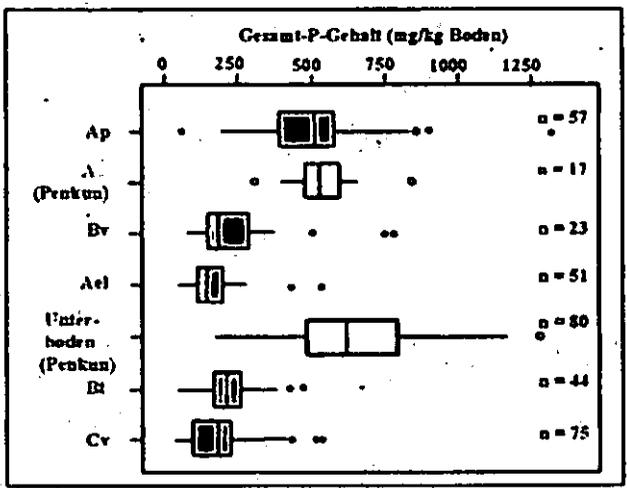


Abb. 3

Boxplots der P-Gehalte in Böden Brandenburgs und der Untersuchungsfläche Penkun

### 3.3. Überprägung durch landwirtschaftliche Nutzung

Besonders in sandigen Ackerböden führt eine hohe P-Akkumulation im Ap-Horizont tendenziell zu einem

Anstieg des P-Gehaltes im Unterboden (Abb. 4). Auf der Grabungsfläche ist auffallend, dass einige hohe P-Gehalte nicht mit den P-Gehalten im Ap-Horizont korrelieren. Diese und besonders extrem hohe Werte über 700 mg P / kg Boden dürften sicher mit historischen Wohn- und Wirtschaftsstrukturen in Verbindung stehen.

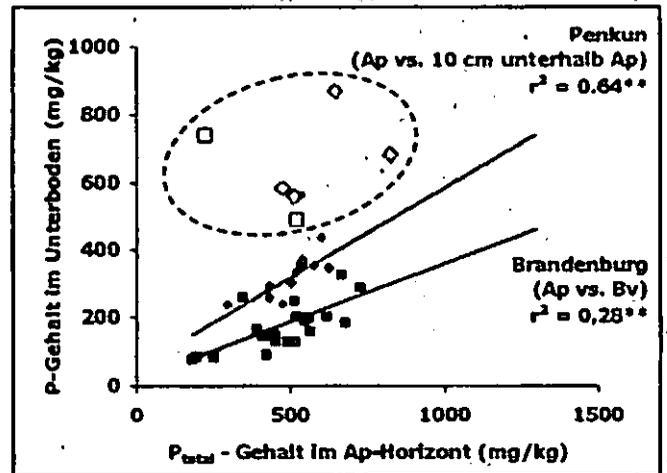


Abb. 4

Beziehung zwischen dem P-Gehalt im Ap-Horizont und im Unterboden

### Zusammenfassung

Die Gesamt-P-Gehalte im Boden korrespondieren auf der Untersuchungsfläche gut mit archäologischen Befunden und eignen sich unter den entsprechenden Bodenverhältnissen zum Nachweis historischer Siedlungsstrukturen.

### Literatur:

LIENEMANN, J. (1989): Anthropogene Böden NW-Deutschlands in ihrer Beziehung zu historischen Bodennutzungssystemen. Probleme der Küstenforsch. im südlichen Nordseegebiet. Bd. 17: 77-117  
 VDLUFA (1997): Methodenbuch Bd.1, 2.4.2.1  
 ZIMMERMANN, H. (2001): Phosphatkartierung mit großem und kleinem Probenraster in der Siedlungsarchäologie. Ein Erfahrungsbericht. Int. Archäologie – Studia honoraria. Bd. 10 „... trans Albim fluvium“: 69-79  
 ZOLITZ, R.; HEINRICH, U. (1990): Methodische Anmerkungen zur siedlungsarchäologischen Phosphatanalyse. In: Landesverband Rheinland (Hrsg.): Naturwiss. Beitr. Archäologie 2, Archaeo-Physika. Bd. 12: 383-408

# Periglazialer Transport: Ermittlung der Transportweite aufgenommener Erze mittels Spurenelement- und Isotopenanalyse

S. Stückrad<sup>1</sup>, K.-J. Sabel<sup>2</sup>, W. Wilcke<sup>1</sup>

## 1. Einleitung

Die Böden im Mittelgebirgsbereich sind vorwiegend in periglazialen Deckschichten entwickelt. Zum einen sind periglaziale Deckschichten Substratgemische (ansteheendes Gestein + allochthone Komponenten), zum anderen sind sie verlagert worden. Über die Reichweite des periglazialen Transports existieren bisher nur sehr wenig Informationen. Im Einflussbereich von Bleierzgängen im Taunus wurde entlang von sechs Transekten mit Hilfe der Spurenelement-Gehalte in Unterböden die Reichweite der Verschleppung von erzbürtigem Pb und deren steuernde Faktoren bestimmt sowie mit einem isotopebasierten Mischungsmodell die Beiträge des erzbürtigen Bleis zu den gesamten Pb-Gehalten quantifiziert.

Die Ziele dieser Untersuchung waren (1) die Identifikation von erzbürtigen Pb-Gehalten in Boden, (2) die Bestimmung der Reichweite des Einflusses der Erzgänge, (3) die Untersuchung der Faktoren, die die periglaziale Transportweite steuern und (4) die Anwendung eines Mischungsmodells zur Berechnung des Erz-Beitrags zum gesamten Pb-Gehalt.

## 2. Standort und Methoden

Die Untersuchungen wurden auf zwei Standorten im Taunus (südwestl. Rheinisches Schiefergebirge) durchgeführt. Hierzu wurden vier SW-exponierte Transekte im Westtaunus und zwei O-exponierte Transekte im Osttaunus bodenkundlich kartiert und beprobt.

Die Probenahme der B-Horizonte erfolgte mittels Pürckhauer-Bohrung. Alle beprobten Böden wurden mit GPS eingemessen.

Die Textur wurde nach Köhn bestimmt. Spurenelementanalysen wurden mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) durchgeführt. Zur Datenverwaltung/Modellbildung diente das HLuG-Datenbankprogramm BOFA 2.5 (Profil- und Texturdaten). In ArcGIS 9.2 wurden die Transekte/Probenahmepunkte mit den bodenkundlichen und geologischen Informationen kombiniert und mit dem digitalen Höhenmodell (DHM) und den daraus abgeleiteten Reliefparametern verschnitten.

Nach der Bestimmung der periglazialen Transportweiten in den einzelnen Transekten wurden mit statistischen Methoden (Regressions-, Korrelations- und Hauptkomponenten-Analyse, sowie Kreuztabellen) die steuernden Faktoren der periglazialen Transportweite analysiert.

Zur Quantifizierung der Beiträge erzbürtigen Bleis zum gesamten Bleigehalt wurde ein Zwei-Komponenten-Mischungsmodell eingesetzt, für das die <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb-Isotopenverhältnisse des Erzes einerseits und des Ausgangssubstrates+Löss andererseits eingesetzt wurden.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

Entlang der untersuchten Transekte traten lokale Gehaltsmaxima von Pb auf, die in räumlicher Beziehung zu lokalen Erzgängen stehen (Abb. 1). Die Hauptkomponentenanalyse der Spurenelementgehalte in den B-Horizonten ergab vier Hauptbestandteile des Ausgangssubstrates der Bodenbildung (Ansteheendes, Löss, Laacher See-Tephra und Erz, Abb. 2). Yttrium konnte keiner bekannten Quelle zugeordnet werden.

Die aus den lokalen Pb-Gehaltsmaxima und der bekannten Lage der Erzgänge mithilfe von ArcGIS ermittelten periglazialen Transportweiten lagen zwischen 30 und 110 m. Es zeigte sich eine Korrelation zwischen Transportweite und Vertikalkrümmung (Cramer's  $V=0,597$ ) und zwischen Transportweite und Schluffgehalt ( $R = -0,694$ ).

Die Korrelation zwischen den Kehrwerten der Pb-Gehalte in den B-Horizonten und den <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb-Verhältnisse bestätigt die Annahme einer 2-Komponenten-Mischung (Ansteheendes+Löss und Erz, Abb. 3). Die <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb-Verhältnisse des Erzes lagen bei  $1,1829 \pm \text{Standardabweichung } 0,0084$  ( $n = 6$ ), während der Löss mit  $1,2305 \pm 0,0142$  ( $n = 4$ ) und das Ansteheende mit  $1,2266 \pm 0,0074$  ( $n = 3$ ) sehr ähnliche Isotopensignale aufwiesen.

<sup>1</sup> Professur für Bodengeographie/Bodenkunde, Geographisches Institut, Johannes Gutenberg-Universität, 55099 Mainz, e-mail: stueckra@uni-mainz.de

<sup>2</sup> Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG), Rheingauerstr. 95, 65203 Wiesbaden

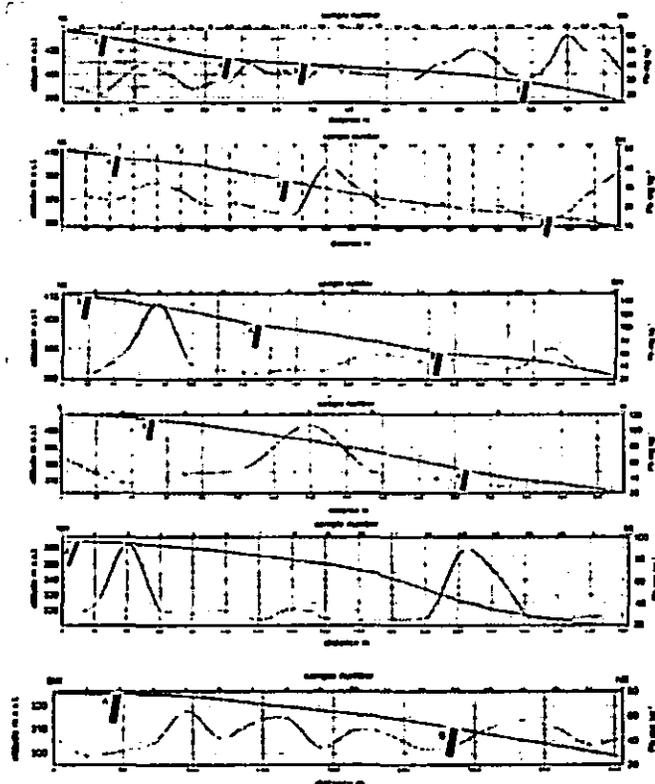


Abb. 1: Reliefdarstellung aller Transekte mit Lage der Erzgänge und Probenahmepunkte. Die rote Linie illustriert die Pb-Gehalte in den B-Horizonten.

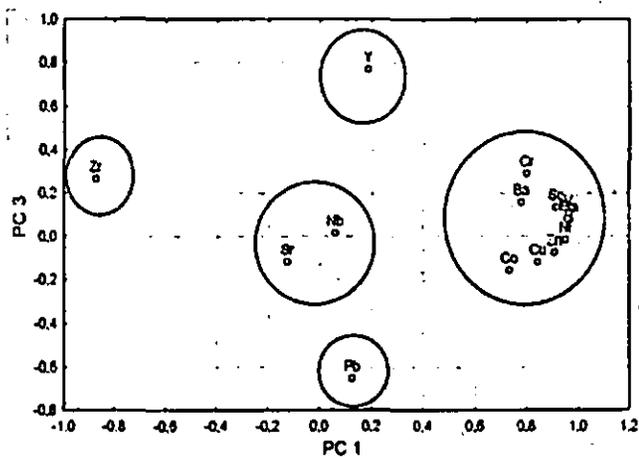


Abb. 2: Illustration der Spurenmetallgehalte in den B-Horizonten im Koordinatennetz von zwei Hauptkomponenten.

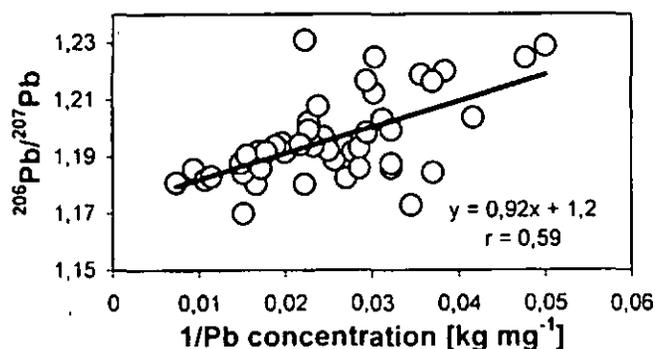


Abb. 3: Zusammenhang zwischen dem Kehrwert der Pb-Gehalte in den B-Horizonten und den  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ -Verhältnissen.

Die Anwendung des 2-Komponenten-Mischungsmodells zur Abschätzung des erzbürtigen Anteils in den Mineralbodenhorizonten konnte zur Bestätigung dafür, dass die lokalen Pb-Gehaltsmaxima hangabwärts von kartierten Erzgängen (Abb. 1) tatsächlich erzbürtiges Pb enthielten, herangezogen werden. Der Anteil der erzbürtigen Bleikomponente in den lokalen Pb-Gehaltsmaxima lag durchgängig bei mehr als 70%. Eine nicht mit einem kartierten Erzgang korrespondierende Pb-Gehaltsspitze im rechten Teil des obersten Transektes (Abb. 1) konnte durch eine kolluviale Pb-Akkumulation mit ca. 50% erzbürtigem Pb erklärt werden.

#### 4. Schlussfolgerungen

- (1) Die Pb-Gehalte im Boden sind durch Erzbeimengungen bis zu fünffach erhöht.
- (2) Durch die pleistozäne Morphodynamik sind vielfach größere Bereiche beeinflusst, als durch die kleinräumigen Vererzungen zu vermuten wäre.
- (3) Die steuernden Größen der Transportweite sind die Vertikalkrümmung und der Schluffgehalt.
- (4) Die Isotopenverhältnisse des Bleis wiesen auf eine Mischung aus den beiden Komponenten Erz und Anstehendes+Löss hin, sodass ein Zwei-Komponenten-Mischungsmodell angewendet werden konnte.

#### 5. Dank

Wir danken dem Exzellenzcluster „Geocycles“ für die finanzielle Förderung und dem HLUG für die Bereitstellung von Relief- und Bodendaten.

## Vergleich verschiedener Methoden der Humusbilanzierung

Sebastian Ulrich<sup>1</sup>, Bodo Hofmann<sup>1</sup> und  
Olaf Christen<sup>1</sup>

### Einleitung

Humusbilanzierungsmethoden wurden als einfaches Instrument zur indirekten Einschätzung des Humushaushaltes ackerbaulich genutzter Böden entwickelt (ASMUS u. HERRMANN, 1977; LEITHOLD et al., 1997; DIREKTZAHLVERPFLV, 2004; KÖRSCHENS et al., 2004). Mit ihnen ist es möglich quantitative Aussagen zur Humusersatzwirtschaft von unterschiedlichen Bewirtschaftungssystemen abzuleiten. Sie finden heute als Kontrollinstrument in legislativen Entscheidungsprozessen (Cross Compliance) verstärkt Anwendung. Aufgrund ihres methodischen Ansatzes können sie in statische und dynamische Methoden unterteilt werden.

Im Rahmen eines Projektes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (AZ 20003/545) wurde der Fragestellung nachgegangen, inwieweit mit einfachen Humusbilanzierungsmethoden hinreichend genaue Aussagen zur Humusversorgung getroffen werden können.

### Material und Methoden

Zur Bilanzierung der Humusversorgung wurden die statische Bilanzierungsmethode der DIREKTZAHLVERPFLV (2004) und die Humuseinheiten-Methode (LEITHOLD et al., 1997; HÜLSBERGEN, 2003), die einen dynamischen Bilanzierungsansatz repräsentiert, verwendet. Als Grundlage der Untersuchungen dienten 9 Dauerdüngungsversuche die sich auf 8 verschiedene Standorte in Deutschland verteilen. Über Details zu den berücksichtigten Dauerdüngungsversuchen informiert ULRICH (2007).

Die Überprüfung der Humusversorgungsbilanzwerte erfolgte an  $C_{org}$ -Gehalten (DIN ISO 10694). Die Bodenproben hierfür wurden in den entsprechenden Varianten der Dauerdüngungsversuche entnommen.

### Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Humusbilanzierung zeigen wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Methoden. Prinzipiell weist die Humuseinheiten-Methode (HE-Methode) deutlich niedrigere Humussalden für die verschiedenen Dauerversuche als der statische Bilanzierungsansatz (CC-Methode) aus. Im Vergleich zur CC-Methode führt die HE-Methode zu einer stärkeren Differenzierung zwischen den verschiedenen Düngungsvarianten. Varianten mit alleiniger mineralischer Düngung werden dagegen in der Regel schlechter bewertet als die entsprechenden Kontrollvarianten.

Werden die jeweiligen Humussalden den ermittelten  $C_{org}$ -Gehalten gegenübergestellt, so zeigt sich, dass die Abbildung des  $C_{org}$ -Gehaltes im Boden mit beiden Methoden aber nur begrenzt möglich ist. Standortübergreifend lässt sich kein Zusammenhang zwischen dem Humussaldo und dem organisch gebundenem Kohlenstoff nachweisen (HE-Methode:  $R = 0,01$ ; CC-Methode:  $R = 0,18$ ). Mit beiden Methoden kann somit der Gehalt an  $C_{org}$  nicht exakt prognostiziert werden. Der Anspruch der möglichst genauen Vorhersage des  $C_{org}$ -Gehaltes wird von diesen Bilanzierungsmethoden auch nicht erhoben. Durch die Humusbilanzierungsmethoden sollen aber die langfristigen Tendenzen bezüglich der Auswirkungen von Bewirtschaftungssystemen und die damit verbundene Veränderung dieser auf den  $C_{org}$ -Gehalt wiedergegeben werden.

Wie die Ergebnisse zeigen, ist dies auf direktem Weg nicht möglich. Es ist aber machbar, mit Hilfe der Veränderung des Humussaldos die annähernde Entwicklung des  $C_{org}$ -Gehaltes zu prognostizieren (Abb.1). Unter Berücksichtigung dieses Zusammenhanges kann die Aussagekraft von Szenariorechnungen dadurch nachhaltig unterstützt werden. Der U-Test zeigt, dass sich die beiden Verfahren aber nicht hinsichtlich ihrer Aussagegenauigkeit des Zusammenhanges unterscheiden. Die starke Differenzierung bei der HE-Methode zwischen den Düngungsvarianten führt damit zu keinem zusätzlichen Informationsgewinn. In beiden Methoden wird die Wirkung der alleinigen mineralischen Düngung jedoch unterschätzt. Dies wird vor allem im dynamischen Bilanzierungsansatz deutlich sichtbar. Eine Ursache dafür ist die bei diesem Verfahren auftretende Verschiebung der alleinig mineralisch gedüngten Varianten in den negativen Saldobereich sein. Das hat zur Folge, dass die Regressionsanalyse für die Kontrollvarianten eine höhere

<sup>1</sup> Allgemeiner Pflanzenbau/Ökologischer Landbau, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Ludwig-Wucherer-Str. 2, 06108 Halle

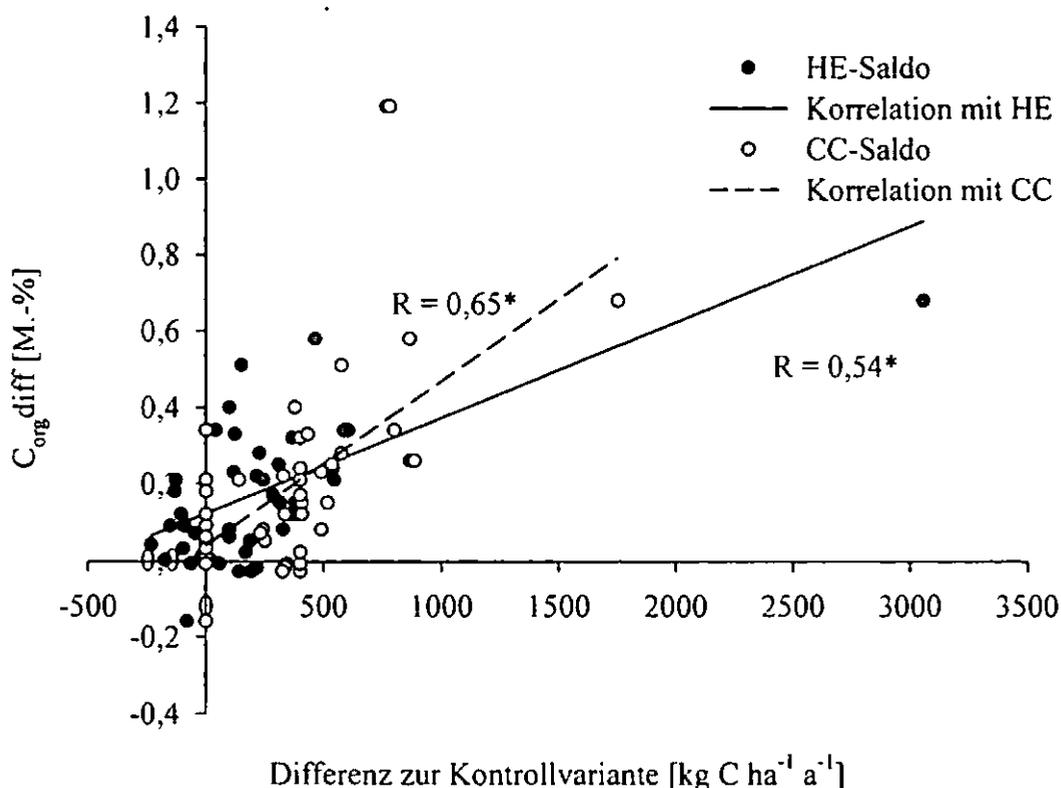


Abb.1: Zusammenhang zwischen der Differenz im Gehalt an organisch gebundenen Kohlenstoff und der Differenz der bilanzierten Humusversorgung zur jeweiligen Kontrollvariante der einzelnen Versuche

C<sub>org</sub>-Gehaltsänderung als bei den mineralisch gedüngten Varianten ausweist. Die chemische Analyse zeigte aber, dass der C<sub>org</sub>-Gehalt in den gedüngten Varianten stets auf bzw. über dem Niveau der Kontrollen lag. Das dynamische Modell unterschätzt damit die Reproduktionswirkung der alleinigen mineralischen Düngung und führt zum Ausweis größerer Anteile unterversorgter Flächen.

#### Literatur

- ASMUS, F. und V. HERRMANN (1977): Reproduktion der organischen Substanz des Bodens. Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft 15 H. 11.
- DIREKTZAHLUNGEN-VERPFLICHTUNGENVERORDNUNG (DIREKTZAHLVERPFLV) (2004): Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand. Bundesgesetzblatt Teil I, S. 2778ff.
- HÜLSBERGEN, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Berichte aus der Agrarwirtschaft. Aachen. Shaker Verlag, 292 S.

- KÖRSCHENS, M., H. BÖNING, P. CAPRIEL, D. EICH, R. ELLERBROCK, U. FRANKO, K.-J. HÜLSBERGEN, D. KÖPPEN, H. KOLBE, G. LEITHOLD, I. MERBACH, H. PESCHKE, W. PRYSTAV, J. REINHOLD, J. ROGASIK, E. SCHULZ und J. ZIMMER (2004): Humusbilanzierung - Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Darmstadt. VDLUFA, 13 S.
- LEITHOLD, G., K.-J. HÜLSBERGEN, D. MICHEL und H. SCHÖNMEIER (1997): Humusbilanzierungsmethoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. In: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Hrsg.): Umweltverträgliche Pflanzenproduktion - Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Osnabrück. Zeller Verlag, S. 43-55.
- ULRICH, S. (2007): Zum Indikatorwert ausgewählter physikalischer Parameter und Kenngrößen des Kohlenstoffgehaltes im Boden unter Berücksichtigung von Daten aus langjährigen Bodenbearbeitungs- und Dauerdüngungsversuchen. Diss. Naturwissenschaftliche Fakultät III, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

# ABAGFlux - ein hierarchischer Modellansatz zur Maßnahmenplanung im Boden- und Gewässerschutz

D. Wurbs<sup>1</sup>, T. Koschitzki<sup>1</sup> & M. Möller<sup>1</sup>

## EINFÜHRUNG

Im Rahmen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie ist die Zustandsbestimmung und Bewertung der Gewässer hinsichtlich ihrer Belastung durch diffuse und punktuelle Quellen auf der Einzugsgebietsebene notwendig. Diese erfordern eine effiziente Herangehensweise, die in erster Linie durch die Datenverfügbarkeit und die Anwendung geeigneter Methoden gesteuert wird.

Der hierarchische Ansatz zur Maßnahmenplanung basiert auf modular aufgebauten Bezugseinheiten (Oberflächenwasserkörper, Feldblöcke, Übertrittsbereiche), welche, entsprechend eines definierten räumlich-zeitlichen Zielmaßstabes, als Untersuchungsgebiete fungieren. Auf Grundlage einer kleinmaßstäbigen Ersteinschätzung und Bewertung werden zunächst Räume (z.B. Oberflächenwasserkörper) ausgewiesen, die ein definiertes Gefährdungspotential besitzen. In diesen können durch die Erweiterung des Daten- und Methodenspektrums sowie die Erweiterung der Zielgebiete (Feldblöcke, Schläge) die Ergebnisse lokal präzisiert und somit eine Grundlage für die großmaßstäbige Bewirtschaftungs- und Maßnahmenplanung geschaffen werden.

Für die Maßnahmeplanungen zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Sachsen-Anhalt wurde der hierarchische Ansatz gewählt und unter Verwendung des Modellsystems *ABAGFlux* im Rahmen zweier Projekte (KOSCHITZKI, STEININGER & WURBS 2006; WURBS, MÖLLER & KOSCHITZKI 2007) erfolgreich umgesetzt.

## DAS MODELLSYSTEM ABAGFlux

Das durch die geoflux GbR entwickelte GIS-basierte Modellsystem *ABAGflux* basiert auf den Ansätzen der ABAG (SCHWERTMANN et al. 1990) und zielt durch die variable Einbindung und Verknüpfung der ABAG-Faktoren C, K, LS, R und P auf die Bewertung erosiver Hanglängen hinsichtlich ihrer Bodenerosionsgefährdung unter Einbeziehung von Hangformen und potentiellen Ablagerungsbereichen (Abb. 1). Wesentliche Modifikationen des Standard-Ansatzes der ABAG sind die verbesserte Einbeziehung stärkerer Niederschläge zur Wichtung des R-Faktors, die Berücksichtigung von Flurelementen und Barrieren zur realistischeren Ableitung der erosiven Hanglänge (KOSCHITZKI & WURBS 2006) sowie die

Integration einer Relieffunktion zur Ableitung von potentiellen Ablagerungsbereichen. Die Relieffunktion basiert auf dem Massenbilanzindex MBI (FRIEDRICH 1996; MÖLLER et al. 2007; MÖLLER 2005), der sich aus den Attributen Vertikalkrümmung, Neigung und Höhe über Tiefenlinie berechnen lässt und die reliefbedingte Neigung einer Rasterzelle zu Akkumulation oder Bodenabtrag kennzeichnet. Die ermittelten Bodenabträge werden modellintern an ein Transport- und Akkumulationsmodul übergeben, in dem über Fließakkumulationsansätze die hangabwärts gerichteten Transportpfade identifiziert, -frachten bilanziert und über ausgewiesene Gewässeranschlussflächen Übertrittsbereiche und potentielle Sedimenteintragsmengen ermittelt werden. Dabei werden ebenfalls Barrierewirkungen berücksichtigt, welche die Fließakkumulation stoppen und somit zur Unterbrechung einer Abflussbahn führen können. Ein Werkzeug zur Ermittlung potentieller Bodenabträge und zur Maßnahmensimulation befindet sich als Version *ABAGFlux* 1.0 für nicht-kommerzielle Nutzer gegenwärtig in der Erprobungsphase.

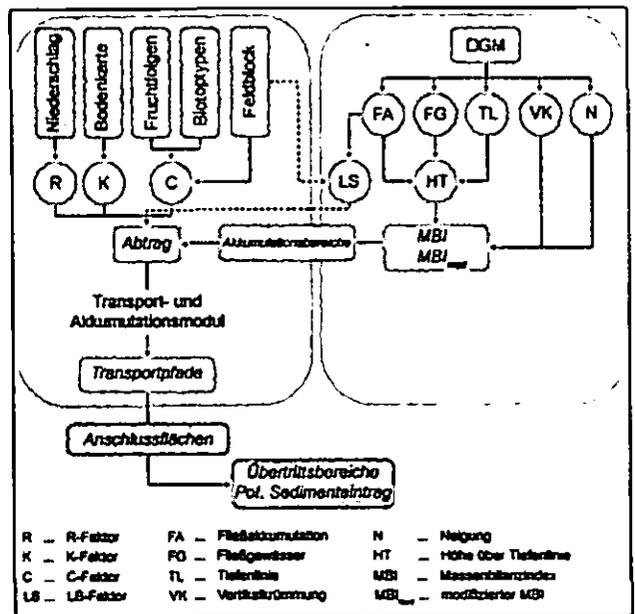


Abb. 1: Fließschema zur Funktionsweise des Modellsystems *ABAGFlux*

## HIERARCHISCHER ANSATZ – EIN BEISPIEL FÜR SACHSEN-ANHALT

Im Rahmen des durch den Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW) begleiteten Projektes „Ermittlung diffuser Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer des Landes Sachsen-Anhalt“ erfolgte die Bodenerosionsmodellierung und Ermittlung potentieller Gewässereinträge (WURBS, KOSCHITZKI & MÖLLER 2007). Hierzu wurden mit *ABAGFlux* die mittleren Bodenabträge auf landwirtschaftlich genutzten Flächen berechnet, Transportpfade ausgewiesen und über die Ausweisung eintragsrelevanter Gewässeranschlussflächen und Übertrittsbereiche die potentiellen Sedimenteinträge in die Gewässer ermittelt. Auf Grundlage einer sich daran anschließenden zielraumbezogenen

<sup>1</sup> geoflux GbR - Dr. Daniel Wurbs, Dr. Thomas Koschitzki, Dipl.-Geogr. Markus Möller  
Paracelsusstraße 6  
06114 Halle (Saale)  
e-mail: info@geoflux.de  
URL: www.geoflux.de

nen Aggregation der Ergebnisse konnte die landesweite Gebietskulisse aufgestellt und eine Ersteinschätzung des Eintragspotentials der Oberflächenwasserkörper (OWK) vorgenommen werden (Abb. 2). Als wesentliches Resultat dieser Klassifizierung konnten 68 OWK bzw. 22% der Landesfläche als potentielle Räume für die Maßnahmenplanung ausgewiesen werden.

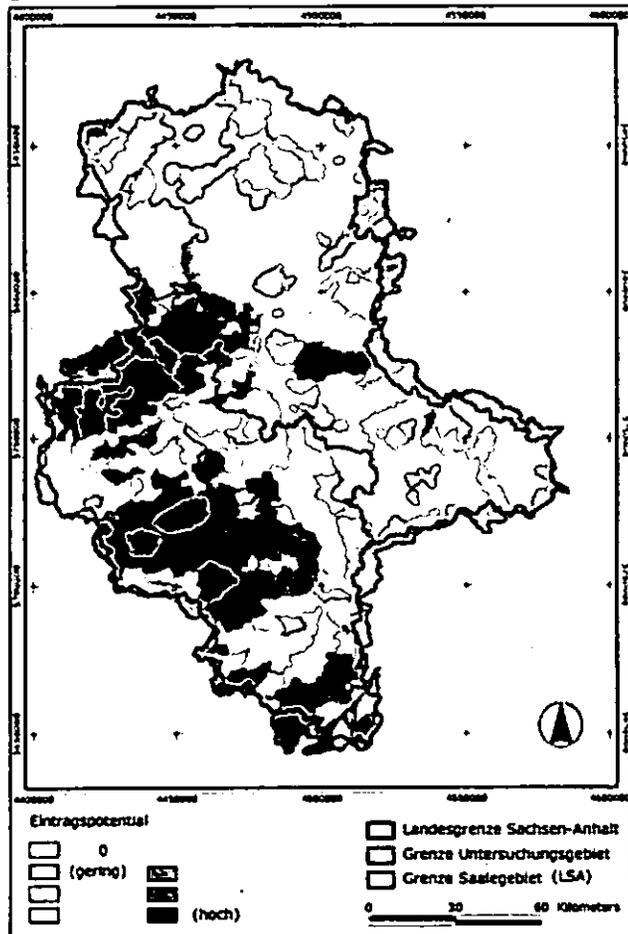


Abb. 2: Eintragspotential der Oberflächenwasserkörper für Sediment in Sachsen-Anhalt

Zur Umsetzung des hierarchischen Konzeptes ist innerhalb der ausgewiesenen OWK eine Qualifizierung der Ergebnisse durch die Verbesserung der Datengrundlagen und eine Erweiterung des Methodenspektrums notwendig. Entsprechend des veränderten Zielmaßstabes kann somit eine lokal präzisierte Grundlage für die großmaßstäbige Maßnahmenplanung erweiterter Zielräume (Feldblöcke, Schläge) geschaffen werden.

Exemplarisch wurde dies durch die parallel durchgeführte Bearbeitung im Einzugsgebiet des Süßen Sees im östlichen Harzvorland aufgezeigt (KOSCHITZKI, WURBS & STEININGER 2006). Durch die Verwendung räumlich hoch auflösender Datengrundlagen, die Auswertung von Luftbildern sowie Geländebegehungen und -kartierungen konnte gegenüber der landesweit erfolgten Ersteinschätzung eine Vor-Ort-Kontrolle, einhergehend mit einer deutlichen Reduzierung der tatsächlich an das Gewässernetz angeschlossenen und somit für die Maßnahmenplanung relevanten Ackerflächen bzw. Feldblöcke realisiert

werden. Darüber hinaus wurden lokale Kleinstrukturen im Übertrittsbereich der Gewässer, Erosionsformen auf landwirtschaftlichen Flächen sowie Erscheinungen der Graben- und Böschungserosion als umsetzbare Planungsgrundlage für landwirtschaftliche und wasserbauliche Maßnahmen erfasst. Basierend auf den präzisierten Zielräumen wurden mit *ABAGFlux* Bodenabträge und Transport- bzw. Eintragspfade in den Feldblöcken ausgewiesen. Die Modellergebnisse dienten anschließend als Grundlage für die Planung und Überprüfung der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verminderung des Bodenabtrages (z.B. Umstellung der Bodenbearbeitungsart, Einrichtung von Vegetationsstreifen in der Fläche) und des Sedimenteintrages in die Gewässer (Anlage von Gewässerschutzstreifen).

Ausgehend von den im Pilotgebiet gewonnenen Erkenntnissen konnte die Notwendigkeit einer maßstabsabhängigen Verbesserung der Datengrundlagen und Methoden für die Planung von Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz unterstrichen werden. Für die Gewährleistung einer effizienten Herangehensweise bei deren Umsetzung bildete die Ausweisung potentieller Planungsräume im Rahmen einer landesweiten Ersteinschätzung eine wertvolle Bearbeitungsgrundlage.

## LITERATUR

FRIEDRICH, K. (1996): Digitale Reliefgliederungsverfahren zur Ableitung bodenkundlich relevanter Flächeneinheiten. Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Serie D, 21. Dissertation, Universität Frankfurt.

KOSCHITZKI, T. & D. WURBS (2006): Die Anwendung eines ABAG-basierten modularen Modellansatzes zur Abschätzung von Bodenabtrag, Transportpfaden und Sedimenteintrag in die Gewässer. Mitt. d. Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 108, 69–70.

KOSCHITZKI, T., WURBS, D. & M. STEININGER (2006): Modellgestützte Quantifizierung des potentiellen erosiven Sedimenteintrages in das geplante Rückhaltebecken Wormsleben. Abschlussbericht (unveröff.). Landesbetrieb für Hochwasserschutz & Wasserwirtschaft (LHW). Halle.

MÖLLER, M., VOLK, M., FRIEDRICH, K. & L. LYMBURNER (2007). Placing soil genesis and transport processes into a landscape context - A multi-scale terrain analysis approach. Journal of Plant Nutrition and Soil Science.

MÖLLER, M. (2005): Automatisierte Reliefgliederung auf der Grundlage multihierarchischer Objektstrukturen. - Mitt. d. Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 106. 91–92.

SCHWERTMANN, U., VOGL, W. & M. KAINZ (1990): Bodenerosion durch Wasser - Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. 2. Aufl., Stuttgart.

GEOLUX GBR (2007): ABAGFlux vers. 1.0. Geoflux Newsletter 2, 1–2. Internet-Referenz: [www.geoflux.de](http://www.geoflux.de).

WURBS, D., KOSCHITZKI, T. & M. MÖLLER (2007): Ermittlung diffuser Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer des Landes Sachsen-Anhalt - Bodenerosionsmodellierung und Ermittlung potentieller Gewässereinträge. Abschlussbericht (unveröff.). Landesbetrieb für Hochwasserschutz & Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW). Halle.

**MITTEILUNGEN**  
**DER**  
**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN**  
**GESELLSCHAFT**

**Referate Symposium Kommissionen VII, I, II, III und IV**

Band 110

Heft 2

2007



## Fe-Mn-Konkretionen: Ein langfristiger Speicher für organische Substanz?

Alexander Dreves\*, Marie-Josée Nadeau\* & Pieter M. Grootes\*

### Einleitung

Böden können in Abhängigkeit von Umweltbedingungen sowohl ein Speicher als auch eine Quelle für C sein. Als ein wichtiger Speicherprozess wird dabei die Bindung von C an pedogene Oxide diskutiert. In vielen Böden treten die pedogene Oxide auch angereichert in Form von Fe-Mn-Konkretionen auf. Fe-Mn-Konkretionen gelten aufgrund thermodynamischer Überlegungen als sehr stabil und könnten dementsprechend einen langfristigen Speicher darstellen. Untersuchungen zum C-Speicherpotenzial von Fe-Mn-Konkretionen fehlen nach unserem Wissen bisher.

### Standorte

Für die Studie wurden die Konkretionen aus einem Bodenprofil unter einer mit Fichten aufgeforsteten Fläche (Bodentyp Pseudogley) und einem Bodenprofil unter landwirtschaftlicher Nutzung (Ackerbau, Bodentyp Pseudogley-Kolluvisol) in Rothalmünster (Bayern, Isar-Inn-Hügelland) miteinander verglichen. In beiden Profilen besteht das Ausgangsmaterial aus Löss bzw. Lössderivaten.

### Methoden

Fe-Mn-Konkretionen wurden unter dem Mikroskop aus den gesiebten Bodenproben (Boden < 2 mm) per Hand separiert und nach der Größe (< 1 mm bzw. > 1 mm) getrennt. Im Anschluss wurden die Konkretionen mit entionisiertem Wasser versetzt, von anhaftenden mineralischen Bestandteilen im Ultraschallbad (20 J ml<sup>-1</sup>) getrennt, mehrfach mit entionisiertem Wasser gespült und bei 60°C getrocknet. Abschließend wurden die Konkretionen gemörsert, zur Entfernung von Carbonaten mit 37%-iger HCl angesäuert und gefriergetrocknet.

Die getrockneten Konkretionen wurden verbrannt und das entstandene CO<sub>2</sub> zu Graphit reduziert. Anschließend wurde der <sup>14</sup>C-Gehalt des Graphits mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie (AMS) gemessen (NADEAU ET AL. 1997). Zusätzlich wurde zu jedem Horizont auch der <sup>14</sup>C-Gehalt des Gesamtbodens bestimmt. Darüber hinaus wurden die Gehalte an dithionitlöslichem Al und Fe in den Profilen des Ackerstandortes bestimmt, mittels plasma-induzierter optischer Emissions-Spektrometrie (ICP-OES).

Die <sup>14</sup>C-Gehalte werden in Anlehnung an STUIVER UND POLACH (1977) in percent modern carbon (pMC) ± 1 σ angegeben. 100 pMC entsprechen dabei dem <sup>14</sup>C-Gehalt der Standard-Atmosphäre im Jahre 1950.

### Ergebnisse

Im Profil des Ackerstandortes finden sich im Gegensatz zu dem des Forststandortes sowohl in den oberen Horizonten (Ap, Sw-M) als auch im hydromorphen Unterboden Konkretionen (Abb. 1). Die intensive landwirtschaftliche Nutzung und die geringen Lagerungsdichten (~ 1,6 g cm<sup>-3</sup>)

deuten auf gut durchlüftete Verhältnisse und damit auf eine nicht rezente Bildung der Konkretionen hin. Die Konkretionen sind somit wahrscheinlich an anderer Stelle gebildet und dann verlagert worden.

Die Konkretionen im IISw- und IISd-Horizont des Ackerstandortes weisen gegenüber den Konkretionen aus den entsprechenden Horizonten des Forststandortes deutlich niedrigere <sup>14</sup>C-Gehalte auf (Abb. 1). Dies weist daraufhin, dass auf dem Ackerstandort im Gegensatz zum Forststandort im Unterboden keine jüngere OBS in die Konkretionen eingeschlossen ist und dass damit die Konkretionen des Ackerstandortes seit langer Zeit nicht weiter gewachsen sind. Der Rückgang von Al<sub>d</sub> und Fe<sub>d</sub> an der Schichtgrenze des Ackerstandortes (Abb. 2) und die von MIEHLICH (1970) beobachtete Zunahme der Konkretionen bei der Aufforstung mit Fichten – als Folge höherer Metall-Gehalte im DOM – deuten daraufhin, dass der fehlende Zuwachs der Konkretionen auf dem Ackerstandort durch die geringe Verlagerung von Al und Fe in den hydro-morphen Unterboden bedingt ist.

Neben den im Vergleich zum Forststandort geringeren <sup>14</sup>C-Gehalten weisen die Konkretionen des Ackerstandortes auch sehr unterschiedliche Durchmesser auf. Die unterschiedlich großen Konkretionen des Ackerstandortes zeigen innerhalb eines Horizontes darüber hinaus deutliche Unterschiede im <sup>14</sup>C-Gehalt (Abb. 1). Ein Vergleich der Konkretionen im IISw- und IISd-Horizont lässt aber keinen Zusammenhang zwischen Durchmesser und <sup>14</sup>C-Gehalt erkennen. Zudem zeigt ein Dünnschliff der Konkretionen (Abb. 3), dass diese nicht konzentrisch aufgebaut sind, wie dies in Lössböden häufig beobachtet wird. Das deutet daraufhin, dass der Durchmesser einer Konkretion nicht die Bildungsdauer, sondern kleinräumlich unterschiedliche Bildungsbedingungen widerspiegelt. Die sehr geringen <sup>14</sup>C-Gehalte (~14.500 bis 23.000 BP) der Konkretionen in IISw- und IISd-Horizont des Ackerstandortes und die im Vergleich zum Gesamtboden geringeren <sup>14</sup>C-Gehalte aller Konkretionen zeigen, dass durch Fe-Mn-Konkretionen organische Substanz langfristig gespeichert werden kann.

### Schlussfolgerungen

Fe-Mn-Konkretionen stellen einen langfristigen, aber geringen Speicher für organischen C dar. Das Speicherpotenzial wird dabei vom Profilaufbau und der Landnutzung beeinflusst. Ferner zeigen die Ergebnisse, dass der Durchmesser einer Konkretion nicht die Bildungsdauer widerspiegelt.

### Danksagung

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung des Projektes (GR 1845/1-3).

### Literatur

MIEHLICH G (1970): Veränderung eines Lösslehm-Pseudogleys durch Fichtenreinanbau. Dissertation, Universität Hamburg.

NADEAU M-J, SCHLEICHER M, GROOTES PM, ERLKENKEUSER H, GOTTDANG A, MOUS DJW, SARNTHEIN JM, WILLKOMM H (1997): The Leibniz-Labor AMS facility at the Christian-Albrechts-University, Kiel, Germany. *Nuclear Instruments and Methods B* 123:22-30.

STUIVER M UND POLACH HA (1977): Discussion: reporting of <sup>14</sup>C-data. *Radiocarbon* 22:1-24.

\* Leibniz-Labor für Altersbestimmung und Isotopenforschung, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Max-Eyth-Str. 11-13, 24118 Kiel

Abb. 1:  $^{14}\text{C}$ - und C-Gehalt der Fe-Mn-Konkretionen aus unterschiedlichen Horizonten des Acker- (a) und des Forststandortes (b) in Rothalmünster Die gestrichelte vertikale Linie gibt den jeweiligen  $^{14}\text{C}$ -Gehalt des Gesamtbodens wieder.

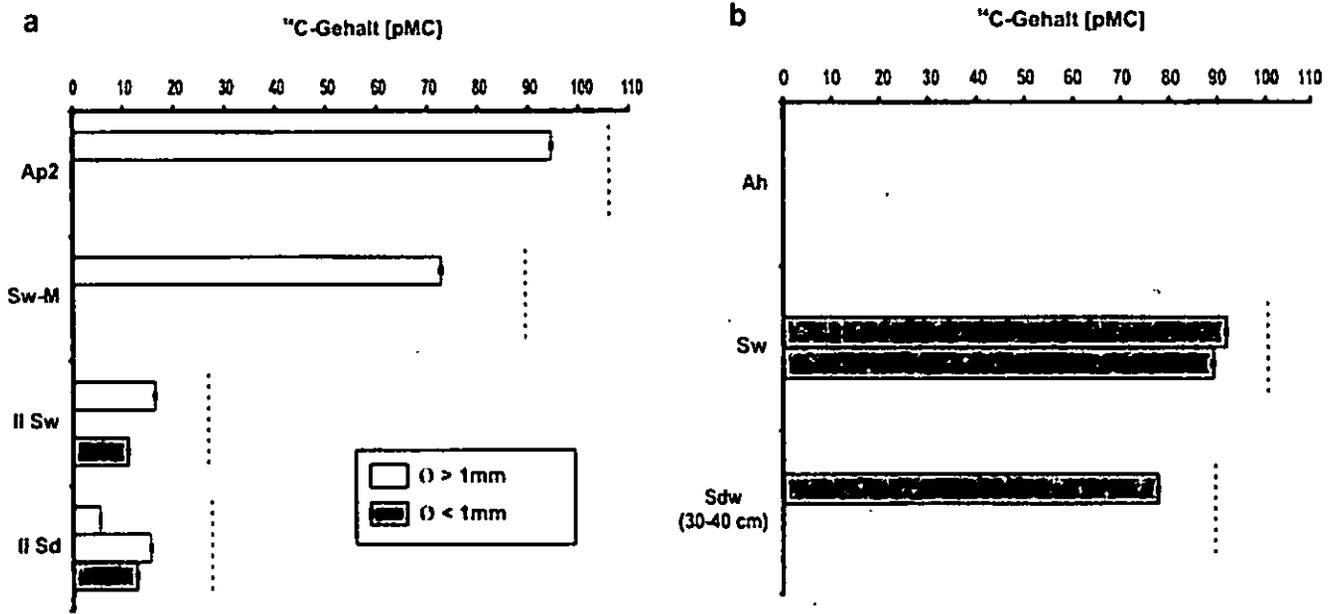


Abb. 2: Gehalte an dithionitlöslichem Fe und Al im Profil des Ackerstandortes

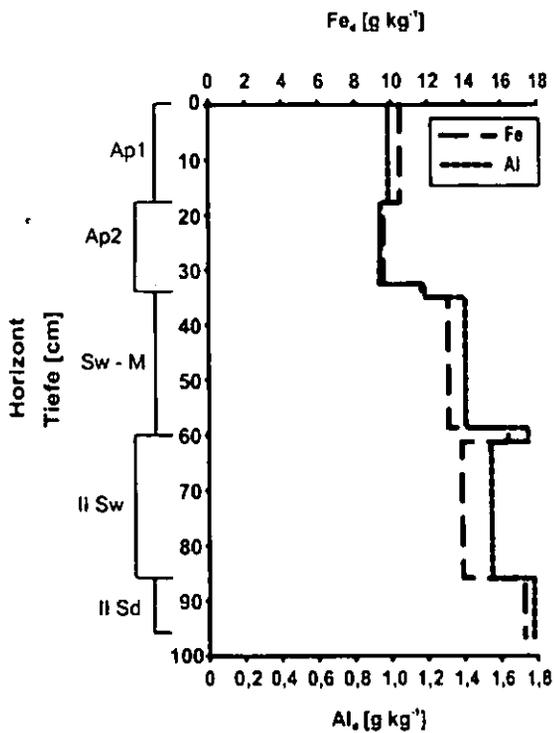
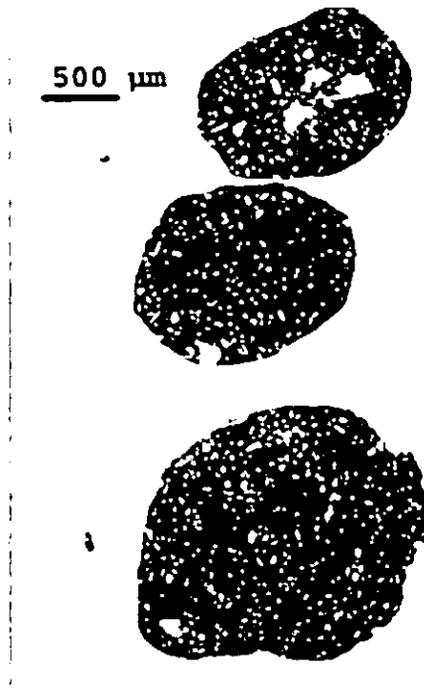


Abb. 3: Dünnschliff unterschiedlich großer Fe-Mn-Konkretionen im Hellfeld aus dem IISw-Horizont des Ackerstandortes



# Zusammenhang zwischen polyvalenten Kationen und Zusammensetzung der OBS von Böden unterschiedlicher Langzeitfeldexperimente

Ruth H. Ellerbrock<sup>1</sup>, Horst H. Gerke<sup>1</sup>, Michael Kaiser<sup>1</sup>

## Problem- und Zielstellung

Schlecht kristalline Fe und Mn-Oxide und Tonminerale sind an der Stabilisierung der organischen Substanz (OBS) über die Wechselwirkungen mit C=O Gruppen innerhalb der OBS beteiligt. Da vor allem Carboxylgruppen (B) mit polyvalenten Kationen (PC<sup>xx</sup>) wie Fe wechselwirken besteht die Möglichkeit, dass der standortspezifische PC<sup>xx</sup> Gehalt die Zusammensetzung stabilisierter OBS Fraktionen beeinflusst. Es ist allerdings unklar, ob derartige Wechselwirkungen in ackerbaulich genutzten Böden messbar und relevant sind. Unser Ziel ist es zu untersuchen, (I) welche Effekte oxalatlösliche PC<sup>xx</sup> auf Extrahierbarkeit und Zusammensetzung der relativ stabilen pyrophosphatlöslichen OBS Fraktion (OM(PY)) haben und (II) welcher Zusammenhang zwischen dem Gehalt an Ca, Al, Mn sowie Fe und dem C=O Anteil der relativ stabilen pyrophosphatlöslichen OBS Fraktion (OM(PY)) besteht.

## Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurden unterschiedlich gedüngte Oberböden (0-25 cm) der Langzeitfeldexperimente: Halle, Bad Lauchstädt und Rotthalmünster (Tab. 1) beprobt.

Tabelle 1: Charakteristika der Standorte Halle (HL), Bad Lauchstädt (BL) und Rotthalmünster (RM).

	HL	BL	RM
	C3: 1878 C4: 1961	FF1: 1902 FF2: 1924	C3: 1969 C4: 1979
Bodentyp	Less. Schwarzerde	Löß-Schwarzerde	Parabraunerde
Ton	8 %	21 %	17 %
Schluff	23 %	68 %	73 %
Sand	69 %	11 %	10 %
Nd.	467 mm/a	474 mm/a	890 mm/a
T	9.2°C	8.9°C	8.2°C

Die oxalatlösliche Fe und Mn Gehalte wurden nach Schlichting und Blume (1966) und der Anteil an austauschbarem Ca und Mg durch Erfassung der austauschbaren Kationen nach DIN 19684 (1977)

bestimmt. Die pyrophosphat-löslichen OBS (OM(PY)) Fraktionen wurden mittels sequentieller Extraktion, nach vorheriger Abtrennung der wasserlöslichen OBS extrahiert (Kaiser & Ellerbrock, 2005) und mit FTIR (Transmission) analysiert (Ellerbrock et al., 1999). Der relative C=O Anteil wurde aus den Absorptionsbanden bei 1640 und 1720 cm<sup>-1</sup> (Celi et al., 1997) in den FTIR Spektren der OM(PY) Fraktion bestimmt.

## Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Der relative C=O Anteil in OM(PY) (B(PY)) korreliert mit dem Gehalt an löslichem Ca; er ist jedoch nicht linear mit den Gehalten an oxalatlöslichem Fe (Abb. 1a), Mn oder Al korreliert. Auch zwischen B(PY) und der Gesamtmenge an oxalatlöslichem Fe, Mn und Al gewichtet nach ihrem jeweiligen Ionenpotential (effektive PC<sub>ox</sub>) wird keine lineare Beziehung gefunden (Abb. 1b).

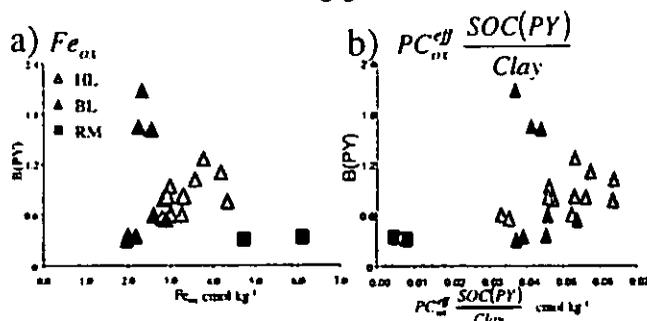


Abb. 1 Relativer C=O Anteil in OM(PY) (B(PY)) vs a) Fe<sub>ox</sub> Gehalten und b) dem Anteil an effektiv wirksamen PC<sub>ox</sub> der Böden aus PK, NPK, STM und ungedüngten Plots.

Neben den PC<sub>ox</sub> sind im Boden noch PC<sup>xx</sup> in anderen Bindungsformen enthalten (Abb.2): Adsorbierte (PC<sub>ads</sub>) und solche die „frei“ – nur mit OBS verbunden - sind.

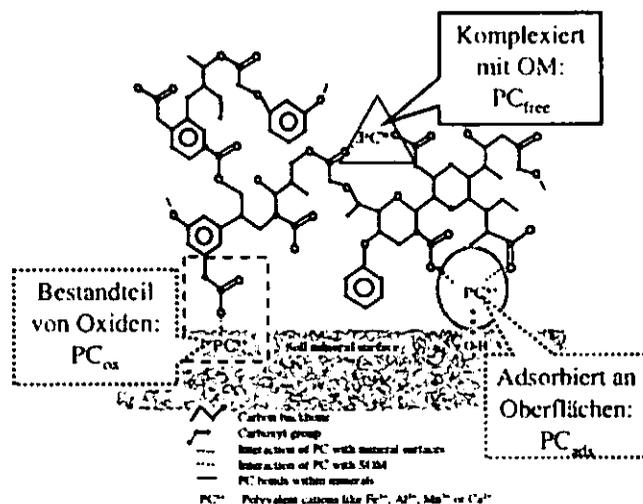
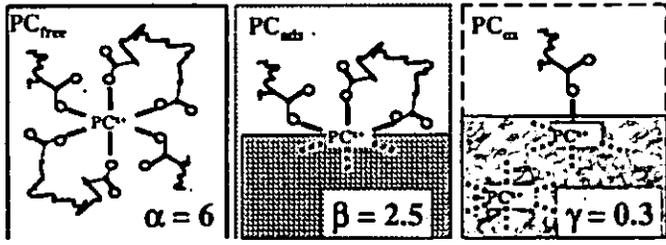


Abb. 2 Verschiedene Bindungsformen von im Boden enthaltenen polyvalenten Kationen (PC<sup>xx</sup>) nach Scheffer & Schachtschabel, 1992.

<sup>1</sup> ZALF-Institut für Bodenlandschaftsforschung, Eberswalderstr. 84, 15374 Müncheberg, rellerbrock@zalf.de

Das Vermögen der PC<sup>X+</sup> OBS zu binden dürfte von den jeweiligen Bindungsformane abhängen: Jedes PC<sup>X+</sup> hat in der Regel sechs Koordinationsstellen für die Wechselwirkung mit organischen (z.B. C=O Gruppen der OBS) und/oder anorganischen Liganden (z.B. OH gruppen von Tonmineralen oder Fe-Oxiden). Liegen die PC<sup>X+</sup> frei vor können sie alle 6 Koordinationsstellen zur Bindung der OBS nutzen (Abb. 3a). Sind die PC<sup>X+</sup> teilweise an Mineraloberflächen gebunden, stehen nur die „übrig gebliebenen“ Koordinationsstellen - maximal die Hälfte - zur Verfügung (Abb. 3b).



$\alpha, \beta, \gamma$ . Mass für potentiell verfügbare OBS-aktive Koordinationsstellen!

Abb. 3 Potenzielle Zugänglichkeit der Koordinationsstellen der PC<sup>X+</sup> für eine Wechselwirkung mit C=O Gruppen in Abhängigkeit vom Bindungstyp: a) PC<sub>free</sub>, b) PC<sub>ads</sub> und c) PC<sub>ox</sub>.

Wenn die PC<sup>X+</sup> Bestandteil von Oxiden sind (PC<sub>ox</sub>), stehen pro PC<sup>X+</sup> deutlich weniger Koordinationsstellen für die Wechselwirkung mit der OBS zur Verfügung, da die meisten Koordinationsstellen pro PC<sup>X+</sup> durch Bindungen innerhalb der Oxide besetzt sind und ein Großteil der PC<sub>ox</sub> alle Koordinationsstellen ausschließlich dafür nutzt (Abb. 3c). Berücksichtigt man die potentielle Verfügbarkeit der Koordinationsstellen entsprechend, lässt sich nach Einbeziehung der Korrekturfaktoren  $\alpha, \beta$  und  $\gamma$  (Abb.3 a-c) die erwartete Zunahme der C=O Anteile mit dem Anteil an effektiven polyvalenten Kationen besser erklären (Abb. 4).

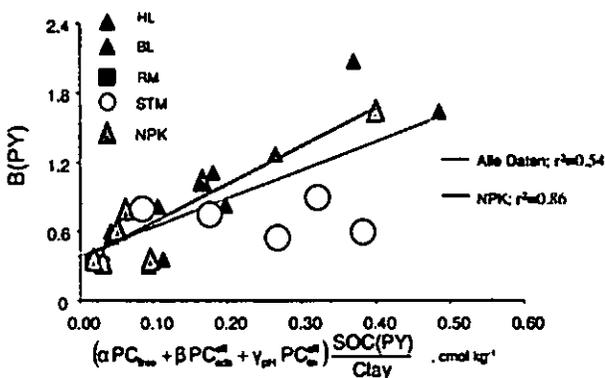


Abb. 4 | Relativer C=O Anteil in OM(PY) (B(PY)) vs Summe der gewichtete Anteile von freien, adsorbierten und oxidischen PC<sup>X+</sup> Gehalten.

Diese Beziehung wird jedoch vor allem für die mineralisch gedüngten Böden gefunden. Es sieht so

aus, als ob die Zusammensetzung der OM(PY) aus den mineralisch gedüngten Böden stärker durch die PC<sup>X+</sup> Gehalte der Böden als durch Unterschiede in Pflanzenrückständen beeinflusst wird.

Dagegen zeigt die Zusammensetzung der OM(PY) aus den Stallmist gedüngten Plots (Abb. 4: schwarze Kreise) keine Abhängigkeit vom PC<sup>X+</sup> Gehalt, sie ist für die OM(PY) Fraktionen aus allen STM gedüngten Böden sehr ähnlich. Anders als bei der Mineraldüngung scheint die Düngung mit Stallmist bei langfristig regelmäßiger Anwendung die Zusammensetzung der stabilen SOM Pools im Boden maßgeblich mit zu bestimmen. Dies kann dadurch erklärt werden, dass mit Stallmist bereits zersetztes organisches Material zugeführt wird, welches bereits außerhalb des Bodens mit polyvalenten Kationen, wie z.B. Fe, in Kontakt kommt. Dadurch kann es – z.B. während der Kompostierung - zur Bildung von organo-PC<sup>X+</sup> Komplexen kommen. Anders ist es in den Böden der mineralisch gedüngten Plots wo sich die Komplexe zwischen zersetztem organischem Material und polyvalenten Kationen erst im Boden überwiegend unter Beteiligung bodenbürtigen Kationen bilden können.

### Danksagung

Das Projekt wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des DFG SPP1090: Böden als Quelle und Senke für CO<sub>2</sub> gefördert (EL191/5-1; 5-2; 5-3).

### Literatur

Celi, Schnitzer, & Negre 1997. Analysis of carboxylic groups in soil humic acids by a wet chemical method, FT-IR spectrophotometry and solution <sup>13</sup>C NMR. A comparative study. Soil Science 162, 189-197.

DIN 19684 1977. Chemische Laboruntersuchungen: Bestimmung der Austauschkapazität des Bodens und der austauschbaren Kationen. Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag Berlin.

Ellerbrock R. H., Höhn A., Gerke H.H. 1999. Characterization of soil organic matter from a sandy soil in relation to management practice using FT-IR spectroscopy. Plant and Soil 213 55 - 61.

Kaiser & Ellerbrock 2005. Functional characterization of different soluble soil organic matter fractions originating from a long-term field experiment. Geoderma. 127, 196-206.

Scheffer & Schachtschabel 1992. Lehrbuch der Bodenkunde, Enke Verlag, Stuttgart.

Schlichting, Blume & Stahr 1995. Bodenkundliches Praktikum, Blackwell, Berlin.

## **Einfluss der Grenzflächeneigenschaften auf die mikroskalige Verteilung von Wasser und ihre Bedeutung für die Stabilität von organischer Bodensubstanz**

*Marc-O. Göbel<sup>1</sup>, Jörg Bachmann, Walter R. Fischer, Axel Lamparter und Susanne K. Woche*

### **EINLEITUNG**

Neben der strukturell bedingten Abbaubarkeit, Wechselwirkungen mit der Mineralphase sowie der räumlichen Zugänglichkeit für Mikroorganismen ist die Verfügbarkeit und Verteilung von Wasser in der Bodenmatrix ein wichtiger Einflussfaktor für den Abbau von organischer Substanz. Die Wasserverteilung hat einen bedeutenden Einfluss auf wichtige Prozesse wie Enzymdiffusion, Nährstofftransport und die Mobilität von Mikroorganismen. Im Hinblick auf die Wasserverteilung spielen die Grenzflächeneigenschaften (Benetzungseigenschaften) der festen Phase eine entscheidende Rolle. Untersuchungen von Churaev (2000) zeigen, dass die Wasserfilmdicke auf hydrophoben Oberflächen verringert ist. Dies wiederum kann zu einer deutlichen Reduzierung des Stofftransports und der Enzymdiffusion führen (Griffin, 1981).

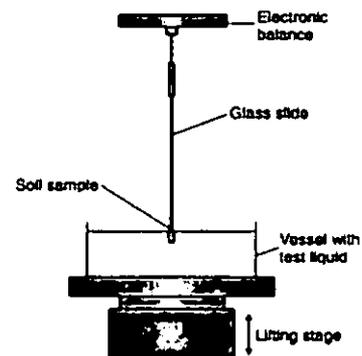
Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Einfluss der Benetzungseigenschaften auf die mikroskalige Wasserverteilung und deren Bedeutung für den Abbau von organischer Substanz untersucht.

### **MATERIAL**

Die Untersuchungen erfolgten an zwei Mischungsreihen, bei denen natürlichem Bodenmaterial (Cambisol, Ah und Luvisol, Ap) hydrophobe Partikel ( $< 63 \mu\text{m}$ ) in unterschiedlichen Anteilen zugegeben wurden (Goebel et al., 2007). Darüber hinaus wurden Glasperlen ( $100\text{--}110 \mu\text{m}$ ) als Modellmaterial verwendet. Die Hydrophobierung der Partikel erfolgte mit Dichlordimethylsilan.

### **METHODEN**

Die Benetzungseigenschaften der Mischungen wurden durch Messung des Kontaktwinkels mit der Wilhelmy-Platten-Methode (Bachmann et al., 2003) charakterisiert (Abb. 1).



**Abb. 1:** Setup der Wilhelmy-Platten-Methode.

Die mikroskalige Wasserverteilung wurde mittels elektronenmikroskopischer Untersuchungen (ESEM) erfasst. Der mikrobielle Abbau der organischen Substanz wurde durch  $\text{CO}_2$ -Respirationsmessungen quantifiziert.

<sup>1</sup>Kontaktadresse:  
Institut für Bodenkunde, Leibniz Universität Hannover  
Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover  
email: goebel@ifbk.uni-hannover.de

## ERGEBNISSE

Elektronenmikroskopische Aufnahmen (ESEM) zeigen, dass mit zunehmendem Kontaktwinkel (abnehmender Benetzbarkeit) das Wasser heterogener in der Matrix verteilt ist und in Form diskontinuierlicher Filme auf den Partikeloberflächen vorliegt (Abb. 2).

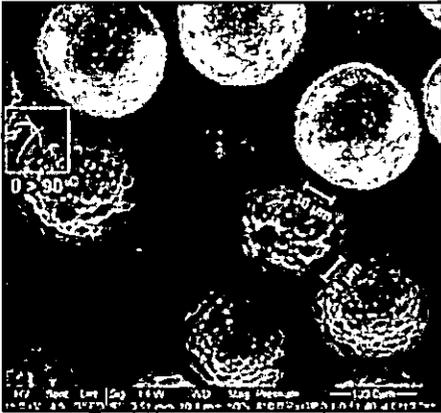


Abb. 2: Wasserkondensation auf hydrophoben Glasperlen.

Zudem ist die Wasser-Konnektivität, d.h. der Querschnitt der Wasserverbindungen zwischen den Partikeln bei hydrophobem Material deutlich reduziert.

Respirationsmessungen an Mischungen aus natürlichem Bodenmaterial und hydrophoben Partikeln ergeben, dass mit zunehmendem Kontaktwinkel (Anteil hydrophober Partikel) der Abbau von organischer Substanz verringert ist. Material mit einem Kontaktwinkel von 20° zeigt eine um 75% reduzierte kumulierte C-Freisetzung im Vergleich zu vollständig benetzbarem Material (Abb. 3). Insbesondere der Anteil schnell abbaubarer organischer Substanz zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der

Benetzbarkeit und ist bereits bei geringer Benetzungshemmung signifikant reduziert.

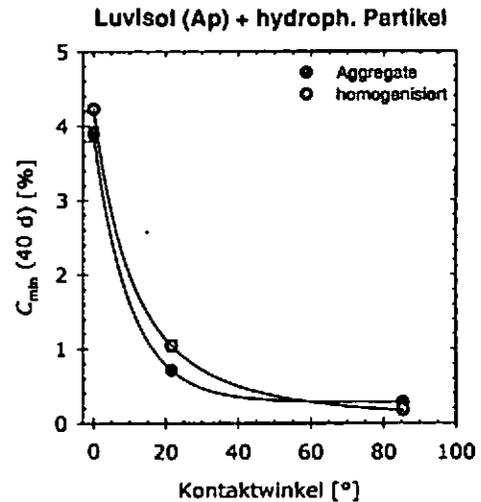


Abb. 3: Kumulierte C-Freisetzung als Funktion des Kontaktwinkels.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Auf Basis dieser Befunde lässt sich vermuten, dass organische Substanz in Gegenwart hydrophober Partikeloberflächen durch mikroskaligen Ausschuss von Wasser und einer daraus resultierenden Beeinträchtigung der Nährstoffversorgung und Enzymdiffusion stabilisiert werden kann.

## LITERATUR

- Bachmann, J., S.K. Woche, M.-O. Goebel, M.B. Kirkham, and R. Horton. 2003. Extended methodology for determining wetting properties of porous media. *Water Resour. Res.* 39:doi:10.1029/2003WR002143, 2003.
- Churaev, N.V. 2000. Liquid and vapor flows in porous bodies. *Topics in chemical engineering*, Vol. 13, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam.
- Goebel, M.-O., S.K. Woche, J. Bachmann, A. Lamparter, and W.R. Fischer. 2007. Significance of wettability-induced changes in microscopic water distribution for soil organic matter decomposition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (in press).
- Griffin, D.M. 1981. Water potential as a selective factor in the microbial ecology of soils. p. 141–151. *In* Parr, J.F., W.R. Gardner, and L.F. Elliott (ed.) *Water potential relations in soil microbiology*. Soil Sci. Soc. Am., Madison (Wisconsin).

# Wirkung von erhöhten atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und N-Düngung auf Priming-Effekte in Böden

Heike Ohm und Bernd Marschner\*

## Einleitung

Die Zufuhr von organischen Substraten oder Pflanzenresten kann zu einer Veränderung in der Umsetzung der organischen Bodensubstanz (OBS) führen. Dieses Phänomen wird als Priming Effekt bezeichnet (Kuzyakov et al., 2000).

Ein möglicher Mechanismus positiver Priming Effekte ist Kometabolismus. Dabei ermöglichen die leicht abbaubaren Substrate eine Zunahme der mikrobiellen Biomasse bzw. eine Aufhebung der Energielimitierung der Mikroorganismen. Dadurch kann es zu einer gesteigerten Enzymproduktion, der Ausschüttung energetisch aufwendigerer Enzyme und damit zu einer erhöhten Mineralisation der OBS kommen. Kommt es dagegen zu einem Austausch des Biomasse-C durch das Substrat-C, findet keine erhöhte OBS-Mineralisation statt. Dies bezeichnet man als scheinbaren Priming Effekt.

Die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration ist in den letzten 180 Jahren von ca. 280 ppm auf 375 ppm angestiegen. Ein weiterer Anstieg wird angenommen. Als Folge des damit einhergehenden CO<sub>2</sub>-Düngeeffekts kann die Biomasseproduktion und damit auch der C<sub>org</sub>-Eintrag in Böden ansteigen. Unklar ist allerdings, ob dies auch langfristig zu erhöhten C<sub>org</sub>-Vorräten in den Böden führt, da wenig über die Stabilität der zusätzlichen C<sub>org</sub>-Einträge bekannt ist.

## Material und Methoden

Verwendet wurden Bodenproben aus dem Freiland-CO<sub>2</sub>-Anreicherungs experiment (FACE) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig. Es handelt sich dabei um vier ringförmige Begasungsflächen, von denen zwei Ringe mit Umgebungsluft (ca. 380 ppm) und zwei Ringe mit einer erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentration (ca. 550 ppm) begast wurden. Zusätzlich wurde auf der Hälfte der Ringflächen die fruchtspezifische N-Düngung um 50 % reduziert.

Als organische Substrate wurden einheitlich <sup>14</sup>C-markierte Fructose und Alanin ausgewählt. Die Zugaben erfolgten in Anlehnung an Hamer und Marschner (2005a; 2005b) in einer Größenordnung von 13.3 µg Substrat-C mg C<sub>org</sub><sup>-1</sup>.

Außerdem erfolgten kombinierte Zugaben mit Substraten und Ammoniumnitrat, um Aufschluss über eine mögliche Stickstofflimitierung der Mineralisation zu gewinnen. Die mikrobielle Biomasse (CFE-Methode) wurde nach 2 und 21 Tagen bestimmt.

Die Proben wurden für 21 Tage im Respicond (Nordgren Innovations, Schweden) bei 20 °C inkubiert. Das entstehende CO<sub>2</sub> wird dabei in einer 0.01 M KOH-Lösung aufgefangen und über die Änderung der Leitfähigkeit die CO<sub>2</sub>-Freisetzung berechnet. Das entstehende <sup>14</sup>C-CO<sub>2</sub> wurde in regelmäßigen Abständen mit Hilfe der Flüssigkeitsszintillation (Beckmann LS 600 TA) bestimmt.

Die Priming Effekte wurden in Anlehnung an Hamer und Marschner (2002) berechnet.

## Ergebnisse und Diskussion

Die SOC-Mineralisation in den Kontrollen lag zwischen 0.6 und 0.9 % (Abb. 1). Die höchste Mineralisation wurde in der Variante mit normaler Begasung und um 50 % reduzierter N-Düngung festgestellt, obwohl hier mit 1.02 % der geringste C<sub>org</sub>-Gehalt vorliegt.

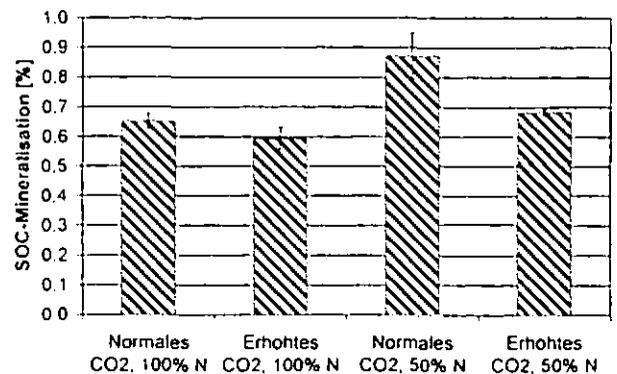


Abb. 1: SOC-Mineralisation in den Kontrollen

Die Atmungsaktivität in allen mit Substraten behandelten Proben wurde durch die Zugabe von NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> nicht zusätzlich stimuliert. Die Substratmineralisation lag zwischen 33 und 48 %. Auch hier bewirkte die Kombination mit NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> keine wesentlichen Veränderungen. Dies lässt darauf schließen, dass die mikrobielle Aktivität nicht stickstofflimitiert ist.

Die Bestimmung der mikrobiellen Biomasse nach 2 Tagen ergab eine deutliche Zunahme in den mit Substraten behandelten Proben im Vergleich zur Kontrolle, wie in Abb. 2 exemplarisch dargestellt. Bei der alleinigen Zugabe von  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  veränderte sich die Menge an  $C_{\text{mik}}$  nicht. Die Zunahme ist sowohl auf den Einbau von Substrat-C als auch auf den Austausch von Substrat-C gegen bereits vorhandenen mikrobiellen Kohlenstoff zurückzuführen.

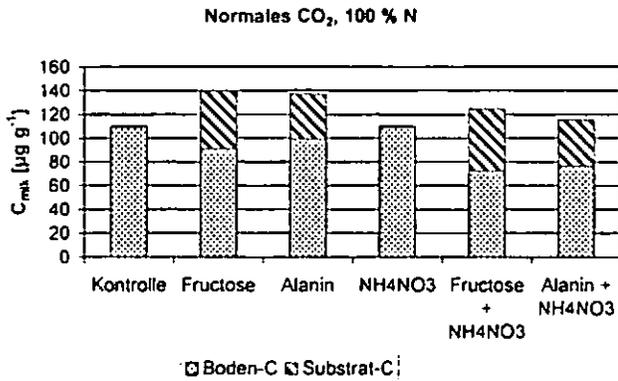


Abb. 2: Mikrobielle Biomasse nach 2 Tagen Inkubation

Nach 21 Tagen Inkubation war die Menge an mikrobieller Biomasse in allen Varianten geringer. Sie bestand auch jetzt noch zu 10-25 % aus Substrat-C.

Die höchsten Priming Effekte traten in den Proben mit optimaler N-Versorgung auf (Abb. 3). Dabei machte es keinen Unterschied mit welcher CO<sub>2</sub>-Konzentration die Proben begast worden sind. Die geringsten Priming Effekte wurden in der N-Mangelvariante unter normaler CO<sub>2</sub>-Begasung festgestellt. Möglicherweise dominieren hier r-Strategen, die nicht in der Lage sind die organische Bodensubstanz zu mineralisieren (Fontaine et al., 2003). Eine erhöhte CO<sub>2</sub>-Begasung der N-reduzierten Proben führte dagegen zu einer verstärkten zusätzlichen Mineralisation. Hier trat daher ein deutlicher CO<sub>2</sub>-Effekt auf.

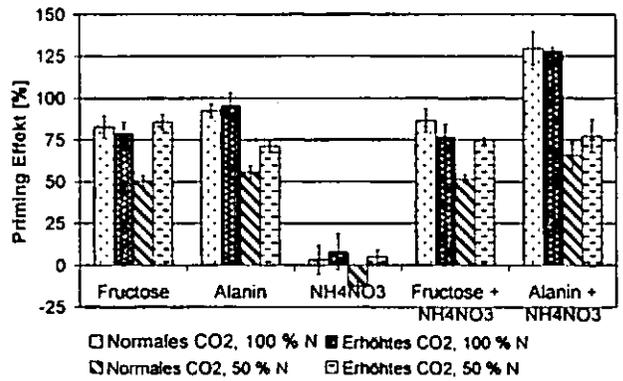


Abb. 3: Priming Effekte

Ein Teil der ermittelten Priming Effekte ist auf scheinbares Priming zurückzuführen, d.h. das zusätzlich freigewordene CO<sub>2</sub> ist durch einen Austausch von  $C_{\text{mik}}$  durch Substrat-C entstanden. Trotzdem lässt sich eine deutliche zusätzliche Mineralisation der OBS nach Zugabe von Substraten und damit echtes Priming in einer Größenordnung von 20-100 % nachweisen. Da es nach Substratgabe nur zu einer relativ geringen Zunahme der mikrobiellen Biomasse kam, ist der wahrscheinlichste Mechanismus für diese Priming Effekte der kometabolische Abbau durch eine verstärkte Enzymausschüttung, die durch die Aufhebung der Substratlimitierung der mikrobiellen Aktivität ermöglicht wird.

### Literatur

- Fontaine, S., Mariotti, A., Abbadie, L. (2003): The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? *Soil Biol. Biochem.* 35, 837-843.
- Hamer, U., Marschner, B. (2002): Priming effects of sugars, amino acids, organic acids and catechol on the mineralization of lignin and peat. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 165, 261-168.
- Hamer, U., Marschner, B. (2005a): Priming effects in different soil types induced by fructose, alanine, oxalic acid and catechol additions. *Soil Biol. Biochem.* 37, 445-454.
- Hamer, U., Marschner, B. (2005b): Priming effects in soils after combined and repeated substrate additions. *Geoderma* 128, 38-51.
- Kuzyakov, Y., Friedel, J. K., Stahr, K. (2000): Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biol. Biochem.* 32, 1485-1498.

**MITTEILUNGEN**  
**DER**  
**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN**  
**GESELLSCHAFT**

**Referate Symposium Kommissionen VII und II**

Band 110

Heft 2

2007



## Dynamik der As- und Fe-Löslichkeit in belasteten (hydr)oxidhaltigen Auenböden nach Wassersättigung

J. Ackermann<sup>1,2</sup>, D. Vetterlein<sup>1,2</sup>, J. Mattusch<sup>2</sup>, H. Tanneberg<sup>1</sup>, H.-U. Neue<sup>2</sup>, R. Jahn<sup>1</sup>

### Einleitung

Als redoxsensitives Element ist As durch sich ändernde Redoxbedingungen in seiner Reaktivität, Mobilität und Toxizität direkt beeinflussbar. In Böden tritt As hauptsächlich in anorganischer Form auf, wobei unter aeroben Bedingungen As(V) dominiert. In gut belüfteten Böden hat As eine hohe Affinität zu Fe-Hydroxiden, wodurch die As-Löslichkeit relativ gering ist. Mit sinkendem Redoxpotential, z.B. bei Überflutung, kann es zur Lösung der Fe-Hydroxide kommen und damit zur Freisetzung des gebundenen As. Außerdem ist eine Reduktion des As(V) zum As(III), welches sich in Toxizität und Mobilität vom As(V) unterscheidet, möglich. Durch die Prozesse der Lösung und Reduktion kann es zu einem Anstieg der As-Löslichkeit unter reduzierenden Bedingungen kommen. Zu Problemen kann dies auf As kontaminierten Auenstandorten führen, wie sie z.B. im mitteldeutschen Raum an Elbe, Mulde und Saale existieren. In diesen Gebieten kann es durch periodische Überflutung zu Absinken des Redoxpotentials und damit zum Anstieg der As-Bioverfügbarkeit kommen. Bei einer landwirtschaftlichen Nutzung dieser Flächen, ist ein erhöhter Transfer in die Nahrungskette daher nicht auszuschließen. Es gibt zwar bereits einen Maßnahmenwert für Grünland, der mit 50 mg As pro kg Boden festgelegt wurde, allerdings wurde bei Grünland im Unterschied zu Ackerbau keine Einschränkung für zeitweise reduzierende Verhältnisse getroffen.

### Material und Methoden

Eine Grünlandfläche der Muldeau mit bekannter As-Belastung wurde an 40 Stellen beprobt. Fünf Proben mit unterschiedlichen As-Gehalten (N5 342 mg/kg; N9 432 mg/kg; N16 113 mg/kg; N18 285 mg/kg; N20 167 mg/kg) wurden für ein Laborversuch ausgewählt. Das Auensubstrat wurde 1:1 mit Quarzsand gemischt

<sup>1</sup> Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, - Bodenkunde und Bodenschutz  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,  
Weidenplan 14, D-06108 Halle

e-mail: [juliane.ackermann@landw.uni-halle.de](mailto:juliane.ackermann@landw.uni-halle.de)

<sup>2</sup> Helmholtz Zentrum für Umweltforschung UFZ  
Department für Bodenökologie, Theodor-Lieser-Str.  
4, D-06120 Halle

und in dreifacher Wiederholung mit einer Lagerungsdichte von 1,12 g/cm<sup>3</sup> in die Versuchszylinder (Material: Plexiglas; Volumen: 118 cm<sup>3</sup>; Bohrungen für: Pt- und Referenz-Elektrode zur Redoxpotential-Messung, O<sub>2</sub>-Sensor, Tensiometer, Mikro-Saugkerzen) eingefüllt. Die Zylinder sind nach unten mit einer Nylongage beklebt um eine Bewässerung von unten zu ermöglichen. Jeder Zylinder wurde mit einer separaten Wasserversorgung (hängende Wassersäule) über eine Keramiksaugplatte verbunden, die eine Aufsättigung des Bodensubstrates ermöglichte. Den Substraten wurden kurz vor der Zylinderbefüllung 0,2 % Glucose zugesetzt um ein Absinken des Redoxpotentials zu beschleunigen. Die Versuchsdauer betrug 14 Tage, wobei der Wassergehalt während der gesamten Zeit bei etwa 32 gew. % lag. Die Bodenlösung wurde alle 48 h als Mischprobe über 24 h, zur As-Spezies-, Fe-Spezies-, Mn- und S-Bestimmung, entnommen. Um die Pflanzenaufnahme beurteilen zu können, wurde *Lepidium sativum* an Tag 6 eingesät. Am Ende des Versuchs wurden die oberirdischen Pflanzenteile geerntet und die As-Konzentrationen bestimmt. Das Bodensubstrat wurde den Zylindern entnommen und mittels verschiedener Einzelextrakte wie dem H<sub>2</sub>O- (mobile Fraktion), dem NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>- (pflanzenverfügbare Fraktion), dem Oxalat- (an amorphe und schlecht kristalline Fe-(Hydr)Oxide gebundene Anteil), dem Königswasser-Extrakt (residuale Fraktion) und einer sequentiellen Extraktion (Wenzel et al., 2001) auf unterschiedliche As-Bindungsformen untersucht.

### Ergebnisse und Diskussion

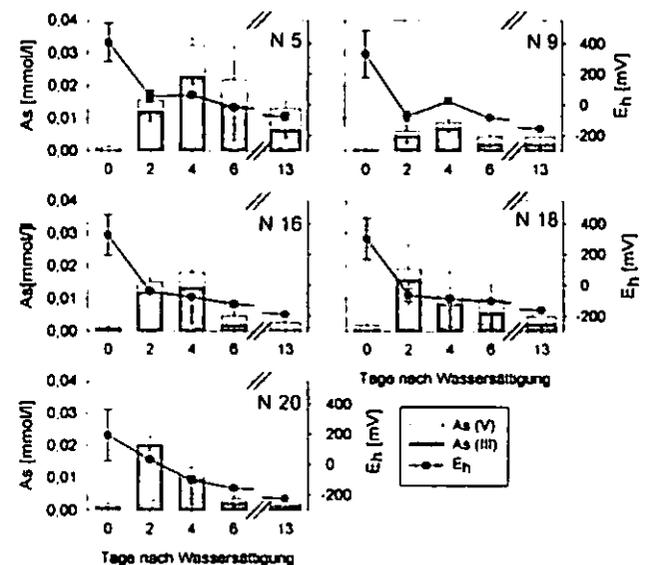


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf des Redoxpotentials und der As-Spezies-Konzentration in der Bodenlösung der Auensubstrat-Quarzsand-Gemische (N5, N9, N16, N18, N20) mit Zusatz von 0,2 % Glucose.

Die Zugabe von Glucose führte in den Auensubstrate (N5, N9, N16, N18, N20) zu einem zügigen

Absinken des Redoxpotential, bis in den reduzierenden Bereich, und einer gleichzeitigen Erhöhung der As-Spezies-Konzentrationen in der Bodenlösung (Abb. 1). Der stärkere Anstieg des As(III)-Anteils, ist mit der Reduktion des As(V) zum As(III) zu erklären. Bereits nach zwei bis vier Tagen wurde in allen Auensubstraten die maximale As-Konzentration in der Bodenlösung gefunden. Anschließend führt die Bildung sulfidischer Verbindungen unter den vorherrschenden reduzierenden Bedingungen wieder zu einer Erniedrigung der As-Konzentration in der Bodenlösung, in den Proben N16 und N20 sogar nahezu bis auf das Ausgangsniveau. Die As-Gesamtgehalte der Ausgangssubstrate hatten keinen Einfluss auf die Höhe der maximalen As-Bodenlösungskonzentration. So zeigte z.B. Substrat N9 mit dem höchsten As-Gesamtgehalt die geringste maximale Bodenlösungskonzentration.

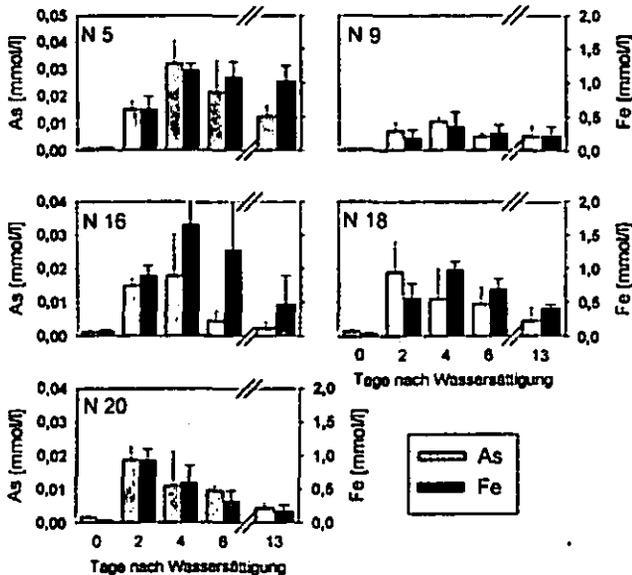


Abb. 2: Verlauf der Fe- und As-Konzentration in der Bodenlösung der Auensubstrat-Quarzsand-Gemische (N5, N9, N16, N18, N20) mit Zusatz von 0,2 % Glucose.

Die Fe- und As-Konzentrationen in der Bodenlösung (Abb. 2) zeigen besonders bei den Proben N9 und N20 sehr ähnliche Verläufe. Außerdem wurde in dem Auensubstrat N9 sowohl die geringste maximale As-Konzentration als auch die geringste maximale Fe-Konzentration in der Bodenlösung gefunden. Eine Abhängigkeit der As-Löslichkeit von der Fe-Löslichkeit ist also durchaus zu erkennen, wenn auch nicht bei allen Proben gleich deutlich, was auf weitere Einflussfaktoren hindeutet.

Die lineare Regression der As-Konzentration<sub>t</sub> des geernteten Pflanzenmaterials mit der As-Konzentration der Bodenlösung ( $r^2 = 0,76$ ) zeigt einen guten Zusammenhang. Im Gegensatz dazu zeigen die gemessenen As-Konzentrationen der verschiedenen Einzelextrakte ( $H_2O$ -,  $NH_4NO_3$ -

Oxalat-, Königswasser-Extrakt) keinen Zusammenhang mit den As-Konzentrationen des Pflanzenmaterials. Die sequentielle Extraktion (Fraktionen: 1. unspezifisch gebunden, 2. spezifisch gebunden, 3. an amorphe und schlecht kristalline (Hydr-)Oxide gebunden, 4. an kristalline (Hydr-)Oxide gebunden, 5. residual gebunden) ergab, dass As hauptsächlich an amorphe und schlecht kristalline (Hydr-)Oxide gebunden vorliegt. Allerdings zeigt diese Fraktion zwischen den fünf Auensubstraten eine ähnliche Abstufung wie der As-Gesamtgehalt, der aber für die As-Löslichkeit nicht von Bedeutung ist. Mn zeigt eine sehr ähnliche Verteilung wie As zwischen den fünf Fraktionen der sequentiellen Extraktion. Die lineare Regression zwischen dem Mn- und As-Gehalt der 3. Fraktion ergab einen sehr guten Zusammenhang (Ausgangssubstrat:  $r^2 = 0,89$ ; Versuchende:  $r^2 = 0,87$ ). Zwischen dem Fe- und As-Gehalt der 3. Fraktion wurde im Ausgangssubstrat ebenfalls ein guter Zusammenhang gefunden, der aber durch das einwirken der reduzierenden Bedingungen über den Versuchszeitraum hin abnahm (Ausgangssubstrat:  $r^2 = 0,76$ ; Versuchende:  $r^2 = 0,3$ ). Mn reagiert intensiver auf veränderte Redoxbedingungen, außerdem liegt das As-Mn-Verhältnis in der 3. Fraktion bei 1:3, was die Bildung von Copräzipitaten bzw. eigenen Mn-As-Mineralen wahrscheinlich macht.

### Zusammenfassung

Die Mobilisierung von As unter den gegebenen Versuchsbedingungen war nur von kurzer Dauer und unabhängig vom As-Gehalt des Ausgangssubstrates. Zwischen der As-Bodenlösungskonzentration und der As-Konzentration des eingesäten Pflanzenmaterials (*Lepidium sativum*) zeigte sich ein guter Zusammenhang. Die ausgewählten Einzelextrakte eigneten sich nicht zur Einschätzung der Pflanzenverfügbarkeit des As. Als Hauptbindungsform für As in den Auensubstraten wurden die amorphen und schlecht kristallinen (Hydr)Oxide identifiziert, was einen Zusammenhang mit Fe und Mn nach sich zieht, bei der Aufklärung der Einflußfaktoren auf die As-Mobilisierung allerdings nur mäßig weiterhalf. Aus diesem Grund sollen eine Identifizierung des Mineralbestandes und die Bestimmung der As-Gehalte in verschiedenen Korngrößenfraktionen folgen.

### Danksagung

Die Autoren danken der Helmholtz Gemeinschaft für die Ermöglichung der Durchführung dieser Arbeit im Rahmen der Helmholtz-Hochschul-Nachwuchsgruppe BASS.

### Literatur

Literaturquellen sind auf Anfrage unter [juliane.ackermann@landw.uni-halle.de](mailto:juliane.ackermann@landw.uni-halle.de) erhältlich.

# In situ-Charakterisierung organischer Bodensubstanz an Oberflächen von Bodenaggregaten

Christian Böhm<sup>1</sup>, Ruth H. Ellerbrock<sup>1</sup>, Horst H. Gerke<sup>1</sup>

## Problem- und Zielstellung

Durch präferentiellen Fluß in Makroporen (Regenwurmgänge, Interaggregatporenräume) kann infiltrierendes Wasser rasch in größere Bodentiefen gelangen. Die Verlagerung reaktiver gelöster Stoffe (z. B. Agrochemikalien) durch präferentiellen Fluß ist u. a. von den Oberflächeneigenschaften der Fließwege abhängig. Zu solchen Oberflächen gehören Auskleidungen von Wurmröhren und Wurzelgängen (Bioporen) sowie Cutane (Aggregatrandschichten). Diese weisen häufig nicht nur einen von der Bodenmatrix abweichenden Ton- und C<sub>org</sub>-Gehalt auf, sondern können sich auch hinsichtlich der Zusammensetzung ihrer organischen Bodensubstanz (OBS) voneinander unterscheiden (Ellerbrock & Gerke, 2004). Die kleinräumige bodenchemische Heterogenität von Makroporenoberflächen bedingt eine kleinräumige Variabilität der Sorptionseigenschaften und kann damit das Verlagerungspotential gelöster reaktiver Stoffe in strukturierten Böden beeinflussen (Gerke et al., 2000). Obwohl die OBS meist die äußere Oberfläche der mineralischen Partikel und damit auch der Aggregate bildet, ist eine Aufschlüsselung der kleinräumigen Heterogenität ihrer Eigenschaften bislang nicht erfolgt. Ziel der Arbeit ist es daher, die kleinräumige Verteilung der OBS auf präferentiellen Fließwegoberflächen mittels diffuser IR-Reflexionspektrometrie bzw. der DRIFT-Mapping-Methode *in situ* zu erfassen.

## Material und Methoden

Die funktionelle Zusammensetzung der OBS wurde mit der Diffusen-Reflexions-Infrarot-Fourier-Transformations-Spektroskopie (DRIFT) analysiert (Böcker, 1997; Gerät: BIO-RAD FTS 135). DRIFT-Analysen wurden sowohl an gestörten Einzelproben als auch mittels der DRIFT-Mapping-Methode an Oberflächen von gestörten, geschichteten und ungestörten Bodenproben durchgeführt. Bei der DRIFT-Mapping-Methode werden die Proben schrittweise (Schrittweite  $\geq 0.5$  mm) in die DRIFT-Einheit (Abb. 1) vorgeschoben, so daß auf deren Oberfläche nacheinander DRIFT-Spektren aufgenommen werden kön-

nen. Dies ermöglicht eine kleinräumige Analyse der Oberflächen von Bodenproben entlang festgelegter Transekte. Je Meßpunkt wurden 16 Aufnahmen mit einer Auflösung von 1 cm<sup>-1</sup> vorgenommen. Die Spektren wurden mittels der Kubelka-Munk-Funktion (Schober and Löhmannsröben, 2000) transformiert, geglättet und basislinienkorrigiert (Digilab Win-IR Pro 3.4). Ausgewertet wurde das Verhältnis von funktionellen C-H-Gruppen (3020-2800 cm<sup>-1</sup>; hydrophober Charakter) zu C=O-Gruppen (1680-1600 cm<sup>-1</sup>; hydrophiler Charakter). Die verwendeten Bodenproben wurden an Standorten nahe Nellingen in BW (Terra fusca und Parabraunerde), Bispingen in NS (Podsol) und Rowa in MV (Fahlerde) entnommen. Die Bodenproben mit ungestörten Oberflächen stammen von spatenblattgroßen „Bodenziegeln“, die im Profil herauspräpariert und an natürlichen „Sollbruchstellen“ zu kleineren „Aggregaten“ geteilt wurden. Nach Lufttrocknung wurden diese „Aggregate“, welche eine intakte Oberfläche aufwiesen, den Ausmaßen des Probenraumes der DRIFT-Einheit (max. 6 cm x 1,5 cm x 1,5 cm) angepaßt.

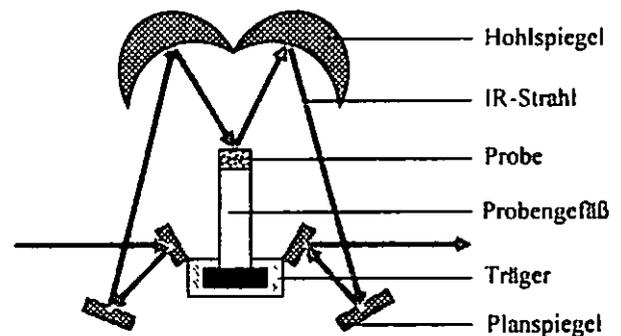


Abb. 1: Schematische Darstellung der DRIFT-Technik

## Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Die DRIFT-Spektren der in Probengefäße gefüllten Einzelproben weisen die gleichen C-H- und C=O-Banden auf wie die DRIFT-Spektren der in einem Behälter geschichteten Proben (Abb. 2).

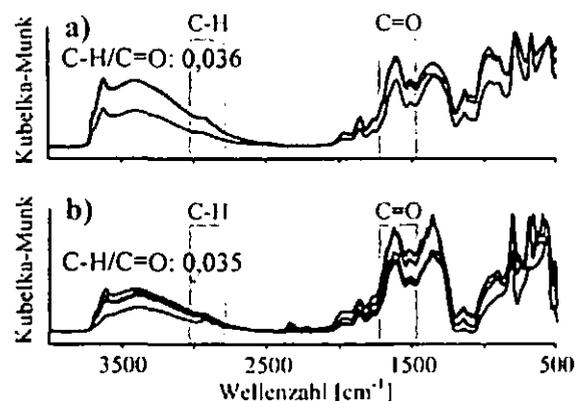


Abb. 2: DRIFT-Spektren einer Bodenprobe (a) Einzelproben, b) geschichtete Probe) des Ah-Horizontes einer Terra fusca unter Wald sowie die mittleren C-H/C=O-Verhältnisse

<sup>1</sup>Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.  
Institut für Bodenlandschaftsforschung  
Eberswalder Straße 84, 15374 Möncheberg  
Christian Böhm: boehm@zalf.de

Die Absorptionsintensitäten der Banden unterscheiden sich sowohl bei den Einzelproben als auch bei den geschichteten Proben. Dies deutet auf Unterschiede hinsichtlich der OBS-Zusammensetzung hin. Die vernachlässigbar kleinen Differenzen in den C-H/C=O-Verhältnissen von Einzelproben und geschichteten Proben zeigen, daß DRIFT als auch DRIFT-Mapping miteinander vergleichbare Ergebnisse liefern (Abb. 2). Entlang der Oberfläche der geschichteten Proben waren mit Hilfe der DRIFT-Mapping-Analyse bodentyp- und nutzungsbedingte Differenzen in der OBS-Zusammensetzung erkennbar (Abb. 3a). Die OBS des Podsol zeigte stärkere Nutzungsunterschiede als jene der Terra fusca. An den Übergängen zwischen den geschichteten Proben (insbesondere zwischen den Podsolproben) wird deutlich, daß es sich bei dem C-H/C=O-Verhältnis eines jeden Meßpunktes immer um einen Durchschnittswert der OBS-Eigenschaften innerhalb des vom IR-Strahl abgedeckten Bereiches handelt (Abb. 3a). Dies bedeutet, daß OBS-Heterogenitäten, die kleinräumiger als der Durchmesser (ca. 2 mm) des IR-Strahles sind, sich im Meßergebnis lediglich als relative Anteile widerspiegeln können. In Abbildung 3b wird deutlich, daß sich mittels der DRIFT-Mapping-Methode jedoch auch kleinräumige Unterschiede zwischen Streupartikeln und umgebender Bodenmatrix detektieren lassen. Die

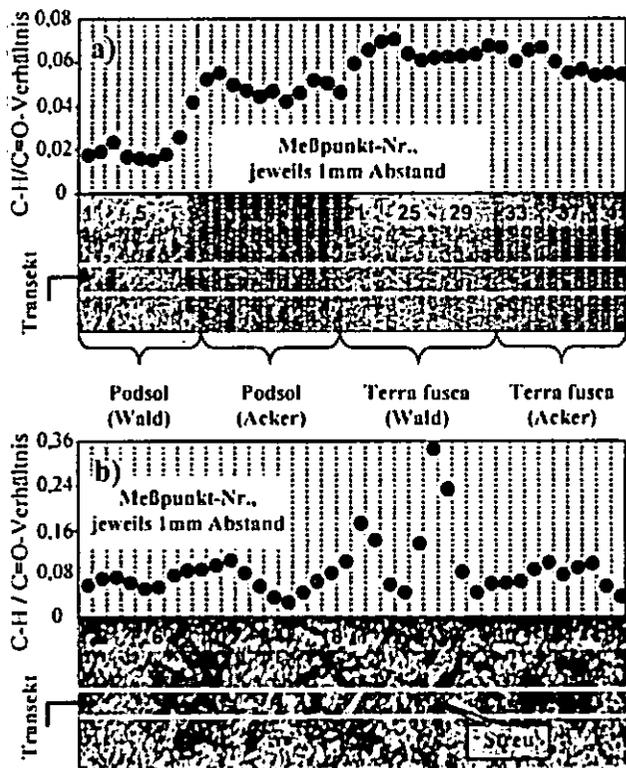


Abb. 3: C-H/C=O-Verhältnisse von DRIFT-Spektren entlang definierter Transekte von a) geschichteten Bodenproben, die aus Podsol- bzw. Terra fusca-Böden (Ah- bzw. Ap-Horizont) unter Wald- und Ackernutzung stammen und b) einer Podsol-Bodenprobe (Ah-Horizont unter Wald) mit visuell erkennbaren Streuanteilen.

C-H/C=O-Verhältnisse der Streupartikel waren deutlich höher als jene der umgebenden Bodenmatrix (Abb. 3b).

Unterschiede in der OBS-Zusammensetzung sind mittels der DRIFT-Mapping-Methode auch auf ungestörten Oberflächen detektierbar (Abb. 4a). Die C-H/C=O-Verhältnisse variieren entsprechend der kleinräumigen Heterogenität der Fließwegoberfläche. Beispielsweise treten im Bereich eines alten Wurzelganges höhere C-H/C=O-Verhältnisse als nahe eines Quarzkornes auf (Abb. 4b).

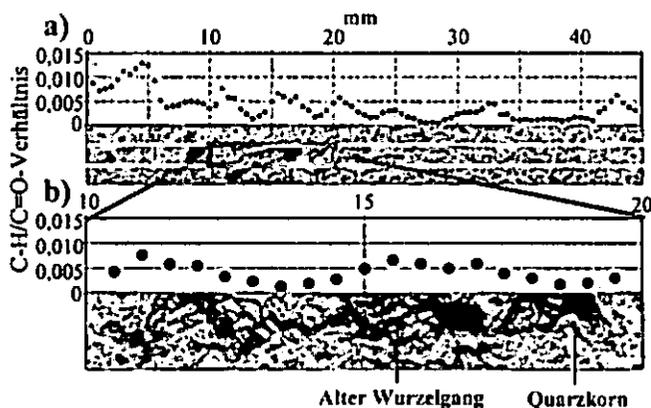


Abb. 4: a) C-H/C=O-Verhältnisse entlang eines Transektes auf der ungestörten Oberfläche einer Bodenprobe aus dem Ael-Horizont einer Fahlerde, b) C-H/C=O-Verhältnisse eines Transektausschnittes (10-fach vergrößert)

Schlußfolgernd ist vorläufig festzustellen, daß sich mittels der DRIFT-Mapping-Methode bodentyp- und landnutzungsbedingte Differenzen, aber auch die kleinräumige Verteilung von Streupartikeln an Bodenoberflächen prinzipiell erfassen lassen. Kleinräumige Variabilitäten der C-H/C=O-Verhältnisse auf ungestörten Oberflächen von präferentiellen Fließwegen können ebenfalls analysiert werden. Die DRIFT-Mapping-Methode bietet folglich eine Möglichkeit, die Sorptionseigenschaften von Oberflächen präferentieller Fließwege genauer zu differenzieren. Sie könnte dazu beitragen, die Beschreibung der präferentiellen Verlagerung gelöster reaktiver Stoffe weiter zu verbessern.

### Danksagung

Das Projekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) (EL 191/7-1) gefördert. Die Bodenproben wurden zum Teil von Herrn Dr. M. Kaiser (DFG KA 2652/1-1) zur Verfügung gestellt.

### Literatur

Böcker, J. (1997): Spektroskopie. Vogel Buchverlag Würzburg.  
 Ellerbrock, R.H., Gerke, H.H. (2004): Characterizing organic matter of soil aggregate coatings and biopores by Fourier transform infrared spectroscopy. *Europ. J. Soil Sci.* 55: 219-228.  
 Gerke, H.H., Ray, C., Vogel, T. (2000): Effects of aggregate skins on flow and transport in structured soil. In: *Preferential Flow, Water Movement and Chemical Transport in the Environment, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Intern. Symposium, January 3-5, 2001, Honolulu, Hawaii, USA*, Published by ASAE, St. Joseph, Michigan: 293-296.  
 Schober, L., Löhmannsroben, H.-G. (2000): Determination of optical parameters for light penetration in particulate materials and soils with diffuse reflectance (DR) spectroscopy. *J. Environ. Monit.* 2: 651-655.

# Hydrotalkit als Bindungspartner organischer Substanz in alkalischen Böden

Gritta Grünewald<sup>1</sup>, Klaus Kaiser<sup>1</sup>, Reinhold Jahn<sup>1</sup>

## 1 Hintergrund

Hydrotalkit [ $Mg_6Al_2(CO_3)(OH)_{16} \cdot 4H_2O$ ] ist ein Mg-Al Hydroxid aus der Gruppe der anionischen Tone. Sein Vorkommen wurde sowohl für natürliche als auch anthropogen beeinflusste alkalische Böden beschrieben. Durch isomorphen Ersatz divalenter Kationen durch trivalente Kationen hat Hydrotalkit eine permanente positive Ladung. Diese wird durch die Einlagerung hydratisierter Anionen in die OH-Zwischenschichten neutralisiert. Das Mineral ist aufgrund von Laborstudien als starker Sorbent anionischer Verbindungen bekannt. Hydrotalkit besitzt eine Schichtstruktur mit hoher Porosität und Oberfläche, sein Ladungsnullpunkt liegt bei pH 12. In einer Felduntersuchung wurde gezeigt, dass hydrotalkithaltige Böden organische Substanz rasch akkumulieren und stabilisieren (Grünewald et al., 2006). Ziel der Studie war es, die Sorptionseigenschaften und –mechanismen von Hydrotalkit aufzuklären, um Aufschluss über den möglichen Beitrag des Minerals zur Kohlenstoffakkumulation und -speicherung in alkalischen Böden zu erhalten.

## 2 Experimentelles Vorgehen

- Herstellung der synthetischen Mineralphase nach den Methoden von Reichle et al. (1986) und Klopogge et al. (2002): Mg-Al Verhältnis von 3:1; Zwischenschichtanion  $NO_3^-$ , teilweise Belegung der Zwischenschicht mit  $CO_3^{2-}$  in drei abgestuften Verhältnissen (2%, 5% und 10%).
- Gewinnung gelöster organischer Substanz (DOM) aus der Streuaufgabe eines calcareous spolic Regosol.
- Durchführung des Sorptionsexperimentes im Reaktionsbereich pH 7 bis pH 9; Verwendung unterschiedlich stark verdünnter Lösungen organischer Substanz.
- Bestimmung des Gehaltes an organischem und anorganischem C, UV-Adsorption (bei 285nm; aromatische Verbindungen), Phenolen, pH, elektrischer Leitfähigkeit, Ca, Mg, K, Na, Al, Cl<sup>-</sup>,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$  in den Filtraten und Ausgangslösungen.
- Charakterisierung der Mineralphase vor und nach Belegung mittels Röntgenbeugung (XRD); Bestimmung der Porosität und spezifischen Oberfläche (SSA) durch Adsorption von  $N_2$ .

## 3 Ergebnisse und Diskussion

Hydrotalkit sorbierte große Mengen gelöster organischer Substanz (bis zu  $135.2 \pm 20.5 \text{ mg C g}^{-1}$ ). Im neutralen bis schwach alkalischen pH Bereich (pH 7-8) wirkte sich die Art der Zwischenschichtbelegung nicht auf die Sorption aus. Im stark alkalischen pH Bereich (pH 9) begünstigte

das Nitrat der Zwischenschichten durch seinen Austausch die Sorption von Karbonat aus der DOM Lösung. Bei pH 9 und stark karbonatisierten Mineralphasen (5% und 10%) behinderte Karbonat aus der DOM Lösung die OC-Bindung. Aromatizität und Phenolgehalt der DOM Lösung waren nach der Reaktion deutlich reduziert. Die präferentielle Sorption der Phenole war weniger stark ausgeprägt als die allgemeine Sorption unspezifischer aromatischer Verbindungen. Daher wird vermutet, dass neben phenolischen Verbindungen andere substituierte aromatische Verbindungen ebenfalls effizient sorbiert werden können. Die Art der Zwischenschichtbelegung hatte keinen Einfluss auf das Ausmaß der Sorption.

Da die Sorption organischer Substanz zu keiner Veränderung des Zwischenschichtabstandes der Mineralphasen führte wird geschlussfolgert, dass sie ausschließlich an den Mineraloberflächen und an den Eingangsbereichen der Zwischenschichten stattfand. Durch die Sorption verringerten sich die spezifische Oberfläche sowie das Mesoporenvolumen der Mineralphasen. Dennoch war auch bei höchster OC-Sorption der größte Teil der Mineraloberfläche (91%) nicht belegt. Das lässt darauf schließen, dass die Sorption organischer Verbindungen nur an spezifischen reaktiven Stellen stattfand (Ligandenaustausch für äußere OH-Gruppen). Bei höchster Konzentration organischer Substanz in der Lösung könnte auch die Bildung von Ca-Komplexen zur Sorption beigetragen haben.

## 4 Folgerungen

- Hydrotalkit trägt durch die Sorption großer Mengen organischer Substanz signifikant zur Kohlenstoffakkumulation und -speicherung in alkalischen hydrotalkithaltigen Böden bei.
- Hydrotalkit sorbiert bevorzugt aromatische (phenolische) Verbindungen.
- Die Sorption organischer Verbindungen findet dabei nicht im Zwischenschichtbereich, sondern ausschließlich an äußeren OH-Lagen statt (evtl. auch am Eingangsbereich der Zwischenschichten).

## 5 Dank

Die Studie wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

## 6 Literatur

- Grünewald, G., Kaiser, K., Jahn, R., Guggenberger, G., 2006. Organic matter stabilization in young calcareous soils as revealed by density fractionation and analysis of lignin-derived constituents. *Organic Geochemistry* 37, 1573–1589.
- Klopogge, J.T., Wharton, D., Hickey, L., Frost, R.L., 2002. Infrared and Raman study of interlayer anions  $CO_3^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  and  $ClO_4^-$  in Mg/Al hydrotalcite. *American Mineralogist* 87, 623–629.
- Reichle, W.T., Kang, S.Y., Everhardt, D.S., 1986. The nature of the thermal decomposition of a catalytically active anionic clay mineral. *Journal of Catalysis* 101, 352–359.

<sup>1</sup> Bodenkunde, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Weidenplan 14, 06108 Halle (Saale), e-mail: gritta.gruenewald@landw.uni-halle.de



## Arsenmobilisierung durch Kalkung?

S. Klitzke\*, F. Lang, M. Käupenjohann

### Einleitung

Kalkung ist derzeit eine gängige Maßnahme zur Sicherung von Pb, Sb und As-belasteten Böden auf Schrotschießübungsplätzen. Der kalkungsinduzierte pH-Anstieg soll gelöste Kationen immobilisieren und somit die Auswaschung von Pb verhindern. Neuere Studien zeigen allerdings, dass eine pH-Wert-Erhöhung die Freisetzung und Stabilität von Kolloiden erhöht und deshalb zu einer Mobilisierung kolloidgebundener Stoffe führen kann.

Unsere ersten Ergebnisse zeigen, dass mobilisierbares As sowohl in gelöster als auch an mineralische Kolloide gebunden vorliegt. Dem Stand der Forschung zufolge kann ein pH-Anstieg zu einer Erhöhung gelöster As-Konzentrationen durch die Desorption von Sesquioxiden führen (Smith et al., 1998). Andererseits könnte ein pH-Anstieg aber auch die Schaffung neuer Sorptionsplätze z. B. durch die Dispergierung As-sorbierender Kolloide zur Folge haben. In Anwesenheit mehrwertiger Kationen könnte ein pH-Anstieg zur Ausbildung von Kationenbrücken zwischen As und negativen Ladungsträgern führen. Darüber hinaus kann der Einfluss einer pH-Wert-Erhöhung und der Kationervalenz auf gelöstes und kolloidales As stark mit dem  $C_{org}$ - und Sesquioxid-Gehalts des Bodens variieren. Ziel unserer Arbeit war es, den pH-Einfluss in einem a) Boden mit hohem C/Fe-Verhältnis und einem b) Boden mit niedrigem C/Fe-Boden auf die Mobilisierung gelösten und kolloidalen As unter besonderer Berücksichtigung der Rolle der Kationenwertigkeit hin zu untersuchen.

### Material und Methoden

Wir führten Schüttelversuche mit Proben aus Oberböden zweier Schießplätze durch, deren Eigenschaften in Tab. 1 dargestellt sind. Der pH

der Suspensionen wurde durch die Zugabe von verdünnten Lösungen einer einwertigen (KOH) oder zweiwertigen ( $Ca(OH)_2$ ) Base auf Bereiche zwischen 3.5 und 7 eingestellt. Unterschiede in der Ionenstärke wurden durch Zugabe entsprechender Mengen an Hintergrundelektrolyten ausgeglichen. Ein Kontrollbatch wurde mit  $KNO_3$ - bzw.  $Ca(NO_3)_2$ -Lösung versetzt. Die gefilterten Suspensionen ( $1.2 \mu m$ ) wurden auf As, Fe und  $C_{org}$  hin analysiert. Außerdem wurde Trübe, pH und Zetapotential gemessen. Kolloidale Anteile wurden mittels Ultrazentrifugation bzw. Multi-stage tangential Ultrafiltration abgetrennt.

Tabelle 1: Eigenschaften der verwendeten Böden

Parameter	Hoher C/Fe-Boden	Niedriger C/Fe-Boden
Bodenart	Sl	Ls
pH $H_2O$	3,7	5,0
$C_{org}$ [ $g\ kg^{-1}$ ]	83	89
As [ $mg\ kg^{-1}$ ]	4	70
$Al_{ox}$ [ $mg\ kg^{-1}$ ]	700	1 956
$Fe_{ox}$ [ $mg\ kg^{-1}$ ]	318	3 236

### Ergebnisse und Diskussion

Ergebnisse der Trübungsmessung beider Böden zeigten mit zunehmendem pH-Wert einen Anstieg in der Menge an mobilisierten Kolloiden, wobei der Anstieg in der  $Ca(OH)_2$ -Variante zu höheren pH-Werten hin verschoben ist und die Menge an mobilisierten Kolloiden geringer als in der KOH-Variante ist (Daten nicht dargestellt).

Die Ergebnisse der KOH-Variante des niedrigen C/Fe-Bodens widersprechen Angaben, die in der Literatur zu finden sind: gelöste As-Konzentrationen nehmen ab, während kolloidale As-Konzentrationen stark ansteigen (Tab. 2). In Anwesenheit des 2wertigen Ca-Ions sind gelöste As-Konzentrationen niedriger als beim 1wertigen K-Ion. In der Anwesenheit von K war As mit kolloidalen Sesquioxiden assoziiert. Die Anwesenheit der Ca-Ionen unterdrückte die Dispergierung von Sesquioxiden, so dass kolloidales As nicht mehr nachgewiesen werden konnte.

Tabelle 2: Mobilisiertes Fe und As der KOH- und Ca(OH)<sub>2</sub>-Variante im niedrigen C/Fe-Boden

	Fe [mg kg <sup>-1</sup> ]		As [µg kg <sup>-1</sup> ]	
	gel.	koll.	gel.	koll.
Kontrolle (pH 4.7)	1,6	1,4	342	25
KOH (pH 6.5)	22,5	53,6	215	278
Ca(OH) <sub>2</sub> (pH 6.5)	3,1	1,1	114	0

Im hohen C/Fe-Boden nehmen gelöste As-Konzentrationen in Anwesenheit des einwertigen Ions zu (Abb. 1). Dies könnte durch ein In-Lösung-Gehen der organischen Substanz, an die As gebunden sein kann (Warwick et al., 2005), erklärt werden. In der Anwesenheit des zweiwertigen Kations nehmen die Konzentration an gelöstem As jedoch ab, was wir auf die Entstehung von Kationenbrückenverbindungen zwischen As und negativ geladenen funktionellen Gruppen der gelösten organischen Bodensubstanz wie bereits durch Redman et al. (2002) beschrieben, zurückführen. Gelöste As-Konzentrationen sind in der Ca-Variante geringer als in der K-Variante. Kolloidales As konnten wir nicht detektieren.

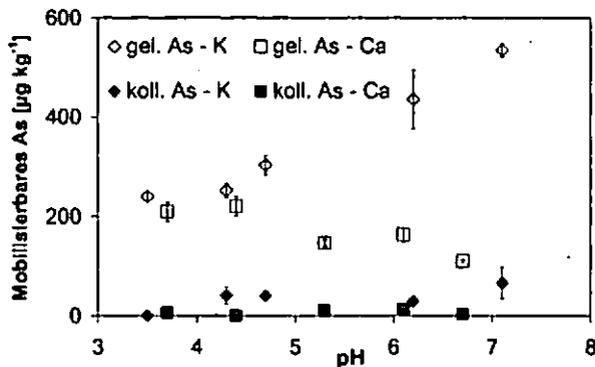


Abbildung 1: Gelöste und kolloidale As-Konzentrationen der KOH- and Ca(OH)<sub>2</sub>-Variante des hohen C/Fe-Bodens

### Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Unsere Ergebnisse zeigen, dass ein pH-Anstieg im niedrigen C/Fe-Boden zu einer Abnahme an gelöstem As führt, entweder durch eine Zunahme der Verfügbarkeit von Sorptionsflächen aufgrund der Dispergierung von Mikroaggregaten (KOH-Variante) oder durch Flockung (Ca(OH)<sub>2</sub>-Variante). Im Gegensatz dazu hängt der pH-

Einfluss auf die Mobilisierung kolloidalen As stark von der Wertigkeit des dominierenden Kations ab. Im hohen C/Fe-Boden steuerte die Kationenvaleanz gelöstes As, hatte aber nur geringen Einfluss auf die Konzentrationen an kolloidalem As.

Die vorgestellten Ergebnisse liefern erste Hinweise, dass die Zusammensetzung der As-Sorbenten (Sesquioxide, organische Substanz) bei einem pH-Anstieg die Mobilisierung von gelöstem und kolloidalem As steuert. Wir schlussfolgern, dass Kalkung As kaum mobilisiert, sofern zweiwertige Kationen die Bodenlösung dominieren. Weitere Untersuchungen mit Böden unterschiedlicher Zusammensetzung sind erforderlich, um eine präzisere Abschätzung mobilisierbaren As zu ermöglichen.

### Danksagung

Unser Dank gilt der Bodenchemie-Gruppe von CSIRO Land and Water in Adelaide, Australien, Geerd Smidt für die Unterstützung bei den Analysen, Bernd Marschner für die Bereitstellung einer Bodenprobe sowie der DFG für die finanzielle Unterstützung (La 1398/2).

### Literatur

Environmental Protection Agency 2001  
 Redman, A. D., Macaldy, D. L., Ahmann, D., 2002. Natural organic matter affects arsenic speciation and sorption onto hematite. *Environmental Science & Technology* 36, 2889–2896.  
 Smith, E, Naidu R. und Alston A. M. 1998. *Adv in Agron* 64, 149-195.  
 Warwick, P., Inam, E. und Evans, N. 2005. Arsenic's interaction with humic acid, *Environmental Chemistry* 2, 119-124.

**MITTEILUNGEN**  
**DER**  
**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN**  
**GESELLSCHAFT**

**Referate Kommissionen VIII und**  
**Symposium Kommissionen VIII und III**

Band 110

Heft 2

2007



# Artenzahlen von Annelidengemeinschaften (Regenwürmer und Kleinringelwürmer) – Referenzwertbereiche für unterschiedliche Standortsituationen

Anneke Beylich & Ulfert Graefe

## Zielsetzung

Bei der biologischen Bewertung von Böden mit Indikatorgruppen der Bodenfauna stellt sich die Frage, ob die gefundene Artenzusammensetzung im standortstypischen Normalbereich liegt oder in einer Form davon abweicht, die auf eine anthropogene Störung schließen lässt. Es müssen also Referenzwertbereiche formuliert werden, die die Spannweite dessen angeben, was bei bestimmten Standorttypen gefunden wird. Im folgenden werden Referenzwerte für die Artenzahlen der Annelidengruppen Regenwürmer (Lumbriciden) und Kleinringelwürmer (Enchytraeiden u.a.) benannt. Die Datenbasis stammt von Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) in Schleswig-Holstein, Hamburg und Nordrhein-Westfalen. Dort werden seit den 90er Jahren Artenspektrum und Individuenzahlen der beiden Tiergruppen sowie die Biomasse der Regenwürmer erhoben. Referenzwertbereiche für die Biomasse der Regenwürmer wurden bereits vorgeschlagen (Beylich & Graefe 2007).

## Referenzwertbereiche

Als Referenzwertbereich definieren wir den Bereich zwischen Minimum und Maximum der vorliegenden Daten für einen Standorttyp unter Ausschluss von Extremwerten. Für die Abgrenzung von Standorttypen wird oft zuerst nach der Nutzung differenziert. Vergleicht man die mittleren Artenzahlen der Regenwürmer und Kleinringelwürmer der drei Hauptnutzungsarten, so nehmen die Werte in der Reihenfolge Grünland > Acker > Forst ab (Graefe 2005). Es gibt allerdings erhebliche Überschneidungen zwischen den Nutzungen. Die Nutzung ist offenbar nicht der primäre Faktor. Ein wesentlicher Einflussfaktor für das Artenspektrum der Ringelwürmer ist der pH-Wert. Für die Regenwürmer zeigt sich im stark sauren Bereich eine schwache, positive Korrelation der Artenzahlen mit dem pH ( $r^2=0,16$ ) (Abb. 1), im schwach sauren Bereich jedoch nicht. Bei den Kleinringelwürmern erkennt man im stark sauren Bereich eine deutliche Zunahme der Artenzahl mit steigendem pH ( $r^2=0,40$ ), im schwach sauren Bereich dagegen eine leichte Abnahme ( $r^2=0,11$ ). Bei etwa pH 4,2 zeigt die Punktwolke eine Lücke. Hier liegt die Grenze zwischen Austausch- und Aluminium-Pufferbereich des Bodens. Die Standorte unterhalb dieses Bereiches sind schlecht gepufferte Forststandorte, oberhalb liegen Grünland- und Ackerstandorte.

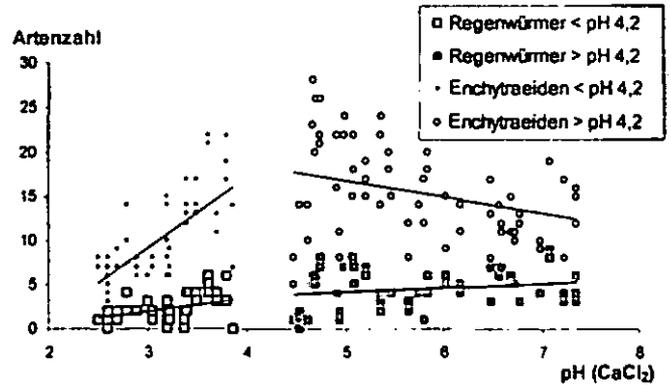


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Artenzahl der Anneliden und pH-Wert. Korrelationen sind signifikant mit  $p < 0,05$ , außer für „Regenwürmer > pH 4,2“ (kein signifikanter Zusammenhang).

Bei den sauren Forststandorten kann eine Differenzierung in Flächen mit  $pH < 3,4$  bzw.  $\geq 3,4$  vorgenommen werden, die sich in der Artenzahl signifikant unterscheiden.

Für die Ackerflächen lässt sich bei den Regenwürmern eine Abhängigkeit der Artenzahl von pH-Wert und Tongehalt feststellen. Da die Korrelation mit dem Tongehalt stärker ist ( $r^2=0,64$ ), differenzieren wir nach Tongehalt: Sande (Tongehalt hier bis 10%) und Lehme (Tongehalt > 10%). Für die Kleinringelwürmer ergibt sich keine Abhängigkeit der Artenzahl von pH oder Tongehalt auf Ackerstandorten (Abb. 2).

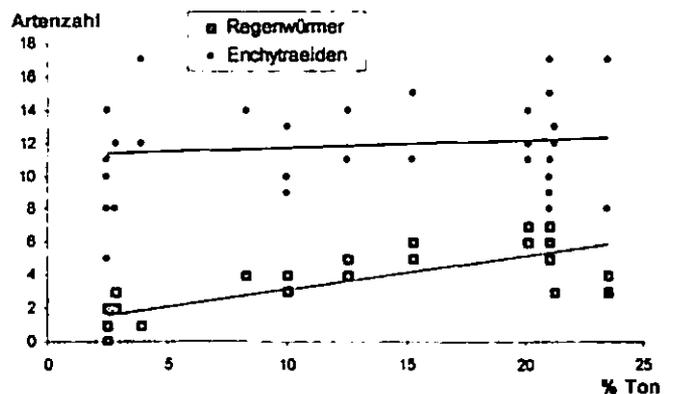


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Tongehalt und Artenzahl der Anneliden an Ackerstandorten. Korrelation für Regenwürmer signifikant mit  $p < 0,05$ .

Bei den Grünlandstandorten lässt sich für beide Tiergruppen keine Abhängigkeit von pH-Wert oder Tongehalt feststellen. Es wird jedoch eine Unterteilung anhand der Feuchte, basierend auf der Vernässungsstufe ( $V_n$ ), vorgenommen. Grünland ( $V_n 2-4$ ) und Feuchtgrünland ( $V_n 5-6$ ) unterscheiden sich zwar nicht hinsichtlich der Artenzahlen, jedoch hinsichtlich des Artenspektrums beider Tiergruppen. Ein Schritt zur Einbeziehung des Artenspektrums ist die Differenzierung der Regenwürmer nach Lebensformtypen.

Tab. 1 fasst die Referenzwertbereiche der genannten Standorttypen unter Einbeziehung des Vorkommens der Lebensformtypen zusammen. Bei sauren Forststandorten lässt sich in Abhängigkeit vom pH-Wert eine artenarme und eine artenreichere Variante unterscheiden. In beiden kommen nur epigäische Regen-

Tabelle 1: Referenzwertbereiche für die Artenzahlen der Anneliden. Lumbri: Regenwürmer; KleinRw: Kleinringelwürmer; Σ: Gesamtartenzahl; epig: epigäisch; endog: endogäisch; anec: anecisch; Vn: Vermässungsstufe; (+): Auftreten sporadisch

pH / Ton / Feuchte	Nutzung	Artenzahl: Min - Max			Lebensformtypen			Zersetzer-gesellschaftstyp
		Lumbri	KleinRw	Σ	epig	endog	anec	
< 3,4	Forst oder Heide; Auflagehumusformen	0-3	3-10	4-11	+			2.11 Achaeto-Cognettietum
≥ 3,4 - 4,2	Forst oder Heide; Auflagehumusformen	2-5	11-22	15-27	+			2.11 Achaeto-Cognettietum
> 4,2 ≤ 10% Ton	Acker; Mullhumusformen	0-4	5-17	6-18		+	(+)	1.21 Fridericio-Enchytraeetum
> 4,2 > 10% Ton	Acker; Mullhumusformen	3-7	8-17	11-24	(+)	+	+	1.12 Fridericio-Lumbricetum
> 4,2 / Vn 0-4	Grünland; Mullhumusformen	2-9	14-28	17-33	+	+	+	1.12 Fridericio-Lumbricetum
> 4,2 / Vn 5-6	Feuchtgrünland	4-7	15-22	20-29	+	+		1.3 Eiseniellion

würmer vor. Bei Ackerstandorten gibt es zwei Varianten, die sich hinsichtlich der Artenzahl der Regenwürmer unterscheiden sowie im Vorkommen der tiefgrabenden Regenwürmer, die nur in der tonreicheren Variante regelmäßig auftreten. Das Vorkommen der Epigäischen hängt auf dem Acker stark von der Bewirtschaftung ab. Die Grünlandstandorte ähneln sich in den Artenzahlen, unterscheiden sich aber im Vorkommen der anecischen Regenwürmer, die bei den Vermässungsstufen 5-6 nicht mehr gefunden werden. Die in der letzten Spalte angegebenen Zersetzer-gesellschaftstypen sind jeweils durch ein typisches Artenspektrum gekennzeichnet (Graefe 1993, 1998). Das Fridericio-Lumbricetum kommt nutzungsübergreifend vor, weil Nutzungseinflüsse von ähnlichen Bodenbedingungen überdeckt werden. Übergänge zwischen den Typen sind möglich und oft artenreich, da dann Arten zweier Gesellschaftstypen gemeinsam auftreten. Artenreichtum kann in dem Fall auch ein Zeichen von Veränderungsprozessen und anthropogenen Störungen sein.

**Anwendungsbeispiele**

**Beispiel 1: Schwermetallbelastetes Parkgrünland.** Die Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutzverordnung für Zn, Cd und Pb sind um das 3-7fache überschritten. Zwar liegt die Artenzahl der Regenwürmer im Referenzwertbereich, es fehlen allerdings völlig die Endogäischen, die sonst im Grünland allgemein vorkommen. Bei den Kleinringelwürmern liegt die Artenzahl mit 3 Arten weit unterhalb der Erwartungen (Abb. 3; drei Untersuchungstermine). Eine Beeinträchtigung der Lebensraumfunktion ist offensichtlich.

**Beispiel 2: Ackerstandort (Sand).** Die Artenzahl der Regenwürmer ist gering. Anecische treten nur bei der dritten Untersuchung auf. Die Artenzahl der Kleinringelwürmer bleibt im Verlauf der Zeitreihe gleich und liegt mit 14 Arten im Referenzwertbereich. Das Artenspektrum verschiebt sich allerdings deutlich (Abb. 4). Der Anteil säuretoleranter Arten nimmt zu Gunsten säureempfindlicher r- und K-Strategen ab. 1992 war eine Lebensgemeinschaft vorhanden, die aufgrund des niedrigen pH-Wertes (3,9 - 4,8) nicht ackertypisch war. Bei Betrachtung nur der Artenzahl

würden die Veränderungen nicht auffallen, die durch die geänderte Bewirtschaftung und die Anhebung des pH-Wertes ausgelöst wurden.

Vom Referenzwertbereich stark abweichende Artenzahlen sollten also Anlass zur Ursachenforschung sein. Lang-

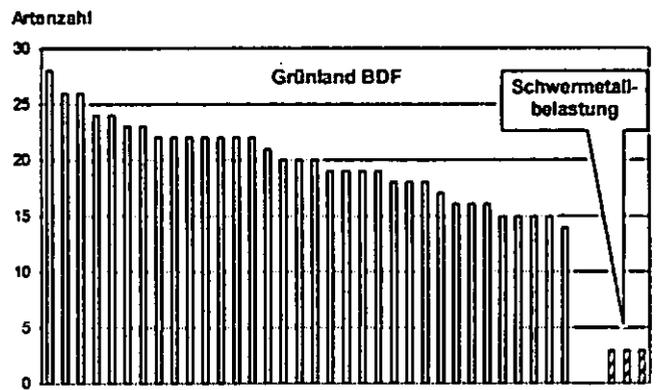


Abbildung 3: Beispiel 1: Artenzahl der Kleinringelwürmer auf einer schwermetallbelasteten Grünlandfläche (schraffiert, drei Untersuchungstermine) im Vergleich zu unbelasteten Grünland-BDF (unschraffiert).

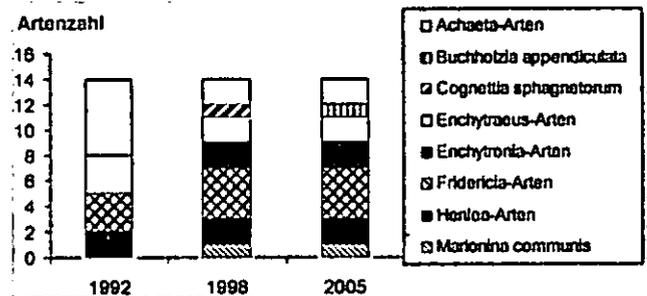


Abbildung 4: Beispiel 2: Artenspektrum der Kleinringelwürmer auf einer sandigen Ackerfläche (BDF SH 24). Drei Untersuchungstermine.

fristige Veränderungsprozesse in der Artenzusammensetzung lassen sich über die Artenzahl allein oft nicht nachweisen. Eine länderübergreifende Auswertung der biologischen Daten von Boden-Dauerbeobachtungsflächen wäre nützlich.

**Literatur**

Beyllich, A.; Graefe, U. (2007): 4. Lumbriciden in der Boden-Dauerbeobachtung: Darstellung von Referenzbereichen, Baselines und Veränderungstendenzen an Beispielen aus Norddeutschland. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Bodenbiologische Bewertung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) anhand von Lumbriciden. UBATEXT 34/07.  
 Graefe, U. (1993): Die Gliederung von Zersetzer-gesellschaften für die standortsökologische Ansprache. Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 69: 95-98.  
 Graefe, U. (1998): Annelidenzönosen nasser Böden und ihre Einordnung in Zersetzer-gesellschaften. Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 88: 109-112.  
 Graefe, U. (2005): Makroökologische Muster der Bodenbiozönose. Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 107: 195-196.  
 Wir danken dem Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein, dem Geologischen Landesamt Hamburg und dem Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen für die Unterstützung.

## Auswirkungen der Ausbringung von Gärresten aus Biogasanlagen auf Regenwürmer

Hans-Jörg Brauckmann<sup>\*</sup> & Gabriele Broll<sup>\*</sup>

### Einleitung

Mit der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes im Jahr 2004 (EEG vom 21. Juli 2004) wurde unter anderem die Förderung der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen zur Energieerzeugung mittels eines Zuschlags auf den Energieerlös eingeführt (NawaRo-Bonus). Von 2004 bis 2007 verdoppelte sich in Folge dessen die Anzahl der Biogasanlagen in Deutschland auf 1.300, die installierte elektrische Leistung stieg auf das Fünffache (3.900 MW<sub>e</sub>) (BMU 2007). Während im Jahr 2004 noch 13.000 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche für den Anbau von Energiepflanzen für Biogasanlagen genutzt wurden, sind es heute 400.000 bis 500.000 ha (BMU 2007, FNR 2007). Damit stieg auch die Menge der anfallenden Gärreste sprunghaft an. Die mit dem Gärsubstrat in die Biogasanlagen eingebrachten Nährstoffe verlassen diese im Gärrest in nahezu unveränderter Menge. Um geschlossene Stoffkreisläufe zu erreichen, sollen die Gärreste als Dünger in der Landwirtschaft verwendet werden.

Zahlreiche aktuelle Untersuchungen zum Düngewert zeigen, dass die Nährstoffgehalte und deren Verfügbarkeit, die Gehalte organischer Substanz sowie viele weitere Parameter der Gärreste in Abhängigkeit von den eingesetzten Substraten, der Anlagentechnik, der Gärrestlagerung und einer etwaigen Gärrestaufbereitung in starkem Maße variieren (KLUGE 2006). Da nach 2004 bevorzugt Biogasanlagen, die auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen betrieben werden, errichtet wurden, werden in neuen Anlagen vor allem Maissilage, Getreide, Corn-Cob-Mix, Ganzpflanzensilagen (GPS) und Gülle als Gärsubstrate eingebracht. Es überwiegt die Nassfermentation im mesophilen Bereich (BIOGASFORUM 2007).

Neben den Fragen der Eignung von Gärresten als Dünger, stellt sich die Frage der Auswirkungen der Düngung mit Gärresten auf die Humusbilanz und die Bodenorganismen. Bei der anaeroben Vergärung wird

dem Gärsubstrat einerseits organische Substanz entzogen, so dass bei alleiniger Güllevergärung das Produkt deutlich ärmer an Energie ist als die Ausgangsgülle, andererseits werden häufig mit den Kofermenten hohe Konzentrationen an organischer Substanz eingebracht, die nicht vollständig abgebaut werden.

Neben der Quantität der organischen Substanz aus Gärresten, ist deren Qualität von Bedeutung für die Humusreproduktion und die biologische Aktivität in Ackerböden. Aktuell werden Techniken zur Gärrestaufbereitung entwickelt, bei denen z.B. über Pressschneckenseparatorn die strukturierte organische Substanz abgetrennt und damit die verbleibende dünne Phase angereichert wird. Über die Auswirkungen der Düngung mit Gärresten und deren Fraktionen auf die Bodenorganismen liegen nur wenige Erkenntnisse vor (FUCHS et al. 2004).

Ziel dieser Arbeit ist es, die Auswirkungen von Gärresten und Fraktionen aufbereiteter Gärreste auf Regenwürmer zu erfassen.

### Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden in einer TME-Apparatur (Terrestrial Model Ecosystem; vgl. KNACKER et al. 2004) in Bodensäulen mit einem Durchmesser von 17 cm und einer Höhe von 30 cm durchgeführt. Es wurde gesiebter Boden (< 5 mm) aus dem Ap-Horizont (Ut) eines Pseudogleys unter Ackernutzung (Biohof, Vorfrucht Kartoffeln nach Kleegrass, pH (CaCl<sub>2</sub>) 5,5) verwendet. Die Bodentemperatur betrug 14°C. Nach dem Befüllen lagerten die Bodensäulen drei Wochen zur Vorinkubation, danach wurden zwei adulte gewogene *L. terrestris* eingesetzt. Nach drei Wochen Akklimatisationszeit wurden die zu testenden Substrate (Gülle, Gärrest, Dünne Phase, Feste Phase, Gärsubstrat) in praxisüblichen Düngemengen (ca. 30 t ha<sup>-1</sup>) aufgebracht. Bei der Kontrolle erfolgte nur eine Zugabe von Wasser. Sieben Wochen nach Zugabe der Substrate wurden die Bodensäulen beprobt, die Regenwürmer entnommen und gewogen. Jede Variante wurde mit sechs Wiederholungen angesetzt.

Die zu testenden Substrate wurden aus einer Biogasanlage im Praxisbetrieb (500 kW<sub>e</sub>, mesophil, einstufig), in der Gülle, Maissilage, CCM und Getreide vergoren werden, entnommen. In dieser Anlage werden die Gärreste mittels eines Pressschneckenseparators in eine feste und eine flüssige Phase getrennt. Die Substrate

<sup>\*</sup> Hochschule Vechta, ISPA, Abt. für Geo- und Agrarökologie mit dem Schwerpunkt Bodenkunde ([hjbrauckmann@ispa.uni-vechta.de](mailto:hjbrauckmann@ispa.uni-vechta.de))

wurden mittels Standardmethoden auf ihre Nährstoffgehalte und die Gehalte an organischer Substanz analysiert (je 6 Parallelen).

### Ergebnisse und Diskussion

Die Gehalte an organischer Substanz und den Hauptnährstoffen sind in der Tab. 1 verzeichnet. Aus den Nährstoffgehalten wurden praxisübliche Düngermengen berechnet und auf die Bodensäulen aufgebracht.

Tab. 1: Gehalte an organischer Substanz und an Hauptnährstoffen in den Substraten sowie die auf die Bodensäulen applizierte Substratmenge

Parameter	Einheit	Schweinegülle	Gärsubstrat	Gärrest	Dünne Phase	Feste Phase
Organische Substanz	%	6,7	13,4	6,6	4,0	23,7
Trockensubstanz	%	7,0	14,8	8,4	5,4	26,7
Gesamtstickstoff	g kg <sup>-1</sup>	5,6	6,6	7,0	6,9	9,4
Ammoniumstickstoff NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	g kg <sup>-1</sup>	2,8	2,6	2,8	2,9	2,1
Phosphor	g kg <sup>-1</sup>	n.b.	1,7	1,2	1,0	2,9
Kallium	g kg <sup>-1</sup>	2,8	3,6	4,0	4,0	3,9
Aufgebrachte Frischmasse	g	75	75	75	75	25

Bei der Düngung von hohen Mengen an Schweinegülle wurde beobachtet, dass Regenwürmer aus dem Boden ausgetrieben werden und an der Oberfläche verenden (COTTON & CURRY 1980). Um einen solchen Austreibungseffekt zu erfassen, wurde die Oberfläche der Bodensäulen nach der Applikation der Substrate eine Stunde bei abgeschwächtem Licht beobachtet, anschließend wurde mittels der Beregnungsköpfe ein Niederschlag von 30 mm zugegeben und die Oberfläche weitere zwei Stunden beobachtet. Während der Beobachtungszeit kam kein Regenwurm an die Oberfläche.

Sieben Wochen nach der Applikation der Substrate, also zehn Wochen nach Einsetzen der Regenwürmer wurden 71 der 72 eingesetzten *L. terrestris* (2 je Säule) lebend wiedergefunden. Daher konnte kein Effekt der verschiedenen Substrate auf die Überlebensrate festgestellt werden.

Die Veränderung der lebenden Biomasse der eingesetzten Regenwürmer wurde sieben Wochen nach der Applikation der Substrate erfasst (Abb. 1). Während die Biomasse in der Kontrolle fast gleich blieb (+ 2 %), stieg sie bei der Zugabe von Gärsubstrat um 40 % an. Das Gärsubstrat ist eine Mischung aus Maissilage, CCM, Getreide und Gülle, das zur Vergärung in den Fermenter eingebracht wird. Entsprechend hoch ist der Energiegehalt, den die Regenwürmer auch zum Aufbau von Körpersubstanz nutzen konnten. Dieses Material

dient in der Praxis nicht zur Düngung und wurde in diesem Versuch nur als Vergleich eingesetzt. Bei dem Substrat Schweinegülle kam es zu einer mittleren Zunahme von 10 %, beim Gärrest von 16 %. Beide

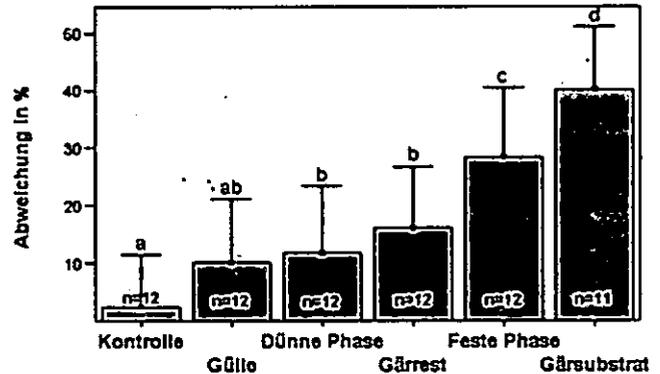


Abb. 1: Relative Veränderung der lebenden Biomassen der eingesetzten Regenwürmer in Abhängigkeit vom Substrat. (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz t-Test >95 %)

Substrate haben die gleichen Gehalte an organischer TS (6,7 bzw. 6,6 %). Selbst die dünne Phase des aufbereiteten Gärrestes führte bei einem deutlich geringeren Gehalt organischer TS (4 %) zu einer mit der bei Gülleapplikation vergleichbaren Zunahme der Biomasse der Regenwürmer (12 %).

### Schlussfolgerungen

Im Kurzzeitversuch sind positive Auswirkungen der Düngung mit Gärresten und deren Fraktionen auf die Regenwürmer festzustellen. Dabei spielt nicht nur die Quantität der organischen TS in den Substraten eine Rolle; die Qualität der Gärreste zum Aufbau von Körpersubstanz der Regenwürmer scheint höher zu sein als der zum Vergleich eingesetzten Gülle.

### Literatur

BIOGASFORUM am ML Niede. (2007): Stand und Perspektiven der Biogasnutzung in Niedersachsen. [http://www.3-n.info/download.php?file=pdf\\_files/InfomaterialDownload%20sBiogas/ml-broschuere\\_biogasnutzung-niedersachsen.pdf](http://www.3-n.info/download.php?file=pdf_files/InfomaterialDownload%20sBiogas/ml-broschuere_biogasnutzung-niedersachsen.pdf)  
 BMU (2007): Erfahrungsbericht 2007 zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)  
 COTTON, D. C. F. & J. P. CURRY, (1980): The response of earthworm populations (Oligochaetes, Lumbricidae) to high applications of pig slurry. *Pedobiologia*, 20, 189 - 196  
 FUCHS, J. G., BIERI, M., CHARDOMMENS, M. (2004): Auswirkungen von Komposten und Gärgut auf die Umwelt, die Bodenfruchtbarkeit sowie die Pflanzengesundheit. FiBL Report, Frick, Schweiz.  
 KLUGE, R. (2006): Nähr- und Schadstoffgehalte in Gärrückständen aus Biogasanlagen. <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de>  
 KNACKER, T., van GESTEL, C.A.M., JONES, S.E., SOARES, A.M.V.M., SCHALLNAß, H.-J., FÖRSTER, B., EDWARDS, C.A., (2004): Ring-Testing and Field Validation of a Terrestrial Model Ecosystem (TME) – An Instrument for Testing Potentially Harmful Substances: Conceptual Approach and Study Design. *Ecotoxicology* 13, 9-28

## Auswirkung von Sulfadiazin in Gülle auf die Gemeinschaftsstruktur von Mikroorganismen im Boden

von  
U. Hammesfahr<sup>1</sup>, S. Thiele-Bruhn<sup>1</sup>

### Einleitung

Sulfonamide werden vor allem in der Veterinärmedizin zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten eingesetzt. Sie zählen dabei in Europa zur zweithäufigsten eingesetzten Stoffklasse. Diese Veterinärantibiotika haben Auswirkungen auf die strukturelle Diversität von Bodenorganismen. Bislang wurde der Effekt von Gülle und Veterinärantibiotika in Böden wenig untersucht (Boleas et al., 2005).

Ziel unserer Untersuchung war es, den Einfluss von (I) Sulfadiazin (SDZ) und (II) Gülle auf die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft im Boden zu untersuchen, sowie (III) den Umsatz und Rückstände von SDZ in verschiedenen Fraktionen zu bestimmen.

### Material und Methoden

Für die Untersuchung wurde eine schluffige Parabraunerde unter Acker ( $C_{org}$  1%, pH 7,2) verwendet. SDZ wurde Schweinen bei der Bayer CropScience AG, Monheim, verabreicht. Die kontaminierte Gülle wurde mit Boden vermischt und über insgesamt 128 Tage inkubiert (10°C). Die resultierende SDZ-Konzentration lag bei etwa 6 mg kg<sup>-1</sup>. Folgende weitere Varianten wurden angesetzt: Kontrollboden, Boden+Gülle und Boden+SDZ. Die SDZ-Gehalte wurden nach Extraktion mit CaCl<sub>2</sub> (mobile Fraktion) und mit MeOH (leicht verfügbare Fraktion) bestimmt (Daten nach M. Förster, V. Laabs, W. Amelung, Universität Bonn). Die Mineralisierung des SDZ als kumulative CO<sub>2</sub>-Entwicklung wurde von A. Schäffer, B. Schmitt, Universität Aachen, gemessen. Die mikrobielle Biomasse wurde über die CFE-Methode bestimmt. Eine Charakterisierung der mikrobiellen Gemeinschaft erfolgte mittels Bestimmung von Phospho-Lipid-Fettsäuremustern. Die Zuordnung der Fettsäuren in Organismengruppen (gram+, gram-, Pilze) erfolgte nach Federle, (1986), Frostegård et al., (1993) und Greyston et al., (2004).

### Ergebnisse und Diskussion

#### SDZ in verschiedenen Fraktionen

Bereits am Tag 0 betrug der extrahierbare, und somit potentiell bioverfügbare Anteil des SDZ weniger als 50% (Abb. 1) und sank bis auf 12% an Tag 120 ab. Der Anteil des SDZ in der mikrobiellen Biomasse

war mit 3% an Tag 29 am höchsten und nahm anschließend wieder ab. Dies entsprach ca. 1/4 des Anteils der bioverfügbaren Fraktion. Mit Abnahme des SDZ in der mikrobiellen Biomasse stieg die kumulative SDZ-Mineralisierung ab Tag 29 an. Der Gesamtanteil der SDZ-Mineralisierung war jedoch gering (2% nach 120 Tagen). Es lässt sich daher vermuten, dass das mineralisierte SDZ aus der mikrobiellen Biomasse stammt.

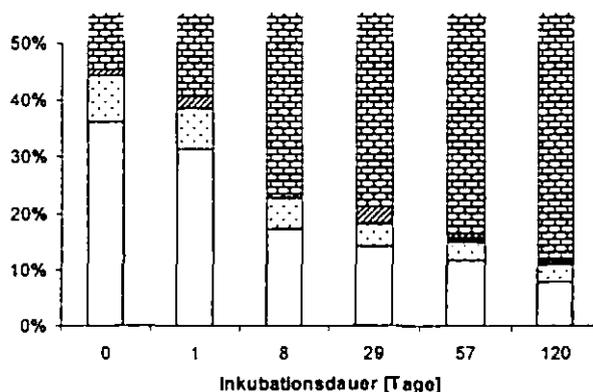


Abbildung 1: Anteil der verschiedenen SDZ-Fractionen an der zugegebenen SDZ-Menge während der Inkubationszeit. Weiß: mobile CaCl<sub>2</sub>-Fraktion, gepunktet: leicht verfügbare MeOH-Fraktion, schwarz: Anteil in der kumulativen CO<sub>2</sub>-Entwicklung, gestreift: Anteil in der mikrobiellen Biomasse, kariert: nicht extrahierbarer Anteil

#### Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft

Gülle hatte einen fördernden Effekt auf die Gesamtsumme der PLFA bis zum Tag 29 (Abb. 2). Im Vergleich zum Kontrollboden erhöhten sich die Konzentrationen um bis zu 200%. Ein Effekt des SDZ, sowohl ohne Gülle als auch mit Gülle, war in diesem Inkubationszeitraum nicht vorhanden. Ab einer Inkubationszeit von 57 Tagen waren signifikante Effekte der Boden+SDZ-Variante im Vergleich zur Kontrolle erkennbar. Der Gülleeffekt war ab diesem Zeitpunkt ebenfalls nicht mehr erkennbar und nach 120 Tagen war auch der negative Effekt der Variante mit SDZ und Gülle signifikant.

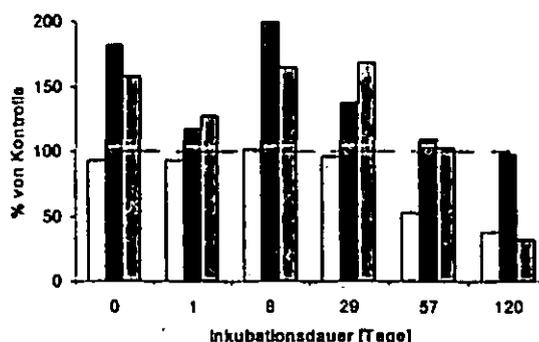


Abbildung 2: PLFA Gesamtsumme der verschiedenen Varianten, dargestellt als prozentualer Anteil im Vergleich zur Kontrolle. Gestrichelte Linie: Kontrolle, Hellgrau: Boden + SDZ, Dunkelgrau: Boden + Gülle, Mittelgrau: Boden + Gülle + SDZ

<sup>1</sup>Bodenkunde, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Trier, Campus II, 54286 Trier  
e-mail: hammesfa@uni-trier.de

Die PLFA-Gesamtsumme und das Bakterien/Pilz-Verhältnis wurden in den ersten 29 Tagen stark durch die Gülle beeinflusst, dies zeigt sich in dem stark signifikanten Einfluss des Faktors 'Variante' in der ANOVA (Tab. 1). Bei den Variablen Shannon-Index und gram<sup>+</sup>/gram<sup>-</sup>-Bakterienverhältnis war der Zeiteffekt am deutlichsten. Die stärksten Veränderungen traten in allen Parametern ab einer Inkubationszeit von 57 Tagen auf, so dass es ab diesem Zeitpunkt zu einer Veränderung in der Mikroorganismen Gemeinschaft gekommen ist (Daten nicht gezeigt).

Tabelle 1: 2-fache ANOVA der PLFA Variablen mit den Faktoren Variante und Tage. Dargestellt sind F-Werte; Signifikanz-Niveau  $\alpha$ : \*\*\*0,001; \*\*0,01; \*0,05

Variable	Summe	Shannon
Variante	6,9***	2,5
Tage	1,8	27,6***
Variante x Tage	1,3	1,2
Variable	Bak/Pilz	gram <sup>+</sup> / <sup>-</sup>
Variante	11,3***	8,8***
Tage	3,9**	66,7***
Variante x Tage	1,4	5,3***

Um das gesamte Spektrum der verschiedenen PLFA zu erfassen, wurde mit allen PLFAs eine Diskriminanzanalyse (DA) durchgeführt.

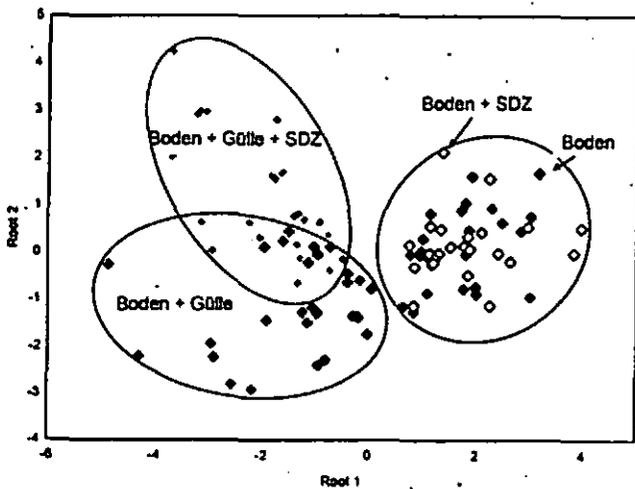


Abbildung 3: Diskriminanzanalyse aller Zeitpunkte bis Tag 29 und aller verwendeter PLFA-Konzentrationen. Die Auftrennung erfolgte nach den einzelnen Varianten

In Abb. 3 ist eine DA mit einer Auftrennung nach den Varianten für die ersten 29 Tage dargestellt. Die Güllevarianten waren dabei deutlich von den Nicht-Gülle Varianten getrennt. Innerhalb der Nicht-Gülle Varianten war keine weitere Separation in Varianten mit und ohne SDZ möglich. Bei den Güllevarianten hingegen wurden die Varianten mit SDZ recht deutlich von jenen ohne SDZ getrennt. Im ersten Inkubationsabschnitt bis Tag 29 war somit Gülle als Substrat nötig, um negative Effekte des SDZ zu erzielen.

Eine DA der Güllevarianten über die gesamte Inkubationsdauer ließ eine deutliche Trennung in kurz- mittel- und langfristige Inkubationszeitpunkte erkennen (Abb. 4). Hierbei trennten sich die Inkubationszeitpunkte 57d zusammen mit 120d deutlich von den anderen Zeitpunkten.

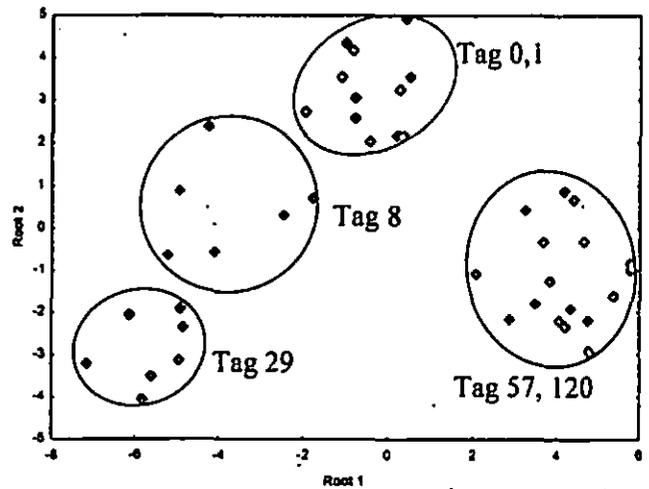


Abbildung 4: Diskriminanzanalyse der Varianten Boden + Gülle und Boden + Gülle + SDZ und aller verwendeter PLFA-Konzentrationen. Die Auftrennung erfolgte nach der Inkubationsdauer

Es kommt somit besonders bei längeren Inkubationsdauern zu deutlichen Effekten des SDZ auf die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft im Boden.

Dank an die DFG (FOR 566), für die finanzielle Unterstützung.

Literatur

Boleas, S., Alonso, C., Pro, J., Fernández, C., Carbonell, G., Tarazona, J.V., 2005. Toxicity of the antimicrobial oxytetracycline to soil organisms in a multi-species-soil system (MS3) and influence of manure co-addition. *Journal of Hazardous Materials* 122, 233-241.

H Federle, T.W., 1986. Microbial distribution in soil: new techniques, in: Megusar, F., Gantar, M. (Eds.), *Perspectives in Microbial Ecology*. Slovene Society for Microbiology, Ljubljana, pp. 493-498.

Frostegård, A., Tunlid, A., Bååth, E., 1993. Phospholipid fatty acid composition, biomass and activity of microbial communities from two soil types experimentally exposed to different heavy metals. *Applied Environmental Microbiology* 59, 3605-3617.

Greyston, S.J., Campell, C.D., Bardgett, R.D., Mawdsley, J.L., Clegg, C.D., Ritz, K., Griffiths, B.S., Rodwell, J.S., Edwards, S.L., Davies, W.J., Elston, D.J., Millard, P., 2004. Assessing shifts in microbial community structure across a range of grasslands of differing management intensity using CLPP, PLFA and community DNA techniques. *Applied Soil Ecology* 25, 63-84.

# Indikatorkriging zur flächenhaften Charakterisierung von EPA-PAH Gehalten in Nadelwaldauflagen Bayerns

Hangen, E.<sup>1</sup>, Olbricht, W.<sup>2</sup>, Joneck, M.<sup>1</sup>

## Hintergrund

Zur Ermittlung des Bodenzustands unbelasteter Böden Bayerns wurden organische und anorganische Bodenschadstoffe in einem 8 x 8 km Raster an 1134 Standorten bayernweit untersucht (Joneck et al., 2006). Die Auswertung zur Ableitung und flächenhaften Zuordnung von Hintergrundwerten erfolgte differenziert nach Landnutzungen und Horizontgruppen gemäß LABO (2003). Eine flächenhafte Zuweisung der Hintergrundwerte zu Teilräumen unterschiedlicher Siedlungsdichte (LABO, 2003) ist für den bayerischen Untersuchungsraum nicht geeignet. Hier sind dagegen immissionspezifische Teilraumausgrenzungen mittels geostatistischer Ansätze einzusetzen (Dilling und Joneck, 2003). Die untersuchten ubiquitär eingetragenen organischen Schadstoffe umfassen z.B. Benzo(a)pyren, Hexachlorbenzol, Ballschmitter-PCB und EPA-PAH.

## Material und Methoden

### Varianzanalyse (Software: Variowin 2.2)

- Ermittlung der räumlichen Korrelation
- Ableitung der Krigengewichte Nugget, Partial Sill und Range allgemein nach (z.B: LABO, 2003):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \cdot \sum_{\alpha=1}^{N(h)} [z(u_{\alpha}) - z(u_{\alpha} + h)]^2$$

- wobei:  $\gamma(h)$  : Semivarianz [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ]<sup>2</sup>  
 N : Anzahl Datenpunkte [ - ]  
 $z(u_{\alpha})$  : Datum an Position  $u_{\alpha}$  [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ]  
 h : Abstandsklasse [ - ]

### Indikatorkriging (Software: WinGSLib 1.3.1)

- liefert Interpolation auf Messniveau als auch Interpolation der Über-/Unterschreitungswahrscheinlichkeit vorgegebener Schwellenwerte
- Vorgabe von Schwellenwerten (hier: Dezile)
- Matrizen des Über- bzw. Unterschreitungsgrads aller Dezile in binärer Form für jeden Stützpunkt

- Generierung bedingter Häufigkeitsverteilungen am Schätzwert
- optimale Schätzung auf das Niveau der zugrunde liegenden Messwerte

### Teilraumausgrenzung und Messpunktzuordnung

- Untergliederung gekrigter Wertefläche in Teilräume anhand der Schwellenwerte des 10., 25., 50., 75., 90. Perzentils
- statistische Auswertung der Messwerte pro Teilraum

## Ergebnisse

Für den näher betrachteten Schadstoff EPA-PAH gingen die Krigengewichte (Nugget, Partial Sill, Range) des Variogramms (Abb. 1) in das Indikatorkriging ein.

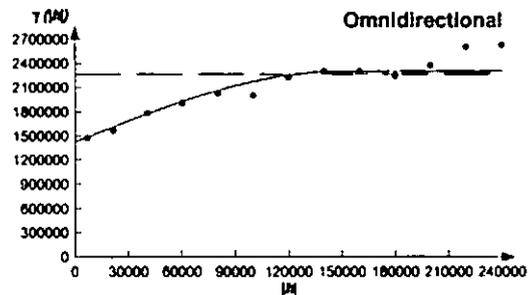


Abb. 1: Sphärisches isotropes Variogramm für EPA-PAH in Nadelwaldauflagen Bayerns.

Die Teilraumausgrenzung lieferte eine Gebietsuntergliederung, die im nördöstlichen Kristallin und im Spessart erhöhte, im westlichen Zentralbereich und Alpenvorland niedrige Belastungen aufweist (Abb. 2).

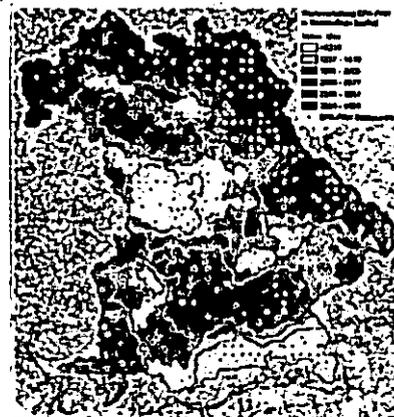


Abb. 2: Geostatistisch abgeleitete Belastungsräume für EPA-PAH in Nadelwaldauflagen Bayerns.

## Prüfung des Krigingansatzes zur Teilraumausweisung

1) Indikatorkriging setzt per se keine normalverteilten Stützpunkte voraus (Deutsch und Journel, 1998). Der Effekt normalverteilter Stützpunkte auf die Teilraumausgrenzung wurde mittels Trans-

<sup>1</sup>Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat für Vorgesorgenden Bodenschutz und Bodenmonitoring  
Hans-Högn Straße 12, 95030 Hof  
E-mail: [edzard.hangen@lfu.bayern.de](mailto:edzard.hangen@lfu.bayern.de)

<sup>2</sup>Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Mathematische Statistik, Universitätsstraße 30, 95440 Bayreuth

formation der Messwerte (3. Wurzel) untersucht. Die Annäherung an die Diagonale zeigt die Ähnlichkeit zur Normalverteilung an (Abb. 3).

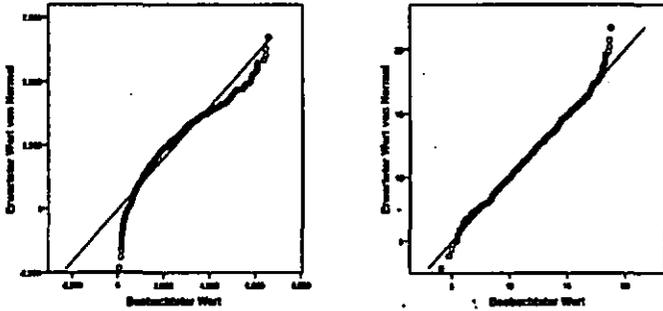


Abb. 3: Nicht-normalverteilte (links) und in Normalverteilung transformierte Messwerte (rechts).

Nach Rücktransformation der gekrigten Wertefläche und Gebietsaufteilung gemäß der Perzentilschwellen ergab sich eine Teilraumaufgliederung, die der nicht-transformierten Variante (Abb. 2) weitestgehend entsprach (Abb. 4).

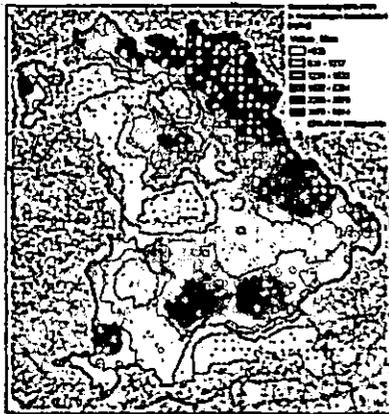


Abb. 4: Teilraumausgrenzung für in Normalverteilung transformierte Stützwerte.

II) Die zufällige Viertelung des Gesamtdatensatzes und Kombination in die Teildatensätze AB, AC, AD, BC, BD, CD (d.h. halbe Stützpunktzahl) resultierte in ähnlichen Ausgrenzungen der charakteristischen Belastungsgebiete in NE- und SE-Bayern, zeigte jedoch auch unterschiedliche Klassenzuordnungen, z.B. im Raum München (Abb. 5).



Abb. 5: Lage der EPA-PAH Belastungsräume auf Grundlage 6 unterschiedlicher Teildatensätze.

III) Über eine Krigeschätzung für die Stützpunkte des Teildatensatzes CD mittels Teildatensatz AB wurden die Residuen zwischen Messwert (CD) und Krigewert (CD) bestimmt. Diese waren normalverteilt und besaßen statistische Momente (Mittelwert  $\mu$ , Standardabweichung  $\sigma$ ), anhand derer normalverteilte Zufallszahlen generiert wurden (Software: C-Stat). Diese Zufallszahlen dienten ihrerseits als Stützpunkte einer Interpolation. Die so erzeugte synthetisch verrauschte Fläche wurde dem Ergebnis der Teilraumausgrenzung des Teildatensatzes CD überlagert (Abb. 6). Die verfahrensbedingte Verrauschung bewirkte eine Verschiebung der Teilraumabgrenzung, insbesondere im südöstlichen Landesteil (s. Abb. 5). Dieser Befund ist jedoch lediglich als Indiz aufzufassen. Für eine breitere Güteabschätzung sind weitere Zufallszahlensätze zu untersuchen.

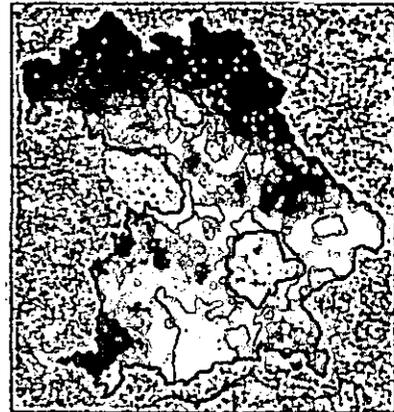


Abb. 6: Überlagerung der verrauschten Fläche mit der Gebietsausgrenzung des Teildatensatzes CD.

### Schlussfolgerungen

Indikatorkriging resultiert für EPA-PAH Gehalte der Waldaufgaben in einer überwiegend plausiblen Ausgrenzung von Belastungsräumen. Zur statistischen Ableitung von Hintergrundwerten werden ausschließlich Messwerte innerhalb der Teilräume herangezogen. Das dargestellte Krigeverfahren dient dagegen lediglich der Teilraumausgrenzung.

### Literatur

Deutsch, C., Journel, A. (1998): GSLIB, Geostatistical Software Library and User's Guide. New York, 369 S.

Dilling, J., Joneck, M. (2003): Regionalisierung der relativen Immissionsbelastung von organischen Schadstoffen in bayerischen Böden unter Nadelwald. Mitt. Deut. Bodenkundl. Ges. 102. 629-630.

Joneck, M., Hangen, E., Wittenbecher, M., Foullois, N., Spörlein, P., Martin, W., Außendorf, M., Reischl, A. (2006): Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze in Bayern (GRABEN). 4. Marktredwitzer Bodenschutztag. Hrsg: Stadt Marktredwitz, 54-60.

LABO (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. Beschlussfassung der 33. StA4-Sitzung, 29./30.01.2003 mit Anhang, 169 S.

# Mögliche Auswirkungen der Föderalismusreform auf den Schutz des Bodens

Sabine Kunzmann, Götz Frank,  
Ulrich Meyerholt & Luise Giani

## 1. Hintergrund und Schwerpunkte der Föderalismusreform

Die erste Stufe der Föderalismusreform ist am 01.09.2006 in Kraft getreten (vgl. BGBl. I 2006 Nr. 41). Hintergrund der Reform waren u. a. die gegenseitigen Blockaden von Bund und Ländern bei Gesetzgebungsverfahren. Das Vorhaben umfasste vier Schwerpunkte: die Neustrukturierung und Verteilung der Gesetzgebungskompetenzen, die Reform der Mitwirkungsrechte des Bundesrates, die Reform der Finanzverantwortung sowie die Stärkung der Europakompatibilität des Grundgesetzes (vgl. BT-Drs. 16/813, S. 7f.). Im Fokus dieses Beitrags steht die Neuordnung der Gesetzgebungskompetenzen im Umweltbereich. Die Rahmengesetzgebungskompetenz des Bundes (Art. 75 GG alt) ist durch die Neufassung des Grundgesetzes (GG) entfallen. Die Umweltkompetenzen sind nun in erster Linie im Bereich der konkurrierenden Gesetzgebung (Art. 72, 74 GG) angesiedelt, deren unterschiedliche Ausprägungen der Abbildung 1 entnommen werden können.

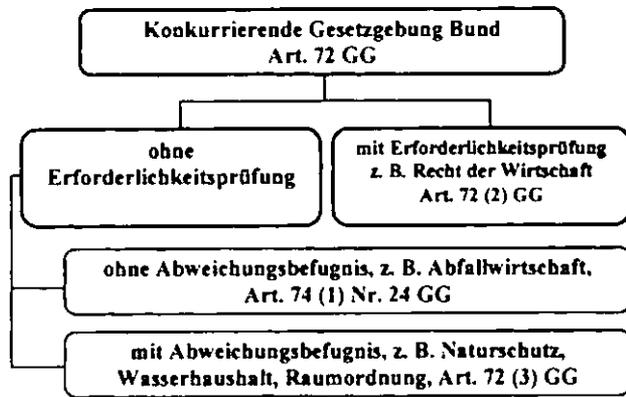


Abb. 1: Varianten der konkurrierenden Gesetzgebungskompetenz / Quelle: eigene Anfertigung

Als weitere Neuerung wurden zahlreiche Kompetenztitel der konkurrierenden Gesetzgebung von der Erforderlichkeitsklausel des Art. 72 (2) GG entbunden. Der Nachweis, dass „die Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse im Bundesgebiet oder die Wahrung der Rechts- oder Wirtschaftseinheit im gesamtstaatlichen Interesse eine bundesgesetzliche Regelung erforderlich macht“ (Art. 72 (2) GG), ist somit für diese Materien entfallen, und der Bund kann uneingeschränkt tätig werden. In einem abschließenden Katalog werden die konkurrierenden Kompetenztitel mit fortbestehender Bindung an die Erforderlichkeitsklausel aufgelistet (Art. 72 (2) GG). Dazu zählt z. B. der Kompetenztitel »Recht der Wirtschaft« (Art. 72 (2) GG i. V. m. Art. 74 (1) Nr. 11 GG), welcher auch für den Bodenschutz Relevanz besitzt.

Der partielle Wegfall der Erforderlichkeitsklausel, welcher mit einer Begünstigung des Bundes einhergeht, wurde im Gegenzug durch die Aufnahme von Abweichungsbefugnissen zu Gunsten der Länder ausgeglichen. Dadurch wird den Ländern für definierte Materien der konkurrierenden Gesetzgebung die Befugnis erteilt, von bestehenden Bundesgesetzen abzuweichen und eigene Regelungen zu schaffen (vgl. Papier, S. 2146f; SRU, S. 6f). Mit Abweichungsbefugnissen ausgestattet wurden u. a. Naturschutz und Landschaftspflege sowie die Raumordnung. Mögliche Auswirkungen der Reform auf den Bodenschutz sind insbesondere über das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und über sonstige Gesetze mit Boden schützenden Inhalten, wie das Bundes-Naturschutzgesetz (BNatSchG), zu erwarten.

## 2. Aspekte des Bodenschutzes vor und nach der Reform

Im Folgenden stehen die Kompetenzgrundlagen des BBodSchG vor und nach der Föderalismusreform im Fokus der Aufmerksamkeit.

### 2.1. Bodenschutz vor der Reform

Der Bund darf grundsätzlich nur in den Bereichen gesetzgeberisch tätig werden, die ihm im Grundgesetz zugebilligt werden. Die übrigen Materien fallen in die Gesetzgebungsbefugnis der Länder (Art. 30 GG). Fraglich ist diesbezüglich, inwieweit sich eine Bundeskompetenz zur Gesetzgebung für nicht benannte Umweltbereiche aus anderen Kompetenzen des Bundes ableiten lässt (vgl. Schrader, S. 3). Da das Grundgesetz keinen eigenen Kompetenztitel »Bodenschutz« beinhaltet, wurden die Regelungen des BBodSchG auf einen Kompetenzmix gestützt, der aufgrund der großzügigen Interpretation verschiedener Kompetenztitel bis heute strittig ist. Im Einzelnen handelt es sich um (vgl. BT-Drs. 13/6701, S. 16-18):

- Art. 73 Nr. 1 GG (Landesverteidigung): ausschließliche Gesetzgebungskompetenz des Bundes,
- Art. 74 (1) Nr. 18 GG (Bodenrecht): konkurrierende G.,
- Art. 74 (1) Nr. 11 GG (Recht der Wirtschaft): konk. G.,
- Art. 74 (1) Nr. 24 GG (Abfallbeseitigung): konkurrierende G.,
- Art. 75 (1) GG Nr. 4 (Wasserhaushalt): Rahmenkompetenz,
- ungeschriebene Annexkompetenz des Bundes für Regelungen zur Gefahrenabwehr (unmittelbarer Zusammenhang zum Bodenrecht und zum Recht der Wirtschaft).

Z. B. wird in der Fachliteratur teilweise die Auffassung vertreten, dass der Kompetenztitel »Bodenrecht« unzulässigerweise herangezogen wurde. Es wird angeführt, dass dieser Materie eine umweltbezogene Komponente fehle. Ähnlich verhält es sich mit dem Kompetenztitel »Recht der Wirtschaft« (vgl. Degenhart, S. 398f).

### 2.2. Bodenschutz nach der Reform

Ausgehend von dem dargestellten Kompetenzmix zur Konzeption des BBodSchG stellt sich die Frage, wer in Zukunft befugt ist, das BBodSchG zu ändern, davon abzuweichen bzw. es neu zu fassen.

Wie Abbildung 2 entnommen werden kann, oblag dem Bund nach wie vor die ausschließliche Gesetzgebungskompetenz für die Regelungen des BBodSchG zur Landesverteidigung. Des Weiteren hätte der Bund die konkurrierende Gesetzgebungskompetenz für die übrigen Regelungen des BBodSchG inne, sofern der dargelegte Kompetenzmix bejaht wird. Es ist ersichtlich, dass die Regelungen, welche sich auf den Kompetenztitel »Recht der Wirtschaft« stützen, einer Erforderlichkeitsprüfung unterlägen. Dies ist besonders deshalb von Bedeutung, da das Bundesverfassungsgericht (BVerfG) in der jüngeren Vergangenheit zu einer restriktiven Anwendung der Erforderlichkeitsklausel gekommen ist und verschiedene Gesetzesvorhaben des Bundes daran scheiterten (BVerfG, 2 BvF 2/02 vom 27.7.2004, Absatz-Nr. 127 – 135, »Juniorprofessur«, BVerfG, 2 BvF 1/03 vom 26.1.2005, Absatz-Nr. 66-68 »Studiengebühren«).

Bei Negierung der Erforderlichkeit müsste die Bundeskompetenz für diese Regelungen demzufolge verneint werden, einschließlich der daran geknüpften Annexkompetenz im Bereich der Gefahrenabwehr.

Ebenfalls von Interesse ist, ob Regelungen mit Bezug zum Wasserhaushalt, wie z. B. § 4 (3) S. 1 BBodSchG unter die Materien mit Abweichungsbefugnis fallen oder dem abweichungsresistenten Kern zuzuordnen sind. Gemäß Art. 72 (3) Nr. 5 GG sind stoff- und anlagebezogene Regelungen des Kompetenztitels »Wasserhaushalt« der Abweichungsbefugnis entzogen. Da die Sanierungspflichtigkeit eines Gewässers an Verunreinigungen anknüpft, ausgelöst durch Altlasten oder schädliche Bodenveränderungen, ist ein stofflicher Bezug gegeben. Insofern ist zu erwarten, dass die entsprechenden Regelungen des BBodSchG dem abweichungsfesten Kern zuzuordnen sind und somit nicht von den Ländern modifiziert werden können. Anderenfalls wäre eine uneinheitliche Rechtslage der jeweiligen Vorschriften denkbar.

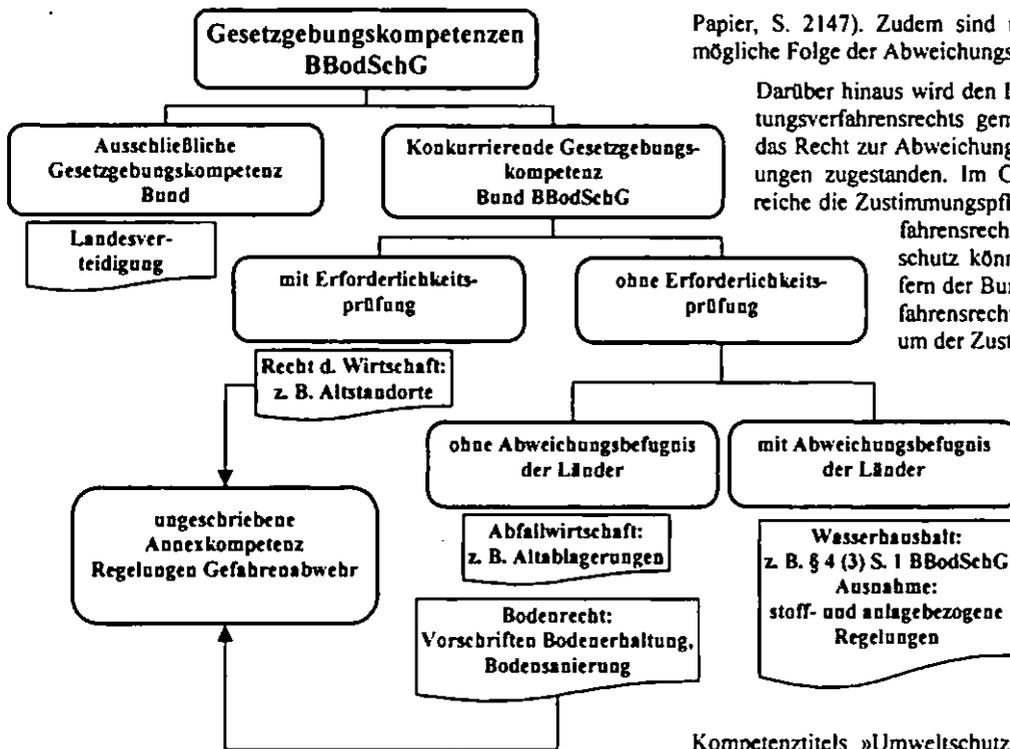


Abb. 2: Gesetzgebungskompetenzen BBodSchG  
Quelle: eigene Anfertigung

### 3. Schattenseiten der Föderalismusreform

Durch die fehlende Integration eines ausdrücklichen Kompetenztitels »Bodenschutz« bleiben die Unsicherheiten bei dem Erlass umfassender bodenschützender Regelungen auch künftig bestehen. In der Folge sind Kompetenzstreitigkeiten mit den Ländern denkbar. Zudem wäre die Normierung u. U. an verschiedene Voraussetzungen gebunden, dergestalt, dass einzelne Materien mit Abweichungsbefugnissen, andere ohne ausgestattet wären und teilweise Sachbereiche einer Erforderlichkeitsprüfung standhalten müssten. Insgesamt resultiert hieraus eine unübersichtliche Handhabung. Die Bereitschaft zur Novellierung des BBodSchG dürfte aus besagten Gründen daher künftig eher gering ausfallen (vgl. Schrader, S. 3-6).

Darüber hinaus ist eine Schwächung des Bodenschutzes durch Abweichungsbefugnisse der Länder für best. Sachgebiete wie z. B. Raumordnung und Naturschutz denkbar. Beispielsweise ist die im BNatSchG verankerte flächendeckende Landschaftsplanung gefährdet, da sie von den Abweichungsbefugnissen der Länder umschlossen wird (vgl. BT-Drs. 16/813, S. 11; SRU, S. 11f). Da es sich um ein Instrument mit Bedeutung für den vorsorgenden Bodenschutz handelt, ist dieser Umstand als problematisch einzustufen. Dies gilt auch für weitere Instrumente des Naturschutzes, wie z. B. Schutzgebietsausweisungen.

Hinzu kommt, dass u. U. verpflichtende Vorgaben des Raumordnungsgesetzes durch modifizierte Landesgesetze ausgehebelt werden könnten (vgl. Kment, S. 220f). Dies hätte für die Einführung handelbarer Flächenausweisungsrechte zur Begrenzung des Bodenverbrauchs negative Folgen. Eine verbindliche Kontingentierung auf Bundesebene könnte evtl. durchbrochen werden (vgl. Bovet, S. 478). In der Konsequenz sind negative Auswirkungen sowohl auf den qualitativen als auch den quantitativen Bodenschutz denkbar.

Grundsätzlich bringt die Möglichkeit der Abweichungsgesetzgebung Schwierigkeiten mit sich. In einigen Ländern könnte Bundesrecht, in anderen hingegen Landesrecht Gültigkeit entfalten und sich der jeweilige Rechtszustand dynamisch ändern, denn das Verhältnis von Bundes- zu Landesrecht wird entgegen Art. 31 GG über die sog. lex posterior-Regel bestimmt. Diese erteilt dem jeweils späteren Gesetz Vorrang (vgl. Art. 72 (3) 3 GG; BT-Drs. 16/813, S. 11f.). Für den Rechtsanwender resultieren hieraus Unsicherheiten, welche Regelungen für ihn Gültigkeit besitzen (vgl.

Papier, S. 2147). Zudem sind unterschiedliche Standards eine mögliche Folge der Abweichungsbefugnisse (vgl. SRU, S. 9).

Darüber hinaus wird den Ländern im Bereich des Verwaltungsverfahrenrechts gemäß Art. 84 (1) GG prinzipiell das Recht zur Abweichung von bundesgesetzlichen Regelungen zugestanden. Im Gegenzug entfällt für diese Bereiche die Zustimmungspflichtigkeit des Bundesrates. Verfahrensrechtliche Vorschriften zum Bodenschutz könnten hiervon betroffen sein, sofern der Bund nicht abweichungsfestes Verwaltungsverfahren schafft, welches dann wiederum der Zustimmungspflichtigkeit unterläge.

Als weitere Problematik ist anzusehen, dass die sog. abweichungsfesten Kerne, zu denen beispielsweise die Grundsätze des Naturschutzes zählen, in ihren Konturen unbestimmt sind (vgl. Schrader, S. 9; SRU 7). Auch die anvisierte Europarechtskompatibilität ist zumindest im Umweltbereich infrage zu stellen, da auf die Aufnahme eines umfassenden

Kompetenztitels »Umweltschutz« verzichtet wurde. Dies wäre eine wichtige Voraussetzung gewesen, um die strukturellen Unterschiede zwischen europäischem und deutschem Umweltrecht zu verringern (vgl. SRU, S. 9; Epiney, S. 2f).

### 4. Positive Aspekte

Als positiver Aspekt der Reform ist beispielsweise die Einführung des Art. 104 a (6) GG zu sehen. Dieser bestimmt, dass die Länder gegebenenfalls zur Lastentragung bei Verletzungen supranationaler und völkerrechtlicher Verpflichtungen herangezogen werden. Hierdurch erhöht sich für die Länder der Druck, europarechtskonform zu agieren (vgl. Frank, S. 3). Zudem ermöglicht die Neustrukturierung der Gesetzgebungskompetenzen, insbesondere der Wegfall der Rahmenkompetenz, den Erlass eines Umweltgesetzbuches. Über die Qualität eines derartigen Werkes bestehen hingegen unterschiedliche Auffassungen (vgl. Oeter, S. 26f; Grandjot, S. 100; Kloepfer, S. 9).

### 5. Fazit

Eine Stärkung des Bodenschutzes in Verbindung mit einer Vereinfachung der Rechtslage wurde versäumt, da auf die Implementierung eines ausdrücklichen Kompetenztitels »Bodenschutz« in das Grundgesetz verzichtet wurde. Viele offene Fragen gehen mit der Föderalismusreform einher. Dazu zählt auch, wie weit die allgemeinen Grundsätze des Naturschutzes auszulegen sind. Für Klarheit werden vermutlich die Gerichte sorgen müssen.

Quellen: Jana Bovet, Handelbare Flächenausweisungsrechte als Steuerungsinstrument zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme, NuR 8/2006; BT-Drs. 13/6701, Entwurf eines Gesetzes zum Schutz des Bodens, 14.01.97; BT-Drs. 16/813, Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Grundgesetzes, 07.03.2006. BGBl, Gesetz zur Änderung des Grundgesetzes vom 28.08.2006; BVerfG, 2 BvF 2/02 vom 27.7.2004, Absatz-Nr. 127 - 135, »Juniorprofessur«, BVerfG, 2 BvF 1/03 vom 26.1.2005, Absatz-Nr. 66-68 »Studiengebühren«; Christoph Degenhart, Bundeskompetenz für ein Bodenschutzgesetz, ZRP 10/7; Astrid Epiney, Föderalismusreform und Europäisches Umweltrecht, Mai 2006, <http://www.bundestag.de>; Götz Frank, Stellungnahme zu den Strukturelementen der Reform (Allg. Teil), <http://www.bundestag.de>; René Grandjot, Die Neuregelung der Umweltkompetenzen nach dem Koalitionsvertrag, UPR 3/2006; Michael Kloepfer, Öffentliche Anhörung des Rechtsausschusses des Deutschen Bundestages zur Föderalismusreform - Umweltschutz am 18.5.2006, <http://www.bundestag.de>; Martin Kment, Zur angestrebten Änderung der Gesetzgebungskompetenz im Bereich der Raumordnung, NuR 4/2006; Stefan Oeter, Neustrukturierung der konkurrierenden Gesetzgebungskompetenz, Veränderung der Gesetzgebungskompetenz des Bundes, in: Christian Starck (Hrsg.), Föderalismusreform, München 2007; Hans-Jürgen Papier, Aktuelle Fragen der bundesstaatlichen Ordnung, NJW, 30/2007; Christian Schrader, Schriftliche Stellungnahme als Sachverständiger für die Anhörung des Rechtsausschusses des Deutschen Bundestages sowie des Bundesrates zur Föderalismusreform im Umweltbereich, Mai 2006, <http://www.bundestag.de>; SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen, Der Umweltschutz in der Föderalismusreform - Stellungnahme, Februar 2006.

# Flächenmanagement und Bodenversiegelung in Ober-, Mittel- und Unterzentren des Freistaates Sachsen

Volker Scherer<sup>1</sup>, Bernd Siemer<sup>2</sup>, Uwe Ferber<sup>3</sup>

## 1. Einleitung

Die Siedlungs- und Verkehrsfläche ist im Freistaat Sachsen seit Anfang der 1990er Jahre pro Tag um ca. 8 ha bzw. um ca. 1,5 % pro Jahr und damit schneller als im deutschen Durchschnitt gewachsen. Trotz abnehmender Bevölkerungszahlen vergrößert sich die Siedlungs- und Verkehrsfläche noch immer täglich um durchschnittlich 4,5 Hektar. Das Gesamtausmaß der siedlungswirtschaftlichen Zwecken dienenden Fläche hat 2006 mehr als 11,8 Prozent (= 217.568 Hektar) der Landesfläche erreicht. Die bauliche Inanspruchnahme der natürlichen Ressource Boden verläuft entkoppelt: einem ständigen Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche steht eine kontinuierliche Abnahme der Bevölkerung gegenüber (Abbildung 1)

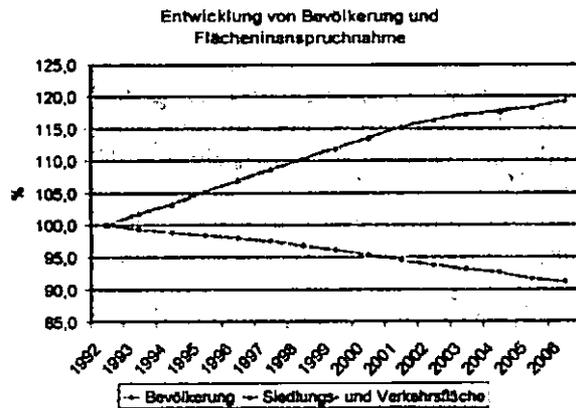


Abbildung 1: Entwicklung von Bevölkerung und Flächeninanspruchnahme in Sachsen

## 2. Das Modellvorhaben

Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken wurde von Seiten des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie eine Initiative zur Einführung eines kommunalen Flächenmanagements ins Leben gerufen und das Modellvorhaben „Kommunales Flächenmanagement in Ober-, Mittel- und Unterzentren des Freistaates Sachsen“ initiiert.

Neben ökologischen Aspekten wie der Zunahme der Bodenversiegelung und einer damit verbundenen Zerstörung natürlicher Bodenfunktionen sowie einer wachsenden Inanspruchnahme und Zerschneidung des Freiraumes stellt sich auch eine ökonomische Forderung nach einer Reduzierung des Flächenverbrauchs und nachhaltigen Flächennutzung.

Daher wurde in dem von Oktober 2004 bis Oktober 2006 durchgeführten Modellvorhaben „Kommunales Flächenmanagement in Ober-, Mittel- und Unterzentren des Freistaates Sachsen“ ein in den Randbedingungen übertragbares Modell kommunalen Flächenmanagements für Sachsen erarbeitet und in drei Pilotkommunen erprobt. Es beinhaltet eine für die Situation in Sachsen zugeschnittene Definition zu erfassender Flächenressourcen, eine darauf basierende Erfassungsmethodik zur Erhebung der Flächenpotenziale, Datenbanktools zur Verwaltung der Daten und die Integration von GIS-Tools zur Visualisierung der Informationen des kommunalen Flächenmanagementsystems.

Auf dieser Basis sollten wirksame Initiativen und Instrumente zur Eindämmung des Flächenverbrauchs und zum Schutz von Böden analysiert und entwickelt werden. Zudem sollten aus den in den Pilotkommunen gewonnenen Erkenntnissen Handlungsempfehlungen zur Reduzierung des Flächenverbrauchs im Freistaat Sachsen abgeleitet werden.

## 3. Die Datenbank des kommunalen Flächenmanagement

Zur Erfassung, Ablage und Verwaltung der durchgeführten Datenerhebungen im Rahmen des kommunalen Flächenmanagements wurde für die drei Pilotkommunen auf Basis des relationalen Datenbanksystems Microsoft Access eine eigenständige Flächenmanagement-Datenbank aufgebaut.

Mit der Datenbank des Flächenmanagementsystems können alle Sachdaten der Vor-Ort-Erhebungen, die ergänzenden Planungsinformationen sowie die Informationen zur Bewertung der Bodenfunktionalität im Außenbereich der Pilotkommunen (stofflicher und nichtstofflicher Bodenschutz) erfasst, abgerufen und verwaltet werden. Mit Hilfe der integrierten Recherche- und Abfragemodule lässt sich in der Datenbank gezielt nach Informationen suchen. Ausgewählte Daten können als Bericht (Übersichten, Tabellen oder Diagramme) sowie als EXCEL- bzw. ASCII-Datei zur weiteren Verarbeitung ausgegeben werden. Neben den jeweiligen flächenbezogenen Sachinformationen sind auch digitale Fotoaufnahmen der erfassten Standorte in der Datenbank abgelegt, die jederzeit abrufbar sind. Zudem wurde ein Bewertungstool integriert mit dem eine Erstbewertung der Flächen ermöglicht wird (Mobilisierungsaufwand, städtebauliches Potenzial und Strategie-Empfehlung). Das Flächenmanagementsystem ist inhaltlich fortschreibbar, für die Pilotkommunen ohne Datenverlust direkt nutzbar und in seinen Randbedingungen auf ganz Sachsen übertragbar.

Mit Hilfe des angebandenen FreeGIS ist eine räumliche Darstellung der Flächen und der Bewertungsergebnisse möglich. Über die ODBC-Schnittstelle von MS Access können aber auch die kommunalen GIS-Programme problemlos auf die Daten des Flächenmanagementsystems zurückgreifen.

G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH; Postfach 1162; 09581 Freiberg; v.scherer@geosfreiberg.de<sup>1</sup>  
Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Postfach 800132, 01101 Dresden, Bernd.Siemer@smul.sachsen.de<sup>2</sup>  
Projektgruppe Stadt - Entwicklung, Stieglitzstraße 84, 04229 Leipzig, uwe\_ferber@projektstadt.de<sup>3</sup>

#### 4. Bodenschutzbewertung gemäß Bodenbewertungsinstrument des LFUG

Die Bewertung der Böden und Bodenfunktionen im Außenbereich der drei Pilotkommunen erfolgte auf der Grundlage des Bodenbewertungsinstrumentes des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie [http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lflug/lflug-internet/boden\\_13458.html](http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lflug-internet/boden_13458.html).

Ziel des Sächsischen Bodenbewertungsinstrumentes ist es, den Bodenzustand zu erfassen, und zu bewerten, in dem anhand verschiedener Parameter der Erfüllungsgrad der ökologischen Funktionen der Böden abgeschätzt wird. Dadurch sollen Böden ermittelt werden, die eine hohe Schutzwürdigkeit bzw. Schutzbedürftigkeit aufweisen oder deren natürliche Bodenfunktionen durch anthropogene Beeinträchtigungen nicht oder nur noch eingeschränkt erfüllt werden können. Eine hohe Schutzwürdigkeit ergibt sich für Böden mit einer hohen Leistungsfähigkeit im Naturhaushalt bzw. einer Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte. Schutzbedürftig dagegen sind Böden, die empfindlich gegenüber bestimmten Wirkfaktoren sind. Bewertungsgegenstand sind die natürlichen Bodenfunktionen sowie die Funktion des Bodens als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte.

Zur Visualisierung der Bewertungsergebnisse lässt sich vom Formular zur Bodenbewertung aus auf drei GIS-Projekte zugreifen. Im ersten Projekt sind die Empfindlichkeiten der Böden gegenüber Stoffeinträgen und Änderungen der Wasserverhältnisse zusammen gestellt. Das zweite GIS-Projekt enthält die Bewertungsergebnisse der Bodenteilfunktionen. Die Abwägungsempfehlung einschließlich einer Übersicht zu den Bodentypen und zur Flächennutzung ist im dritten Projekt dargestellt. Abbildung 2 zeigt die Benutzeroberfläche des GIS-Viewers mit Zugriff auf die Bodenteilfunktionen.

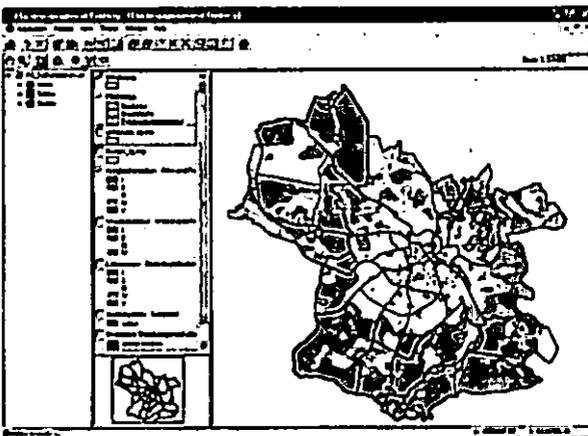


Abbildung 2: Visualisierung der Bodenbewertung (Beispiel Bodenteilfunktionen)

#### 5. Stoffliche Bodenbelastung

Zusätzlich sind auch Informationen zur stofflichen Bodenbelastung aus der Datenbank abrufbar. Diese sind ebenfalls in einem GIS-Projekt zusammengefasst und können vom Formular „Bodenbewertung“ ausgehend aufgerufen werden. Das GIS-Projekt enthält eine Flächendarstellung der Elementgehalte an Arsen, Blei

und Cadmium, jeweils klassifiziert nach den Prüfwerten der Bundes-Bodenschutz-Verordnung (BBodSchV 1999). In Abbildung 3 ist die Schadstoffsituation am Beispiel von Arsen ersichtlich.

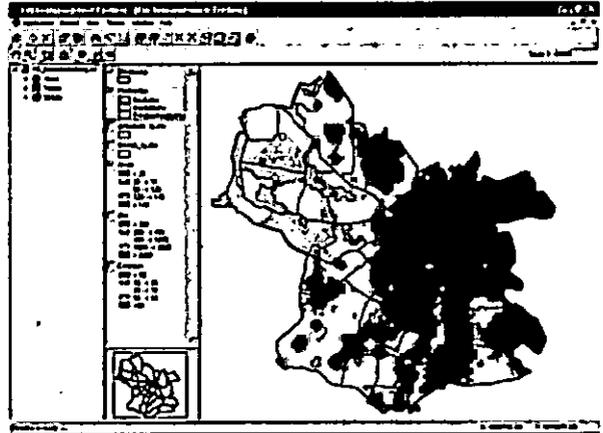


Abbildung 3: Visualisierung der stofflichen Bodenbelastung (Beispiel Arsen)

#### 6. Resümee

Mit dem im Rahmen dieses Vorhabens vorgelegten Flächenmanagementsystem verfügt der Freistaat Sachsen erstmals über einen auf die Situation der Neuen Bundesländer zugeschnittenen Ansatz zum kommunalen Flächenmanagement. Das System ist übertragbar und kann in den unterschiedlichen siedlungsstrukturellen Typen der Ober-, Mittel- und Unterzentren eingeführt werden. Hauptanwendungsfelder des Systems auf der kommunalen Ebene sind:

- kommunale Steuerungsaufgaben beim vorsorgenden Bodenschutz und bei der Brachflächenrevitalisierung mit dem Ziel leistungsfähige Böden bei der Bauleitplanung zu schützen und den Versiegelungsgrad im Siedlungsbestand und bei neuen Planungen zu minimieren
- Ausgleichsflächenmanagement
- Steuerung und Monitoring im Programm Stadtbau Ost sowie allgemeines Leerstandsmonitoring
- Baulückenmobilisierung in Kooperation mit den privaten Eigentümern
- Erstellung und Fortschreibung von Städtebaulichen Entwicklungskonzepten (SEKo)
- Siedlungsflächenmonitoring im Rahmen der kommunalen Bauleitplanung

Das Erfassungs- und Bewertungstool steht für einen Einsatz in Kommunen oder Planungsverbänden zur Verfügung.

Weiterführende Informationen finden Sie unter der Internetadresse:

[http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lflug/lflug-internet/boden\\_13402.html](http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lflug/lflug-internet/boden_13402.html)

## **Bodenbewertungsinstrument Freistaat Sachsen**

Bernd Siemer<sup>1</sup>

Steigende Flächenansprüche für Siedlungs- und Verkehrszwecke sind die wesentlichen Ursachen für den Verlust wertvoller Böden und natürlicher Bodenfunktionen. In der Folge werden Wirkungen ausgelöst, die sich u.a. auf den Naturhaushalt der Region negativ auswirken und zu weiteren Störungen im Naturhaushalt führen können, die nicht zuletzt in erhebliche finanzielle Belastungen der jeweiligen örtlichen Liegenschaften bzw. im Landeshaushalt münden (z.B. Hochwasserschutz). U.a. vor diesem Hintergrund ist es erforderlich, die Aspekte des vorsorgenden Bodenschutzes in Planungs- und Genehmigungsverfahren zu stärken.

### ***Warum ein Bodenbewertungsinstrument?***

Für die unterschiedlichen Planungs- und Genehmigungsverfahren sowie vielen weiteren Untersuchungen ist es notwendig

- den Zustand und die Ausprägung der betreffenden Böden zu kennen,
- die Funktionserfüllung der Böden im Naturhaushalt zu bewerten,
- den Boden als Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung mit heranzuziehen,
- den Verlust und die Beeinträchtigung natürlicher Bodenfunktionen zu vermeiden und zu minimieren und
- Aspekte des vorsorgenden Bodenschutzes in Planungs- und Genehmigungsverfahren des Freistaates Sachsen zu stärken.

Die empfohlenen Bewertungskriterien orientieren sich an dem derzeitigen fachlichen Diskussionsstand sowie der in Sachsen verfügbaren Datengrundlagen.

### ***Datengrundlagen***

Für die Bewertung des Bodens werden die folgenden Varianten in verschiedenen Aufnahme- und Auswertungsmaßstäben unterschieden:

- Daten der Bodenkundlichen Landesaufnahme (KA4/KA5),
- Daten der Bodenschätzung,
- weitere Daten (z.B. Bodennutzung, Bodenbelastung).

### ***Bewertung***

Die Bodenbewertung ist jeweils auf der Polygonebene (Bodenkarte) durchzuführen und umfasst zurzeit die folgenden Durchführungen:

- Charakterisierung der Vorbelastung: nachrichtliche Übernahmen, z.B. Altlastensituation, Bodenversiegelung
- Bewertung von Bodenteilfunktionen: Archiv der Natur- und Kulturgeschichte, Lebensraum für Pflanzen, Bestandteil des Wasserkreislaufs, Filter und Puffer für Schadstoffe
- Bewertung von Bodenempfindlichkeiten Erosion durch Wasser Änderungen der Wasserverhältnisse Stoffeinträge

Die Formulierung der Funktionserfüllung bzw. Schutzwürdigkeit und Bodenempfindlichkeit erfolgt in 5 Bewertungsstufen nach ausgewählten Kriterien (s. Tab. 1). Für die Berechnung des Erfüllungsgrades der Bodenteilfunktionen sind die Vorbelastungen der Böden (s.o.) für eine bodenschutzorientierende Abwägungsempfehlung zu berücksichtigen.

Für die Abwägungsempfehlung werden nach der Bewertung der bodenschutzfachlichen Eigenschaften die Böden folgendermaßen eingestuft:

- vor baulicher Nutzung zu schützende Fläche,
- Optionsfläche für bodenbezogene Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen bzw. für nachrangige bauliche Entwicklung,
- bei Bedarf primär zu nutzende Fläche.

<sup>1</sup> Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Postfach 800132, 01101 Dresden, [Bernd.Siemer@smul.sachsen.de](mailto:Bernd.Siemer@smul.sachsen.de)

Bodenteilfunktionen und Bodenempfindlichkeiten	Kriterium	Parameter
Archiv der Natur- und Kulturgeschichte	Seltenheit	Häufigkeit
	Landschafts- und kulturgeschichtliche Bedeutung	Anhaltspunkte, Offene Liste
	Naturnähe	Anhaltspunkte, Nutzungen
Lebensraum für Pflanzen	Natürliche Bodenfruchtbarkeit	Bodenwertzahlen, Pflanzenverfügbares Wasser
	Standorteigenschaften für „Spezialisten“	Bodenwertzahlen, Pflanzenverfügbares Wasser, Basensättigung
Bestandteil des Wasserkreislaufs	Wasserspeichervermögen	Bodenwertzahlen, pflanzenverfügbares Wasser
Filter und Puffer für Schadstoffe	Filter und Puffer für Schadstoffe	Klassenzeichen, KAK, LK
Erosion	Erosion durch Wasser	Bodenart, Entstehung, K-Faktor, Zustandsstufe
Änderung der Wasserhältnisse	Standorteigenschaften	Bodenwertzahlen, Pflanzenverfügbares Wasser, Basensättigung
Stoffeinträge	Filter- und Puffervermögen	Klassenzeichen, KAK, LK

Tab. 1: Bodenteilfunktionen/Bodenempfindlichkeiten und Kriterien/Parameter für ihre Bewertung

### Fazit und Ausblick

- Das sächsische Bodenbewertungsinstrument bewertet Bodenteilfunktionen und Bodenempfindlichkeiten hinsichtlich ihres Zustandes und ihrer Ausprägungen.
- Die Bewertung des Bodens ist an die sächsischen Datengrundlagen angepasst und kann in moderater Zeit durchgeführt werden.
- Einsatzorte für das Bodenbewertungsinstrument sollen die räumlichen Fachplanungen sein, für eine stärkere Berücksichtigung des vorsorgenden Bodenschutzes bei Entscheidungsfragen für eine nachhaltige Flächennutzung.
- Das Bodenbewertungsinstrument ist offen, weitere bodenschutzfachliche Entwicklungen sind wünschenswert und erforderlich.

### Literatur

- ARBEITSGRUPPE BODEN der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*, 5. verbesserte und erweiterte Auflage (KA 5), Hannover, Stuttgart (Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- ARBEITSKREIS BODENSCHUTZ beim Umweltministerium Baden-Württemberg (1995): *Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit - Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren* (Heft 31), Umweltministerium Baden-Württemberg [Hrsg.].
- ARBEITSKREIS STADTBÖDEN (1996): *Kartieranleitung Stadtböden - 4. Entwurf*, Sekretariat Büro für Bodenbewertung Kiel, unveröffentlicht.
- BUNDESVERBAND BODEN e. V. Fachausschuss 3.1 Bewertung von Böden in der Bauleitplanung (2001): *Bodenschutz in der Bauleitplanung - Vorsorgeorientierte Bodenbewertung*, BVB-Materialien Band 6, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- SAUER, S. (1999): *Nutzung der Bodenschätzung zur Erstellung von Bodenfunktionskarten, dargestellt am Beispiel der nutzbaren Feldkapazität*, DBG-Mitteilungen 1991, S. 1076-1079

Das Bodenbewertungsinstrument ist mit Auswertungsbeispielen für den Freistaat Sachsen verfügbar unter:

[http://www.lfug.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/boden\\_13458.html](http://www.lfug.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/boden_13458.html)

# Säureinduziertes Puffervermögen von Forstböden in NO-Bayern

Zuber, T.<sup>1</sup>, Hangen, E.<sup>1</sup>, Joneck, M.<sup>2</sup>

## Einleitung

Die Grundgebirgskette im Grenzgebiet NO-Bayern/Tschechien stellt eine topographische Barriere für den Schadstoffeintrag durch atmosphärische Deposition dar. Die dortigen Böden entwickelten sich fast ausschließlich auf basenarmem Ausgangssubstrat. Trotz stark zurückgehender Schwefelmissionen seit Beginn der 90er Jahre zeigen die Waldböden nachhaltig Versauerungserscheinungen und erhöhte Schadstoffkonzentrationen. Um die ökologische Stabilität des Gebietes zu bewerten, wurde in einem bayrisch-tschechischen EU-Projekt (INTERREG IIIA) eine flächenhafte Erfassung der versauerungsrelevanten Parameter der Böden durchgeführt: Horizontweise Bestimmung der Säureneutralisationskapazität (SNK), der effektiven Kationenaustauschkapazität sowie wasserlöslicher Stoffe und mobilisierbarer Sulfatpools.

Ziele des bayerischen Teilprojektes sind u. a.

- die flächenhafte Berechnung von Critical loads (CL) für das Untersuchungsgebiet,
- die Bestimmung des potentiellen Puffervermögens der Böden gegenüber Säurebelastungen,
- die Quantifizierung der säureinduzierten Freisetzung von Al, Fe und Schwermetallen aus den Böden.

Die aktuelle Versauerung, das Puffervermögen der Böden gegenüber potentiellen Säureinträgen und die damit verbundene mögliche Mobilisierung von Schadstoffen sollen dadurch abgeschätzt werden. Durch die Erstellung einer CL-Karte können gegenüber Säureinträgen

besonders empfindliche Standorte herausgestellt werden. Kleinräumige Abstufungen der Belastung und der Ökosystemstabilität sollen dargestellt werden, um damit gezielt geeignete Meliorationsmaßnahmen ableiten zu können.

## Methoden



Abb. 1: Untersuchungsraum mit Probenahmepunkten

Die Berechnung der CL erfolgt nach dem Massenbilanzansatz (UBA, 1996, Abb. 2). Für jeden Gleichungsparameter wird für das Untersuchungsgebiet (Abb. 1) eine Karte der räumlichen Verteilung erstellt. Mittels Map Algebra erfolgt die Berechnung der CL durch Verschneidung der Einzelkarten (Abb. 2).

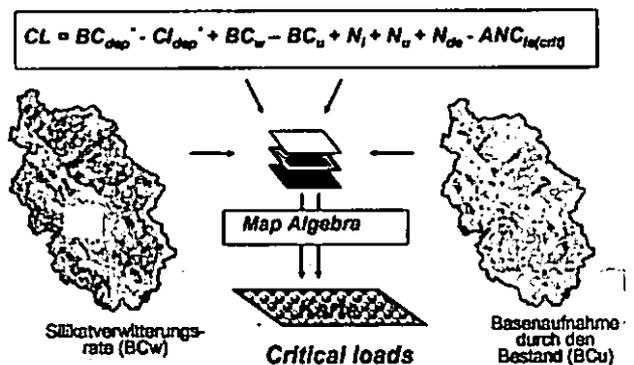


Abb. 2: Schematische Darstellung der Berechnung der Critical loads für das Untersuchungsgebiet

Die Laboranalysen werden an 83 Nadel-/Mischwaldstandorten im N-Teil des bayerischen INTERREG IIIA Gebiets (9567 km<sup>2</sup>) durchgeführt (Abb. 1). Zur Ermittlung der SNK wird in einem pH<sub>stat</sub>-Versuch über Säuretritation (24 h) ein konstanter pH-Wert von 3 eingestellt, wobei die verbrauchte Säuremenge Aufschluss über das potentielle Puffervermögen des Bodenmaterials gibt. Das Eluat wird auf

<sup>1</sup> Bayerisches Landesamt für Umwelt, Vorsorgender Bodenschutz, Bodenmonitoring, 95030 Hof

<sup>2</sup> Bayerisches Landesamt für Umwelt, Klimawandel, 95030 Hof

Kontakt: tobias.zuber@lfu.bayern.de

### Literatur:

UBA (1996): Manual on methodologies and criteria for mapping Critical Levels/Loads. Gewässerversauerung in der Bundesrepublik Deutschland. Texte 71/96, UBA, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

DIN 38414-4:10.84 (1984): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S 4). Beuth-Verlag, Berlin.

versauerungsrelevante Inhaltstoffe wie basische Kationen (Ca, Mg, K, Na), Kationensäuren (Fe, Al, Mn), Schwermetalle (Zn, Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Mo, Co, As), DOC und die Anionen Sulfat und Ortho-Phosphat analysiert. Die Eluation mit Wasser (S4-Eluat) erfolgt in Anlehnung an die DIN 38414-4 (1984), wobei im Eluat die basischen und sauren Kationen sowie Sulfat und Phosphat quantifiziert werden.

**Vorläufige Zwischenergebnisse**

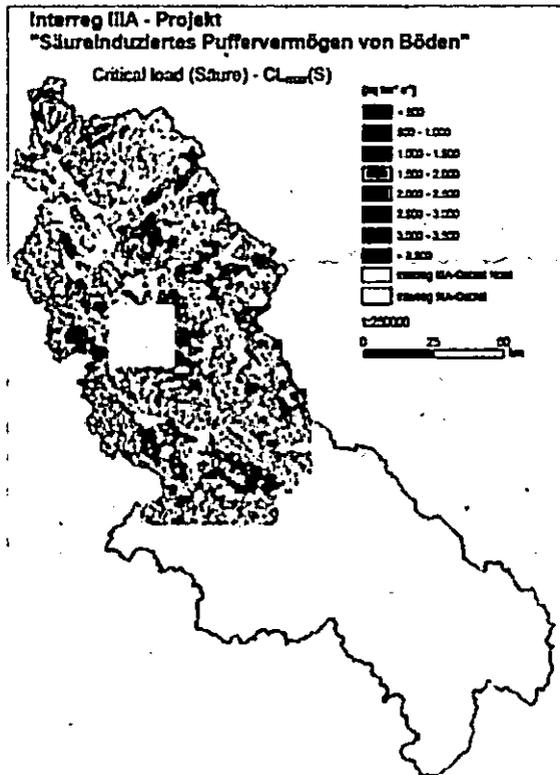


Abb. 3: Karte der Critical loads (CL<sub>max</sub>(S)) für das nördliche INTERREG IIIA Gebiet

Die hochaufgelöste Berechnung der CL (Abb. 3) ergibt hohe Werte auf der fränkischen Alb (Kalk) am westlichen Rand des Untersuchungsgebietes und sehr niedrige CL auf den östlicher gelegenen Sandstandorten (dunkel) und in Teilen des granitischen Fichtelgebirges (NO).

Die SNK, die bisher an einem Teildatensatz von 25 Standorten (128 Proben) bestimmt wurde, ist im Oberboden flächendeckend weitgehend erschöpft, während Auflage, Unterboden und Untergrund gleiche SNK aufweisen (Abb. 4, Tab. 1). In der Auflage werden insbesondere noch Ca und Mg ausgetauscht, während im Unterboden und Untergrund Al in großem Maße durch eine pH-Absenkung auf pH 3 mobilisiert wird (Tab. 1). Die hohen Fe-Gehalte in Verbindung mit relativ geringen Al-Gehalten in den Eluaten der Oberböden weisen darauf hin,

dass sich diese Horizonte flächendeckend zu einem Großteil bereits im Eisenpufferbereich befinden.

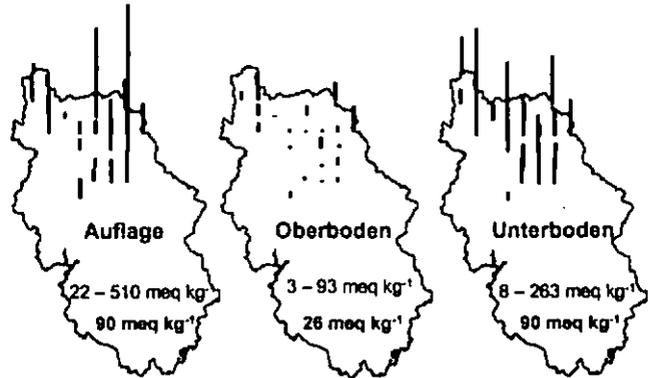


Abb. 4: Schematische räumliche Verteilung der SNK in Auflage, Ober- und Unterboden im nördlichen Untersuchungsgebiet, darunter Min-Max-Spanne und mittlere SNK

Tab. 1: Mittlere Elementgehalte im pH<sub>stat</sub>-Eluat und SNK im nördlichen Untersuchungsgebiet in Auflage, Ober-, Unterboden und Untergrund

	Al	Fe	Mn	Ca	Mg	SNK
	(mg/kg)					(meq/kg)
Auflage	214	85	235	1600	370	90
Oberboden	247	120	47	166	60	26
Unterboden	729	29	54	260	60	90
Untergrund	821	5	30	244	32	90

Tab. 2: Al-Gehalte im S4-Eluat und im pH<sub>stat</sub>-Eluat

	S4 (Wassereextrakt, aktueller pH)			pH <sub>stat</sub> (pH 3)		
	Min	Max	Mittelwert	Min	Max	Mittelwert
	mg/kg			mg/kg		
Auflage	1.9	140	51	110	360	214
Oberboden	6.1	160	64	83	520	247
Unterboden	1.4	122	26	73	2400	729
Untergrund	1	97	13	24	4900	821

Al-Gehalte im pH<sub>stat</sub>-Extrakt sind deutlich höher als im S4-Extrakt, insbesondere im Unterboden und Untergrund. Auch dieser Vergleich deutet darauf hin, dass in den Oberböden bereits ein Großteil des Al-Puffers verbraucht wurde (Tab. 2). Im Unterboden könnten jedoch bei Abfall des pH-Wertes auf pH 3 große Mengen Al mobilisiert werden, was eine Bedrohung insbesondere der Grundwasserqualität darstellt.

**Ausblick**

Aufgrund der hoch aufgelösten, tiefenstufenbezogenen Bestimmung des Puffervermögens und der Abschätzung möglicher Schwermetallausträge ins Grundwasser und in die Vorfluter können in Absprache mit den Forstverwaltungen gezielt kleinräumige Meliorationsmaßnahmen durchgeführt werden. Daneben müssen Strategien zur Vermeidung einer tiefer fortschreitenden Versauerungsfront in den Böden des Untersuchungsraums entwickelt werden.

**MITTEILUNGEN**  
**DER**  
**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN**  
**GESELLSCHAFT**

**Referate, Poster AG „Bodenökologie“**

Band 110

Heft 2

2007



# Räumliche Variabilität von C-Vorräten in der Humusauflage von Waldböden als Funktion der Kronendachstruktur

C. Penne\*, J. Böttcher\*, B. Ahrends\* und M. Deurer\*\*

## 1 Einleitung

Humusaufgaben saurer Waldböden stellen dynamische Stoffspeicher dar. Die gespeicherten Stoffmengen sind das Ergebnis von Input (Streufall) und Abbau (Mineralisierung). Die räumliche Variabilität des Streufalls und der abiotischen Mineralisierungsfaktoren am Waldboden wird direkt durch die Kronendachstruktur gesteuert. Unsere Hypothese lautet, dass diese Zusammenhänge eine indirekte Abschätzung der Bestandesvorräte aus Kenntnis der Baumkronenverteilung ermöglichen. Für eine erste Bewertung wurden die räumlichen Ähnlichkeitsbereiche der Kohlenstoffvorräte horizontspezifisch beprobt.

Als Gesamtziel des Projekts sollen Speicherung und Mineralisierung auf der Bestandesskala als Funktion der Kronendachstruktur modelliert und von den Punktmessungen auf die Fläche gebracht werden (Upscaling).

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Untersuchungsbestand

Der Untersuchungsbestand liegt im Trinkwassergewinnungsgebiet Fuhrberger Feld (30 km nordöstlich von Hannover). Die 50 jährigen Kiefern (*Pinus sylvestris L.*) stocken mit ca. 800 Stämmen pro Hektar auf einem grundwasserfernen Podsol aus Talsanden. Der Kronenüberdeckungsgrad der Untersuchungsfläche beträgt etwa 50%.

### 2.2 Kronendachklassifizierung

Die Quantifizierung des Kronendachs erfolgte mittels hemisphärischer Photographie und anschließender Ausweisung von Kronenklassen in Abhängigkeit des Kronenüberdeckungsgrades jedes Photos (pro  $0,25\text{m}^2$ ). Dieser wurde über die Anzahl schwarzer Pixel definiert. Die Klassifizierung wurde in Anlehnung an Jenssen (1996) nach Fuzzy logic vorgenommen. Dabei sind 65-100% Überdeckung zur Klasse „Kronenkern“ zusammengefasst, 13-64% zum „Kronenrand“ und 0-12% zu „Freibereichen“. Abbildung 1 zeigt die zusammengesetzte Kronenkarte der Einzelphotos, die als Grundlage für die klassenspezifische Beprobung dient. Dabei repräsentiert jeder Photoausschnitt einen potentiellen Probenahmeort zur Bestimmung des C-Vorrates. Die Auswahl der Punkte erfolgt zufällig, bei gleicher Probenanzahl je Klasse. Der Ansatz unterstellt senkrecht vertikale Zusammenhänge.

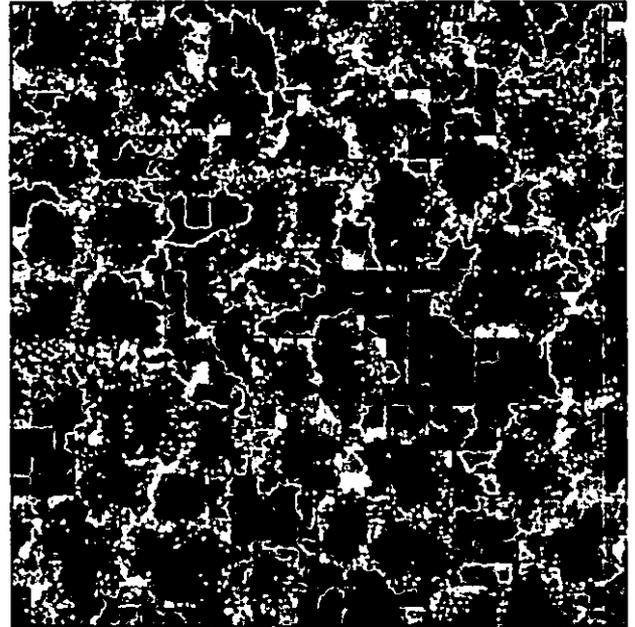


Abb. 1: Photographische Kronenkarte

### 2.3 Beprobung der Humusaufgabe

Es wurden 150 kronenklassenspezifische Proben genommen und nach Horizonten getrennt untersucht. Zur Berechnung der C-Vorräte erfolgte die Beprobung volumenbezogen mit anschließender Bestimmung der Corg-Gehalte.

## 3 Erste Ergebnisse

Für eine erste Bewertung der Zusammenhänge wurden die räumlichen Strukturen der gemessenen C-Vorräte ( $n = 150$ ) durch omnidirektionale Variogramme quantifiziert (Webster & Oliver 2001). Die Berechnungen erfolgten mit der Software Variowin 2.2. Die Semivarianz wurde dabei auf die Stichprobenvarianz normiert. Abbildung 2 zeigt eine für Kiefernbestände typische (Liski 1995, Bens et al. 2006) Autokorrelationslänge (range = 3,8m) der Kohlenstoffvorräte im Auflagehumus (Of+Oh-Horizonte). Diese stimmt außerdem gut mit der von Böttcher et al. (1997) und Böttcher & Strebel (1988) beschriebenen Kronenstruktur, sowie der Kronengröße des Untersuchungsbestandes überein.

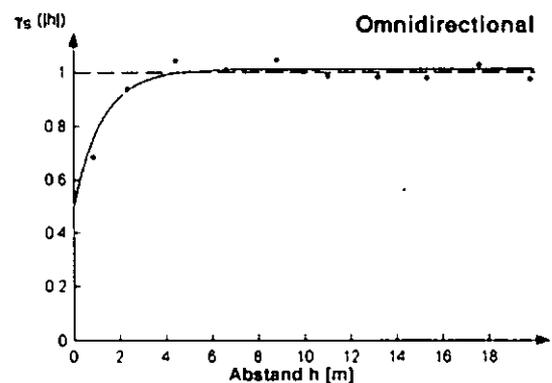


Abb.2: Variogramm für den C-Vorrat in der Humusaufgabe (Of+Oh) (range = 3,8, nugget: 0,5)

\* Inst. f. Bodenkunde, Universität Hannover

\*\* HortResearch, Palmerston North, Neuseeland

Kontakt: penne@ifbk.uni-hannover.de

Die nugget-Varianz deutet allerdings darauf hin, dass die Variabilität des C-Vorrats neben der „Kronenstruktur“ auch durch kleinräumige, auf der Beprobungsskala zufällige Variation beeinflusst wird. In Abbildung 3 und 4 ist die Auswertung der Varianzstruktur getrennt nach Horizonten dargestellt. Es ist bemerkenswert, dass sich die Horizonte im range deutlich unterscheiden, der Of-Horizont wegen seiner Mächtigkeit aber klar die räumliche Gesamtstruktur dominiert. Der niedrigere range im Oh-Horizont (Abb.4) ist wahrscheinlich einer jüngeren Bestandesphase mit höheren Stammzahlen und kleineren Kronen zuzuordnen. Hinzu kommt ein geringerer nugget-Effekt, welcher sich ebenfalls mit einer geringeren Variation durch kleinere Bäume, aber auch stetigeren Bedingungen im Bestand mit der größeren Stammzahl jüngerer Bäume erklären lässt.

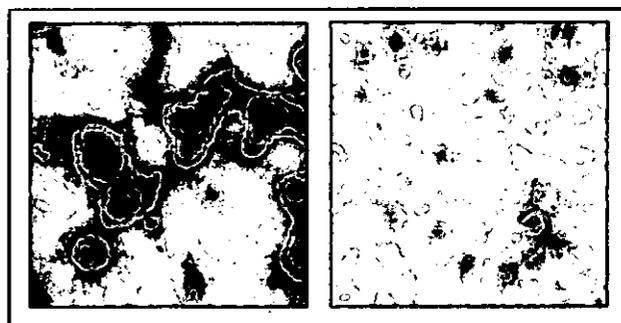


Abb. 5: Kriging-Interpolation der C-Vorräte (t/ha) im Of-Horizont (links) und Oh-Horizont (rechts)

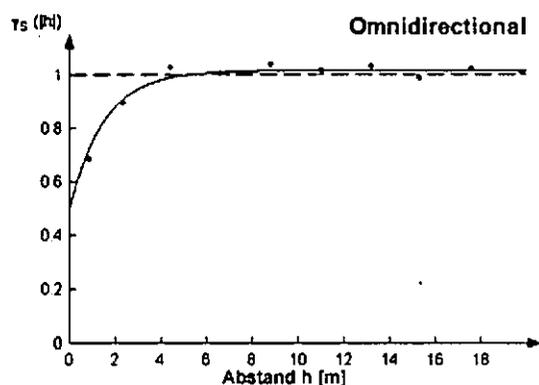
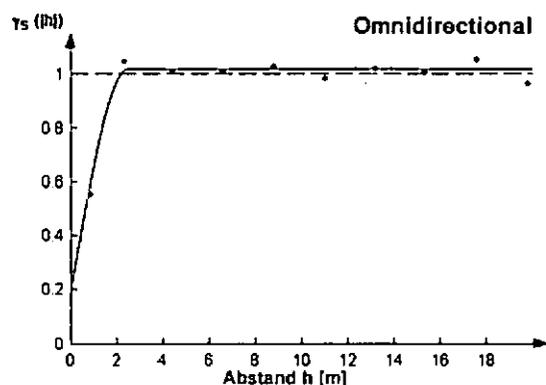


Abb. 3: Variogramm für den C-Vorrat in der Humusauflage (Of-Horizont) (range = 4,5, nugget: 0,5)



Die Abb. 4: Variogramm für den C-Vorrat in der Humusauflage (Oh-Horizont) (range = 2,2, nugget: 0,2)

Um die räumliche Abhängigkeit der C-Vorräte (t/ha) zu visualisieren (Abb.5) wurden diese mit einem GIS regionalisiert (Kriging-Interpolation). Die gewählte Klassenbreite beträgt 2,5 Tonnen C, wobei C mit zunehmender Farbintensität ansteigt. Die kleinräumigeren Strukturen des Oh-, gegenüber dem Of-Horizont sind deutlich zu erkennen.

#### 4 Fazit und Ausblick

Die deutlichen Unterschiede zwischen den Horizonten liefern einen entscheidenden Hinweis für die Existenz einer Abhängigkeit der räumlichen Vorratsvariation von der Baumkronenverteilung. Dabei ist für die weiteren Untersuchungen (insbes. das Upscaling) zu berücksichtigen, dass die aktuelle Kronensituation nur in dem jüngeren Of-Horizont wieder zu finden ist.

Bei der Überprüfung von Zusammenhängen zwischen Mineralisierungsfaktoren und C-Vorräten ergeben sich signifikante Korrelationen der C-Vorräte zum Wassergehalt im Oh- ( $r = 0,185$ ) und zum pH-Wert im Of-Horizont ( $r = 0,450$ ). Dieser Befund spiegelt nicht nur den Einfluss von Wassergehalt und pH-Wert auf die Stoffspeicherung/Mineralisierung wider, sondern unterstreicht auch die Bedeutung von horizontspezifischen Auswertungen bei der Beprobung von Humusaufgaben.

Für die Gesamtauswertung liefern die räumlichen Variabilitätsstrukturen die Basis für ein Upscaling punktförmiger Messungen auf die Bestandesskala.

#### 5 Literatur

Bens, O., U. Buczko, S. Sieber & R. F. Hüttl (2006): Spatial variability of O layer thickness and humus forms under different pine beech-forest transformation stages in NE Germany. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 169, 5-15.

Böttcher, J., S. Lauer, O. Strebel & M. Puhlmann (1997): Spatial variability of canopy throughfall and groundwater sulfate concentrations under a pine stand. *J. Environ. Qual.*, 26, 503-510.

Böttcher, J. & O. Strebel (1988): Spatial variability of groundwater solute concentrations at the water table under arable land and coniferous forest. Part 3: Field data for a coniferous forest and statistical analysis. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 151, 197-203.

Jensen, M. (1996): Fuzzy modelling of below-canopy precipitation in pine forests as a tool for scaling up water and element fluxes from measurement to ecosystem level. In: *Proceedings of Fuzzy 96. Fuzzy logic in engineering and natural sciences*. Zittau. 362-369.

Liski, J. (1995): Variation in soil organic carbon and thickness of soil horizons within a boreal forest stand - effect of trees and implications for sampling. *Silva Fennica*, 29, (4): 255-266.

Webster, R. & M. A. Oliver (2001): *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley & Sons. Chichester. 271 S.

Vielen Dank an die Deutsche Forschungsgemeinschaft für die Förderung dieses Projekts (BO 1299/5-1).

# Definition von Szenarien zu Agrarmaßnahmen und Modellierung der Wirkung auf den diffusen N-Austrag

E. Thiel<sup>1</sup>, U. Franko<sup>1</sup>

## 1 Einleitung

Im Rahmen der nach Europäischer Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) geforderten Erstellung von Bewirtschaftungsplänen wurde im Projekt "Entwicklung und Praxistest des Verfahrens *BASINFORM*" eine Methode zur Entscheidungsunterstützung für das Flussgebietsmanagement entwickelt.

## 2 Problemstellung

Für die Pilotgebiete des Erlbaches (105 km<sup>2</sup>) in Thüringen, der Reide (132 km<sup>2</sup>) in Sachsen-Anhalt und der Döllnitz (215 km<sup>2</sup>) in Sachsen, sollten für das Flussgebietsmanagement die Wirkungen von Agrarmaßnahmen auf diffuse N-Austräge geprüft werden. Für die Modellierungen der Agrarmaßnahmen in Form von Szenarien war eine möglichst genaue Abbildung der realen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung bedeutend.

## 3 Methodik

Die Methoden und Ergebnisse werden beispielhaft für das Pilotgebiet Döllnitz (Abb. 1) vorgestellt.

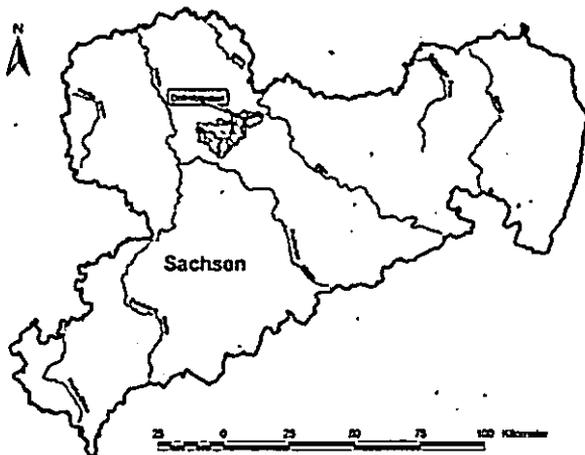


Abb. 1: Lage des Pilotgebietes Döllnitz in Sachsen.

Die Simulationen wurden mit dem Modell CANDY (Franko, 1989) durchgeführt. Die notwendigen Bodeninformationen wurden aus der Bodenübersichtskarte (BÜK) 1:200.000 abgeleitet. Messreihen von ausgewählten DWD-Klimastationen auf Tagesbasis bildeten Eingangsgrößen für die Klimakennwerte.

Für die Modellierungen wurden regionale konventionelle und ökologische Fruchtfolgen, mit und ohne Zwischenfrüchte, erstellt. Den Fruchtfolgen wurde der anhand der vorgegebenen Viehbesatzstärken anfallende organische

Dünger zugeordnet. Weiterhin wurden typische landwirtschaftliche Verfahrensabläufe definiert. Durch eine Wichtung der Fruchtfolgen konnte die vorgegebene Anbaustatistik aus dem Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem in der Landwirtschaft (InVeKoS) nachgebildet werden.

Für die Wirkungsabschätzung der Agrarmaßnahmen war eine Verortung der Fruchtfolgen notwendig. Dabei gab es keine eindeutige Lösung bei der Annahme der regionalen Verteilung der vorgegebenen Landnutzung (Abb. 2).

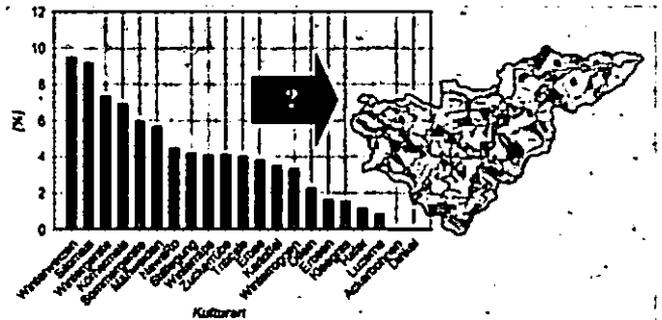


Abb. 2: vorgegebenes Anbauverhältnis und Frage nach der Verortung der Fruchtfolgen im Pilotgebiet.

Es wurde geprüft, wie die erstellten Fruchtfolgen in den Pilotgebieten verortet werden können und welche Auswirkungen diese Zuordnung auf die N-Auswaschung hat. Dabei erfolgte vorerst eine zufällige Zuordnung einer Fruchtfolge je Feldblock. Anschließend wurden weitere Lösungen ausgewürfelt und nach der Summe der kleinsten Fehlerquadrate die Abweichung von einer Zielvorgabe (gewählte Gewichtung der Fruchtfolgen) bewertet.

Zur Prüfung der Wirkungen der Agrarmaßnahmen wurden folgende Szenarien modelliert (Tab. 1). Hinsichtlich der flächenhaften Umsetzung wurden Akzeptanzniveaus (Flächenanteile) von 5-50 % geprüft.

Kürzel	Szenario	Flächenanteile
BL	Baseline (status quo)	100 %
W1	Verminderung N-Salden mit Zielsaldo 1 (Z1) bzw. Zielsaldo 2 (Z2)	5 %, 10 %, 20 %, 30 % der Ackerfläche, die nicht als Wasserschutzgebiet II ausgewiesen ist
W2I	Zwischenfruchtanbau	5 %, 10 % der Ackerfläche
E1	Umwandlung von Ackerland in Grünland (auch außerhalb von Überschwemmungsgebieten)	5 %, 10 % der Ackerfläche
E2	Ökolandbau	5 %, 10 % der Ackerfläche
E3	Anwendung von Ausgleichsregelungen in Wasserschutzgebieten auf weitere Flächen	5 %, 10 %, 50 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche

Tab. 1: Modellerte Szenarien im Pilotgebiet Döllnitz.

Für die Ermittlung der Startwerte mineralischer Stickstoffgehalt und umsetzbarer Kohlenstoff der Böden im Baseline-Szenario wurde eine Trendanalyse durchgeführt. Es wurde unterstellt, dass sich die Böden im Baseline-Szenario im Fließgleichgewicht befinden.

<sup>1</sup> HELMHOLTZ Centre for Environmental Research (UFZ), Department of Soil Physics, Theodor-Lieser-Straße 4, 06120 Halle/Saale, (enrico.thiel@ufz.de)

#### 4 Ergebnisse und Diskussion

Insgesamt wurden 201 Möglichkeiten der Fruchtfolgeverortung ausgewürfelt, welche den definierten Fehler nicht überschritten. Die modellierten Mittelwerte des  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Austrages der 201 geprüften Lösungen unterschieden sich nur gering ( $\text{MW} = 24,97 \text{ kg NO}_3\text{-N}/(\text{ha a}^{-1})$ ;  $s = 0,14 \text{ kg NO}_3\text{-N}/(\text{ha a}^{-1})$ ). Somit bleibt die Repräsentativität der Ergebnisse im Untersuchungsgebiet bestehen, auch wenn es Variationen in der Verortung der simulierten Fruchtfolgen im geprüften Bereich gibt.

Hinsichtlich der mit CANDY modellierten Minderung der  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Auswaschung für den Zeitraum 1990-2005 im Vergleich zum Baseline-Szenario konnte eine Rangfolge der Szenarien ausgewiesen werden (Abb.3).

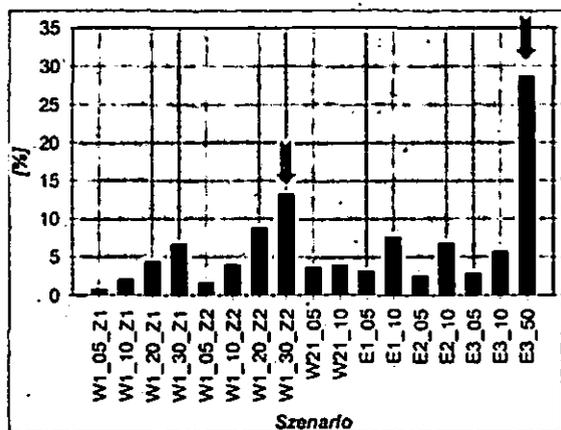


Abb. 3: Minderung der mittleren  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Auswaschung der simulierten Szenarien (1990-2005) zum Baseline-Szenario.

Für das Szenario „Anwendung von Ausgleichsregelungen in Wasserschutzgebieten auf weitere Flächen“ wurden bei einem Flächenanteil von 50 % (Kürzel E3\_50) die höchsten Minderungseffekte (29 %) im Vergleich zum diffusen N-Austrag im Baseline-Szenario berechnet (Abb. 3). Mit 13 % Minderung weist das Szenario „Verminderte N-Salden, Zielsaldo 2“ bei einem Flächenanteil von 30 % (Kürzel W1\_30\_Z2) die zweitgrößte Minderungswirkung auf.

Die Minderungswirkung der einzelnen Szenarien (Tab. 1) wurde für alle im Pilotgebiet Döllnitz vorkommenden Leitböden berechnet. Dabei wurde deutlich, dass die Szenarien auf den einzelnen Böden unterschiedlich effektiv wirken. Beispielhaft sind hier die Minderungswirkungen auf den Leitböden für das Szenario mit der höchsten Minderung (E3) dargestellt. (Abb. 4).

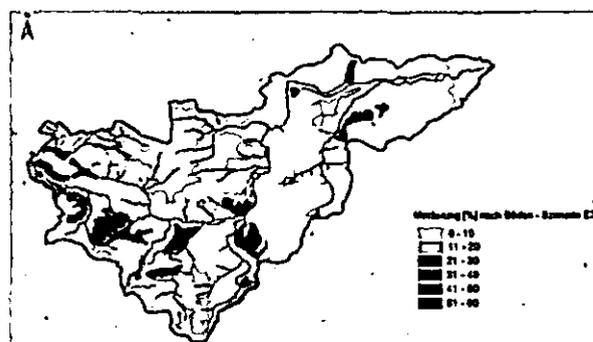


Abb. 4: Minderung der mittleren  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Auswaschung der Leitböden (1990-2005) für das wirksamste Szenario (E3).

#### 5 Fazit

Durch die Simulation von definierten Szenarien mit dem Modell CANDY waren Aussagen zum N-Austragsverhalten der landwirtschaftlichen Flächen und zur Wirksamkeit der Agrarmaßnahmen in den Pilotgebieten möglich. Bezüglich der Erarbeitung von wirksamen Maßnahmenkomplexen zum Erreichen der Ziele der EU-WRRL ist die Definition von Szenarien und die Modellierung derer Wirksamkeiten ein wichtiger Baustein. Die Ergebnisse sind in 3 Projektberichten zusammengefasst (Klauer et al., 2007).

#### 6 Danksagung

Das Projekt wurde durch das Sächsische Ministerium für Umwelt und Landwirtschaft, das Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt, das Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt sowie die Flussgebietsgemeinschaft Elbe finanziert. Der Dank gilt den beteiligten Behörden für die gute Zusammenarbeit.

#### 7 Literatur

Franko, U. (1989): *C- und N-Dynamik beim Umsatz organischer Substanz im Boden*. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Berlin, Diss. B.

Klauer, B.; Rode, M.; Franko, U.; Thiel, E.; Hesser, F.; Mewes, M.; Wenk, G. (2007): *Projekt BASINFORM - Dokumentation und Ergebnisse zur Simulation der Szenarien bezüglich des Stoffhaushaltes*. Ergebnisberichte für die Einzugsgebiete Reide, Erlbach und Döllnitz. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (Ufz).

**MITTEILUNGEN**  
**DER**  
**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN**  
**GESELLSCHAFT**

**Referate Symposium AG „Bodenökologie“ und Kommission V**

Band 110

Heft 2

2007



## Identifikation alter Befahrungslinien anhand der Bodenvegetation

Thorsten Gaertig,<sup>1</sup>

### Einleitung

Jahrzehntelang beschäftigte die Diskussion, ob und wann das Befahren von Waldböden auf der Fläche unbedenklich ist, Bodenkundler, Forstpraktiker und Forstmaschinenhersteller. Mittlerweile sind sich die Beteiligten weitgehend einig, dass ein ökologisch vertretbares Befahren im Wald nur über die Konzentration aller Befahrungen auf permanente Rückegassen erreicht werden kann.

In unregelmäßig befahrenen Wäldern ist es bei der Neukonzeption permanenter Feinerschließungssysteme im Sinne des Bodenschutzes, bereits vorhandene Befahrungslinien in das neu anzulegende Rückegassennetz zu integrieren. Häufig jedoch sind alte Fahrspuren im Gelände kaum noch zu erkennen.

Wie die Identifikation und Integration befahrener Bereiche in neue Erschließungssysteme erfolgen kann, wird derzeit im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojektes „Testkit“, das vom Institut für Bodenkunde der Universität Freiburg koordiniert wird, geprüft.

### Arbeitshypothese

In der vorliegenden Arbeit des Verbundprojektes „Testkit“ soll geprüft werden, ob sich die Vegetationszusammensetzung auf Böden mit Verformungsschäden von der Vegetationszusammensetzung ungestörter Böden deutlich unterscheidet und daher als Indikator für Verformungsschäden dienen kann.

Mit der Befahrung von Waldböden ändern sich wichtige Standortseigenschaften. Insbesondere die Verringerung des Gasaustauschs zwischen Bodenluft und Atmosphäre aufgrund verringerten Luftporenvolumens und verringerter Porenkontinuität führt zu drastischen Veränderungen in der Bodenluftzusammensetzung: Der Sauerstoffgehalt der Bodenluft nimmt ab und Kohlendioxid reichert sich an (Schack-Kirchner et al. 1993, Gaertig et al. 2002).

Es ist denkbar, dass sich aufgrund der genannten Standortveränderungen die Konkurrenzverhältnisse im Boden so ändern, dass es zu einer Veränderung in der Zusammensetzung der Bodenvegetation kommt. Zu erwarten wäre, dass die von Vegetationskundlern als "Nässezeiger" bezeichneten Arten (vgl. Ellenberg 1986) toleranter gegenüber Sauerstoffmangel im Boden sind und stärker auf den Befahrungslinien zu

finden sind, als in unbefahrenen Bereichen (Klimo 1983). Des weiteren dürften Ruderalarten vermehrt auftreten, die nach der befahrungsbedingten Freilegung des Mineralbodens geeignete Wachstumsbedingungen finden (Ebrecht 2005).

### Material und Methoden

Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden 600 bis 1500 m<sup>2</sup> große Versuchsflächen in drei Buchenaltbeständen in Südniedersachsen auf lössbeeinflussten Substraten über mittlerem Buntsandstein angelegt. Auf den Versuchsflächen im Forstamt Reinhausen (Göttinger Wald) und Forstamt Liebenburg (Harzvorland) wurde im Raster von 1 \* 1m, im Forstamt Winnefeld (Solling) im Raster von 1 \* 2m die Befahrungssituation, die Vegetationszusammensetzung, die Durchwurzelung und der Verformungsschaden nach Gaertig et al 2000 (Abb 1.) aufgenommen.

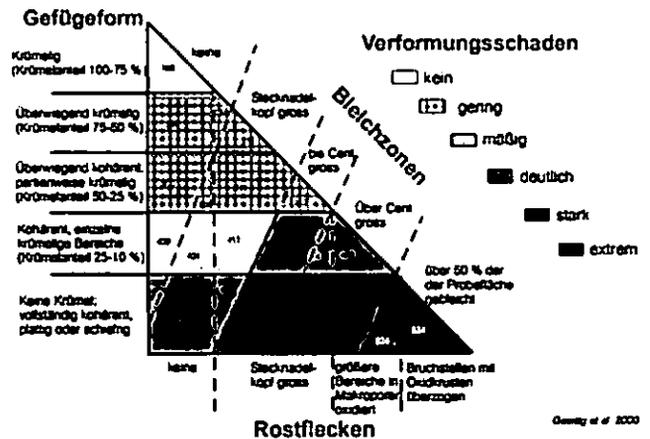


Abb 1: Dreiecksschlüssel zur Bestimmung des Verformungsschadens in Waldböden (Gaertig et al 2000).

### Ergebnisse und Diskussion

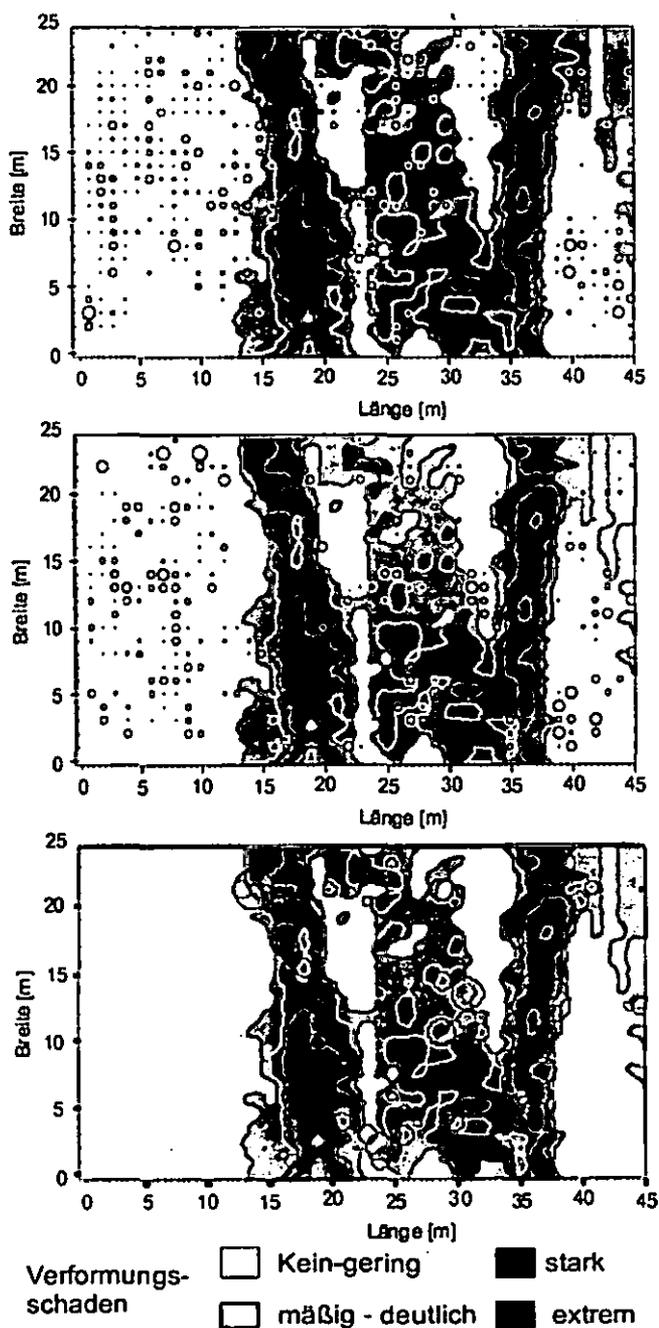
In Abb. 2 ist exemplarisch der Zusammenhang zwischen dem Verformungsschaden und der Verteilung des kleinblütigen Springkraut (*Impatiens parviflora*), des Waldsauerklees (*Oxalis acetosella*) und der Winkelsegge (*Carex remota*) auf der Versuchsfläche im Forstamt Liebenburg, einer im Untergrund pseudovergleyten Parabraunerde, dargestellt.

Mit dem Verformungsschaden ändert sich auch die Vegetationszusammensetzung. 74 % des *Impatiens parviflora* - Vorkommens befindet sich an nicht oder nur gering verformten Aufnahme-punkten, nur 10 % an stark oder extrem verformten Probestpunkten. Bei *Oxalis acetosella* befanden sich noch 66 % auf nicht oder nur gering verformten Bereichen.

Ganz anders die Situation bei *Carex remota*: Zwei Drittel des *Carex remota* - Bestandes war auf stark oder extrem stark verformten Bereichen zu finden. Nur 5 % des *Carex remota* -

Fakultät Ressourcenmanagement, Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Hildesheim/Holzminde/Göttingen. Email: gaertig@hawk-hhg.de

Bestandes wuchs auf Böden mit keinem oder geringem Verformungsschaden.



**Abb. 2.** Verformungsschaden und Verteilung von kleinblütigem Springkraut (*Impatiens nolitangere*) [Oben], Waldsauerklee (*Oxalis acetosella*) [Mitte] und Winkelsegge (*Carex remota*) [Unten]. Jeder Kreis repräsentiert ein das Vorkommen der jeweiligen Pflanze. Die Durchmesser der Kreise steht im Verhältnis zu dem Deckungsgrad.

Auf den anderen beiden Versuchsflächen sind die Ergebnisse ähnlich. Auch im Göttinger Wald dominiert *Carex remota* die verformten Bereiche, während *Impatiens parviflora* auf den weitgehend unverformten Böden zu finden ist. Flächenübergreifend zeigt sich, dass sich die Vegetationszusammensetzung mit der Verformung des Oberbodens ändert. So werden

Pflanzen, die üblicherweise als Nässezeiger bekannt sind, auf strukturgestörten Böden konkurrenzstärker. Auf den unbefahrenen Böden wurden überwiegend Pflanzenarten gefunden, die einen typischen mäßig frisch bis frischen Wasserhaushalt anzeigen. Dies sind Arten der *Lamiastrum*- oder *Ajuga*- Gruppe nach Ellenberg (1986). Auf den befahrenen Bestandesteilen dominieren bei gleicher Bodenacidität Arten der *Carex remota*- oder *Filipendula*- Gruppe. Als typische Vertreter sind hier *Carex remota* oder *Juncus effusus* zu nennen. Arten aus diesen ökologischen Gruppen sind charakteristisch für mäßig nass bis nasse Standorte und offensichtlich toleranter gegenüber Sauerstoffmangel.

**Zusammenfassung**

In drei Buchenaltbeständen auf Böden aus lössüberlagertem Buntsandstein in Südniedersachsen konnte festgestellt werden, dass sich Bodenareale, die sich in ihrer Bodenstruktur unterscheiden auch in der Vegetationszusammensetzung unterscheiden.

Zwar war nicht auf allen Flächen das gleiche Artenspektrum vertreten - im Solling wuchs vor allem *Juncus effusus* auf strukturgestörten Böden, während im Göttinger Wald und im Harzvorland *Carex remota* diese Bereiche dominierte - doch war es möglich, verformte Bodenareale und alte Befahrungslinien über die Verteilung der Vegetation eindeutig zu identifizieren. Das bedeutet, dass die Vegetation ein wichtiger Indikator sein kann, wenn das Ziel alte Befahrungslinien zu finden, um diese in neue Rückesysteme zu integrieren, verfolgt werden soll.

**Literatur**

Ebrecht, L.; Schmidt, W. (2005): Einfluss von Rückegassen auf die Vegetation. Forstarchiv 76, 83-101.  
 Ellenberg, H. (1986): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart. 989 S.  
 Gaertig, T.; Puls, C.; Schack-Kirchner, H. und Hildebrand, E.E. (2000): Die Beurteilung der Bodenstruktur in Waldböden: Feldbodenkundliche Merkmale und ihre Relevanz für die aktuelle Bodenbelüftung auf Lösslehm-Standorten. Allg. Forst u. J.-Zeitg. 171: 227-234.  
 Gaertig, T.; Schack-Kirchner, H.; Hildebrand E.E. und Wilpert v., K. (2002): The impact of soil aeration on oak decline in south-western Germany. Forest Ecology and Management 159 (1-2) 15-25.  
 Schack-Kirchner, H.; Hildebrand E.E. und Wilpert v., K. (1993): Bodensauerstoffhaushalt unter Fahrspuren. All. Forst Zeitschrift 48 118-121.  
 Klimo, E. (1983): The influence of clear cut logging on soil properties and the cycle of elements in the ecosystem of spruce forest. Lesnictvi 29, 427-512.

### Reaktive Transport-Modellierung und prozessbasiertes Upscaling der N<sub>2</sub>O-Emission aus dem oberflächennahen Grundwasser

Helmut Geistlinger<sup>1</sup>, Danny Eisermann<sup>1</sup>, Frido Reinsdorf<sup>1</sup>, Jürgen Böttcher<sup>2</sup>, Reinhard Well<sup>3</sup>, Wolfgang Schäfer<sup>4</sup>.

Im Rahmen eines DFG-Verbundprojektes sollen konzeptionelle Prozessmodelle zur N<sub>2</sub>O-Emission aus dem Grundwasser entwickelt und darauf aufbauend ein prozessbasiertes Upscaling auf die regionale Skala durchgeführt werden. Die wesentlichen Hypothesen, die dem Projekt zugrunde liegen, sind, dass (1) neben den vielfach dokumentierten N<sub>2</sub>O-Bildungsprozessen in der ungesättigten Bodenzone auch in der gesättigten Zone eine N<sub>2</sub>O-Produktion stattfindet, dass (2) der dadurch induzierte diffusive Gastransport über die ungesättigte Zone zur N<sub>2</sub>O-Emission an der Bodenoberfläche in bisher unbekannter Größenordnung beiträgt. In erster Linie konzentriert sich das Projekt auf den physikalischen Transport in der ungesättigten Zone und reaktiven konvektiven Transport in der gesättigten Zone.

Ausgehend von der Arbeitshypothese, dass die kleinskalige Heterogenität der hydraulischen Leitfähigkeit Strömung und Transport im oberflächennahen Grundwasser bestimmt und damit auch die Gasverteilung in der ungesättigten Zone, wurde im Fuhrberger Feld eine Intensiv-Messfläche eingerichtet (6.5m x 2.5m; 20 Grundwassermessstellen, 5m unter GOK; ca. 30 Bodenluftmessstellen in 3 Horizonten, 30, 60, 90 cm unter GOK) und mit Standardmethoden charakterisiert [siehe Abb.1, Geistlinger et al., 2006].

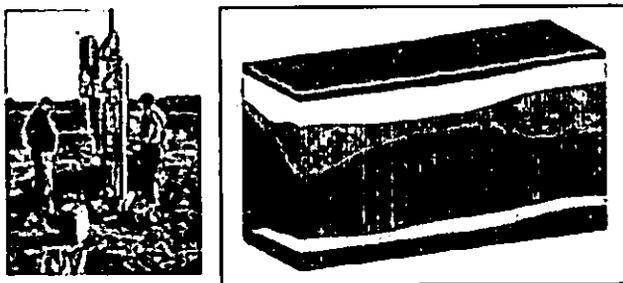


Abb.1 Feinskaliges Geomonitoring zur Erstellung und Parametrisierung des Standortmodells.

Die heterogenen Permeabilitäts- und Tortuositätsfelder wurden mittels konditionierter Gauss'scher Simulation erzeugt. Als Datengrundlage für die ungesättigte Zone dienen Siebkurvenanalysen und

SF<sub>6</sub>-Tracerversuche und für das oberflächennahe Grundwasser wurden kleinskalige Pumpversuche, Slug-Tests, Injection-Loggings und SF<sub>6</sub>-Tracerversuche verwendet (siehe Abb.2).

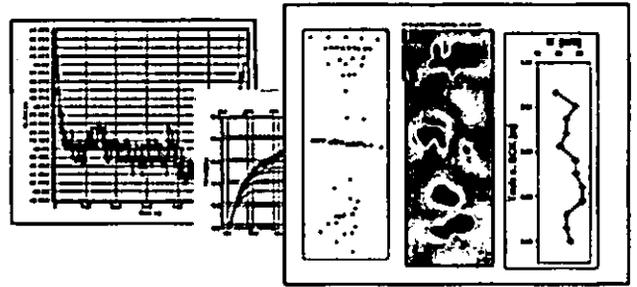


Abb.2 Kleinskalige Messung der horizontalen und vertikalen hydraulischen Leitfähigkeit mittels Pumptests und Injection-Logs. Abgeleitete heterogene k<sub>r</sub>-Wert-Verteilung.

Tracerversuche auf dem kleinskaligen Messfeld haben gezeigt, dass nur das lokale, räumlich und zeitlich variable hydraulische Potenzial den Tracertransport und folglich den konservativen und reaktiven Transport der Wasserinhaltsstoffe beschreiben kann. Dieses lokale Potenzial ist neben heterogenen Randbedingungen auch eine Folge der heterogenen k<sub>r</sub>-Wert-Verteilung (k<sub>r</sub>-Wert = hydraulische Leitfähigkeit). Sowohl der Uranin-Tracer (injiziert im November 2005) als auch der SF<sub>6</sub>-Tracer (injiziert im März 2006) folgten nicht der globalen Süd-Nord-Richtung, sondern waren durch das lokale kleinskalig-heterogene Potenzial bestimmt. Während Uranin mit einem Faktor 2 – 3 retardiert wird (hoher C-Anteil der Bodenmatrix), wird SF<sub>6</sub> nahezu unretardiert transportiert. Die gute Übereinstimmung zwischen Modell und Messung zeigte, dass die experimentelle Erfassung der lokalen, transienten Hydraulik, die sich z.B. in Grundwasserspiegelschwankungen und der Richtungsänderung der Grundwasserströmung äußert, entscheidend für die Beschreibung konservativer und reaktiver Transportprozesse ist.

Ausgangspunkt für die reaktive Prozessmodellierung war das von Böttcher und Well vorgeschlagene Prozessmodell für die einzelnen Transportpfade und Denitrifikationszonen (siehe Abb. 3).

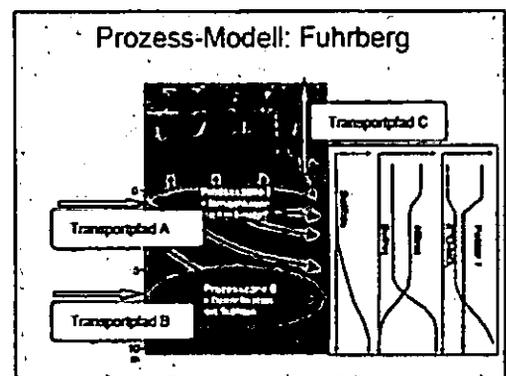


Abb.3 Prozessmodell 'Fuhrberg': N<sub>2</sub>O-Bildung infolge unvollständiger heterotropher (Transportpfad A) und autotropher (Transportpfad B) Denitrifikation.

<sup>1</sup>Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig-Halle, Department Bodenphysik, e-mail: helmut.geistlinger@ufz.de.

<sup>2</sup>Universität Göttingen, Institut für Bodenkunde.

<sup>3</sup>Universität Hannover, Institut für Bodenkunde.

<sup>4</sup>Helmholtz-Zentrum Karlsruhe, Institut für Meteorologie und Klimaforschung.

Die Beschreibung der Denitrifikationsprozesse im oberflächennahen Grundwasser wurde mit dem Modflow-basierten reaktiven Transportmodell RT3D (reactive transport in 3D) durchgeführt [Wriedt, 2005]. Damit wird die heterogene  $N_2O$ -Verteilung an der Grundwasseroberfläche berechnet und als untere Randbedingung für die Modellierung des diffusiven Transports zur Verfügung gestellt. Die Modellierung des diffusiven Transports wurde mit dem geochemischen Komplex-Modell MIN3P (Richardsgleichung, sättigungsabhängige Diffusion [Amos and Mayer, 2006]) unter transienten Randbedingungen (gemessene Grundwasserspiegelschwankungen,  $N_2O$ -Gelöst-Gas-Verteilungen) durchgeführt (siehe Abb. 4).

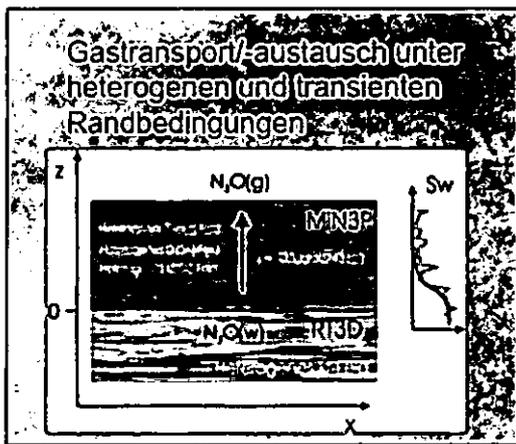


Abb.4 Modellierung des Gastransports.

Eine wesentliche Rolle bei der Beschreibung des diffusiven Transports (Transportpfad C) spielt der über dem Kapillarsaum vermittelte Massentransfer, d.h. getrappte Gasbläschen akkumulieren bei hohem Grundwasserstand  $N_2O$  und emittieren pulsartig bei niedrigem Grundwasserstand [Grant and Pattey, 2003; Williams and Ostrom, 2000].

Das auf der lokalen Skala abgeleitete und verifizierte Prozessmodell wurde auf die regionale Skala übertragen. Dabei wurde ähnlich wie auf der lokalen Skala ein geologisches Strukturmodell erstellt. Die einzelnen Schichten wurden mit heterogenen  $k_f$ -Verteilungen (i. allg. unter Verwendung von Siebkurven) mittels geostatistischer Methoden belegt (siehe Abb. 5). Das transiente Strömungsmodell

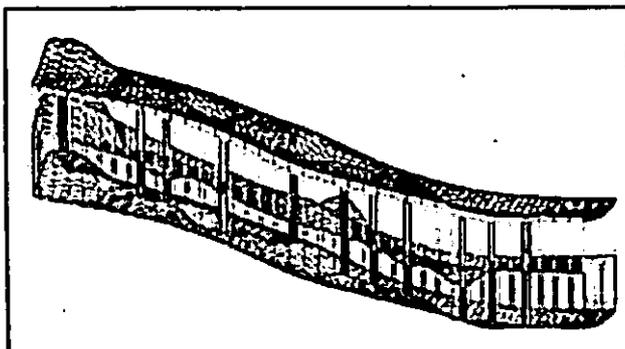


Abb.5 Regionales geologisches Strukturmodell: 3km x 7km.

wurde kalibriert und berücksichtigt über transiente Randbedingungen die Grundwasserspiegelschwankungen. Basierend auf den gemessenen  $N_2O$ -Verteilungen wurde die  $N_2O$ -Emission aus dem Grundwasser abgeschätzt, wobei der diffusiven Transport als „steady-state“ beschrieben wurde (siehe Abb. 6).

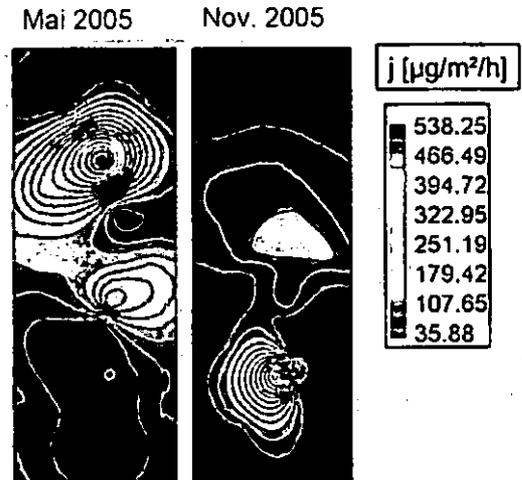


Abb.6 Regionale  $N_2O$ -Emission (Flussdichte) aus dem oberflächennahem Grundwasser.

Der Massentransfer im regionalem Modell wurde wie üblich für eine glatte Grundwasseroberfläche abgeschätzt. Zukünftige Modelle müssen den von Williams and Ostrom [2003] bzw. von Grant and Pattey [2003] vorgeschlagenen „bubble-mediated“ Massentransfer unter transienten Strömungsbedingungen berücksichtigen.

#### Literatur

- Amos, R., Mayer, U. (2006) Investigating the Role of Gas Bubble Formation and Entrapment in Contaminated Aquifers: Reactive Transport Modelling. accepted, *J. Cont. Hydrol.* 87, 123-154.
- Geistlinger, H. and D.Eisermann (2006) Reaktive Transportmodellierung und prozessbasiertes Upscaling der  $N_2O$ -Emission aus dem Grundwasserleiter, DFG-Zwischenbericht.
- Grant, R.F., Pattey, E. (2003) Modelling variability in  $N_2O$  emissions from fertilized agricultural fields. *Soil Biol. & Biochem.* 35, 225 – 243.
- Williams, M.D., Oostrom, M. (2000) Oxygenation of anoxic water in a fluctuating watertable system: an experimental and numerical study. *J. Hydrol.* 230, 70-85.
- Wriedt, G. (2005) Modeling of Nitrogen Transport and Turnover during Soil and Groundwater Passage in a small Lowland Catchment of Northern Germany, PhD.

### Sind Bodenatmungsmessungen überhaupt regionalisierbar?

Jordan, A.<sup>1)</sup>; Jurasinski, G.<sup>1)</sup>; Glatzel, S.<sup>1)</sup>

#### Einführung

In einem ungenutzten Kalkbuchenwald des Nationalparks Hainich mit annähernd naturnaher Bestandsstruktur und großflächig homogenen Bodens (terra fusca) wurde während einer einjährigen Messkampagne Bodenatmung gemessen. In dem Untersuchungsgebiet, einem schwach geneigten ebenen Nordosthang, stellten Knohl et al (2002) eine Netto-C-Speicherung von 580 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> (2000) bzw. 480 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> fest. Somit ist der Hainich Kyoto-relevant. Wir vermuten, dass durch historischen C-Export durch Brenn- und Bauholznutzung, Waldweide und Streuentnahme die Böden ausgehagert wurden und jetzt die Speicher wieder aufgefüllt werden. Diese Fragen werden im Rahmen des DFG-Projekts: „Kohlenstoffspeicherung in einem ungenutzten Kalkbuchenwald des Nationalparks Hainich - Differenzierung der Quellen und Senkenfunktion des Bodens unter Berücksichtigung der Nutzungsgeschichte“ bearbeitet.

Ziel der Bodenatmungsmessungen war die flächenhafte, möglichst punktgenaue Quantifizierung der Bodenatmung und die Klärung der zugrundeliegenden Prozesse. Dabei stellten sich folgende Fragen:

- Inwieweit beeinflusst das Design der Messpunktverteilung die Schätzgenauigkeit regionalisierter Bodenatmungsdaten?
- Was ist die maximale „Range“ der Bodenatmung?
- Sind externe Größen geeignet um die Regionalisierung der Bodenatmung zu verbessern?

#### Methodik:

Auf einer Untersuchungsfläche von insgesamt 4,6 ha wurden an insgesamt 99 Messpunkten die CO<sub>2</sub> Flussraten an der Bodenoberfläche gemessen. 20 Messungen wurden entlang eines hydrologischen durchgeführt, die übrigen Messhauben wurden zufällig über die Fläche verteilt. Zur Klärung der Skalenabhängigkeit wurden zwei Intensivmessfelder zufällig ausgewählt, welche eine höhere räumliche Auflösung der Messungen sicherstellten. Innerhalb dieser Messfelder wiederum wurden nochmals noch höher auflösende Messflächen ausgewiesen (vgl. Abb. 1). Zum Einsatz kam ein Infrarot Gasanalysator („Closed-Chamber-Methode“) à EGM 4 + SRC-1 von PP-Systems. Zusätzlich wurde die Bodenfeuchte mit einer fdr-Sonde (Theta-Probe) und die Bodentemperatur mit Hilfe eines Einstichthermometers in 10cm Tiefe bestimmt. Ergebnisse:

Der Vergleich der unterschiedlichen Regionalisierungsergebnisse der beiden kleinen Nester zeigt deutlich den Einfluss der Anzahl der Messpunkte (vgl. Abb. 2):

<sup>1)</sup> Institut für Management ländlicher Räume, Landschaftsökologie; Universität Rostock, Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock

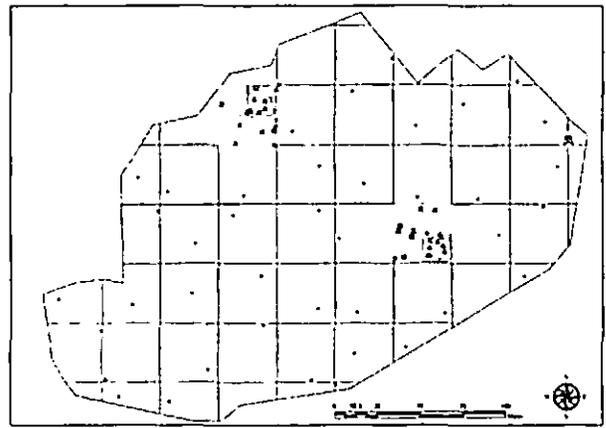


Abb. 1: Messpunktverteilung im Untersuchungsgebiet

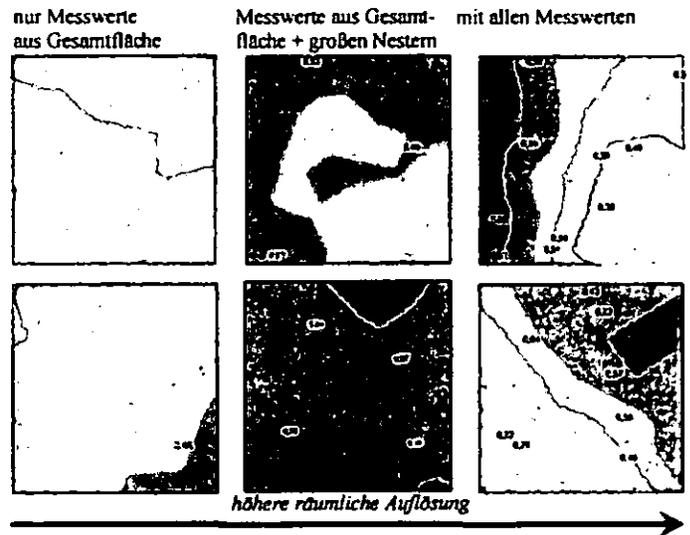


Abb. 2: Karten der kleinen Nester, Obere Reihe Nest 1, untere Reihe Nest 2

Die Ergebnisse der Trendanalyse weisen zu unterschiedlichen Messterminen unterschiedliche Trends, bzw. zum Teil auch gar keinen Trend auf.

Die Auswertung der Semivariogramme zeigt, dass die Bodenatmung nur im Nahbereich autokorreliert ist, also eine hohe Messpunktdichte mit geringen Abständen erforderlich wäre, um gute Regionalisierungsergebnisse zu erzielen (Abb. 3).

Ein Karte der durchschnittlichen jährlichen Bodenatmung zeigt ein sehr heterogenes Bild, die Karte des Prediction Standard Error zeigt für Bereiche außerhalb der Range hohe Fehler (Abb. 4).

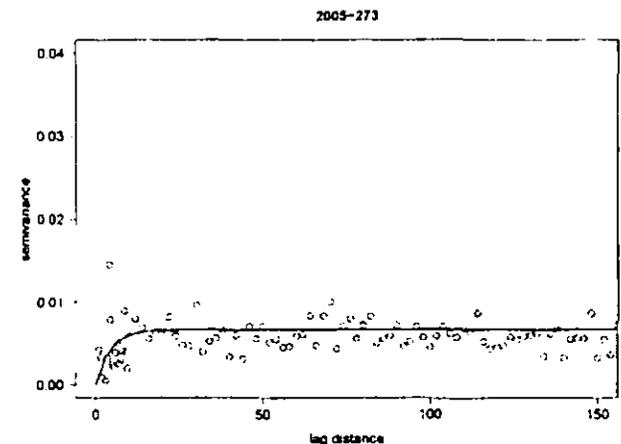


Abb. 3: Semivariogramm (Klassengröße 3m & 50 Klassen)

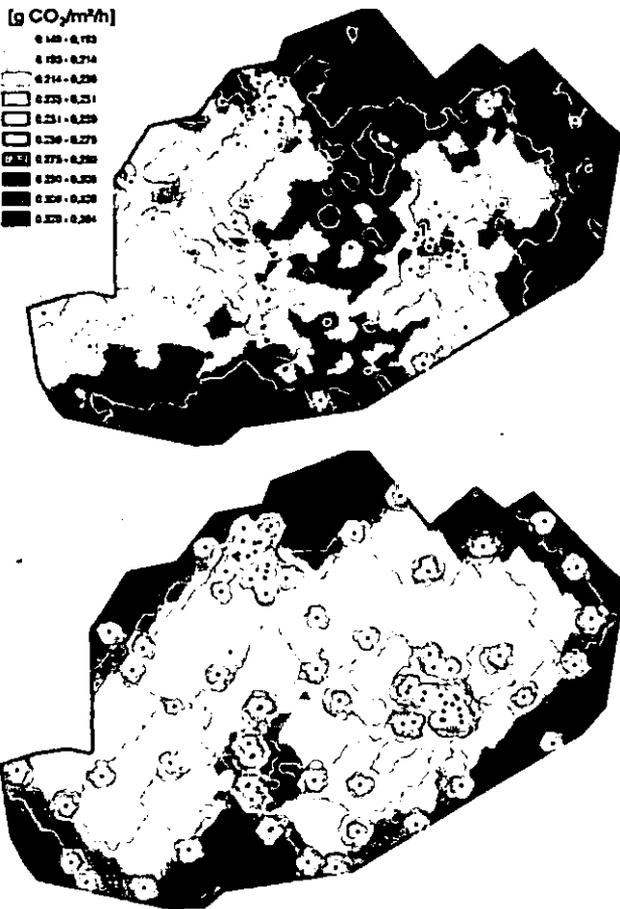


Abb. 4a: Durchschnittliche Bodenatmung April 2005 – April 2006  
Abb. 4b: Prediction Standard Error Map

Da die Wurzeln zum Teil zu über 50% zur Bodenatmung beitragen, wurde versucht einen Zusammenhang zwischen Bodenatmung und Bäumen herzuleiten. Hierzu wurden insgesamt 3248 Bäume im Untersuchungsgebiet mit den Parametern Baumart, Standort und Brusthöhendurchmesser tachymetrisch kartiert (Abb. 5).

Mit Hilfe einer numerische Modellierung wurde die potentielle baumartspezifische Feinwurzelbiomasse am Haubenstandort berechnet (nach Ammer & Wagner 2005) Voraussetzung hierfür ist die begründete Annahme über die baumartspezifische maximale Wurzellänge der Bäume, die relative Feinwurzelbiomasse am Stamm und die relative Feinwurzelverteilung in der Fläche (Abb. 6).

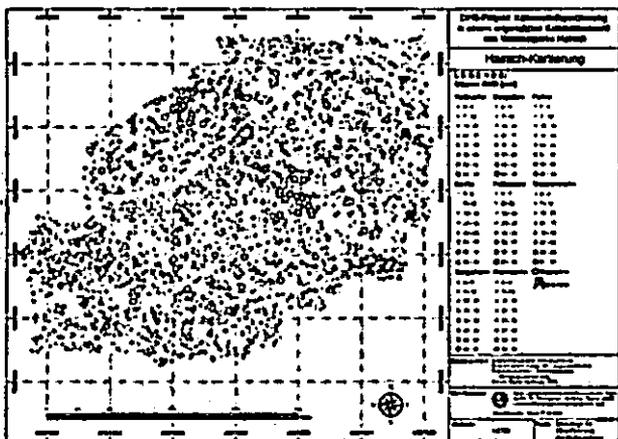


Abb. 5: Kartierung der Bäume und Messhauben

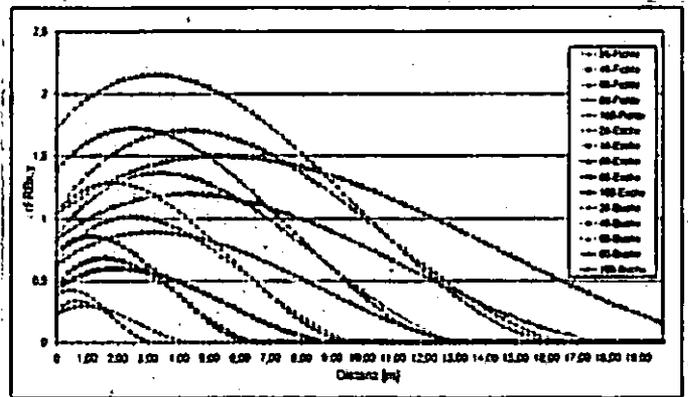


Abb. 6: Modellierung der relativen Feinwurzelbiomasse im Abhängigkeit von der Entfernung zum Stamm

Die potentiellen relativen Wurzelmassen der Haubenstandorte ergeben sich aus dem summarischen Einfluss der Einzelbäume. Die Ergebnisse zeigen leider keine Korrelation zwischen Gesamtwurzelmasse und durchschnittlicher Bodenatmung im Jahresverlauf, jedoch eine Korrelation zwischen Eschenstandorten und jährlicher Bodenatmung (Abb.7)

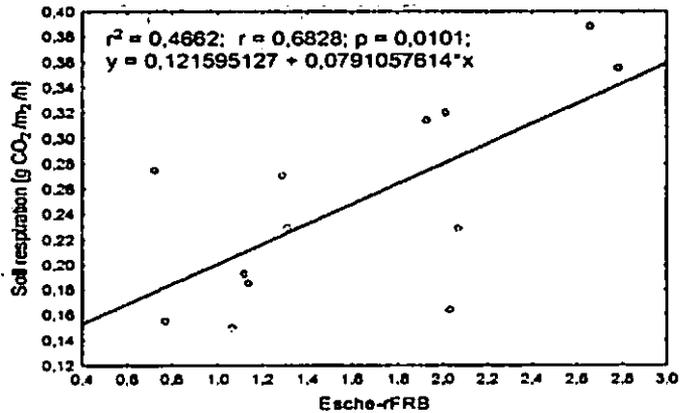


Abb. 7: Korrelation Bodenatmung/Eschenfeinwurzelbiomasse

**Schlussfolgerungen:**

Die Bodenatmung ist in Wäldern mit annähernd natürlicher Altersstruktur nicht ohne weiteres regionalisierbar Die Einbeziehung weiterer strukturgebender Parameter wie der Wurzelverteilung lassen (saisonal aufgelöst) jedoch auf verbesserte Regionalisierungen hoffen

**Ausblick:**

Die Verschneidung von baumartspezifischen Wurzelverteilungskarten und Karten zur saisonalen Bodenatmung Fragestellungen sollen zukünftig die folgenden Fragen beantworten:

- Inwieweit lassen sich saisonale Wurzelaktivitätsmuster in der Bodenatmung wiederfinden?
- Können lokale saisonale Maxima/ Minima begründet bestimmten Baumarten zugeordnet werden?



Abb. 8a: Bergahornfeinwurzelbiomasse  
Abb. 8b: Gesamtfeinwurzelbiomasse

## Einfluss von Klima und Bodeneigenschaften auf die Umsatzbedingungen organischer Substanz in sächsischen Ackerböden

Ekkehard Ließ<sup>1\*</sup>, Uwe Franko<sup>1</sup>, Horst Ringe<sup>2</sup>,  
Hartmut Kolbe<sup>2</sup>

### Einleitung

Im Rahmen eines FuE-Vertrages mit der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) Sachsen wurde ein Indikator gesucht, der die standortspezifische Aktivität des Kohlenstoffumsatzes der sächsischen Ackerböden beschreibt. Dieser Indikator sollte eine Beschreibung der regionalen und zeitlichen Unterschiede des Soil Organic Matter (SOM)-Umsatzes ermöglichen.

### Grundlagen

Generell wird der mikrobielle Umsatz der SOM durch die Bodentemperatur, den Bodenwassergehalt, die Sauerstoffsättigung und die Bodenreaktion gesteuert. Dabei ist es möglich, die Abnahme der Aktivitäten im Vergleich zum Optimum dieser vier Größen mit Hilfe von Reduktionsfunktionen zu beschreiben. Diese Reduktionsfunktionen können zur Berechnung von Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten, die den Umwelteinfluss beschreiben, genutzt werden. Es ist jedoch auch möglich, diesen Umwelteinfluss als Zeittransformation zu betrachten.

Diese Größe wird als Biological Active Time (BAT) bezeichnet (Franko und Oelschlägel, 1995). Die BAT stellt einen Bruchteil der Kalenderzeit dar und beschreibt wie viel Zeit unter Optimalbedingungen erforderlich ist, um dieselbe Umsatzleistung wie im Freiland zu erzielen. Die jährliche Summe der BAT ist damit ein nützlicher Parameter zur Berechnung der SOM-Dynamik und stellt gleichzeitig einen guten Standortindikator für den SOM-Umsatz, unabhängig von der Bewirtschaftung, dar. Da die Berechnung der BAT ein komplexes System darstellt, sollte für Sachsen ein vereinfachtes Modell entwickelt werden.

### Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden im Wesentlichen mit Hilfe des Modellsystems Carbon and Nitrogen Dynamics (CANDY) (Franko et al. 1995) realisiert, in dem die BAT ein wichtiges Zwischenergebnis zur Berechnung des SOM-Umsatzes darstellt. Als Eingangsdaten dienten für den Boden die Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK200) mit allen relevanten Daten (bereitgestellt durch das Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) Sachsen). Die Klimadaten

wurden für sechs Klimastationen (Leipzig-Schkeuditz, Dresden-Klotzsche, Oschatz, Görlitz, Chemnitz und Zinnwald-Georgenfeld) aufbereitet und über die sächsischen Klimaregionen den Bodeneinheiten zugeordnet. Zusätzlich wurde über eine Niederschlagsrasterkarte die Heterogenität der Niederschläge berücksichtigt (Daten vom Deutschen Wetterdienst (DWD) und vom LfUG).

Über eine Verschneidung der BÜK200 mit den CORINE-Landcover Daten wurde die Landnutzung ermittelt. Aus der sächs. Agrarstatistik wurden für jede Agrarstrukturregion jeweils zwei konventionelle und zwei ökologische Fruchtfolgen (5 und 7 feldrig) abgeleitet (Daten von der LfL).

Über einen Simulationszeitraum von 35 Jahren wurde für jede Bodeneinheit die BAT mit Hilfe des CANDY berechnet. Anschließend dienten diese BAT-Werte als Ausgangsbasis für eine statistische Auswertung zur Ableitung einer vereinfachten BAT-Gleichung.

### Ergebnisse und Diskussion

Nach der Simulation der BAT der sächsischen Ackerböden konnte festgestellt werden, dass die sächsischen Böden eine große Heterogenität hinsichtlich der BAT aufweisen (6 – 55 Tage). Es wurde überprüft, ob Artefakte der Boden- bzw. Klimaregionen, sowie der Agrarstrukturgebiete erkennbar waren. Dies konnte ausgeschlossen werden.

Die anschließende statistische Auswertung wurde in Form einer multiplen Regression realisiert. Dazu wurde über eine Bodentiefe von 0-30 cm das gewichtete Mittel der Parameter:

- Tongehalt
- Schluffgehalt
- Permanenter Welkepunkt (PWP)
- Feldkapazität (FK)
- Porenvolumen (PV)

gebildet, da davon ausgegangen wurde, dass in dieser Bodentiefe der Hauptumsatz des SOM stattfindet. Zusätzlich wurden die langjährigen Mittel der Klimaparameter:

- Niederschlag
- Temperatur

abgeleitet. Als notwendig erwies sich im Laufe der Auswertung eine Klassifizierung.

Ausgehend von der Überlegung, dass der SOM-Umsatz durch das verfügbare Bodenwasser beein-

Tab. 1: Klassifikation nach der nutzbaren Feldkapazität (nFK) (AG Boden (2005) und DWD (2007), modifiziert)

Bodenkategorie	nFK (VOL%)
1	≤ 15
2	> 15 und < 20
3	≥ 20 und < 23
4	≥ 23

<sup>1</sup> Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig-Halle, Department Bodenphysik

\* ekkehard.liess@ufz.de

<sup>2</sup> Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

flusst wird, wurde eine Klassifizierung nach der nutzbaren Feldkapazität (nFK) gewählt (Tab. 1). Basierend auf dieser Klassifikation konnte eine Regressionsgleichung ermittelt werden, die je nach Bodenkategorie ein  $R^2$  zwischen 0,94 und 0,98 lieferte. Zusätzlich wurde festgestellt, dass sämtliche oben aufgeführten Parameter für die vereinfachte BAT-Gleichung notwendig waren. Weiterhin wurde festgestellt, dass nicht nur die Parameter alleine, sondern auch die Wechselwirkungen zwischen Tongehalt, Schluffgehalt, Temperatur und Niederschlag zu den Bodengrößen Permanenter Welkepunkt, Feldkapazität und Porenvolumen beachtet werden müssen. Dies verdeutlicht auch Abb. 1. Der hier dargestellte Vergleich, zwischen dem Root Mean Square Error (RMSE) der oben beschriebenen Regression und dem RMSE eines vereinfachten Ansatzes ohne Bodenstrukturparameter (PWP, FK, PV) anhand der Bodenarten für die in Sachsen vortretenden Bodenregionen, zeigt, dass die Variante mit Bodenstrukturparametern deutlich bessere Ergebnisse liefert, als der vereinfachte Ansatz.

### Danksagung

Wir möchten hiermit dem sächs. LfUG für die Bereitstellung der Daten danken.

### Literatur

- AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. KA5. Hannover
- DWD (2007): Agrowetter.  
[http://www.agrowetter.de/produkte/doku/Beregnung/konfig.htm#nr5\\_7](http://www.agrowetter.de/produkte/doku/Beregnung/konfig.htm#nr5_7). Cited 08 Jan 2007
- Franko, U., Oelschlägel, B. (1995): Einfluss von Klima und Textur auf die biologische Aktivität beim Umsatz der organischen Bodensubstanz. Arch. Acker- Pfl. Boden 39, 155-163
- Franko, U., Oelschlägel, B., Schenk, S. (1995): Modellierung von Bodenprozessen in Agrarlandschaften zur Untersuchung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen. UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, 3/1995, Bad Lauchstädt

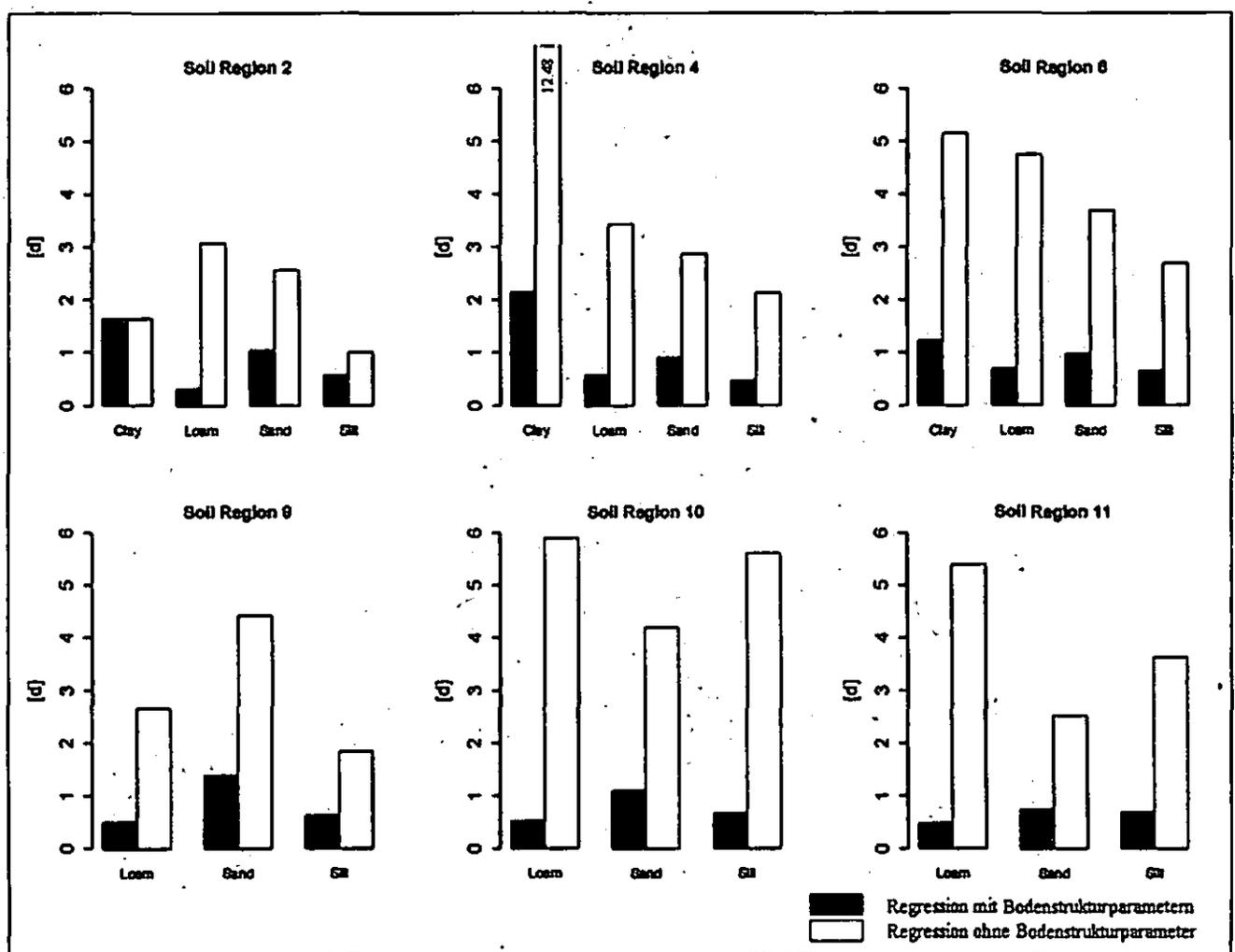


Abb. 1: Vergleich des RMSE eines Regressionsansatzes zur Berechnung der BAT mit Bodenstrukturparametern (PWP, FK, PV) mit einem Regressionsansatz ohne Bodenstrukturparameter anhand der Bodenarten für die in Sachsen vertretenen Bodenregionen

## Die Räumliche Variabilität der Vorräte verschiedener Kohlenstofffraktionen in einer Lockerbraunerde unter Fichte

Sandra Spielvogel<sup>1</sup>, Jörg Prietzel<sup>1</sup>, Ingrid Kögel-Knabner<sup>1</sup>

### Einleitung und Problemstellung

Flächenhafte Abschätzungen von organischen Kohlenstoff (OC-) Vorräten werden für verschiedenste Fragestellungen (z.B. zur Bewertung von zeitlichen Veränderungen der OC-Vorräte oder zum Vergleich der OC-Vorräte in Vegetation und Boden) benötigt. Dabei ist bekannt, dass OC-Vorräte in Böden durch eine ausgeprägte, kleinräumige Variabilität charakterisiert sind (Schöning et al., 2006). Weitgehend unbekannt ist dagegen, ob die Vorräte aller Fraktionen des OC in gleichem Maße horizontal variieren, oder ob Unterschiede in der Variabilität zwischen mineralgebundenem und nicht-mineralgebunden OC bestehen. Die Betrachtung der räumlichen Variabilität unterschiedlicher OC-Fraktionen ist aber Voraussetzung für ein tieferes Verständnis für den Zusammenhang zwischen OC-Variabilität und OC-Stabilisierungsmechanismen. Ziel dieser Arbeit war es daher, an einem Beispielstandort die horizontale Variabilität der mineralgebundenen und nicht-mineralgebundenen OC-Vorräte zu bestimmen. Außerdem wurde deren Korrelation mit der Lagerungsdichte, dem pH Wert, sowie den Gehalten an oxalalextrahierbarem Eisen ( $Fe_o$ ) und Aluminium ( $Al_o$ ) untersucht.

### Material und Methoden

Als Untersuchungsgebiet wurde eine 900 m<sup>2</sup> große Fläche im Nationalpark Bayerischer Wald ausgewählt. Der vorherrschende Bodentyp ist die Lockerbraunerde, die sich auf Quartären

Deckschichten entwickelt hat. Die Fläche ist mit einem 80-jährigen Fichtenbestand mit einem durchschnittlichen Kronendurchmesser von 8 m bestockt. Die Beprobung der Mineralbodenhorizonte erfolgte mit 365 cm<sup>3</sup> Stechzylindern an den Knotenpunkten eines 5 m Rasters. Zusätzlich erfolgte an zwei zufällig ausgewählten Punkten ein kreuzförmiges nested Sampling mit Abständen von 0,2 m, 0,5 m, 1 m, 2 m, 4 m, und 8 m. Die Stechzylinderproben wurden luftgetrocknet und die Fraktion >2 mm abgesiebt. Nachfolgend wurden alle Proben gemahlen. Ihr Gehalt an OC wurde vor und nach HF-Behandlung an einem CN Analysator Vario EL von Elementar bestimmt. Außerdem wurde die chemische Zusammensetzung der Proben vor und nach HF-Behandlung mittels <sup>13</sup>C-CPMAS-NMR-Spektroskopie bestimmt. Der pH-Wert wurde in CaCl<sub>2</sub> gemessen. Die Bestimmung des oxalalextrahierbaren Eisens und Aluminiums erfolgte nach Schwertmann und Cornell (1991).

### Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 1 zeigt die Semivariogramme der HF-löslichen und unlöslichen OC-Vorräte im Ah-Horizont. Während die HF-lösliche Fraktion eine signifikante räumliche Variabilität zeigt, ist für die HF-unlösliche Fraktion kein Räumuster erkennbar.

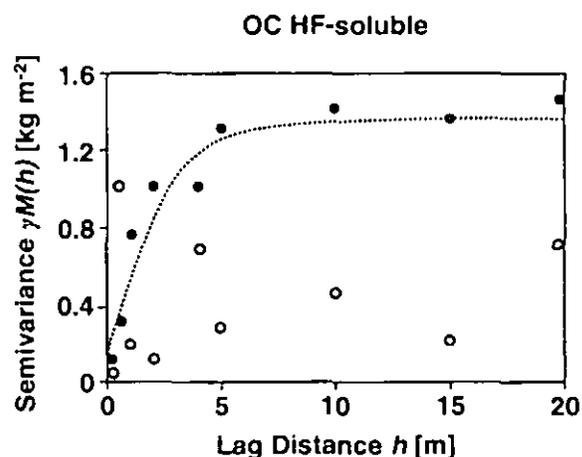
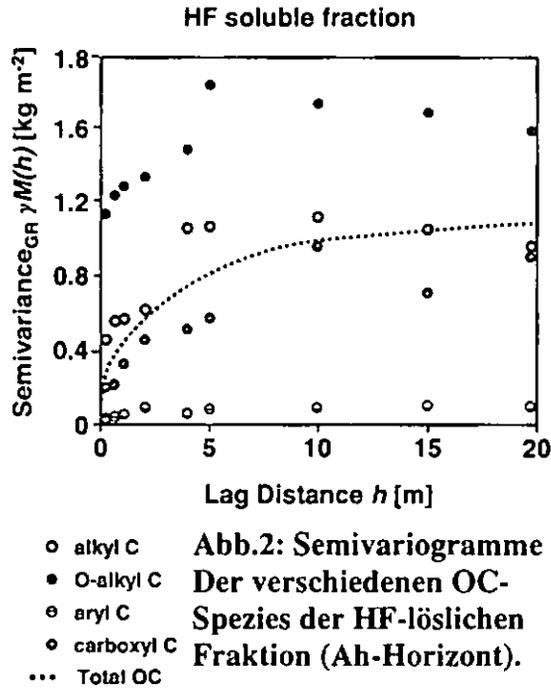


Abb.1: Semivariogramme der HF-löslichen (gefüllte Kreise) und unlöslichen (leere Kreise) OC Vorräte im Ah-Horizont.

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Bodenkunde  
Technische Universität München  
85350 Freising-Weihenstephan  
spielvogel@wzw.tum.de

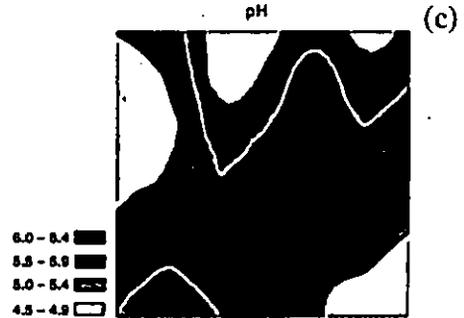
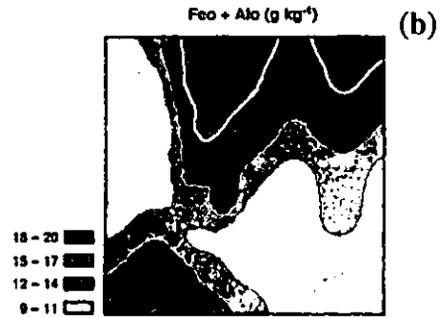
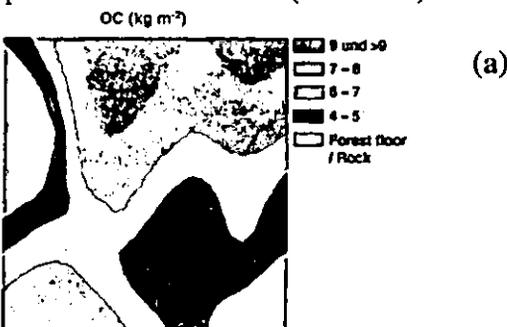
Daraus lässt sich schließen, dass die räumliche Variabilität der Vorräte des Gesamtkohlenstoffs in erster Linie auf die räumliche Variabilität der HF-löslichen OC Fraktion zurückzuführen ist.

Ein Vergleich der räumlichen Variabilität unterschiedlicher Spezies der HF-löslichen OC Fraktion zeigt, dass die Variabilität in der Reihenfolge Aryl-C < Carboxyl-C < Alkyl-C < O-Alkyl-C ansteigt (Abb.2).



Dabei ist die Variabilität der O-Alkyl-C Vorräte deutlich höher als die Variabilität der Vorräte des Gesamtkohlenstoffs.

Die Berechnung von Kreuzvariogrammen (keine Abbildung) und ein Vergleich von Karten die mittels Kriging erstellt wurden, zeigt, dass die räumliche Verteilung der HF-löslichen OC-Vorräte signifikant positiv mit der Verteilung Gehalte an Fe<sub>o</sub> und Al<sub>o</sub> sowie signifikant negativ mit dem pH-Wert korreliert ist (Abb.3a-c).



**Abb.3: (a) Karte der HF-löslichen OC Vorräte; (b) der Gehalte an Fe<sub>o</sub> + Al<sub>o</sub> und (c) der pH-Werte in Ah-Horizont.**

### Schlussfolgerungen

Die räumliche Variabilität der OC-Vorräte auf der Fläche ist vor allem auf die räumliche Variabilität der HF-löslichen Vorräte zurückzuführen.

Ein höherer Gehalt an pedogenen Eisen- und Aluminiumoxiden in der Fläche führt zu einem höheren OC-Vorrat.

Bereiche mit niederen pH-Werten weisen höhere OC-Vorräte auf. Die Ursache dafür dürfte die höhere Bindungskapazität der pedogenen Oxide bei niederm pH sein.

Verschiedene räumliche Verteilungen und Unterschiede in der räumlichen Variabilität weisen auf unterschiedliche Stabilisierungsmechanismen der verschiedenen OC-Spezies hin.

### Literatur

Schöning I., Totsche K.U., Kögel-Knabner I. 2006. Small scale spatial variability of organic carbon stocks in litter and solum of a forested Luvisol. Geoderma 136, 631-642.

### Danksagung

Die Autoren möchten sich bei der High-Tech-Offensive der Bayerischen Staatsregierung für die finanzielle Unterstützung des Projektes bedanken.

**MITTEILUNGEN**  
**DER**  
**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN**  
**GESELLSCHAFT**

**Referate, Poster AK „Boden in Unterricht und Weiterbildung“**

Band 110

Heft 2

2007



## Soil teaching at Annual Soil - Ecological Summer Schools in Siberia

Pavel Barsukov\*, Christian Siewert\*\*

Beginning in 1995, annual field trips through the West Siberia have been developed for students, researchers, and lecturers from different universities throughout Europe. These field trips were initiated by Prof. Dr. Ch. Siewert (Weihenstephan Applied University, Germany) and organized by Dr. Barsukov (Institute of Soil Science and Agrochemistry, Novosibirsk, Russia).

The main aims of the summer school are the following:

- (1) to show great diversity of natural / virgin ecosystems, their soils and plant communities in different bioclimatic zones and altitudinal belts of Siberia;
- (2) to demonstrate interrelations between main soil forming factors and finally to explain why the certain soil type was formed in the certain specific conditions.

The focus of the summer school is on soil formation processes resulting from the interaction of climate, vegetation, geological substrata and relief in natural ecosystems. Characteristics of soil formation and ecosystem succession under continental climatic conditions, as well as the impressive wealth of unaltered or virtually untouched landscapes of great beauty, are compared with those of agricultural and forest plantations. In the course of the summer school about 27 soil profiles are shown and discussed using Russian, German, and WRB soil classification systems. Most of these soils represent unique local varieties, featuring the influence of cryogenic processes. With regard to vegetation, the complete geobotanical description is presented for each site, including the dominant species, species significant to humans, and indicator species in particular. Such descriptions highlight the relationships between vegetation, soil, relief and climate factors. A few sites with extremely high biodiversity (up to 120 species of tall vascular plants per 100 square meters) are visited in the course of the summer school.

---

\* Institute of Soil Science and Agrochemistry, 18 Sovetskaya St., 630099, Novosibirsk, Russia, email: pavelb@inbox.ru

\*\* Forschungsanstalt für Gartenbau Weihenstephan, Institut für Landschaftsarchitektur (ILA), Am Hofgarten 4, 85350 Freising, E-Mail: christian.siewert@fh-weihenstephan.de

Why West Siberia is reasonable and probably one of the best places all over the World for undertaking such educational excursion / summer school?

About 92% of the territory belongs to West Siberian plain. It includes big set of latitudinal zones that are typical for the northern Eurasia. West Siberian Plain is the biggest flat surface all over the world. It is just slightly declined from the south to north. Because of flat territory and thermal gradient there is a clear latitudinal zonality. Borders of bioclimatic zones go almost perfectly along latitudes. Besides, zonal automorphic soils and corresponding vegetation occupy less area than azonal soils and ecosystems inside every bioclimatic zone. For example, zonal soils in the southern taiga cover only 18% of the territory, whereas in the forest steppe and steppe cover about 40%. It means that we can easily see how the change of only one or two soil forming factors can change soil type, vegetation etc.

About 8% of the West Siberia is covered by two mountain systems: the low mountains of Salair and the high mountains of Altai. They are very diverse in their topography, rock materials, and climatic conditions in different regions of the Altai Mountains but also on the slopes of different exposition. Of course, all these strongly influence soils and vegetation.

Another important aspect is the occurrence of undisturbed (by human activity) ecosystems in West Siberia. There are two main reasons for that. The first one is the short-term history of intensive land and industry development. The second one is the low density of population even at nowadays. For example, the territory of Germany is comparable in the area with one of the administrative units of Siberia, namely the Tomsk region. But if the population of Germany amounts to about 82 Million, in Tomsk region it is only 1 Million. Interestingly, half of this population lives in one city only, i.e. in Tomsk. So the density of population in the Tomsk region is 70 times less than in Germany. In the Altai Autonomic Republic the density of population is 107 less than in Germany. One of the visible consequences of such low density is the fact that if you see forest in West Siberia, you can be sure that 99% of it is a natural one.

Currently, two routes of the field trips are well-developed: so-called "South Siberia" and "North Siberia". The "South Siberia" route covers all latitudinal bioclimatic zones from the taiga to the southern forest steppe, including steppe ecosystems on the West Siberian plain and all elevation belts from the tundra to the steppe and the Central Asian semi-desert zone in the Altai Mountains region (near the Mongolian border). Some of the

most interesting ecosystems and regions visited in the course of the summer school include within the West Siberian Plain:

- the southern taiga subzone: dark coniferous forest including Siberian cedar
- the azonal formation within the southern taiga subzone: the biggest peat bog ecosystem in the world
- the forest-steppe zone: natural combination of primary birch forest islands and dry meadows
- the azonal formation within forest-steppe zone: area of arid salted meadows
- the southern part of forest-steppe zone: true steppe ecosystem and famous Russian chernozem

and in the Altai mountains:

- the central Asian semi-desert zone - looks like the northern part of the Gobi desert in Mongolia: unique plants on toxic soils, paleosols, Pleistocene lake deposits, and the late Pleistocene terminal moraine
- the mountainous steppe belt: paradoxes of continental climate and previous historical landscape development - xerophyte grasses next to the spruce forest and peat mosses, permafrost, and seasonal frost
- the mountainous forest-steppe belt: park-like Siberian larch forest with well-developed herbs layer on northern slopes in combination with the mountain steppe on the southern slopes, which is -a typical landscape of continental mountains
- the mountainous forest and tundra belts: abrupt changes within a short distance from sub alpine forest with high herbs to different types of the mountainous tundra with recent and relic cryogenic features as well as different types of recent glaciers, solifluction, pingo, and alpine meadows.

The route of the "North Siberia" summer school goes through all latitudinal zones of the West Siberian plain from the dry steppe nearby Kazakhstan border up to the typical tundra nearby the mouth of river Ob. The latter one looks like a bay of the Arctic Ocean with 70 km river width.

We would like to emphasize that during the both summer schools the most attention is paid to natural ecosystems and soils that are almost missing in the Western Europe. However, it is essential to create such artificial ecosystems in Europe which function according to the rules of natural ecosystems. So acquaintance with virgin ecosystems of Siberia is of utmost significance for attendants of our summer schools. Of great significance is also the fact that our educational programs initiate research and teaching cooperation projects be-

tween Siberia and Germany. For example, some of the students, former excursion participants, proved their diploma thesis using the field material they collected in Siberia. The schools resulted in several past and current joint research projects.

Organization details for the both routes are quite similar: duration of the summer schools is about 25 days, the whole distance is *ca.* 3 thousand km. There are 14-15 key sites where description of 1 to 4 soil profiles is given. From 4 to 5 experienced Russian lecturers accompany summer school participants and give comprehensive information about soil, vegetation, climate, relief at every site. These lecturers are from research institutes belonging to the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (such as the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Central Siberian Botanical Garden, the Institute of Water and Ecology Problems) as well as from the Tomsk and Novosibirsk State Universities. Also professional Russian drivers and excellent cooking team provide their services to summer school participants during the whole period.

As for our future development, we consider three following ways:

- (1) Starting from soil excursion, we transformed it into soil-ecological one, intended for the people with different educational backgrounds. We are going to continue this excursion, making smaller groups and suggesting it mostly for PhD students and researches;
- (2) We plan to undertake soil-ecological summer schools for undergraduate students only with less key sites but more intensive field practice at every site;
- (3) To arrange specialized summer schools devoted to certain global and regional problems. We suggest undertaking it together with some German or European professors who are working in different areas of basic and applied natural sciences. So the professors will get the possibility to organize teaching events for their students in Siberia with our expertise and help.

More information available in Internet at following addresses: [www.siberia-eco.org](http://www.siberia-eco.org), [www.siberian-expedition.de](http://www.siberian-expedition.de) (in English), <http://sibirien.csiewert.de> (in German)

## Handreichung „Lernort Boden“

Eine Handreichung für den schulischen und außerschulischen Unterricht

Sandra Beneke<sup>1</sup>

### Einleitung

Der Boden stellt neben dem Wasser und der Luft die wichtigste Lebensgrundlage des Menschen dar. Dennoch ist die Bedeutung und Schutzbedürftigkeit der Ressource Boden im Bewusstsein der Öffentlichkeit nur wenig verankert.

Die Handreichung wurde im Juni 2006 vom Bayerischen Staatministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) und vom Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB) herausgegeben und an allen bayerischen Schulen verteilt und soll für den schulischen Unterricht Lehrhilfen und Anregungen bieten, die das Thema interessant vermitteln.

### Anwendungsbereich der Handreichung

Die Handreichung bietet eine gute Kombination von theoretischem Wissen und praktischen Versuchen. Sie ist gedacht für den Einsatz in den Haupt- und Realschulen sowie in den Gymnasien. Dabei liegt der Schwerpunkt auf den Jahrgangsstufen 5 bis 10. Sachinformationen und einzelne Schüleraktivitäten bieten jedoch bewusst auch Möglichkeiten für den Einsatz in der Sekundarstufe II. Die Handreichung liefert Beiträge zu den Unterrichtsfächern Biologie, Chemie, Erdkunde/Geographie und Physik. Dabei sollen Lernerfolge durch einen hohen Anteil an Eigenaktivität der Schüler gefördert werden.

### Aufbau der Handreichung

Die Handreichung ist in folgende Modulen unterteilt:

Modul A: Was ist Boden

Modul B: Der Boden als Lebensraum

Modul C: Der Boden als Waldstandort

Modul D: Die Rolle des Bodens im Wasserkreislauf

Modul E: Der Boden als Agrarstandort

Modul F: Schadstoffe im Boden

Modul G: Flächeninanspruchnahme

Zusatzmodul H: Service und Glossar

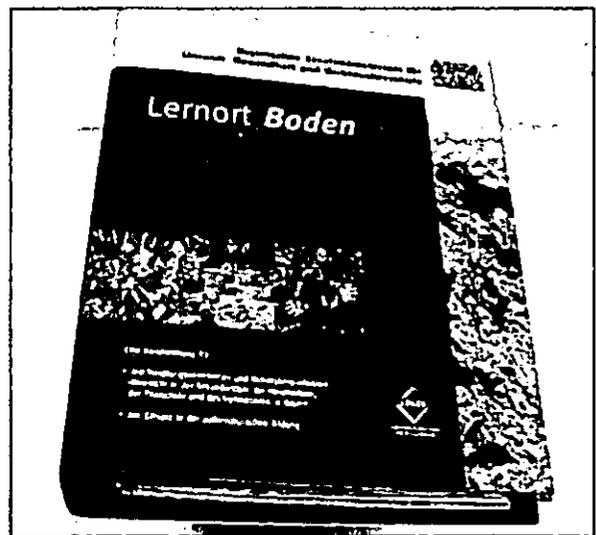


Abb. 1: Foto der Handreichung<sup>2</sup>

Die Module enthalten jeweils die Sachinformationen mit unterrichtsverwertbaren Hintergrundinformationen, Tabellen und Abbildungen, Literaturverzeichnissen und Schüleraktivitäten.

Das Modul A „Was ist Boden“ ist das so genannte Basismodul. Dieses Modul gibt eine allgemeine Einführung zu Thema Boden und erläutert Bodenbildung und die damit zusammenhängenden Prozesse der Bodenbildung. Die Module B bis G sind weiterführende Module die unterschiedliche Themen bearbeiten und getrennt voneinander eingesetzt werden können. Das Zusatzmodul „Service und Glossar“ enthält Adressen zum Thema Boden in Bayern wie z.B. Adressen von Bodenlehrpfaden und Bildungseinrichtungen. Des Weiteren werden im Glossar bodenkundliche Begriffe erläutert.

<sup>1</sup> Dipl.-Ing (FH) Bodenwissenschaften  
Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Referat vorsorgender Bodenschutz und  
Bodenmonitoring  
Hans-Högn Str. 12, 95030 Hof  
sandra.beneke@lfu.bayern.de

Die Schüleraktivitäten der Module enthalten ausgearbeitete, praxiserprobte Arbeitsblätter, Auswertungshilfen und Lösungen, die je nach Fragestellung, Schulart und Jahrgangsstufe ausgewählt werden können.

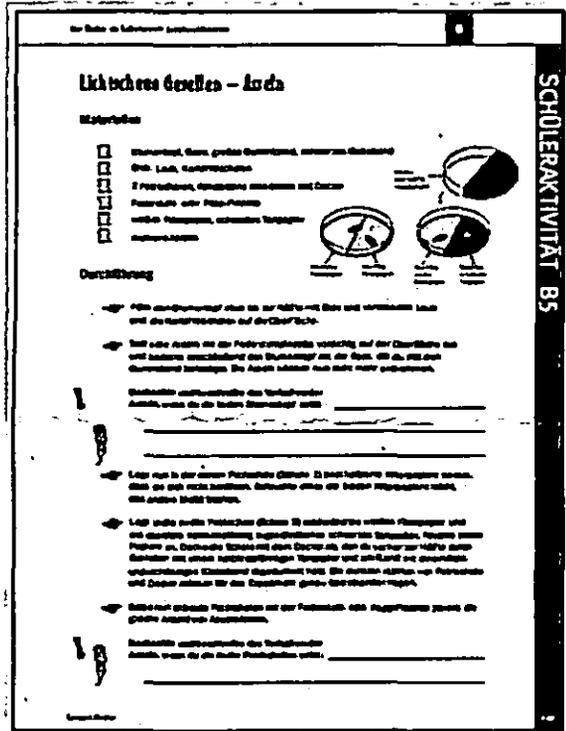


Abb. 2: Beispiel einer Schüleraktivität

Das Basismodul A enthält zusätzlich eine Klapptafel mit der Verbreitung der wichtigsten Böden in Bayern, eine Klapptafel mit der geologischen Übersichtskarte von Bayern sowie Folien mit den wichtigsten Bodentypen.

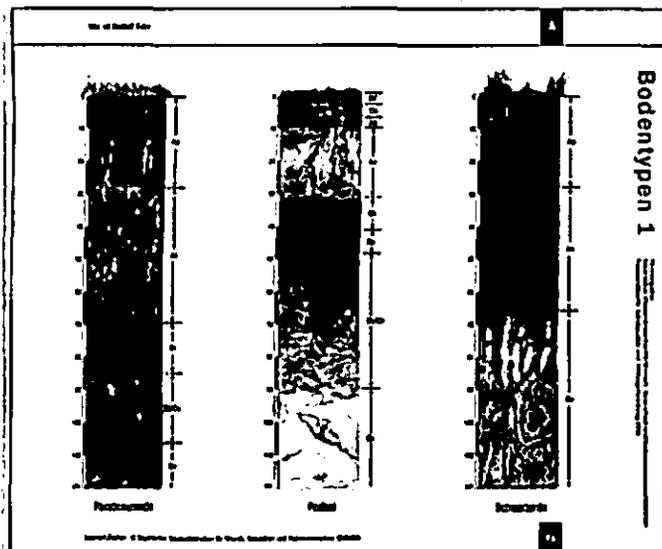


Abb. 3: Beispielfolie

### Digitale Medien der Handreichung

Zusätzlich enthält die Handreichung noch eine DVD und eine CD-ROM.

Die DVD „Die Haut der Erde“ vermittelt mit verschiedenen kurzen Filmen einen allgemeinen Überblick zum Thema Boden. Sie kann zur Ergänzung oder zur Abrundung des Unterrichtsstoffes dienen oder in Vertretungsstunden eingesetzt werden. Die zweisprachige DVD bietet zudem auch die Möglichkeit zum Einsatz im Fach Englisch.

Die beigelegte CD-ROM enthält zur Erleichterung der Unterrichtsvorbereitung die komplette Handreichung sowie sämtliche Arbeitsunterlagen in digitaler Form.

Die Handreichung kann von Schulen und Umweltbildungseinrichtungen über das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz bezogen werden.

Zusätzlich stehen Teile der Handreichung unter [www.boden.bayern.de](http://www.boden.bayern.de) zur Verfügung

<sup>2</sup>Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV), Handreichung „Lernort Boden“, April 2006

## Boden im Museum

K. Böhme<sup>1</sup>, N. Niedernostheide<sup>2</sup>, K. Mueller<sup>1</sup>

Am Beispiel des „Museums am Schölerberg“ in Osnabrück sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie bodenkundliche Themen einer breiten Öffentlichkeit vermittelt werden können.

### unter.Welten – das Universum unter unseren Füßen

Das Kernstück des „Museums am Schölerberg“ ist die überregional beachtete Dauerausstellung „unter.Welten – das Universum unter unseren Füßen“. Hier steht der Boden dort, wo er hingehört, nämlich im Mittelpunkt. Hier können die Besucher auf über 350 Quadratmetern eine Entdeckungsreise in den Boden unternehmen. Winzige Bodentiere werden hier plötzlich riesig groß und die Besucher finden sich nicht mehr auf, sondern unter gewohnten Landschaften wie Wald oder Acker wieder.

Der Bodenbereich liegt im Zentrum des Museums und von hier können die anderen Bereiche wie Wald, Stadtökologie, Landschaftsentwicklung und anderes mehr entdeckt werden. Immer wieder kommt man jedoch in den Boden zurück, um einen neuen Bereich zu betreten.

Familien, Schulklassen, aber auch Kindergeburtstage erleben hier Alltägliches aus einer völlig ungewohnten Perspektive. Diese Möglichkeit nehmen jährlich etwa 80.000 Besucher wahr.

### Weitere Aktivitäten zum Boden im Museum

Neben zielgruppenorientierten Führungen werden im „Museum am Schölerberg“ noch zahlreiche andere Aktivitäten zum Thema Boden durchgeführt.

#### ► Schülerlabor

Im museumseigenen Labor können Schulklassen altersgemäße Experimente durchführen, um verschiedene Bodeneigenschaften und die Bewohner des Bodens kennen zu lernen. Pro Jahr beschäftigen sich etwa 80 Klassen oder andere Gruppen im Museum explizit mit dem Boden.

#### ► Bodenpädagogikkoffer

Schulen können eine vom Umweltbildungszentrum des Museums entwickelte Zusammenstellung von Materialien ausleihen, um den Boden in der Schule selbstständig zu behandeln.

#### ► Umweltmobil „Grashüpfer“

Mithilfe des rollenden Umweltlabors kann im Gelände praxisnahe Bodenkunde vor Ort erlebt werden. Der „Grashüpfer“, ein ausgebauter Kleinlaster, ist pro Jahr etwa 80-mal im Einsatz und bringt den Schülern neben den Themen Wald und Wasser vor allem den Boden näher.

#### ► Kindergeburtstage

Bei den Kindergeburtstagen stehen das eigene Entdecken und Erforschen an erster Stelle, heimliche Stars sind hier die sonst verborgenen Bodenbewohner. Die Veranstaltungen des Umweltbildungszentrums werden pro Jahr von etwa 14.000 Schülern und Familien besucht.

#### ► Osnabrücker Bodenspiele am Weltbodentag

Am 05.12.2006 fanden die ersten Osnabrücker Bodenspiele statt. Schüler von der dritten bis zur achten Klasse konnten hier im Klassenverband gegeneinander antreten, um ihr Wissen über den Boden und ihre Geschicklichkeit zu testen. Den Siegern winkte als Preis eine Klassenfahrt. Bereits wenige Stunden nach Anmeldebeginn war die begrenzte Teilnehmerzahl von 25 Klassen erreicht.

#### Fazit

Die rege Nachfrage seit nunmehr sechs Jahren nach den verschiedenen Angeboten des „Museums am Schölerberg“ beweist, dass Boden bei entsprechender Vermittlung alles andere als trocken und langweilig ist.

Vor allem Kinder und Familien faszinieren die ungewohnten Einblicke in etwas scheinbar so Alltägliches wie den Boden, die ihnen im Museum geboten werden.

#### Ausblick

Anfang 2007 startet das „Museum am Schölerberg“ mit dem benachbarten Zoo Osnabrück das nächste Großprojekt im Kontext Boden.

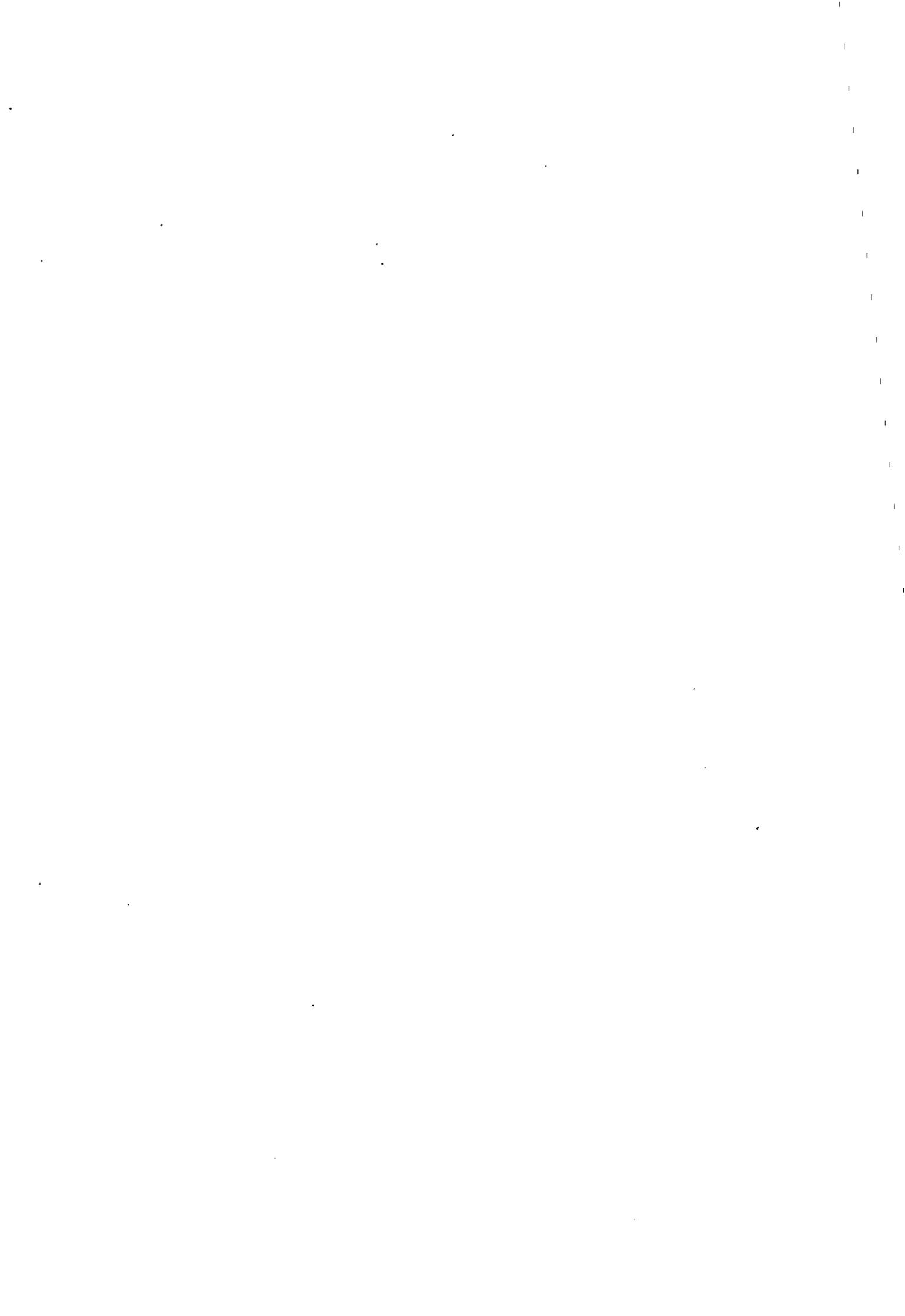
Auf fast 800 Quadratmetern wird zwischen dem Museum und dem Zoo ein unterirdischer Zoo als „Lebendige unter.Welten“ entstehen, in dem Bodentiere in ihrem natürlichen Umfeld beobachtet werden können.

Weiterhin entstehen hier Tagungs- und Kongressräume als Bausteine eines zukünftigen Bodenkommunikationszentrums. Hierdurch soll eine engere Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern und anderen Bodenakteuren ermöglicht werden und der Boden noch mehr Menschen faszinieren.

---

<sup>1</sup> Fachhochschule Osnabrück,  
Dipl.-Ing. (FH) Kathrin Böhme  
Prof. Dr. Klaus Mueller  
Fakultät Agrarwissenschaften und  
Landschaftsarchitektur,  
Am Krümpel 31, D-49090 Osnabrück  
e-mail: [k.mueller@fh-osnabrueck.de](mailto:k.mueller@fh-osnabrueck.de)

<sup>2</sup> Museum am Schölerberg  
Dipl.-Biol. Norbert Niedernostheide  
Am Schölerberg 8, D-49082 Osnabrück  
e-mail: [info@museum-am-schoelerberg.de](mailto:info@museum-am-schoelerberg.de)



## Alltagsvorstellungen von Schülerinnen und Schülern zum Thema Boden

Kerstin Drieling

Die Durchführung einer Pilotstudie zu Bodenthemen im Unterricht bei Geographie-Studierenden im WS 2003/04 hat ergeben, dass das Wissen bzw. die Vorstellungen zu diesem Themenbereich eher oberflächlich und durch Alltagssprache und lebensweltliche Vorstellungen geprägt sind. So wird Boden beispielsweise als „oberste Schicht der Erde, Grund auf dem wir leben“, „Boden als Nährstoffspeicher“, „ein bunter Mischmasch aus verschiedensten Bestandteilen“ oder „die vom Erdkern umhüllte Erdschicht mit ihren spezifischen Erdschichten“ bezeichnet (DRIELING 2005). Diese Studie war Anlass sich intensiver und diesmal mit Schülervorstellungen zum Thema Boden zu beschäftigen.

### Theorie und Methode der Untersuchung

Unterrichtsgegenstände werden vor allem von den lebensweltlichen Perspektiven der Lernenden, also von ihren bis dahin entwickelten Vorstellungen zum Gegenstand bestimmt, wie auch die vorgestellte Pilotstudie zeigt. In einem Dissertationsvorhaben sollen nun die Alltagsvorstellungen zum Thema Boden bei Schülerinnen und Schülern geprüft werden. Hier wird auf das in der Lehr- und Lernforschung international etablierte Modell der Didaktischen Rekonstruktion zurückgegriffen. Dieses Modell beinhaltet drei Untersuchungsaufgaben: die fachliche Klärung, die Erfassung von Schülervorstellungen und die didaktische Strukturierung. Im Forschungsprozess werden fachwissenschaftliche Theorien und Lernervorstellungen systematisch in Beziehung gesetzt, um Leitlinien für den Unterricht zu entwickeln (KATTMANN ET AL. 1997).

Die Schülervorstellungen zum Thema Boden und Bodenzerstörung wurden in den Jahren 2005/06 erhoben. Ziel war es, die individuellen und unbekanntesten Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler zu erfassen. Die Methode musste daher durch Offenheit, Problemzentrierung und Interaktivität gekennzeichnet sein. Möglich war dies mit Hilfe eines Leitfadenterviews, das mit 10 Schülerinnen und Schülern der 10. Jahrgangsstufe durchgeführt wurde. Die Interviews dauerten durchschnittlich 60-80 Minuten.

Ein bis zwei Wochen nach dem Interview wurde mit dem/der jeweiligen Schüler/in die Struktur-Layout-Technik durchgeführt. Diese macht es möglich, die subjektiven Theorien der Schülerinnen und Schüler graphisch darzustellen und Kausalbeziehungen zwischen den einzelnen Konzepten sichtbar zu machen. Auch komplexe Vorstellungen können so strukturiert werden (SCHEELE ET AL. 1992).

Fachwissenschaftliche Theorien werden zur Klärung der Schülervorstellungen herangezogen.

### Erhobene Schülervorstellungen

Die erhobenen subjektiven Theorien der Schülerinnen und Schüler beschäftigen sich mit dem Aufbau und den Bestandteilen des Bodens, der Bodenentwicklung und den Bodenfunktionen. Die Vorstellungen werden an Interviewaussagen wie auch an von Schülerinnen und Schülern erstellten Skizzen konkretisiert und es werden allgemeine Konzepte und Denkfiguren herausgearbeitet.

So ist der Boden für den einen Schüler in Schichten im Sinne von geologischen Schichten unterteilt, die aus verschiedenen Materialien wie z.B. Erde, Sand, Kies oder Steinen bestehen. Eine andere Schülerin stellt sich unter Boden eine mehr oder weniger einheitliche Materie, in der die Tiere wohnen und die nach unten hin vom Wasser begrenzt wird, vor. Eine weitere benennt Schichten im Sinne von Bodenhorizonten, die durch unterschiedliche Farben und Zusammensetzung der Bestandteile gekennzeichnet sind.

Bei der Bodenentwicklung gehen die Schülerinnen und Schüler oft nur auf die Zersetzung und Humifizierung als bodenbildende Prozesse ein. Verwitterung, Transformations- und Verlagerungsprozesse sind den meisten Schülern unbekannt. Dies spiegelt sich in einigen Vorstellungen auch in den genannten Bodenbestandteilen wieder. Wenn mineralische Bestandteile wie Sand oder Steinchen genannt werden, können sich die Schülerinnen und Schüler oft nicht erklären, wie diese in den Boden gekommen sind.

Die Schülerinnen und Schüler sehen die Funktionen von Boden zum Beispiel darin, dass er Tieren und Pflanzen als Lebensraum dient, den Pflanzen Nährstoffe bereit stellt und somit Grundlage für die Nahrungsmittelproduktion ist. Ferner wird genannt, dass der Boden Pflanzen Halt gibt, damit sie nicht umkippen oder auch Wasser filtert. Die Funktionen des Bodens als Puffer und Transformator sind den Schülerinnen und Schülern weitgehend unbekannt.

---

Kerstin Drieling

Pädagogische Hochschule Ludwigsburg

Inst. f. Sozialwissenschaften / Abt. Geographie

Reuteallee 46

71634 Ludwigsburg

[drieling@ph-ludwigsburg.de](mailto:drieling@ph-ludwigsburg.de)

Die während der Struktur-lege-Technik erstellten Strukturdiagramme zeigen einerseits die Wirkungszusammenhänge der von den Schülerinnen und Schülern eigenständig genannten Formen der Bodengefährdung. Andererseits wird auf vorgegebene Beispiele wie Bodenerosion, Bodenversauerung oder Bodenverdichtung eingegangen. Die immer wiederkehrenden Bezüge der Folgen von Bodendegradationen auf die im Interview vorher genannten Bodenfunktionen sind dabei besonders auffallend. Auch sind Verknüpfungen von Vorgängen mit den einzelnen Teilen der Geosphäre zu erkennen, die in Beziehung zueinander stehen. Hierbei sind jedoch eher die Atmosphäre, Hydrosphäre usw. als Orte der Auswirkungen bekannt als die wirkenden Prozesse selbst. So weiß ein Schüler, dass sich z.B. der saure Regen auf Boden, Grundwasser, Pflanzen und Tiere auswirkt. Die ablaufenden Prozesse z.B. in der Atmosphäre (z.B. Transformation der Abgase) oder im Boden (z.B. die Auswaschung von Nährstoffen) sind ihm aber nicht bewusst.

In einem anderen Strukturdiagramm werden Widersprüche in den Vorstellungen einer Schülerin deutlich. Ihre Erfahrungen und die Verknüpfung des pH-Wertes mit alltäglich vorkommenden Flüssigkeiten macht ihr die Beurteilung der Auswirkungen des sauren Regens schwer. Einerseits glaubt sie, dass ein leicht säuerliches Milieu wichtig für die Zersetzung von Pflanzenteilen ist und andererseits, dass die Säure für viele Lebewesen nicht gut bzw. sogar schädlich ist.

Ein Vergleich der Bedeutungszuweisung zu Fachbegriffen in den Schülervorstellungen macht deutlich, dass es lernförderliche und lernhinderliche Begriffe gibt. Der Begriff Bodenerosion ist dabei eher als lernhinderlich, Bodenverdichtung eher als lernförderlich einzustufen.

### **Praktische Umsetzung im Unterricht**

All diese Vorstellungen können konstruktiv genutzt werden. Schülervorstellungen und fachwissenschaftliche Theorien werden wechselseitig miteinander verglichen. Es werden lernhinderliche und lernförderliche Konzepte herausgearbeitet und didaktische Konsequenzen aus den Ergebnissen für den Unterricht abgeleitet (KATTMANN ET AL. 1997).

Um zu einem Konzeptwechsel im Sinne eines kontextspezifischen Wechsel zu gelangen, bietet sich zur praktischen Umsetzung im Unterricht die konstruktivistische Unterrichtsstrategie nach DRIVER (1989) an (vgl. HÄUBLER ET AL. 1998). Am Anfang stehen das Hervorlocken und die Diskussion der Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler. Sie werden auf ihre Vorstellungen und die Unterschiede zu ihren Mit-

schülern aufmerksam gemacht. Anschließend wird ein Konflikt zwischen Schülervorstellungen und fachwissenschaftlichen Vorstellungen initiiert. Die Schülerinnen und Schüler setzen sich dann aktiv und intensiv mit den fachwissenschaftlichen Theorien auseinander und konstruieren neue Vorstellungen, die in ihrer Anwendbarkeit bewertet werden. Die neuen Vorstellungen werden in einem abschließenden Schritt mit den ursprünglichen Vorstellungen verglichen und die Änderungen beurteilt (HÄUBLER ET AL. 1998).

Die Vorstellungen zum vertikalen Aufbau des Bodens könnten mit Hilfe von Schülerzeichnungen erhoben werden. Um sich ihrer Vorstellungen bewusst zu werden, sollen die Schülerinnen und Schüler ihre Zeichnungen miteinander vergleichen. Es bietet sich an, mit den Schülerinnen und Schülern vor Ort einen geologischen Aufschluss und ein Bodenprofil im Vergleich miteinander zu untersuchen, sich also intensiv mit dem Gegenstand auseinander zu setzen. Eigene Vorstellungen, Realität und fachwissenschaftliche Konzepte werden von den Schülerinnen und Schülern miteinander verglichen, neue Konzepte aufgebaut und die „alten“ Vorstellungen reflektiert. Diese Vorgehensweise ist auch für andere Themen der Bodenkunde anwendbar. Dabei kann auf im Unterricht altbewährte Methoden wie Untersuchungen und Experimente zum Boden zurückgegriffen werden. Hierzu gibt es in der fachdidaktischen Literatur vielfältige und sinnvolle Vorschläge. Wichtig ist es diese Inhalte und Methoden in einen Rahmen zu stellen, der eine Änderung der Schülervorstellungen in den entsprechenden fachwissenschaftlichen Kontexten möglich macht.

### **Literatur**

- DRIELING, K. (2005): Boden als Unterrichtsthema - Eine Pilotstudie mit Studienanfängern des Geographie-Lehramts. In: Geographie und ihre Didaktik, 33 H. 4, S. 192 – 210.
- KATTMANN, U. & DUIT, R. & GROPENIEBER, H. & KOMOREK, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. H. 3, S. 3-18.
- HÄUBLER, P. & BÜNDER, W. & DUIT, R. & GRÄBER, W. & Mayer, J. (Hrsg.) (1998): Naturwissenschaftsdidaktische Forschung – Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Kiel. S. 169-219.
- SCHEELE, B. & GROEBEN, N. & CHRISTMANN, U. (1992): Ein alltagssprachliches Struktur-lege-Spiel als Flexibilisierungsversion der Dialog-Konsens-Methodik. In: SCHEELE, B. (HRSG.): Struktur-lege-Verfahren als Dialog-Konsens-Methodik. Münster.

## **Die Bedeutung des informellen Lernens für die Vermittlung von Bodenwissen**

Karin Geyer\*, Hans-Jörg Brauckmann\*  
und Gabriele Broll\*

### **Einleitung**

In den letzten Jahren machen Umweltverbände und Vertreter der Umweltbildung auf die Bedeutung des informellen Lernens aufmerksam. Diese Form des lebenslangen Wissens- und Kompetenzerwerbs umfasst nach Schätzungen der UNESCO ca. 70% aller Lernvorgänge (Faure 1972). Deshalb soll hier aufgezeigt werden, welchen Beitrag diese Lernform für die Vermittlung von Bodenwissen leisten kann und welche Wege zielführend sein können.

### **Begriffsfindung und Definitionen**

Unter dem Begriff „informelles Lernen“ werden alle Lernvorgänge zusammengefasst, die außerhalb des formalen, hierarchischen Schulsystems ablaufen. Dazu gehört sowohl die berufliche Fort- und Weiterbildung und das Lernen z.B. beim Besuch eines Museums (nicht-formales Lernen) als auch das lebenslange, häufig intergenerative Lernen in Alltag und Freizeit (informelles Lernen).

### **Die Bedeutung des informellen Lernens**

Informelles Lernen spielt in vorindustriellen Gesellschaften ohne Schulpflicht oder flächendeckender Schulversorgung eine erhebliche Rolle. Aber auch in postindustriellen Gesellschaften gewinnt informelles Lernen an Bedeutung, weil Veränderungen in der Berufswelt und technologischer Fortschritt lebenslanges berufsorientiertes Lernen notwendig machen. Zudem erleichtert die Entwicklung des Internet den Zugriff auf Informationen; zunehmend verfügbare Freizeit und neue Freizeitangebote schaffen Freiräume auch für den Erwerb von Bildung.

Die Erfassung und Beurteilung des informellen Lernens ist schwierig, weil es häufig nicht zertifiziert wird und somit auch kaum evaluierbar ist. Zudem handelt es sich um freiwilliges, eigeninitiiertes Lernen, die Lernmotivation resultiert aus Interesse (selbstbestimmtes Lernen), in erheblichem Umfang findet informelles Lernen aber auch unbeabsichtigt z. B. im Zusammenhang mit der Freizeitgestaltung statt (zufälliges Lernen).

**Für die Vermittlung von Bodenwissen** ist die Nutzung von informellen Lernwegen deshalb von so großer Bedeutung, weil die Etablierung

bodenkundlicher Inhalte in den Schulunterricht nur schwer durchzusetzen ist. Das informelle Lernen bietet uneingeschränkte Handlungsmöglichkeiten, es betrifft alle Altersgruppen, jeder Lernort bzw. jede Lernsituation können genutzt werden.

### **Lernorte und Lernsituationen**

Lernorte und Lernsituationen für das informelle Lernen zu bodenkundlichen Themen finden sich im Alltag, in der Freizeit sowie im gesamten Bereich der außerschulischen Bildung, der Erwachsenenbildung und in der Öffentlichkeitsarbeit.

**Im Alltag** steht das intergenerative Lernen, also die Weitergabe von Wissen, Erfahrungen, Werten und Verhaltensmustern von Generation zu Generation im Vordergrund. Diese Lernwege gehen in unserer Gesellschaft immer mehr verloren. Sie setzen obendrein voraus, dass Wissen über Boden allgemein vorhanden ist. Hier besteht dringender Handlungsbedarf, Bodenbewusstsein auch an die Eltern- und Großelterngeneration zu vermitteln. Die Nutzung von Werbeträgern sowie die Verbindung von Bodenthemen mit anderen Alltagsthemen sind hier zielführend. Beispiel dafür ist die Nutzung eines Nahverkehrszuges als rollende Litfasssäule, der für die Bodenausstellung im Osnabrücker Museum am Schölerberg wirbt und Besucher auch fast bis zum Museum bringt. Ebenso effektiv ist die Vermittlung von Bodenwissen im Zusammenhang z. B. mit der Trinkwassergewinnung, mit landwirtschaftlichen Themen oder in Verbindung mit regionalen Besonderheiten. Beispiel dafür ist eine Broschüre zum Thema „Geest“, die die Entwicklung eines Heidepodsol vor dem Hintergrund der eiszeitlichen Landschaftsgenese, der historischen Landnutzung bis hin zu aktuellen Fragestellungen der Trinkwassergewinnung darstellt (gr. Beilage 2006).

**In der Freizeit** kann mit Hilfe von Spielen Bodenwissen vermittelt werden. Nachhaltige Verhaltensweisen sowie die Planung von Bodenschutzstrategien können in Autorenspielen ähnlich dem Spiel „Die Siedler von Catan“ erprobt werden. Die Nutzung des Internet ermöglicht es, solche Planspiele auch virtuell durchzuführen. Ein Forum dafür ist die Internet-Infrastruktur „Second Life“, in der ein Nutzer eine virtuelle Identität (Avatar) annehmen und als Agitator für Bodenthemen aktiv werden kann. Folgende Strategien sind denkbar:

- Verknüpfung von realer Welt und „Second life“: Aktionen, Ankündigungen und Pressebe-

\* Hochschule Vechta, ISPA, Abt. für Geo- und Agrarökologie mit dem Schwerpunkt Bodenkunde (kgeyer@ispa.uni-vechta.de)

richte aus aktuellen Anlässen. Beispiel: Projekt der FH Eberswalde: In „Second life“ wird Geld gesammelt, mit dem Baumpflanzaktionen finanziert werden ([http://www.chip.de/news/cl\\_news\\_27138675.html](http://www.chip.de/news/cl_news_27138675.html)).

- Irrealität von „Second life“ nutzen, um Strategien der Öffentlichkeitsarbeit zu erproben.
- Virtuelle Schulungs- oder Informationszentren einrichten wie z. B. das NOAA-Projekt „Metora“ (<http://www.esrl.noaa.gov/outreach/sl/>). Zusätzlich zum traditionellen „E-Learning“ besteht die Möglichkeit, direkt zu kommunizieren, auch virtuelle Tagungen oder Workshops sind möglich.

Die Nutzung von „Second life“ erschließt eine Zielgruppe, die für Umweltbildungsangebote nur schwer erreichbar ist (männlich, unter 30 Jahren, [http://www.w3b.org/trends/second\\_life.html](http://www.w3b.org/trends/second_life.html)).

Trotzdem ist Vorsicht geboten, weil dieses Medium zunehmend missbraucht wird und nicht nachvollzogen werden kann, wer sich unter der Identität eines Avatar verbirgt.

**Erwachsenenbildung und Öffentlichkeitsarbeit** sind unverzichtbare Bestandteile informeller Bildung. Im Mittelpunkt stehen die Schulung von Multiplikatoren, vor allem aber auch die Lehrerfortbildung. Wettbewerbe, Aktionstage (Tag des Bodens) bieten zusätzliche Möglichkeiten, Aufmerksamkeit auf Bodenthemen zu lenken.

Informelles Lernen ist freiwillig und von Eigeninteresse gesteuert. Deshalb ist dringend ein didaktisches Konzept erforderlich, um Akzeptanz und Lernbereitschaft hervorzurufen.

### **Didaktisches Konzept**

Das hier vorgeschlagene didaktische Konzept für die Vermittlung von bodenkundlichen Inhalten beruht auf drei Säulen:

- didaktische Umsetzung
- (innovative) didaktische Methoden
- sowie der Beteiligung an interdisziplinärer Lehr-Lernforschung

Bei der didaktischen Umsetzung bodenkundlicher Inhalte muss berücksichtigt werden, dass nicht das gesamte bodenkundliche Wissen im Sinne einer Abbildungsdidaktik umgesetzt und lediglich didaktisch verkürzt werden kann. Vielmehr soll festgelegt werden, welche bodenkundlichen Inhalte von Bedeutung sind und vermittelt werden sollen und auch, welchen Bildungsbeitrag die Disziplin Bodenkunde leistet.

Für die Erarbeitung von didaktischen Methoden kann auf evaluierte Konzepte aus Schulversuchen zurückgegriffen werden. Hier hat sich ge-

zeigt, dass bodenkundliche Themen sich besonders gut dafür eignen, innovative Unterrichtskonzepte wie Lernwerkstätten oder Stationenlernen in den Schulalltag zu integrieren.

Neben bodenkundlichen Kenntnissen vermitteln solche Unterrichtseinheiten Sozial- und Methodenkompetenzen und bereiten somit lebenslanges informelles Lernen vor. Darüber hinaus sind die Feld- und Labormethoden der Bodenkunde dazu geeignet, bereits sehr junge Schüler an naturwissenschaftliche Methoden und Inhalte heranzuführen (Geyer et al. 2004).

Die Beteiligung an interdisziplinären Verbundprojekten zur Lehr-Lernforschung und zur Gehirnforschung soll klären, ob der Umgang mit Bodenmaterial dazu beitragen kann, die taktile Wahrnehmungsfähigkeit zu schulen und therapeutisch genutzt werden kann. Vorläufig werden drei Fragen formuliert:

- Sind die haptischen Methoden, die in der Bodenkunde angewendet werden, geeignet, die Gehirnentwicklung positiv zu beeinflussen?
- Ist der Umgang mit Boden dazu geeignet, um Grundbedürfnisse des Menschen auf einem ursprünglichen Niveau zu erfüllen (Bild „Mutter Erde“ / Urvertrauen in Schöpfung)?
- Können bodenkundliche Methoden und Inhalte sogar einen Beitrag in der Rehabilitationsmedizin und in der Rehabilitationspädagogik leisten?

### **Fazit**

Informelles Lernen wird in unserer Gesellschaft weiter an Bedeutung gewinnen. Für bodenkundliche Themen sind informelle Lernfelder interessant, weil uneingeschränkt gehandelt werden kann.

Die Steuerung von unbeabsichtigten Lernvorgängen im Zusammenhang mit der Freizeitgestaltung ist ein zukunftsweisender Ansatz für die Vermittlung von Bodenwissen. Die Nutzung von Neuen Medien ermöglicht es, neue Zielgruppen zu erschließen.

Interdisziplinäre Forschungsvorhaben sollen dazu beitragen, den Bildungsbeitrag von bodenkundlichen Themen und Methoden aufzuzeigen.

### **Literatur**

- Faure, E. (1972): *Learning to Be: The World of Education Today and Tomorrow*. Paris, UNESCO Publishing, 1972.
- Geyer, K., H.-J. Brauckmann, G. Broll & M. Flath (2004): *Soil science and agricultural ecology in primary education: practise and evaluation*. Symposium Eurosoil Sept. 2004, verfügbar unter: [http://www.bodenkunde2.uni-freiburg.de/eurosoil/abstracts/id219\\_Geyer\\_full.pdf](http://www.bodenkunde2.uni-freiburg.de/eurosoil/abstracts/id219_Geyer_full.pdf)
- gr. Beilage, J. (2006): *Geest. Sandige Landschaft und Trinkwasserreservoir*. (<http://www.bakenhuis.de/oowv/home.htm>)

Tag des Bodens 2003 und 2006 –  
Verstärkte Aktivitäten und öffentliche  
Präsenz?

L. Giani

Von verschiedener Seite wird gegenwärtig verstärkt auf die Verantwortung von Wissenschaftlern für die Interaktion und Kommunikation von Wissenschaft und Gesellschaft hingewiesen. Als eine zunehmende Herausforderung für die Zukunft sieht dies auch der „Internationaler Council for Science“ (ICSU) (ICSC, 2005; <http://www.icsu.org>). Die ICSU ist die Dachorganisation von 29 internationalen wissenschaftlichen Organisationen (u.a. IUSS) sowie von über 100 nationalen Akademien (u.a. Union der Deutschen Akademien), deren Mission es ist, die internationale Wissenschaft zum Wohl der Gesellschaft zu festigen und auszubauen.

Auf der Generalversammlung 2005 der ICSU in Zuzhou, China, wurde festgestellt, dass die ICSU als globale Organisation ihre Verantwortung auf höchster Ebene trägt, deshalb jedoch nicht in der Lage ist, diese Aufgabe in der breiten Öffentlichkeit zu erfüllen. Auf Grund dessen fordert die ICSU nationale wissenschaftliche Gesellschaften und einzelne Wissenschaftler nachdrücklich auf, auch ihre Verantwortung im Sinne einer verstärkten Kommunikation zwischen Wissenschaft und Gesellschaft auf nationaler und lokaler Ebene wahrzunehmen.

Die Bereitschaft, einen Beitrag zur Kommunikation zwischen Wissenschaft und Gesellschaft zu leisten, ist häufig nicht sehr groß.

Ein wesentlicher Grund dafür mag sein, dass sich ein entsprechendes Engagement nicht in der Evaluation des Faches innerhalb der Universität und in der persönlichen Evaluation der einzelnen Wissenschaftler niederschlägt.

Gleichwohl sollte sich der einzelne Wissenschaftlicher dieser Verantwortung bewusst sein und entsprechend sein Handeln ausrichten.

Auch wenn zunächst der Eindruck entstünde, mit viel zumeist zeitlichem Engagement wenig zu erreichen, kann es sich zu einer erfolgreichen Politik der kleinen Schritte entwickeln, die langfristig Früchte trägt, zumindest dann, wenn sie von vielen Kollegen getragen wird.

Eine Möglichkeit der Interaktion zwischen Wissenschaft und Gesellschaft sind Aktivitäten zum Tag des Bodens. Auf dem ICSS 2002 in Bangkok, Thailand, wurde jeweils für den 05.12. (Tag des Geburtstags der Prinzessin Sirikit) der Tag des Bodens proklamiert. Dieser Tag bietet sich nunmehr an, das Thema „Boden“ in die Öffentlichkeit zu tragen.

2003 bot sich die erste Möglichkeit, Aktivitäten zum Tag des Bodens zu entfalten. In einer kleinen Internet-Studie wurde recherchiert, inwieweit entsprechende Aktionen durchgeführt, bzw. dem web zugeführt wurden.

In einem ersten Schritt wurden ohne weitere Vorgehensmaßnahmen mithilfe globaler Suchmaschinen nach dem Internationalen Tag des Bodens gesucht. Dazu wurden die Begriffe „Weltbodentag“, „Tag des Bodens“, „5. Dezember“, „5.12.“, „international“ und „Boden“ in diversen Kombinationsmöglichkeiten eingegeben. Als Ergebnis wurden lediglich 10 Treffer

erzielt. Davon waren keine in Assoziation mit einer Fachhochschule, eine Nennungen im Zusammenhang mit Museen und jeweils zwei Nennungen in Kombination mit Landesämtern/Ministerien und Universitäten.

In einem zweiten Schritt wurden konkrete e-mail-Anfragen bei bodenkundlich orientierten Arbeitsgruppen, Instituten, Fachbereichen etc. in Landesämtern/Museen, Fachhochschulen und Universitäten durchgeführt. Dabei muss offen bleiben, ob tatsächlich das gesamte angestrebte Adressatenspektrum erfasst wurde, bzw. unbeabsichtigt auch randlich bodenkundlich arbeitende Organisationen aufgenommen wurden. Als Ergebnis stellte sich heraus, dass von sechszehn angefragten Landesämtern/Ministerien eine Institution Aktivitäten entfaltet hatte, von den übrigen fünfzehn wurde keine Antwort erhalten. Dreizehn von fünfzehn angefragten Fachhochschulen gaben keine Antwort, von Einer erhielten wir eine positive und von einer Anderen eine negative Rückmeldung. Für neunundvierzig angemailete Universitäten ergab sich das Ergebnis von vier positiven und 25 negativen Antworten, während zwanzig nicht reagierten.

Diese Kurzumfrage wurde 2006 wiederholt. Wiederum wurden in einem ersten Schritt mithilfe von google nach dem Internationalen Tag des Bodens gesucht. Dazu wurden die Begriffe „Weltbodentag“ und „Tag des Bodens“ eingegeben. Als Ergebnis wurde nunmehr die erstaunliche Anzahl von über eine Million Treffern erzielt, davon entfielen 61 Nennungen auf „Weltbodentag, Tag des Bodens“, 981 auf „Weltbodentag“ und 1510000 auf „Tag des Bodens“.

Die im zweiten Schritt durchgeführten e-mail-Abfragen wurden aus zeitlichen Gründen auf die Universitäten beschränkt. Als Ergebnis stellte sich heraus, dass von siebenundvierzig angefragten Universitäten

sechs Institution von durchgeführten Aktivitäten zum Tag des Bodens berichteten, von achtzehn wurde eine negative und von zweiundzwanzig keine Antwort erhalten. Dies bedeutet eine positive Auskunft von 13 %. Im Vergleich zu 2003, als es 8 % positive Rückmeldungen gab, bedeutet dieses Ergebnis einen deutlichen Trend zu zunehmenden Aktivitäten zum Tag des Bodens.

Häufig wird die Frage nach dem Benefiz solche Aktivitäten gestellt und sie dem Arbeitsaufwand gegenübergestellt. Meiner Meinung nach können sich solche Aktionen zu einer erfolgreichen Politik der kleinen Schritte mit Langzeitwirkung entwickeln, zumindest dann, wenn sie von vielen Kollegen, auch in der Erfüllung ihrer Verantwortung zur Kommunikation mit der Gesellschaft, getragen wird.

Darüber hinaus können sich auch lokal positive Effekte ergeben. Es findet eine Erweiterung der Zielgruppe statt. Es werden inneruniversitär Studierende anderer Fächer, auch Nichtnaturwissenschaftler angesprochen, außeruniversitär ein breites Publikum oder eine spezifische Zuhörerschaft (z.B. interessierte Lehrer). Die Folge ist eine Iniziiierung von Kontakten und Stärkung von Kooperationen, sowie Integration außeruniversitären Publikums. Durch Pressepräsenz wird ein Multiplikator wirksam, der auch Werbung für die eigene Arbeitsgruppe macht. Nicht zu vernachlässigen ist der Effekt der Stärkung des Gruppenbewußtseins und der Festigung der Kompetenz bei den Studierenden der Bodenkunde, die an Aktivitäten zum Tag des Bodens teilnehmen. Fazit: Es lohnt sich.

Die Autorin bedankt sich bei Herrn Prof. Sticher, Teilnehmer der Generalversammlung der ICSU 2005, für die Bereitstellung von Informationen zur ICSU.

## Bodenwasserhaushalt im Unterricht: Erfahrungen aus einem Kooperations- projekt zwischen Schule und Hoch- schule

G. Hörmann<sup>1</sup>, E. Reinecke<sup>2</sup>, E. Henke<sup>2</sup>, A. Funk<sup>2</sup>,  
N. Thielke<sup>2</sup>, F. Poetzsch-Heffter<sup>2</sup>, N. Fohrer<sup>1</sup>

### Ziele

Ziel des Projektes war die Heranführung von Schülern der gymnasialen Oberstufe (Sek. 2) an das naturwissenschaftliche Arbeiten am Beispiel eines interdisziplinären Forschungsprojekts. Wissenschaftliches Ziel des Projekts war die Messung, Analyse und Modellierung des Bodenwasserhaushalts im Labor und im Freiland.

Die Schüler sollten dabei ohne die an Schulen übliche pädagogische Aufbereitung, aber mit Unterstützung von Wissenschaftlern mit allen Aspekten eines realen Forschungsprojekts konfrontiert werden, auch mit den dabei anfallenden Routinearbeiten, Problemen wie z.B. Meßausfällen von Sensoren, Umgang mit nicht erklärbaren Extremwerten. Sie lernten, an der Schule vermitteltes, teilweise sehr theoretisches Wissen in den naturwissenschaftlichen Fächern (Mathematik, Physik, Informatik, Biologie) in einem interdisziplinären, bodenkundlichen und pflanzenphysiologischen Kontext zu benutzen.

### Teilnehmer und Ablauf

Das Projekt wurde in den Schuljahren 2004/05 und 2004/06 am Lübecker Katharineum, einem Gymnasium, durchgeführt. Im ersten Jahr wurden die Versuche durch die 30 Schüler des Biologie Leistungskurses, im zweiten Jahre durch eine freiwillige AG aus 9 Schülern der Jahrgänge 10-13 durchgeführt und ausgewertet. Die Arbeitsgruppen trafen sich ca. einmal pro Woche zur Datenaufbereitung, -analyse und zur Diskussion der Ergebnisse. Die Betreuung erfolgte durch zwei Lehrer der Schule (Fächer: Biologie, Erdkunde, Mathematik und Informatik) und einen Wissenschaftler des Ökologie-Zentrums.

### Versuche zum Bodenwasserhaushalt

#### Versuchsaufbau

Im ersten Projektjahr wurde ein einfacher Lysimeterversuch zur Messung der Verdunstung einer Lupine im Projektraum des Kurses durchgeführt. Eine mit Boden gefüllte Mülltonne (120l) wurde zur Messung des Verdunstungsverlustes auf eine Präzisionswaage gestellt und mit einer ca. 3cm hohen, von den Schülern angezogenen Lupine bepflanzt. Die Verteilung des Bodenwassers in der Tonne

wurde mit 5 Mikro-Tensiometern und 2 TDR-Sonden erfasst. Die Datenerfassung erfolgte mit einem Datenlogger. Aufgabe der ca. 30 Schüler des Leistungskurses Biologie war die Betreuung des Versuches (Logger auslesen, Gießen) und die Auswertung (Berechnung der Verdunstung und der Wasserverteilung).

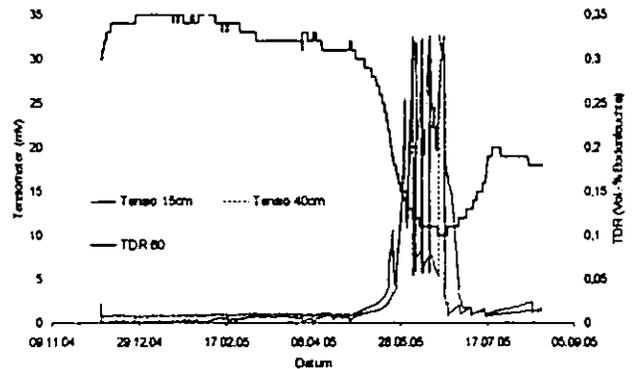


Abb. 1: Tensiometer und TDR-Signal des Lysimeters

Die Abbildung 1 zeigt den Verlauf von drei Sensorsignalen während des Wachstums der Lupine. Die Effekte des wöchentlichen Gießens sind in den Tensiometerdaten deutlich zu sehen. Aufgrund der geringen Auflösung der TDR-Sonden ist hier erst bei einer längeren Trockenphase (Mai 2005) ein Effekt zu beobachten. Frühere Austrocknungsversuche waren wegen der geringen Pflanzengröße nicht möglich.

Die Ergebnisse des Lysimeterversuches waren insgesamt wenig zufriedenstellend. Drei von fünf Mikrotensiometern waren dem schulischen Umfeld nicht gewachsen und brachen kurz nach dem Einbau ab. Außerdem war die Wartung (Auffüllen mit dest. Wasser) der filigranen Tensiometerrohre zu kompliziert. Die TDR Sonden funktionierten insgesamt sehr gut, zeigten aber während der fünfmonatigen Wachstumsphase keine große Dynamik. Insgesamt dauerte die wenig spannende Wachstumsphase der Pflanzen so lange, dass die Zeit des höchsten Wasserverbrauchs bereits in den großen Ferien lag. Für den Einsatz im Unterricht sollte deshalb der Versuch mit einer bereits ausgewachsenen Pflanze und ohne die empfindlichen Tensiometer durchgeführt werden. Die Versuchsdauer kann dann auf die 6 Monate begrenzt werden, in denen z.B. im LK Biologie über die Bodenfauna und Bodenkunde gearbeitet wird.

Die Datenauswertung (Berechnung der Verdunstung aus den Gewichts differenzen etc.) wurde mit einem handelsüblichen Tabellenkalkulationsprogramm (Excel) durchgeführt. Sie lief – nach einer kurzen Einführung in die Grundlagen – weitgehend problemlos ab, obwohl viele Schüler den Biologie LK gewählt hatten, um den Fächern Mathematik und Physik aus dem Weg zu gehen. Die ursprünglich geplante Modellierung der Bodenwasserflüsse mit einem fertig parametrisierten Modell konnte nur mit einigen wenigen Schülern durchgeführt werden, ein Schüler erstellte sogar ein 3D-Modell der Bodenwasserverteilung – für den Großteil der Schüler war dieser Teil des Projekts jedoch zu anspruchsvoll.

<sup>1</sup> Fachabteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft, Ökologiezentrum, CAU Kiel, Olshausenstr. 75, 24098 Kiel, ghoermann@hydrology.uni-kiel.de

<sup>2</sup> Katharineum zu Lübeck, Königstr. 27-31, D-23552 Lübeck, sekretariat@katharineum.de

## Saftflussmessungen

### Versuchsaufbau

Vor Beginn der Vegetationsperiode im Jahr 2005 wurde im Innenhof des Katharineums eine Anlage zur Saftflußmessung mit 3 Sensorpaaren an einem ca. 15m hohen Kirschbaum installiert. Sie basiert auf der Temperaturdifferenz zwischen einem beheizten und einem unbeheizten Sensor, die in direkter Beziehung zum Transpirationsstrom steht (Lu et al. 2004, Granier 1985). Parallel dazu wurden im Innenhof direkt neben dem Baum Lufttemperatur und -feuchte gemessen, zusätzlich standen DWD-Daten aus Lübeck-Blankensee (Tageswerte) zur Verfügung.

### Ergebnisse

Während des zweijährigen Messzeitraums funktionierte die Anlage weitgehend störungsfrei, die Auswertung, das Zusammenführen mit den Klimadaten und die Modellierung wurden von der 6köpfigen AG ohne Probleme bewältigt. Die Rohdaten des Jahres 2006 (Abb. 2) zeigen den Jahresverlauf der Transpiration des Kirschbaums im Schulhof.

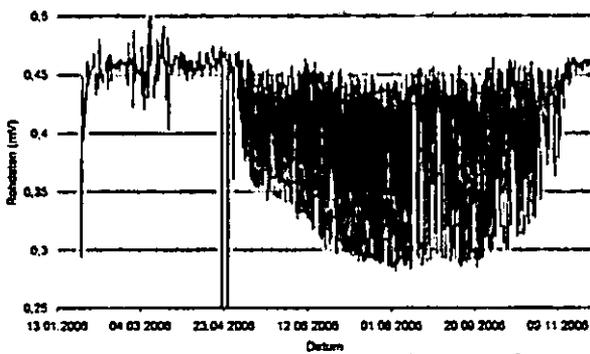


Abb. 2: Zeitreihe der Saftflussmessung im Jahr 2006 (Rohdaten)

Ein Beispiel für komplexe Auswertungen ist die Korrelationsrechnung zwischen simulierter aktueller ( $r^2$ -ETA) und potentieller Verdunstung ( $r^2$ -ETp) sowie dem gemessenen Saftfluss (Abbildung 3). Die über jeweils 14 Tage gleitenden Korrelationen geben Hinweise auf eine zeitweise Entkopplung von Klima und Saftfluss. So ist z.B. in der ersten Jahreshälfte die Korrelation zwischen ETp und Saftfluss höher als die von ETA und Saftfluss, in der zweiten Jahreshälfte sind bei insgesamt abnehmendem Saftfluss die Korrelationen zwischen beiden Verdunstungsvarianten gleich schlecht. Eine mögliche Erklärung für die Probleme der ersten Jahreshälfte wäre, dass der real vorhandene Bodenvorrat des Bodens höher als vom Modell angesetzt ist. In der zweiten Jahreshälfte kommt die zunehmende Seneszenz der Blätter als Ursache in Frage. Die bis zum Schuljahresende durchgeführten Analysen wurden zusammen mit den Schülern in einer wissenschaftlichen Veröffentlichung zusammengefasst. Weitergehende Analysen, wie z.B. die Verknüpfung mit dem Strahlungshaushalt konnten aus Zeitgründen nicht mehr durchgeführt werden.

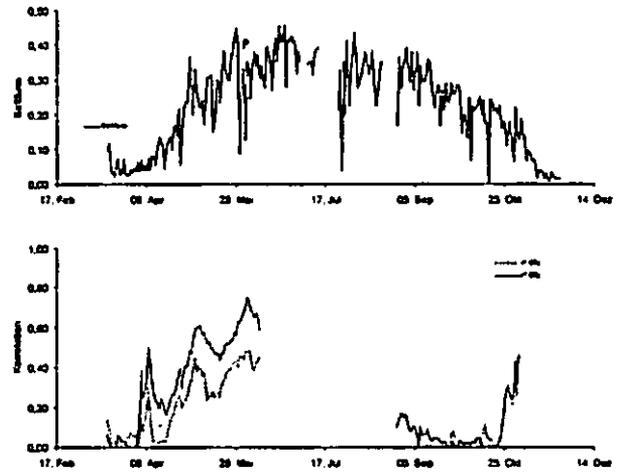


Abb. 3: Korrelationsrechnung zwischen Saftfluss (oben), ETa, ETp (unten)

### Zusammenfassung

Mit dem hier vorgestellten Aufbau eines Lysimeters lassen sich im Geographie- und Biologie-Unterricht die Grundlagen des Bodenwasserhaushalts sehr gut darstellen, durch die eigenverantwortliche Betreuung des Versuches kann auch der praktische Teil des wissenschaftlichen Arbeitens vermittelt werden.

Die relativ wartungsarmen Saftflussmessungen eignen sich hervorragend für ein längeres Projekt, in dem z.B. der Zusammenhang zwischen Bodenwasserhaushalt Klima und evt. auch Photosynthese während einer Vegetationsperiode untersucht werden kann.

Die Modellierung des BW-Haushalts wurde mit einem einfachen, fertig parametrisierten Modell (SIMPEL) durchgeführt. Nach einer Einführung in die Regressionsrechnung und in Excel wurden die Auswertungen durch die Schüler der AG Informatik und Mathematik selbstständig durchgeführt.

### Literatur

- Lu, P., Urban, L., ZHAO P. 2004: Granier's Thermal Dissipation Probe (TDP) Method for Measuring Sap Flow in Trees: Theory and Practice. Acta Botanica Sinica 2004, 46 (6): 631-646
- Granier A. 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. Ann Sci Forest, 42: 193-200.
- Hörmann, G., Poetzsch-Heffter, F., Henke, E., Funk, A., Reinecke, E., Fohrer, N., 2007: High school science project: sapflow of a cherry tree (prunus cerasus) in a school courtyard in Northern Germany. Eingereicht bei "Science in Schools"

### Danksagung

Das Projekt wurde gefördert durch die Robert-Bosch-Stiftung, Kennung 32.5.8051.0093.0, Webseite: [www.hydrology.uni-kiel.de/lupine](http://www.hydrology.uni-kiel.de/lupine)

## Waldböden der Schweiz - wie sie sich präsentieren

Peter Lüscher<sup>1</sup>, Peter Blaser, Jörg Luster, Lorenz Walthert, Stephan Zimmermann

### Einleitung

Waldböden gelten als naturnah. Ihre Nutzung muss - zumindest in der Schweiz - ohne die in der Landwirtschaft üblichen Kulturmassnahmen wie Bearbeitung, Düngung und Bewässerung auskommen. Waldböden sind daher geeignet, um die ungestörte Bodenentwicklung, die Bodeneigenschaften, die Humusformen u.ä. zu erforschen und vergleichend - sozusagen als Referenz - darzustellen. Der Boden wird dabei nicht allein als Produktionsfaktor verstanden, sondern als Teil des terrestrischen Ökosystems.

### Was bietet die Publikation in drei Bänden und an wen richtet sie sich?

Die vorliegende Publikationsreihe bietet einen auf Feldansprachen und Labordaten abgestützten Überblick häufiger Waldböden der Schweiz. Sie umfasst drei Bände. Im ersten Band werden die nötigen bodenkundlichen Grundlagen vermittelt und im Anschluss daran 13 typische Böden der Region Jura charakterisiert. Mit 15 bis 25 Bodenprofilen pro Region folgen im zweiten Band die Böden der Regionen Alpen und Alpensüdseite und im dritten Band jene des Mittellandes und der Voralpen.

Um eine vergleichende Betrachtung der 95 Böden zu erleichtern, wird jeder Boden nach einem fixen inhaltlichen Schema und mit einem einheitlichen Datenset charakterisiert. Dabei werden die sieben folgenden Themenbereiche behandelt: Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie, Physikalische Bodenkennwerte, Bodenhauptbestandteile, Säurezustand, Schwermetalle, Nährstoffe, Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl.

Bodenkundlich und ökologisch entscheidende Sachverhalte werden für jeden der 95 Standorte diskutiert. Da auch waldbauliche Aspekte behandelt werden, richtet sich die Publikation nicht nur an Bodenkundler. Forstpraktikern dient sie als Entscheidungshilfe für eine nachhaltige Waldbehandlung bzw. -nutzung. In der Lehre ist sie willkommen zur Belegung bodenkundlicher Zusammenhänge mit Daten.

Bodenkundliche Praktiker verschiedener Ausrichtungen lernen Besonderheiten von Waldböden kennen. Nicht zuletzt liefert die Publikation den Vollzugsorganen des Bodenschutzes wertvolle Grundlagen für die Beurteilung des Belastungszustandes der Schweizer Waldböden.

Aus Platzgründen sind 43 Profile nur summarisch vorgestellt, können aber über das Internet abgerufen werden: <http://www.hep.info> (hepcode: waldböden).

<sup>1</sup> alle Autoren:

Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL),  
FE Boden-Wissenschaften, Zürcherstr. 111, CH-8903 Birmensdorf  
[peter.luescher@wsl.ch](mailto:peter.luescher@wsl.ch)

### Zum inhaltlichen Aufbau

Zur Gewinnung der Übersicht werden in einem ersten Kapitel pro Region wertvolle Informationen zur räumlichen Gliederung, verbunden mit übergreifenden Ausführungen zur Bodenbildung und den wichtigen Bodenbildungsfaktoren, zur Bodeneignung und zur natürlichen Waldvegetation vermittelt.

Daran schliessen für jede Region drei gleich gestaltete Kapitel an. Das erste gibt einen Überblick über die Auswahlkriterien und die Lage der besprochenen Profile und Standorte. Das zweite und umfangreichste Kapitel beinhaltet eine jeweils ca. 30 Seiten umfassende detaillierte, in die verschiedenen bereits erwähnten Themenbereiche gegliederte Beschreibung der Profilstandorte mit allen pedologischen Angaben. Im dritten Kapitel wird ein Überblick über alle Profile der jeweiligen Region gegeben. Im Anhang befinden sich sämtliche Bodendaten zu den einzelnen Profilen.

### Grosse Vielfalt der Böden in den einzelnen Regionen

Da die Bodenbildungsfaktoren in der Schweiz sehr vielfältig sind, treffen wir auch sehr unterschiedliche Böden mit individuellen Eigenschaften an. Die Böden unterscheiden sich nicht nur in ihrem Aussehen, sondern auch in den chemischen und physikalischen Eigenschaften.

Jeder Band enthält ein Vertiefungsthema: Verwitterung von Karbonatgestein (Band 1), Podsolierung (Band 2), Synopsis über alle 95 Profile (Band 3).

### Ausblick

Die niveaugerechte Umsetzung des „bodenkundlichen Wissens“ von der Grundschule bis zur Stufe Hochschule und der Einsatz der Daten als Grundlage in themengerichteten Weiterbildungsveranstaltungen erfordert tragfähige Konzepte. Aktuelle Themen die bearbeitet werden sind u.a.: Physikalischer Bodenschutz im Wald, Trinkwasserqualität, Organischer Kohlenstoff, Standortsfaktor Boden, Hochwasserschutz.

### Literatur

WALTHERT, L., ZIMMERMANN, S., BLASER, P., LUSTER, J., LÜSCHER, P., 2004: Waldböden der Schweiz, Band 1, Grundlagen und Region Jura. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. Hep Verlag, Bern. 768 S.

BLASER, P., ZIMMERMANN, S., LUSTER, J., WALTHERT, L., LÜSCHER, P., 2005: Waldböden der Schweiz, Band 2, Regionen Alpen und Alpensüdseite. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. Hep Verlag, Bern. 920 S.

ZIMMERMANN, S., LUSTER, J., BLASER, P., WALTHERT, L., LÜSCHER, P., 2006: Waldböden der Schweiz, Band 3, Regionen Mittelland und Voralpen. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. Hep Verlag, Bern. 848 S.



## Konzeption und Ablauf einer Vorlesung beim Kindercampus der Fachhochschule Osnabrück

K. Mueller<sup>1</sup>, K. Böhme<sup>1</sup>

Im Rahmen des Kindercampus der Fachhochschule Osnabrück werden für Schüler im Alter von 10 bis 12 Jahren Vorlesungen gehalten, in denen die Kinder die Fachhochschule und die dort behandelten Themenfelder kennen lernen können.

Der Kindercampus startete im Sommersemester 2006 mit fünf Vorlesungen, die von Vertretern der verschiedenen Fakultäten gehalten werden. Im Wintersemester wurden die Vorlesungen am Standort Lingen wiederholt. Inzwischen ist das zweite Semester des Kindercampus in Osnabrück bereits zu Ende und fand ebenso wie im letzten Jahr begeisterten Anklang bei den Schülern und Eltern.

Die Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur war 2006 durch Prof. Dr. Mueller vertreten, der das Thema „Welche Geschichten erzählt uns der Boden?“ gewählt hatte.

In der Vorlesung wurden Böden des Osnabrücker Landes vorgestellt und erklärt, welche Geschehnisse zu dem jeweiligen Bodentyp geführt hatten. Anhand verschiedener Landschaften und Böden konnten die Kinder interessante und unerwartete Geschichten über ihre Umgebung erfahren und lernen, welche Spuren die Vergangenheit im Boden hinterlassen hat.

Durch den Einsatz von Luftbildern, Fotos der Umgebung und des Bodens sowie kindgerechter Versuche wurde den Kindern vermittelt, unter welchen klimatischen Gegebenheiten und zu welcher Zeit der jeweilige Bodentyp entstanden ist. Hierbei wurde nicht die Vermittlung bodenkundlichen Wissens in den Vordergrund gestellt, sondern das Interesse der Kinder für den Boden wurde mithilfe der Geschichten geweckt, die der Fachmann im Boden „lesen“ kann.

Sowohl in Osnabrück als auch in Lingen war bei der Vorlesung „Welche Geschichten erzählt uns der Boden“ der Hörsaal komplett besetzt und die Kinder beteiligten sich lebhaft und interessiert an der Vorlesung. Hierbei war vor allem der hohe Wissensstand der Kinder bei bodenkundlichen Fragen auffallend.

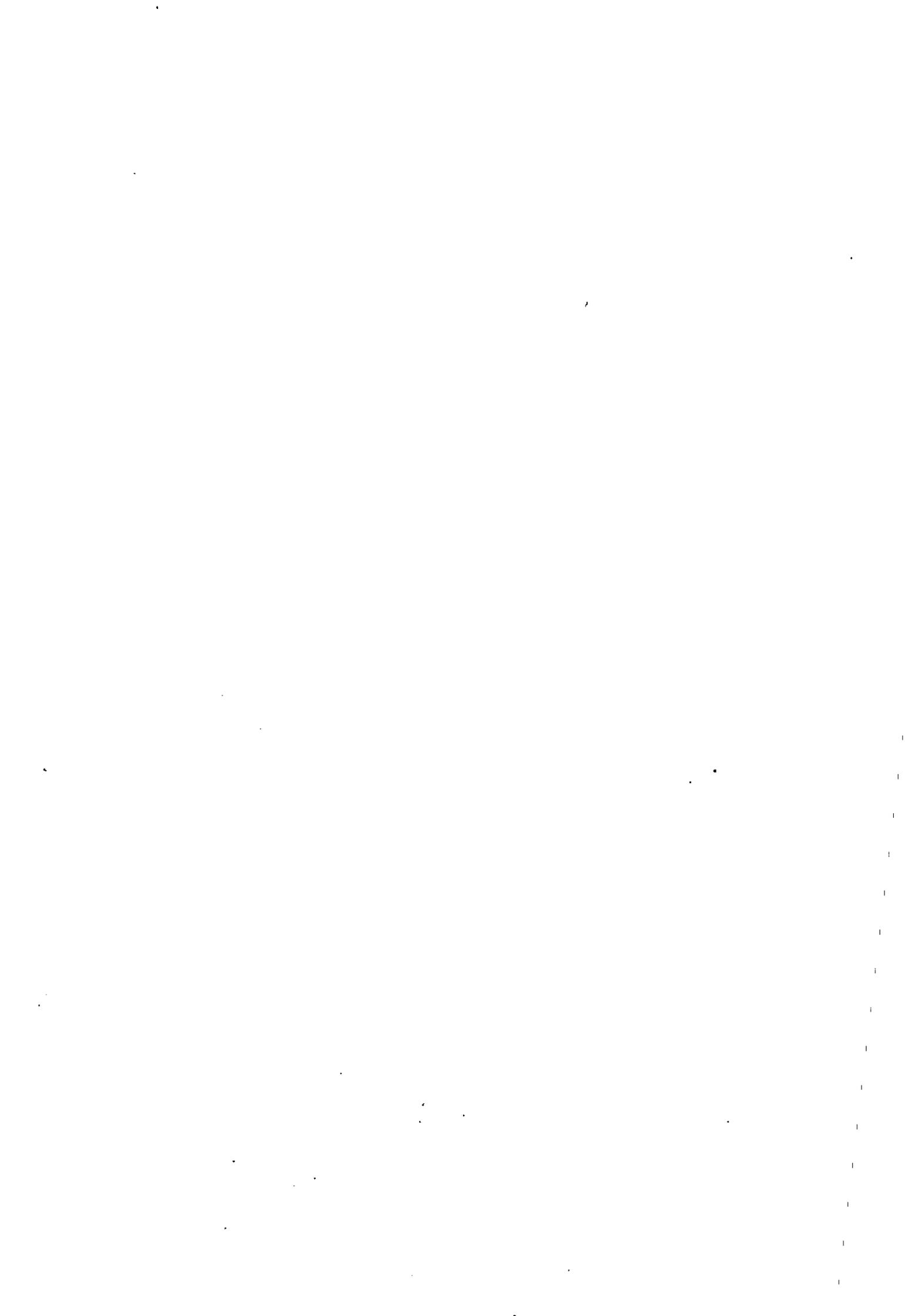
Der Verlauf der Vorlesungen beim Kindercampus Osnabrück hat gezeigt, dass Interesse am Thema und begeisterte Teilnahme an den Lehrveranstaltungen erreicht werden kann, wenn einige Grundsätze beachtet werden:

- Wichtig ist es, die Behandlung bodenkundlicher Themen an Beispielen mit lokalem Bezug (nähere Umgebung des Wohnortes) vorzunehmen.
- Weiterhin sollten die Vorlesungen durch interessante und spannende Versuche und Vorführungen aufgelockert werden.
- Die Kinder sind überdies dankbar, wenn sie sich am Ablauf der Lehrveranstaltung beteiligen können, Fragen und Kommentare zugelassen werden und damit kreativ gearbeitet wird.
- Letztlich sollte die Dauer der Lehrveranstaltung auf maximal eine Stunde begrenzt werden. Danach sinkt die Aufnahmefähigkeit der Kinder deutlich ab, da sie an 45minütige Schulstunden gewöhnt sind.

Die Nachfrage und Begeisterung bei den beiden bisher gehaltenen Vorlesungen (insgesamt etwa 350 Zuhörer) zeigt, dass Boden für Kinder alles andere als ein langweiliges Thema ist.

---

<sup>1</sup> *Fachhochschule Osnabrück*  
*Prof. Dr. Klaus Mueller*  
*Dipl.-Ing. (FH) Kathrin Böhme*  
*Fakultät Agrarwissenschaften und*  
*Landschaftsarchitektur,*  
*Am Krümpel 31, D-49090 Osnabrück*  
*e-mail: [k.mueller@fh-osnabrueck.de](mailto:k.mueller@fh-osnabrueck.de)*



## Wie der Boden in den Schulatlas der Steiermark kommt – ein Werkstattbericht.

Othmar Nestroy\*

Der Einstieg zu dieser Arbeit war eher unkonventionell.

Nach Fertigstellung der Geologischen Karte der Steiermark wurde an mich der Wunsch herangebracht, auch eine Bodenkarte der Steiermark nach den modernsten Gesichtspunkten zu erstellen. Genau genommen sollten es zwei Karten werden, eine im Maßstab 1:350.000 und eine im Maßstab 1:750.000.

Dieser Wunsch wurde von der Schulabteilung des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung artikuliert und eröffnet damit den optimalen Weg, bodenkundliche Grundlagen in die steirischen Schulen zu tragen.

Die folgenden Aktivitäten bestanden darin, die vorhandenen Unterlagen zu sammeln und kritisch zu sichten, so vor allem mit Hilfe von Kollegen aus den Bereichen Bodenschätzung, Bodenkartierung und der Forstlichen Standortaufnahme, die sich schon seit Jahrzehnten mit den steirischen Böden beschäftigen. Diese Kollegen haben sehr wertvolle Beiträge geleistet, da Wissen wie Erfahrung von mehr als 40 Jahren Feldarbeit in der Konfiguration dieser Karten ihren Niederschlag gefunden hat. Der nächste Schritt bestand darin, das vorliegende Material auf den Stand der Österreichischen Bodensystematik 2000 (NESTROY, O. et al., 2000) zu bringen und in Abstimmung mit der Karte wie auch der Legende darstellbare und logisch aufgebaute Bodengesellschaften zu konfigurieren. Diese Darstellungsform wurde deshalb gewählt, da sie nach Ansicht des Verfassers den natürlichen Verhältnissen am nächsten kommt. Selbstverständlich mussten Kompromisse in Kauf genommen werden, um einerseits der oben dargestellten Forderung gerecht zu werden, auf der anderen Seite aber die Übersichtlichkeit zu wahren. Ein weiterer Schritt bestand in zwei Kartenentwürfen, einer im Maßstab 1:350.000 als Wandkarte, einer im Maßstab 1:750.000 als Atlaskarte im Format A4. Beiden Karten sollen mit einer Legende,

ergänzt mit Kurzerläuterungen auf dem Kartenblatt auf der im Maßstab 1:350.000, auf der im Maßstab 1:750.000 hingegen mit einem ausführlichen Kommentar im Schulatlas, versehen werden. Maßstabsbedingt sind Polygone wie auch die Legenden zwar im Aufbau gleich, wie Vorherrschende Bodentypen und Begleitende Bodentypen, doch musste für die Darstellung im Maßstab 1:750.000 die Zahl der Polygone wie auch der Bodengesellschaften logischerweise reduziert werden.

Zwei Parameter sind auf beiden Karten deutlich auszunehmen: Das Durchpausen der geologisch-lithologischen Situation sowie der hypsometrische Formenwandel in diesem Gebirgsland. Dadurch wird aber nach Meinung des Verfassers der physisch-geographischen Landesnatur entsprochen: Die Tal- und Hügelländer mit breiten, ausschwingenden Muldentälern und dazwischen geschalteten Riedelflächen des Südostens, das aus kristallinen Materialien aufgebaute Steirische Randgebirge, das Grazer Paläozoikum umspannend, der Bereich der vorwiegend aus kristallinem Material aufgebauten Zentralalpen sowie, nach der bergbaulich sehr bedeutenden Grauwackenzone, der großflächige Bereich der Steirisch-niederösterreichischen Kalkalpen als nördliche Begrenzung.

Der zweite oben erwähnte Parameter wird an der oberen Grenze der Almmatten erkennbar, da keine zusammenhängende Vegetations- wie auch Bodendecke vorhanden ist und wir in zunehmendem Maße mit der zunehmenden Höhe mit einer fragmentarischen Vegetation- und Bodendecke konfrontiert werden. Diese so labilen und deshalb schutzbedürftigen hochalpinen Lagen werden auf beiden Karten dokumentiert.

Auf diese Weise soll den Jugendlichen ein Einstieg in das Wissen um den Boden als bedeutender Faktor des Naturraums ermöglicht werden und anregen, sich intensiver mit der naturräumlichen Ausstattung dieses Bundeslandes zu beschäftigen. Alle an diesen Karten Beteiligten sind über diese anregende Zusammenarbeit von Schulbehörde und Universität erfreut, verbunden mit der berechtigten Hoffnung auf eine Fortsetzung dieser Kooperation.

---

\*O. Nestroy, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Graz, Rechbauerstraße 12, A-8010 Graz. o.nestroy@tugraz.at

### Kartenlegende (Entwurf)

ÖBS 2006	(Haupt)-Typ	Vorkommen und Vergesellschaftung
AT3	Carbonathaltiger Auboden	im Talbodenbereich der Enns, vergesellschaftet mit Gleyen, Mooren und Anmooren auf Schwemmkegeln und Schwemmfächern mit Pararendzinen, Rankern und Carbonathaltigen und Carbonatfreien Braunerden
AT0	Carbonatfreier Auboden	im Talbodenbereich der Mürz und der Mur oberhalb von Graz, vergesellschaftet mit Pararendzinen, Rankern und Braunerden auf Schwemmkegeln und Schwemmfächern mit Pararendzinen, Rankern und Carbonatfreien Braunerden
AT3-0	Carbonathaltiger Auboden	im Talbodenbereich der Mur südlich von Graz, vergesellschaftet mit Carbonatfreien Braunerden und Gleyen in den Hügellandtäälern, vergesellschaftet mit Carbonatfreien Auböden und Pseudogleyen
GT	Gley	
BN0	Carbonatfreie Braunerde	auf Niederterrassen, vergesellschaftet mit pseudovergleyten Carbonatfreien Braunerden und Pseudogleyen
PT	Pseudogley	auf mittel- und alteiszeitlichen Terrassen, vergesellschaftet mit Typischen Gleyen und Nassgleyen sowie Parabraunerden
RP	Pararendzina	im glazialen Bereich (Moränen und fluvioglaziale Sedimente), vergesellschaftet mit Carbonathaltigen und Carbonatfreien Braunerden, Pseudogleyen, Hangpseudogleyen, Mooren und Gleyen
PH	Hangpseudogley	vorwiegend aus carbonatfreien Tertiärsedimenten, vergesellschaftet mit Carbonatfreien Kultur-Rohböden und teils pseudovergleyten Carbonatfreien Braunerden
RP	Pararendzina	vorwiegend aus carbonathaltigen Tertiärsedimenten, vergesellschaftet mit Carbonathaltigen Rigolböden, Carbonathaltigen Braunerden und Kalkbraunlehm
BN0	Carbonatfreie Braunerde	aus tertiären Blockschottern, vergesellschaftet mit Rankern und Resten von Kalkbraunlehm
TB	Kalkbraunlehm	aus vulkanischen Gesteinen, vergesellschaftet mit Rigolböden und Carbonatfreien Braunerden

ÖBS 2006	(Haupt)-Typ	Vorkommen und Vergesellschaftung
BN0	Carbonatfreie Braunerde	aus Gosauschichten (Mergel, Sandstein und Konglomerat), vergesellschaftet mit Pararendzinen, Rankern und Farb-Substratböden
RN	Braunerde	aus mesozoischen Carbonatgesteinen (Kalke und Dolomite) und Werfener Schichten, vergesellschaftet mit Carbonatfreien und Carbonathaltigen Grobmaterial-Rohböden, Carbonatfreien und Carbonathaltigen Braunerden und Kalkbraunlehm
RN	Rendzina	aus paläozoischen Kalken und Dolomiten, vergesellschaftet mit Carbonathaltigen Braunerden, Kalkbraunlehm und Kalkrotlehm
BN0	Carbonatfreie Braunerde	aus paläozoischen Tonschiefern, Phylliten und Grünschiefern, vergesellschaftet mit Rankern, Hanggleyen und Farb-Substratböden
BN0	Carbonatfreie Braunerde	aus paläozoischen Porphyroiden, vergesellschaftet mit Rankern
BN0	Carbonatfreie Braunerde	aus kristallinen Materialien, vergesellschaftet mit teils podsolierten Carbonatfreien Braunerden, Rankern, Carbonatfreien Grobmaterial-Rohböden und Podsolen
RN	Rendzina	aus Marmor und Kalkschiefern, vergesellschaftet mit Carbonathaltigen Braunerden
MN	Niedermoor	meist in Talrandbereichen von größeren Flüssen, vergesellschaftet mit Anmooren
MH	Hochmoor	in flachen Mulden bei Wasserüberschuss; oft abrupter Übergang zu terrestrischen Böden
CG	Grobmaterial-Rohboden	in Hochlagen bei beginnender Auflösung der flächendeckenden Vegetations- wie Bodendecke, auf Kalk und Dolomit, oft im Wechsel mit Schuttfuren
CG	Grobmaterial-Rohboden	in Hochlagen bei beginnender Auflösung der flächendeckenden Vegetations- wie Bodendecke, auf Kristallin, oft im Wechsel mit Schuttfuren

Nestroy, O. et al. (2000): Systematische Gliederung der Böden Österreichs (Österreichische Bodensystematik 2000). Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges., H. 60, S. 1-99, Wien.

## Boden zu den Menschen tragen

- (Wander-)Ausstellungen  
für Schulen und die Öffentlichkeit -

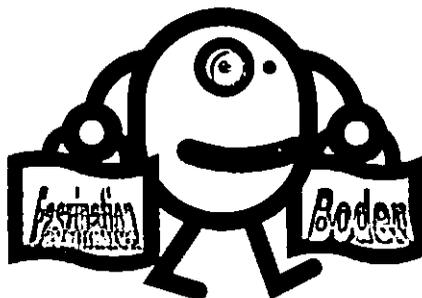
Raimund Schneider<sup>1</sup>, Nicole Hofmann<sup>1</sup>, Anne Schlömer<sup>1</sup>, Sören Winnefeld<sup>1</sup>, u. Elisabeth Tressel<sup>2</sup>

### Idee / Zielsetzung

Bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen sollte generell das Bewusstsein für die vielfältigen ökologischen und ökonomischen Funktionen der Böden als zentrale Lebensgrundlage geschaffen bzw. gefördert werden. Dieses Ziel kann nur dann erreicht werden, wenn eine allgemein verständliche, möglichst anschauliche und erlebnisorientierte Wissensvermittlung gelingt.

Die Landesgartenschau in Trier (2004) stand unter dem Motto „Im Zauber der Elemente“. Neben der Luft, dem Wasser und dem Feuer bot der vierte thematische Schwerpunkt *Erde* die Möglichkeit den **Boden** ebenfalls in den Blickpunkt des Interesses bei den Besuchern zu rücken.

Um eine größtmögliche Flexibilität auch für eine kontinuierliche Folgenutzung (*Schulen, Öffentlichkeitsarbeit*) nach dem Motto „Boden mit allen Sinnen erfahren“ zu erreichen, wurde im Rahmen verschiedener *Lehrveranstaltungen im Fach Bodenkunde der Universität Trier* im wahrsten Sinn des Wortes ein Tragfähiges Ausstellungskonzept erarbeitet und umgesetzt.

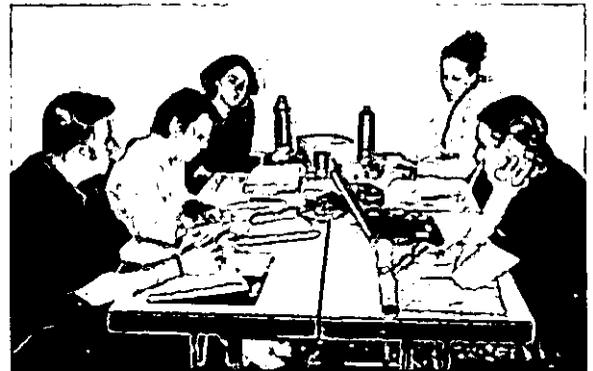


### Konzeption

Um zugleich Studierende der verschiedenen, an der Universität etablierten Studienrichtungen im Fachbereich VI, Geographie/Geowissenschaften für Fragen der Umweltbildung und -erziehung zu sensibilisieren und zum fächerübergreifenden Aggieren zu motivieren, wurde die mobile Ausstellung mit dem Titel "Faszination Boden" als Wanderausstellung im Rahmen mehrerer Lehrveranstaltungen konzipiert und umgesetzt.

In einem ersten Schritt erfolgten im Rahmen eines interdisziplinären Projektseminars im Hauptstudium für Diplom und Lehramt die Konzeption und Redaktion der Ausstellung.

### Projektseminar für Konzeption



Folgende **funktionale Kriterien** für die Ausstellung wurden definiert:

- multifunktional
- variabel, modular aufgebaut
- selbsterklärend, einfach
- interaktiv
- zerlegbar, transportabel
- robust, leicht reparabel
- kostengünstig

Schließlich sind **34 Ausstellungsmodule** entwickelt worden:

- 14 Infotafeln
- 12 Bodenprofile
- 5 Interaktive Elemente
- 3D-Landschaftsmodell
- 2 Vitrinen

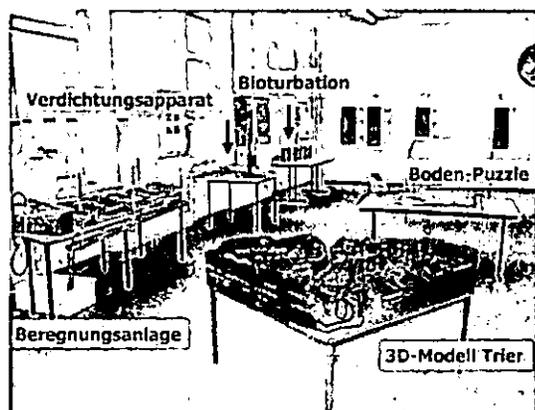
In einem zweiten Schritt folgte die inhaltliche und technische Umsetzung des Konzeptes unter Mitarbeit zahlreicher Studierender in verschiedenen Gelände- und Forschungspraktika.

<sup>1</sup> Universität Trier, FB VI, Bodenkunde, 54286 Trier, schneider@uni-trier.de

<sup>2</sup> Universität Trier, FB VI, Phys. Geogr., 54286 Trier, tressel@uni-trier.de

Hierbei wurden unter anderem Bodenkartierungen durchgeführt, um Standorte für die Entnahme von repräsentativen Bodenprofilen zu finden. Anschließend erfolgte die Herstellung der Boden-Lackprofile, eines 3D-Modells der Umgebung von Trier und der interaktiven Ausstellungselemente.

### Beispiel: Interaktive Elemente



### Beispiel: Infotafeln und Bodenprofile



Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit kamen die Ausstellung oder Teile der Ausstellung bisher bei mehreren Veranstaltungen/Aktionen zum Einsatz:

- ✓ Landesgartenschau, Trier 2004 (6 Wochen)
- ✓ Naturpark Saar-Hunsrück, Hermeskeil 2005 (4 Wochen)
- ✓ Naturpark Saar-Hunsrück, Weißkirchen 2005 (4 Wochen)
- ✓ Hunsrückhaus am Erbeskopf 2007 (3 Mon.)
- ✓ Straße der Wissenschaft, Trier 2005
- ✓ Kinderuni seit 2004
- ✓ Grünes Klassenzimmer Trier seit 2004 (jeweils mehrere Tage)
- ✓ Internat. Tag des Bodens u. Tag der offenen Tür im Fach Bodenkunde

- ✓ Tag der offenen Tür der Universität 2007
- ✓ Wissen schafft Zukunft seit 2005
- ✓ Lokale Agenda 21 / Zukunftsdiplom seit 2004

Weitere Ausstellungen zum Themenkomplex Boden wurden in den letzten Jahren ebenfalls in Kooperation mit Studierenden realisiert oder sind in der Bearbeitung:

- ✓ Landwirtschaftsschule Bitburg
- ✓ Haus des Waldes Trier/Weisshauswald
- ✓ Römische Villa Borg
- Bodenprofile des Saarlandes (2007/2008)
- Bodenprofile Luxemburgs (2008 geplant)

### Fazit

Erlebnisorientierte und allgemeinverständliche Ausstellungen bieten eine hervorragende Möglichkeit die Menschen von jung bis alt für Böden und deren vielfältige und bedeutsame Funktionen zu interessieren.

Besonders mittels repräsentativer Boden-Lackprofile, die die „bunte“ Vielfalt der Böden plastisch vor Augen führen, gelingt es derzeit, zahlreiche Besucher verschiedenster Veranstaltungen aller Altersstufen für das Thema Boden zu faszinieren.

Eine sehr gute Resonanz finden auch interaktive, thematisch orientierte Module, die zum "selber probieren" anregen, sowie 3D-Landschaftsmodelle.

Infotafeln sind für die allgemeine Abrundung von Ausstellungen unerlässlich. Sie finden jedoch eher nur eingeschränkte Beachtung.

Die Einbindung der Konzeption und Umsetzung von Ausstellungen in die Lehrveranstaltungen hat bei den Studierenden großen Anklang gefunden.

Die Nutzung selbst von einzelnen Ausstellungsmodulen scheint bisher leider vielen Lehrerinnen und Lehrern noch zu aufwändig zu sein.

### Danksagung

Dem Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau, Rheinland-Pfalz sei für die finanzielle Unterstützung des Projektes "Wanderausstellung" gedankt.

Den Studierenden gebührt unser Dank für die engagierten und konstruktive Mitarbeit in den verschiedenen Projekten.

## Lernen in der Region unter dem Leitbild der nachhaltigen Entwicklung

### Ergebnisse des Forschungsprojektes ALICERA zum Potential außerschulischer regionaler Lernorte

Johanna Schockemöhle<sup>1</sup>

ALICERA ist ein internationales Bildungsprojekt, in dem das außerschulische regionale Lernen im Mittelpunkt steht. Ziel des Modellvorhabens ist, Gestaltungskompetenz und regionale Identität der Menschen, die in ländlichen Räumen Europas leben, zu stärken, um so die Teilhabe der Bevölkerung an einer nachhaltigen Entwicklung ihrer Region zu fördern. Zu diesem Zweck haben die Projektpartner gemeinsam das didaktisch-methodische Konzept des 'Rural Action Learning (RAL)' entwickelt und unterstützen dessen Umsetzung in ländlichen Räumen Lettlands, Ungarns, Österreichs, Frankreichs und Deutschlands. Die geförderten Lernaktivitäten richten sich an Kinder, Jugendliche und Erwachsene. ALICERA ist die Abkürzung für den Projekttitel „Action Learning for Identity and Competence in European Rural Areas“.

Das Projekt startete Anfang des Jahres 2005 und wurde in seiner ersten Laufzeit bis Mitte 2007 durch das EU-Programm INTERREG IIIC gefördert.

Ausgangspunkt der Projekt-Zielsetzung ist die Überzeugung, dass sowohl regionale Identität als auch Gestaltungskompetenz eines Menschen großen Einfluss auf dessen regionales Handeln ausüben: Nur wer die Region, in der er lebt, kennt und sich mit ihr verbunden fühlt, ist bereit, sich für die Entwicklung und Gestaltung der Region einzusetzen. Diese Bereitschaft ist allein jedoch nicht ausreichend. Es bedarf auch einer Gestaltungskompetenz, um sich zielgerichtet und erfolgreich in die Prozesse der Regionalentwicklung einzubringen. Zu solchen Kompetenzen zählen beispielsweise Analyse- und Entschei-

dungsfähigkeit, Teamgeist, Selbstständigkeit oder die Fähigkeit zu vorausschauendem und vernetztem Denken.

Der fortschreitende Erwerb von Gestaltungskompetenz und der Aufbau von regionaler Identität während der aktiven Teilhabe an regionalen Entwicklungsprozessen stehen in enger Wechselbeziehung (siehe Abb. 1). Diese positiven Rückkopplungen werden gestärkt und genutzt, indem im Rahmen der Teilnahme an RAL-Aktivitäten Partizipation im realen Raum erprobt werden kann.

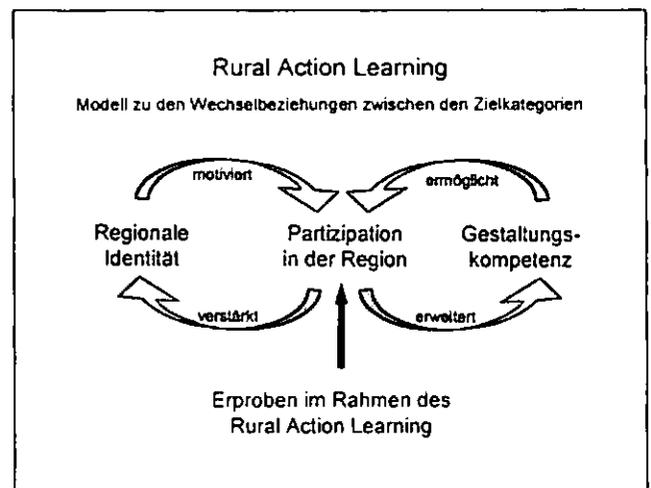


Abb.1: Modell zu den Wechselbeziehungen zwischen den Zielkategorien „regionale Identität“ und „Gestaltungskompetenz“ (Quelle: Eigener Entwurf)

Die didaktisch-methodische Strukturierung des RAL-Ansatzes basiert auf den Lehr- und Lernkonzeptionen des Regionalen Lernens sowie der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Im Rahmen des ALICERA-Projektes wurde RAL umfassend evaluiert. Die Aufgabe bestand darin, die Wirksamkeit des didaktisch-methodischen Konzeptes hinsichtlich der Ziele „Gestaltungskompetenz und regionale Identität auf Seiten der Teilnehmer stärken“ zu überprüfen sowie Aussagen zu Qualitätskriterien des außerschulischen regionalen Lernens abzuleiten. Zu diesem Zweck wurden Befragungen von insgesamt 2.275 Teilnehmern (mittels Fragebogen) und Interviews mit insgesamt 18 RAL-Multiplikatoren (Leitfadeninterviews) in den Projektregionen durchge-

<sup>1</sup> Hochschule Vechta,  
Universitätsstraße 5, 49377 Vechta

führt. Abbildung 2 gibt einen Überblick über das Design der Evaluationsstudie.

Evaluationsdesign			
Zielgruppen	Erhebungsinstrumente		
Teilnehmer an RAL-Veranstaltungen	(Pre-)Test A direkt vorher	(1. Post-)Test B direkt im Anschluss	(2. Post-)Test C halbes Jahr später
Erwachsene (> 17 Jahre)	Fragebogen A1	Fragebogen B1	Fragebogen C1
Jugendliche (13-17 Jahre)	Fragebogen A2	Fragebogen B2	Fragebogen C2
Kinder (8-12 Jahre)	Fragebogen A3	Fragebogen B3	Fragebogen C3
begleitende Lehrer		Fragebogen BT	
RAL-Multiplikatoren			Leitfaden-Interview
	Intervention		

Abb.2 Evaluationsdesign der empirischen Studie im ALICERA-Projekt (Quelle: Eigener Entwurf)

Die Fragebogenstudie beruht auf einem klassischen Pre-Post-Testdesign. Die Methodentriangulation ermöglicht, dass sowohl Daten mit einer hohen Aussagekraft hinsichtlich der Generalisierung der Befunde als auch differenzierte Informationen, die allgemeine Aussagen hintergründig beleuchten und weiterführende Aspekte hervorbringen, erhoben werden konnten.

Zentrale Ergebnisse der empirischen Studie lauten:

- Rural Action Learning trägt erfolgreich dazu bei, auf Seiten der Teilnehmer Gestaltungskompetenz und regionale Identität zu stärken.
- Teilnehmer, die vorher eine schwache Ausprägung von Gestaltungskompetenz und regionale Identität vorweisen, werden besonders erfolgreich gefördert.
- Handlungsorientierte Lernmethoden sind hinsichtlich der Förderung von Gestaltungskompetenz und regionale Identität wirksamer als andere getestete Methoden.
- Der Lernort Bauernhof erweist sich mit seinem hohen didaktisch-methodischen Potenzial als stabiler Erfolgsfaktor für das Rural Action Learning.
- Die Wirksamkeit des Rural Action Learning nimmt nicht parallel mit der Veranstaltungsdauer zu. Der Zeitumfang einer

Veranstaltung spielt altersspezifisch eine Rolle, aber es kann nicht bestätigt werden, dass eine Veranstaltung desto wirksamer ist, je länger sie dauert. Bedeutungsvoller sind die didaktisch-methodische Strukturierung der Veranstaltung sowie die Vor- und Nachbereitung des Lernens vor Ort.

Die Veröffentlichung einer detaillierten Darstellung der Evaluationsergebnisse ist in Vorbereitung.

Mit einer Untersuchung zur Wirksamkeit des RAL-Ansatzes wird das Feld der empirischen Lehr- und Lernforschung betreten. Hierbei knüpft die Evaluation des RAL am aktuellen Forschungsbedarf unmittelbar an. So werden Studien zur effektiven didaktisch-methodischen Strukturierung von schulischen wie außerschulischen Lehr-Lern-Prozessen im Sinne einer Bildung für nachhaltige Entwicklung als momentan dringende und zentrale Aufgabe für Bildungsforscher angesehen. Die Untersuchungen im ALICERA-Projekt liefern hierzu neue Erkenntnisse.

Flath, M. (2007): Der didaktisch-methodische Ansatz des Rural Action Learning. In: Institut für Strukturforschung und Planung in agrarischen Intensivgebieten, Hochschule Vechta (Hrsg.): Regionales Lernen in ländlichen Räumen Europas. Vechta, S. 31-42.

Giest, H.; Lompscher, J. (2006): Lernfähigkeit – Lernen aus kultur-historischer Perspektive. Ein Beitrag zur Entwicklung einer neuen Lernkultur im Unterricht. Berlin: Lehmanns Media.

Harenberg, D.; de Haan, G. (1999): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung : Gutachten zum Programm. Bonn: Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung, Geschäftsstelle.

Mayer, Carsten (1996): Umwelterziehung im authentischen Handlungskontext. Zur theoretischen Fundierung und Evaluation Regionalen Lernens. Frankfurt a.M.: Peter Lang - Europäischer Verlag der Wissenschaften.

Rieß, W.; Apel, H. (Hrsg.) (2006): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Aktuelle Forschungsfelder und -ansätze. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.

Salzmann, Ch.; Mayer, C.; Bacumer, H. (1995): Theorie und Praxis des Regionalen Lernens. Frankfurt a.M.: Lang.

Schockemöhle, J. (2007): Die Wirksamkeit des Rural Action Learning. Ergebnisse der Evaluation. In: Institut für Strukturforschung und Planung in agrarischen Intensivgebieten, Hochschule Vechta (Hrsg.): Regionales Lernen in ländlichen Räumen Europas. Vechta, S. 43-65.

## „Bodenwissen“ als überfachliche Schlüsselkompetenz In Bachelor- und Master-Studiengängen

von Eva Tolksdorf-Lienemann<sup>\*)</sup>

**Einleitung:** Auch wenn die Arbeit der letzten Jahre des Ak „Boden in Unterricht und Weiterbildung“ als erfolgreich bewertet wird (Hermann 2005), ist das Wissen über Böden in der Allgemeinheit immer noch gering verbreitet und auf bestimmte Personenkreise beschränkt. Dies ist aufgrund der Untersuchungen von Anlauf & Rück (2005) zu folgern, die im Prinzip ältere Erkenntnisse zum „Bodenwissen“ von Lehramts- naturwissenschaftlicher Fächer oder bodenwissenschaftlich interessierter Studienanfänger bestätigen (Schön & Mueller, 1999; Bochter, 1997).

Daraus ergibt sich zwangsläufig die Frage nach den Gründen. Zwar gibt es inzwischen ein recht differenziertes Angebot zum „Bodenlernen“ vom Museum bis ins Internet und auch viele hochwertige Materialien. Dennoch ist es bis jetzt nicht gelungen ein Allgemeinwissen über Boden zu etablieren, das etwa dem über Pflanzen und Tiere, Sport, Gesundheit oder Wetter und Klima auch nur annähernd entspricht. Die letztgenannten Fachgebiete werden in Schulfächern vertreten, sind über Vereine und Verbände oder Medien öffentlich präsent. Die vermittelten Inhalte werden direkt von den Fachwissenschaften bestimmt und stetig durch neue Ergebnisse aus der Forschung aktualisiert. Für den öffentlichen Wissensstand über Böden besteht ein entsprechender direkter Input durch die Fachwissenschaft nicht oder nur sehr begrenzt.

Um also „Bodenwissen“ gesellschaftlich (besser) zu etablieren, müssen andere/weitere zielführende Wege beschritten werden. In diesem Zusammenhang weisen Lang et al. (1999) auf Möglichkeiten für die Universitäten hin, die „Bodenwissen“ fachlich originär verankern und wissenschaftlich entwickeln.

**„Bodenwissen“ und Studium:** Im Rahmen des Bologna Prozesses sind inzwischen Bachelor und Master die formal berufsqualifizierenden Abschlüsse an Universitäten und Hochschule. Die neuen Studiengänge setzen auf eine enge fachspezifische und breite überfachliche Qualifikation und ein integratives Bildungsverständnis, in dem sich allgemeine und berufliche Bildung annähern ([www.uni-heidelberg.de](http://www.uni-heidelberg.de)).

Ziele von Bachelor- und Master-Studiengängen:

- Beschäftigungsfähigkeit
- Flexibilität
- Wettbewerbsfähigkeit
- Fähigkeit zum lebenslangen Lernen

Der Anteil von Veranstaltungen zur überfachlichen Qualifikation wird mit 10-20% gefordert (ZEVA, 2002). Diese stellen im Hinblick auf die Berufsfähigkeit Schlüsselkompetenzen dar und umfassen kommunikative, soziale, kulturelle, technische oder administrative Kenntnisse und Fertigkeiten, schließen aber **explizit auch** die Auseinandersetzung mit Inhalten aus Wissenschaft und Forschung außerhalb des jeweilig gewählten Studienfaches ein.

Überfachliche Schlüsselkompetenzen:

- Fremdsprachen
- Kommunikations-/Teamfähigkeit;
- interkulturelle Kompetenzen
- Präsentations-/Moderationstechniken
- Nutzung von Informationstechnologien
- Grundlagenkenntnisse in Wirtschaft, Verwaltung und Recht
- **Wissenschafts-/Forschungsstandards**

Studienordnungen und Informationsmaterial für Studierende und Studieninteressierte kommen praktisch übereinstimmend zu der Aussage, dass die **Berufsfelder bisher nicht klar umrissen** sind. Der Blick auf die als möglich genannten Tätigkeitsfelder belegt die Notwendigkeit, überfachliche Kompetenzen in Bereich der sog. „soft skills“ zu erwerben.

Tätigkeitsfelder:

- Organisation, Koordination
- Beratung, Bewertung
- Gestaltung
- Aus- und Weiterbildung

Der Blick auf die Arbeitsgebiete, die in der Recherche Vielfachnennungen erhalten, lässt zwar keine explizite Studienfachbindung erkennen, obwohl für die Berufstätigkeit eindeutig fachwissenschaftliche Kompetenzen, auch „Bodenwissen“ vorauszusetzen sind.

Arbeitsgebiete (Nennungen für alle Fachrichtungen):

- Natur und Umwelt
- Gesundheit und Ernährung,
- Kultur, Gesellschaft, Politik
- Planung
- Medien

D.h., für Studiengänge, in denen Bodenkunde nicht als Fachstudienanteil enthalten ist, stellt **„Bodenwissen“ eine mögliche überfachliche Kompetenz mit Schlüsselfunktion für die Berufsfähigkeit** dar. Damit sind also auch Absolventen der Pädagogik, Sozial-

---

<sup>\*)</sup> Carl von Ossietzky Universität Oldenburg  
Institut für Biologie und Umweltwissenschaften  
AG Bodenkunde

Wirtschafts-, Medienwissenschaften, Informatik, Politik, Jura.... Adressaten für bodenkundliches Fachwissen.

### Umsetzung von „Bodenbildung“ im universitären

**Rahmen:** Überfachliche Schlüsselkompetenzen werden überwiegend in den letzten 2 Studiensemestern, im sog. Professionalisierungsbereich, erworben. Gegenwärtig werden in den studienkoordinierenden und -planenden Gremien und Institutionen der Universitäten als überfachliche Qualifikation praktisch ausschließlich „soft skills“ wahrgenommen und für die Studienpfade ausgewiesen. Eine Änderung ist sowohl an ein **bedarfsgerechtes Lehrangebot als entsprechend ausgewiesene Qualifikationsprofile** durch die Fachwissenschaften, hier der Bodenkunde, gebunden.

Aufgrund der Modularisierung des Studiums sind Kombinationen von theoretischen und praktischen Veranstaltungen einschließlich Geländearbeit und Exkursionen möglich. Idealerweise kann der **Erwerb von „Bodenwissen“ mit einem berufsorientierenden Praktikum verbunden** werden, in dem gleichzeitig auch soziale, kommunikative, administrative und andere Kompetenzen vermittelt werden. Hier bestehen praxisnahe Anbindungsmöglichkeiten etwa über die **Bodenschutzämter** in den Kommunen, **Landwirtschaftskammern**, **Boden- und Wasserverbände**, **Landesämter** oder **Oberfinanzdirektionen mit der Bodenschätzung**.

Ein Erfolg „Bodenwissen“ als überfachliche Qualifikation mit Schlüsselfunktion für die Berufsfähigkeit zu vermitteln, stellt jedoch auch **Anforderungen an Lernen und Lehren, fordert also eine spezifische didaktische Umsetzung durch die Fachwissenschaft**.

**Fazit:** Der Ansatz „Bodenwissen“ im Rahmen von **Bachelor- und Master-Studiengängen** ohne bodenkundlichen Fachanteil als **überfachliche Schlüsselkompetenz** zu vermitteln, ist realisierbar, und erscheint sowohl im Hinblick auf die grundsätzlichen Zielrichtungen der Bachelor- und Master- Studiengänge als auch des Bestrebens, das Wissen über Böden in der Öffentlichkeit zu verbessern **als ergänzende Maßnahme zu den bisherigen Aktivitäten geeignet**. Dazu tragen im Einzelnen folgende **Synergieeffekte** bei:

- Berufsfähigkeit der Absolventen stärken
- Förderung beruflicher und allgemeiner Bildung
- Positive Verstärkung zum Lerngegenstand Boden
- Nutzung vorhandener Fachstrukturen
- direkter Input der Fachwissenschaft
- Absolventen als Wissensmultiplikatoren
- Öffentlichkeitswirkung für das Thema Boden
- Wissenschaftstransfer
- Stärkung des Faches

### Literatur:

Anlauf, R. & Rück, F. (2005): Bekanntheitsgrad und Interesse an bodenkundlichen Fragestellungen bei Oberstufenschülerinnen und -schülern. *Mitteilgn Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 107. 763-764.

Bochter, R. (1997): Der Boden im Biologie- und Chemieunterricht am Gymnasium in Bayern. *Mitteilgn Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 85. 1639-1642.

Herrmann, L. (2005): *Bodenbildung* in Deutschland. Was haben wir erreicht, was ist noch zu tun. *Mitteilgn Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 107. 773-774.

Lang, F., Kaupenjohann, M. & Stahr, K. (1999). Studium der Bodenwissenschaften an der Universität Hohenheim. *Mitteilgn Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 89. 91-94.

Schön, H. & Mueller, K (1999): Untersuchungen zu bodenkundlichen Vorkenntnissen von Studienanfängern des Jahres 1998 in den Studiengängen Landwirtschaft, Gartenbau, Landschaftsentwicklung und Bodenwissenschaften an der Fachhochschule Osnabrück. *Mitteilgn Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 89. 67-68.

[www.uni-heidelberg.de/studium/SLK/dokumente](http://www.uni-heidelberg.de/studium/SLK/dokumente): Dietmar Chur & Ute Fehr (17. 05. 2005): Fachübergreifende Kompetenzen im Rahmen von gestuften Studiengängen. Arbeitsgruppe des SAL: Leitlinien/Studienstrukturreform.

ZEVA (Zentrale Evaluations- u. Akkreditierungsagentur Hannover) (2002): Überfachliche Standards für die Akkreditierung neuer Studiengänge: Bachelor – Master – Weiterbildung.

**MITTEILUNGEN  
DER  
DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN  
GESELLSCHAFT**

**Referate AG „Geschichte der Bodenkunde“**

Band 110

Heft 2

2007



## Gustav Heyer (1826-1883) als Boden- und Standortkundler der Forstwissenschaften

Hans-Peter Blume<sup>1</sup>

### 1. Lebenslauf und wissenschaftlicher Werdegang

Der Forstwissenschaftler **Gustav Friedrich Casimir Heyer** wurde am 11.03.1826 als Sohn des Forstkundlers Carl Heyer (09.04.1797 - 24.08.1856) in Gießen geboren. Er hat alle Stufen der forstlichen Ausbildung bis zur Promotion durchlaufen und habilitierte sich 1849 an der Universität Gießen unter seinem Vater. 1854 wurde er zum ordentlichen Professor der Forstwirtschaft ernannt. Er lehrte in Gießen Waldbau, Forstschutz und Forstbenutzung. 1868 übernahm er die Direktion der Forstakademie Hann. Münden und 1878 einen Lehrstuhl an der Universität München. Am 10.07.1883 ertrank er beim Angeln in der Amper bei Fürstenfeldbruck.

### 2. Wissenschaftliches Werk

Heyer gilt als Mitbegründer der Bodenreinertragslehre. Seine erste Schrift zu diesem Thema erschien im Jahre 1852 unter dem Titel *Über die Ermittlung der Masse, des Alters und des Zuwachses der Holzbestände*. Im Jahre 1865 folgte die *Anleitung zur Waldwertberechnung*. 1871 erschienen sowohl *Die Methoden der forstlichen Rentabilitätsrechnung* als auch sein *Handbuch der forstlichen Statik*. Von 1856 bis zu seinem Tode redigierte er die *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* nebst deren Supplementen. Schließlich brachte er 1878 das Hauptwerk seines Vaters, *Der Waldbau oder die Forstproduktenzucht*, als dritte überarbeitete Auflage heraus (Näheres s. Blume et al. 2007).

### 3. Forstliche Bodenkunde und Klimatologie

Von herausragender Bedeutung für die Bodenkunde war Heyers im Jahre 1856 im Ferdinand Enke Verlag erschienene *Forstliche Boden-*

*kunde und Klimatologie*. Diese bietet in ihrem *Vorbereitenden Theil* geologisches und klimatologisches Grundlagenwissen, dem in ihrem *Angewandter Theil* eine forstliche Standortkunde folgt.

Das gebotene geologische Wissen entspricht in gekürzter Form dem, was sich entsprechenden Lehrbüchern von Leonhardt (1835) oder Cotta (1842) entnehmen ließ. Böden werden als Gruppe des Alluviums behandelt: *Es ist die Bildung*

*des Acker- und Waldbodens, welche in der Periode des Alluviums vor sich ging*. Wie sein Zeit-

genosse Albert Fallou in seiner 1862 erschienenen *Pedologie* fasst Heyer die *Verwitterung* der Felsarten und die *Sedimentation* in den Niederungen, mithin die *exogene Dynamik* der Geologie, als die wesentlichen Prozesse der Bodenbildung auf.

Heyer sieht allerdings die *Bodenkunde* nicht wie Fallou als eigenständige Disziplin. Er versteht unter *Bodenbildung* die Bildung des Wurzelraumes für Gewächse, und zwar über den humosen Oberboden hinaus bis zum unverwitterten Gestein.

Heyer unterscheidet wie Fallou zwischen *physikalischen, chemischen und organischen Kräften der Bodenbildung*. Während Fallou unter den *organischen Kräften* vor allem Pflanzenwuchs, Verwesung und Torfbildung versteht, schließt Heyer die Tiere mit ein, z.B. die *Fusorien* als Bildner der Kieselerde und die *Korallen* als Kalk-Akkumulatoren. Beide stellen die Bedeutung der Verwesung für den Pflanzenwuchs heraus. Während Fallou die Mobilisierung organischer Stoffe betont, die im Sinne der Phlogistontheorie den Pflanzen als Nahrung dienen, schildert Heyer eine Freisetzung von Ammonium, Nitrat, Phosphor- und Schwefelverbindungen unter Freisetzung von Kohlensäure im Sinne der Mineralstofftheorie von A.L. Lavoisier (1743 - 1794), N.T. de Saussure (1767 - 1845), C.P. Sprengel (1787 - 1859) und J. von Liebig (1803 - 1873). Zwar fehlen ihm noch die Kenntnisse über den Einfluss der Bodenmikroorganismen auf diese Vorgänge; immerhin schreibt er aber: *... verschiedene Pilze und Schwämme finden sich immer im ver-*

---

<sup>1</sup>Institut für Pflanzenernährung & Bodenkunde der Universität zu D-24098 Kiel

stockten Holze ein und scheinen die Zersetzung weiter fortzutragen.

Die chemische Verwitterung untergliedert Heyer in die a) lösende Wirkung des Wassers, b) dessen Aufnahme als Kristallwasser, c) die Oxidation, d) die Desoxidation schwefelsaurer Salze und e) die Kohlensäurewirkung. Er beschreibt die chemische Verwitterung verschiedener Gesteine und Minerale, und deren teilweise Umwandlung in *Zeolithe* (d.h. Tonminerale).

In Teil 2 der *Forstlichen Bodenkunde* über *Bodeneigenschaften* werden von Heyer die physikalischen Eigenschaften verschiedener *Erdarten* behandelt, u.a. Partikel- und Raumdichte, *Festigkeit und Adhäsion, Wasseraufnahmefähigkeit* (in Masse- und Volumen-%), *Wasserdampfab absorptions- und -Erwärmungsfähigkeit*. Dabei werden die Methoden mittels instruktiver Zeichnungen dargestellt sowie Ergebnisse nebst deren Bewertung vermittelt. Heyers *Classification* der Bodenfeuchte in *dürr, trocken, frisch, feucht und naß* nach Wasseraustritt, Konsistenz und Farbänderung bei Befeuchtung wird noch heute bei der Profilsprache im Gelände benutzt.

In den den *Meteoren* (= Klimaerscheinungen) gewidmeten Kapiteln finden sich auch Bodentemperaturen an der Oberfläche und in der Tiefe repräsentativer Standorte. Außerdem enthalten sie u.a. erste Daten über die chemische Zusammensetzung des Regenwassers (z.B. 1851/52 in Paris eine Zufuhr von 12,5 kg NO<sub>3</sub>- und 10,0 kg NH<sub>4</sub>- N je ha und Jahr), wobei die Bildung der *Salpetersäure* in der Atmosphäre nach Liebig auf Gewitter zurückgeführt wird.

Hinter dem *Angewandten Theil* von Heyers Werk verbirgt sich eine umfassende *Forstliche Standortkunde*, die entsprechenden Werken seiner Zeitgenossen wie Senft oder Grebe weitgehend fehlt. In einem Kapitel über *Atmosphäre und Waldvegetation* werden die Kohlenstoff-Assimilation der Blätter und die Sauerstoffaufnahme durch die Wurzeln ausführlich dargestellt. Im Kapitel *Chemischer Einfluß des Bodens* werden Gehalte verschiedener Gehölze an K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, S, P, Si in Stammholz, Rinde, Zweigen und Blättern (Mai und September) angegeben und als für den Wuchs essentiell im Sinne der Mineralstofftheorie von Sprengel und Liebig dargestellt. Er liefert dabei auch Daten über die Nährstoffgehalte verschiedener Kultur-

pflanzen der Landwirtschaft. Im Gegensatz zu A.D. Thaer (1752-1828) oder Fallou wird herausgestellt, dass der *Bodenumus* den Pflanzenwuchs nur dadurch stimuliere, dass er das Wasserangebot verbessere, die bei dessen Verwesung gebildete Kohlensäure die Lösung von Mineralstoffen fördere und das gasförmig entweichende Kohlendioxid nach Saussure durch die Blätter aufgenommen werde.

Des weiteren werden *Gründigkeit, Lockerheit, Feuchtigkeit, Humusgehalt* und *Wärme* als Hauptfaktoren der *Standortsgüte* genannt, während das Nährstoffangebot für Bäume als weniger wichtig im Vergleich zu Ackerkulturen angesehen wird.

Der *Anhang* seines Buches enthält eine Tafel der geologischen Formationen.

HEYER's Buch ist klar und verständlich geschrieben, berücksichtigt den naturwissenschaftlichen Kenntnisstand seiner Zeit und überträgt damit ähnliche Werke seiner Zeitgenossen wie die von F. Fallou (1862), C. Grebe (1858) oder F. Senft (1857).

#### 4. Literatur

- Blume, H.-P., Hartge, K.-H., Schwertmann, U. (2007): Die Bedeutung des Ferdinand Enke Verlags für die Verbreitung bodenkundlichen Wissens; Kap. 3 in H.-P. Blume & K. Stahr (Hrsg.): Beiträge zur Geschichte der Bodenkunde. Hohenheimer Bodenkundl. Hefte 84
- Fallou, F. (1862): Pedologie oder allgemeine und besondere Bodenkunde. Schönfeld, Dresden
- Liebig, L. von (1840): Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie. Vieweg, Braunschweig

Eine ausführliche Darstellung dieses Beitrags mit vollständiger Literaturliste erscheint Ende Dezember 2007 in Band *Blume, H.-P. & R. Horn (Hrsg.) Persönlichkeiten europäischer Bodenkunde I* der *Schriftenr. Institut f. Pflanzenernähr. & Bodenk. Univ. Kiel*.

**Gustav Adolf Krauß (1888 – 1968)**  
**Altmeister der modernen forstlichen**  
**Standortskunde**

K.E.Rehfuess<sup>1</sup>

**1. Lebenslauf und wissenschaftlicher**  
**Werdegang**

Gustav Adolf Krauß wurde am 25. April 1888 in Diebach bei Rothenburg o.T. geboren. Nach dem Abitur am Humanistischen Gymnasium in Rothenburg studierte er von 1909 bis 1913 Forstwissenschaft an der Forstakademie in Aschaffenburg und an der Universität München. Ab 1913 war er als Forstpraktikant an verschiedenen mittelfränkischen Forstämtern tätig. Im Herbst 1916 wurde er an der Somme am rechten Fußgelenk schwer verletzt. Nach dem Großen Forstlichen Staatsexamen begann er 1918 seine wissenschaftliche Laufbahn als Assistent von Professor Dr. E. Ramann am Institut für Bodenkunde und Standortslehre der Forstlichen Forschungsanstalt München, promovierte 1923 zum Dr. oec. publ. an der Universität München und habilitierte sich hier 1925. Noch im gleichen Jahr wurde Krauß als Nachfolger von Geheimrat Vater auf den Lehrstuhl für Bodenkunde und Standortslehre an der Forstlichen Hochschule in Tharandt berufen. 1935 folgte er dem Ruf auf den Lehrstuhl für Bodenkunde an der Universität München und leitete von da an in Personalunion auch das Institut für Bodenkunde und Standortslehre der Bayerischen Forstlichen Forschungsanstalt. 1954 wurde G.A. Krauß emeritiert und starb am 4. August 1968 in Regensburg. Seine Urne wurde im Familiengrab auf dem Friedhof in Diebach beigesetzt.

**2. Wissenschaftliches Werk**

G.A. Krauß begann seine wissenschaftliche Laufbahn mit Studien über bodenphysikalische Grundlagen-Probleme im Labor und entwickelte u.a. die Pipettmethode zur Korngrößenbestimmung. Mit der Verbesserung seiner Gehfähigkeit verlagerte er seine Aktivitäten immer mehr ins Gelände. Seit seiner Tätigkeit in Tharandt gilt Krauß als einer der Begründer und Altmeister der modernen, aufs Ganze gerichteten und regional organisierten forstlichen

Standortserkundung. Auf ihn geht das heute weit verbreitete mehrstufige Verfahren der Standortskartierung zurück, bei dem man geographisch gut abgrenzbare Großlandschaften (Wuchsgebiete) in Wuchsbezirke mit einheitlichem physiographischem Charakter gliedert. Erst innerhalb dieser regionalen Landschaftseinheiten mit bestimmtem geologischem Bau und Klima und mit einer charakteristischen natürlichen Regionalwaldgesellschaft wird eine weitere ökologische Differenzierung nach Standortseinheiten vorgenommen, welche streng auf den jeweiligen Wuchsbezirk bezogen sind. Für jede dieser Standortseinheiten wird aus der Vielfalt der Standortsfaktoren und ihrer wechselseitigen Beeinflussung, aus dem Kenntnis der Waldgeschichte und aus dem Verhalten der aktuellen Waldbestockung und ihrer Begleitvegetation eine ökologische Gesamtbeurteilung hergeleitet. Diese Standortseinheiten werden flächenmäßig erfasst. Die so entstehenden Standortskarten dienen einerseits als Grundlage für alle waldbaulichen und forsteinrichtungstechnischen Entscheidungen; sie sind andererseits die Basis für weiterführende wissenschaftliche Erhebungen z.B. über die Wuchsleistung, den Ernährungszustand und die Gefährdung der Baumarten. Auch ermöglichen sie die Regionalisierung punktueller Beobachtungen und der Ergebnisse von Fallstudien. Gemeinsam mit E. Brückner legte Krauß schon 1943 den ersten Versuch einer landschaftlichen Gliederung Deutschlands vor.

Eine derartige synoptische Erfassung der Standorte setzt intensive interdisziplinäre

Zusammenarbeit voraus. Deshalb gründete Krauß zunächst in Sachsen und nach dem zweiten Weltkrieg in Oberschwaben regionale Arbeitsgemeinschaften, in denen Geologen, Bodenkundler, Vegetationskundler, Historiker, Forstwissenschaftler und erfahrene forstliche Praktiker zusammen wirkten. Diese Arbeitsgemeinschaften und die von Krauß stets angestrebte enge Zusammenarbeit mit den beteiligten Forstverwaltungen boten auch die Gewähr dafür, dass die Ergebnisse der Standortserkundung unverzüglich in der waldbaulichen Praxis umgesetzt wurden. Das kooperative, interdisziplinäre Wirken von Krauß wurde so zum Vorbild für die moderne Ökosystemforschung.

Inspiziert durch seinen Lehrer Ramann interessierte sich Krauß auch für bodengenetische Fra-

<sup>1</sup>Prof. Dr. K.E. Rehfuess, Dept. f. Ökologie, TU München, 85354 Freising

gen. Wir verdanken ihm die erstmalige Beschreibung und Deutung der - von ihm so genannten - „gleyartigen Böden“, der heutigen Pseudogleye. Er erkannte schon in den 30iger Jahren des vorigen Jahrhunderts ihre Besonderheiten hinsichtlich Wasserhaushalt und Profilmorphologie im Unterschied zu den damals schon bekannten Gleyen und ihre spezifische Stellung in der Bodensystematik.

Waldböden waren für Krauß keineswegs statische Naturkörper; vielmehr erkannte er ihre zeitliche Variabilität in Abhängigkeit von natürlichen Entwicklungsprozessen, von der Art der Bestockung und von menschlichen Eingriffen. Folglich studierte er auch intensiv anthropogene Standortsdegradationen unter reinen Fichten- und Kiefernforsten und die Möglichkeiten ihrer Sanierung. Zur Melioration degradierter Böden legte er schon in den 20iger Jahren des vorigen Jahrhunderts in der Oberpfalz Stickstoff-Düngungsversuche an. Mit Hilfe von Blattanalysen versuchte er, den Ernährungszustand von Bäumen zu charakterisieren und Einblicke in den Nährstoffkreislauf insbesondere von Buchenbeständen zu gewinnen. Er beschrieb die Standortsansprüche wichtiger Baumarten und zeigte mit intensiven, standortsbezogenen Untersuchungen über die Wurzelmorphologie, in welchem Ausmaß z.B. das Wurzelsystem der Fichte vom Wasser- und Lufthaushalt der Böden abhängt.

G.A. Krauß war ein engagierter und fürsorglicher, begeisterter Hochschullehrer. Legendär und unvergessen sind seine vielseitigen, un- gemein anregenden Exkursionen. Vor allem hier verstand er es glänzend und temperamentvoll, seine Schüler, Mitarbeiter und viele Praktiker in der präzisen und umfassenden Naturbeobachtung zu schulen und ihre Fähigkeit zu entwickeln, die einzelnen Standortsfaktoren und ihr Zusammenwirken aus der geomorphologischen Situation, dem Klima, der Landschafts- und Waldgeschichte abzuleiten, den Standortskomplex synoptisch zu erfassen und daraus Folgerungen für die forstliche Praxis abzuleiten. Ein besonderer Schwerpunkt waren dabei immer auch die Beziehungen zwischen Landschaftsstruktur, Besiedelung und Kulturgeschichte.

### 3. Ehrungen

Für seine herausragenden Leistungen wurde G.A. Krauß 1955 durch die Technische Hochschule Dresden die Würde eines Dr. forest h.c. verliehen. 1964 erhielt er den Wilhelm Leopold Pfeil - Preis der Stiftung FVS zu Hamburg.

An G.A. Krauß erinnern u.a. eine Gedenktafel an seinem Geburtshaus in Diebach und ein Gedenkstein in einem dortigen Privatwald.

Ein umfassendes Verzeichnis seiner Schriften wurde im Forstarchiv 1959 und in den Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung, Band 19, S. 115-118, 1969 veröffentlicht.

Eine ausführliche Darstellung dieses Beitrags mit vollständiger Literaturliste erscheint Ende Dezember 2007 in Band *Blume, H.-P. & R. Horn (Hrsg.) Persönlichkeiten europäischer Bodenkunde I der Schriftenr. Institut f. Pflanzenernähr. & Bodenk. Univ. Kiel.*

**Wilhelm Hollstein (1898-1973)**  
**und die Bodenkartierung**  
Günter Roeschmann<sup>1</sup>

Wilhelm Hollstein, 1898 in Berlin als Arztsohn geboren, war von ruhiger, stets überlegter, überwiegend ernster, menschenfreundlicher Wesensart, im Kollegenkreise aber auch überraschend schalkhaft und lebhaft. Besonders interessiert erlebten ihn Freunde und Kollegen, wenn es im Gespräch um knifflige Fragen bodenkundlicher, besonders bodengenetischer Art ging. Hierbei spürte man deutlich seine fachliche Herkunft aus der geowissenschaftlichen „Schule“ des bodenkundlich interessierten Geologie Professors Dr. Hermann Stremme an der Technischen Hochschule in Danzig. Wilhelm Hollstein war dort seit 1923 als wissenschaftlicher Assistent tätig, nachdem er 1922 von der Universität Münster mit einer geologischen Dissertation über den Teutoburger Wald promoviert worden war. Für den, bereits 1917 vorübergehend als Landwirtschaftslehrling tätigen, Geologen war also sowohl erdgeschichtliches, als auch biologisch- landwirtschaftliches Denken nicht fremd, als er von 1923 ab im Geologischen Institut von Prof. Dr. H. Stremme nun auch den Boden als erdgeschichtlich jüngstes Produkt intensiv kennen und kartieren lernte.

Bald wurde Wilhelm Hollstein dann auch die Redaktion der von H. Stremme begründeten „Allgemeinen Bodenkarte von Europa“ (1 : 10 Millionen, 1927) sowie der „Übersichtsbodenkarte des Deutschen Reiches und der Freien Stadt Danzig“ (1 : 1 Million, 1936) übertragen. In dieser Eigenschaft unternahm W. Hollstein „bodenkundliche Reisen“ in zahlreiche Länder Europas, bekam Kontakt zu namhaften Fachkollegen und lernte deren spezielle Kartiererfahrungen kennen. Diese Kenntnisse ermöglichten ihm dann auch u. a. die Herstellung der im

*Handbuch der Bodenlehre* 1930 erschienenen „Bodenkarte der Erde“ und förderten die 1937 erschienene Habilitationsschrift „Eine Bonitierung der Erde auf landwirtschaftlicher und bodenkundlicher Grundlage“.

Die umfangreichen bodenkundlichen Erfahrungen von Wilhelm Hollstein waren damals auch im Berliner Reichsamt für Bodenforschung bekannt geworden und man beauftragte den geschätzten Fachmann im Mai 1940 in der Kartierabteilung des Reichsamtes mit der Herstellung von „Bodenschätzungskarten 1 : 25 000“. 1941 wurde W. Hollstein dort zum Beamten und Bezirksgeologen ernannt. Das Kriegsende 1945 erlebte Wilhelm Hollstein als Volksturmman in Schleswig Holstein.

Nach 1945 entstanden in Celle und Hannover um Alfred Bentz und Paul Woldstedt eine neue Keimzelle des ehemaligen Reichsamtes für Bodenforschung. In diesem Amt übernahm W. Hollstein, zunächst allein, die bodenkundlichen Aufgaben im Raum Niedersachsen.

Im Zusammenhang mit Kontakten zu zahlreichen land- und forstwirtschaftlichen Dienststellen und Hochschulinstituten entstand, neben kleineren Kartierarbeiten und bodenkundlichen Gutachten, u. a. eine erste „Bodenübersichtskarte von Niedersachsen 1 : 1 Million“. W. Hollstein konnte seine bodenkundlichen und geologischen Kartiererfahrungen zwischenzeitlich auch z.B. an die Kartierer der „Forstlichen Standortkartierung“ weitergeben.

Als im Jahr 1950 im Land Niedersachsen der sog. „Emsland Plan“ entstand, um den zahlreichen „Ostflüchtigen“ in den westlichen, z. T. nur schwach besiedelten Gebieten des Emslandes, eine neue Heimat zu geben, ergab sich die Notwendigkeit, die Mineral- und Moorböden dieses Gebietes großmaßstäbig und „parzellenscharf“ bodenkundlich zu kartieren. Diese dem Amt für Bodenforschung in Hannover

<sup>1</sup>Prof. Dr. G. Roeschmann, Hansering 69, 48231 Warendorf

übertragene Aufgabe hat Wilhelm Hollstein in der ihm eigenen, auf seinen großen Kartiererfahrungen beruhenden, innovativen Art, voller Ideen, in Angriff genommen und vollendet. In verwaltungstechnischer und finanzieller Zusammenarbeit mit der neu gegründeten „Emsland GmbH“ entstand unter der Leitung von W. Hollstein und mit Hilfe von zuletzt 12 Bodenkartierern in der Zeit zwischen 1950 und 1965 das im Siebdruckverfahren hergestellte, 584 Blätter 1 : 5 000 umfassende Kartenwerk der „Boden- und Moorkarte des Emslandes“.

Als dann 1963 die von W. Müller geleitete Marschenkartierung, zusammen mit chemischen und physikalischen Laboreinheiten, zur Bodenkunde des Amtes kamen, leitete W. Hollstein als Oberlandesgeologe die Abteilung Bodenkunde mit 17 wissenschaftlichen und 10 technischen Mitarbeitern.

Zahlreiche Bodenkarten und bodenkundliche Gutachten sowie wissenschaftliche Publikationen unterschiedlicher, oft praxisnaher Inhalte entstanden in den folgenden Jahren unter Hollsteins Leitung. Die Zusammenarbeit mit den bodenkundlichen Fachkollegen der anderen Geologischen Landesämter und Ämter für Bodenforschung der BRD war bald so erfolgreich, dass schon 1963 die erste Auflage der für alle Bundesländer geltenden „Bodenkundlichen Kartieranleitung“ entstand, die kürzlich bereits in 5. Auflage erschienen ist.

Wilhelm Hollstein hat als studierter Geologe die in Danzig bei H. Stremme erfahrene „biogenetische“ Bodenauffassung als europaweit erfahrener Bodenkundler und Verantwortlicher für die Bodenkartierung in Niedersachsen wesentlich weiterentwickelt. Er hat außerdem in Zusammenarbeit mit zahlreichen Fachkollegen eine moderne, auch kartierbare, Bodensystematik mit gestaltet.

Behutsamkeit im Umgang, unbürokratische Organisationsformen sowie individuelle Menschenbehandlung von Mitarbeitern,

Kollegen, Vorgesetzten und Praktikern erzeugten ein vertrauensvolles, harmonisches Arbeitsklima. Als Wilhelm Hollstein am 30.4.1965 pensioniert wurde, ließ die große Zahl der zum Festkolloquium erschienenen Kollegen und Mitarbeiter die große Wertschätzung erkennen, die diesem, der Bodenkartierung zeitlebens verbundenen Fachmann, auch als Menschen entgegengebracht wurde.

Wilhelm Hollstein starb in Hannover am 12.6.1973 im Alter von 75 Jahren.

Eine ausführliche Darstellung dieses Beitrags mit vollständiger Literaturliste erscheint Ende Dezember 2007 in Band *Blume, H.-P. & R. Horn (Hrsg.) Persönlichkeiten europäischer Bodenkunde I* der *Schriftenr. Institut f. Pflanzenemähr. & Bodenk. Univ. Kiel*.

## Georg Wiegner (1883 – 1936), ein Pionier der grundlagenorientierten Bodenkunde

Hans Sticher<sup>1</sup>

Georg Wiegner wurde am 20. April 1883 in Leipzig geboren. Nach dem Besuch des Realgymnasiums, das er 1902 mit dem besten Maturitätszeugnis verließ, studierte er an der Universität Leipzig acht Semester Naturwissenschaften, insbesondere Chemie.



Seine Lehrer waren keine Geringeren als J. A. Wislicenus, A. R. Hantzsch und W. Ostwald. 1906 schloss er aufgrund der Dissertation „Über metastabile Zustände zwischen fester und gasförmiger Phase“ sein Hochschulstudium mit der Promotion zum Dr. phil. mit dem Prädikat *summa cum laude et egregie* ab. Nach einer kurzen Beschäftigung als Betriebschemiker in einer Farbenfabrik in Zwickau (wo das Ziel der Arbeit nicht wissenschaftliche Erkenntnis war, sondern kaufmännische Rendite) folgte er einem Ruf der Georg-August-Universität Göttingen, die ihn als Chemiker des landwirtschaftlichen Instituts engagierte.

In Göttingen kam der Physikochemiker Wiegner erstmals mit der Agrikulturchemie in Berührung. Im Labor seines Vorgesetzten, des Milchforschers W. Fleischmann, begann er sich mit physikalisch-chemischen Problemen der Milch zu befassen. Schon bald erkannte er, dass für weitere Fortschritte die neuen Arbeitsmethoden der Kolloidchemie herangezogen werden müssten, für die ihn der Direktor des Anorganisch-Chemischen Instituts, Richard Zsigmondy, zu begeistern wusste. Zsigmondy hatte 1903 zusammen mit H. Siedentopf das Ultramikroskop entwickelt, das von nun an Wiegner in den Bann zog.

1911 habilitierte sich Wiegner in Göttingen mit einer Arbeit über die Kolloidchemie der Milch für das Fach Agrikulturchemie. Neben der milchtechnischen Forschung suchte er seine neuen Arbeitsmethoden auch auf andere agrikulturchemische Gebiete auszudehnen, wofür ihm die Bodenkunde besonders geeignet erschien. Schon 1912 veröffentlichte er seine wichtige Arbeit „Über den Basenaustausch der Ackererde“ (Wiegner, 1912), die ihn schlagartig berühmt machte, und begann damit mit der Bearbeitung eines Problems, das er nie mehr verließ. In einem vielbeachteten Vortrag zeichnete er sodann das weite Gebiet ab, auf dem die kolloidchemischen For-

schungsmethoden Erfolg versprachen. Das ganze Gebiet der Agrikulturchemie schien ihm für die kolloidchemische Betrachtung geeignet. Plasma und Holz, Boden und Milch, Probleme der Tierphysiologie und der landwirtschaftlichen Technologie drängten sich seiner Ansicht nach geradezu für diese Arbeitsmethoden auf.

Nach dem Hinschied von Ernst Schulze (1840-1912), der an der ETH Zürich während 41 Jahren die Agrikulturchemie vertreten hatte, drängte sich an der Abteilung für Landwirtschaft eine Reorganisation der Lehre auf. Im Besonderen wurde die Bodenkunde vom Pflanzenbau abgetrennt und der Agrikulturchemie zugeordnet. Damit musste für die Nachfolge Schulzes jemand gesucht werden, der den weiten Bereich von der Bodenkunde über die Düngerlehre, die Futtermittelkunde und Tierernährung bis zur Chemie der Milch überblickte. Der Historiograph der Abteilung für Landwirtschaft, Prof. Düggele, schrieb dazu: „Unter den Bewerbern um die Neubesetzung des Lehrstuhls erkannte der damalige Präsident des Schweizerischen Schulrats, Prof. Dr. R. Gnehm, mit der ihm in diesen Dingen eigenen Sicherheit, dass mit Georg Wiegner nicht nur ein vortrefflicher Dozent zu gewinnen sei, sondern dass es auch gelte, in ihm ein starkes wissenschaftliches Talent zu gewinnen“ (Düggele 1936).

Wiegner wurde den Erwartungen, die in ihn gesetzt worden waren, mehr als gerecht. Aus heutiger Sicht mag es erstaunen, dass der gleiche Forscher so unterschiedliche Gebiete wie die Bodenkunde, die Milchwissenschaft und die Fütterungslehre gleich meisterhaft beherrschen konnte. Doch Wiegners Ansatz, die verschiedenen Bereiche der Agrikulturchemie aus der Sicht der Kolloidchemie zu sehen, lässt den Erfolg verstehen. Milch, Boden und Mageninhalte betrachtete Wiegner als disperse Systeme, für welche die Gesetze der Kolloid- und Oberflächenchemie Gültigkeit haben müssten.

Von seiner Ausbildung und Veranlagung her neigte Wiegner mehr zur Behandlung theoretischer Probleme, doch verstand er es auch, wichtige Fragen der Praxis nach neuen wissenschaftlichen Gesichtspunkten in Arbeit zu nehmen und mit Erfolg zu lösen. Diese Dualität beschäftigte ihn offenbar stark, denn in einer Reihe von Publikationen ging er einleitend auf das Verhältnis von Theorie und Praxis ein, wobei für ihn klar war, dass praxisorientierte Forschung an der Universität keinen Platz hat. Hans Jenny, Wiegners bekanntester Schüler, schrieb dazu in seinem Nachruf auf Wiegner:

„Like Liebig, Wiegner disliked the utilitarian intruders in agricultural science who worshipped the god of production. ‚Judging a piece of research merely by its immediate practical value may be excused for an experimental station‘, Wiegner once said, ‚but at the university the agricultural chemist should assume a broader outlook and strive for fundamental truth‘.“

<sup>1</sup> Loretohöhe 2, CH-6300 Zug/Schweiz,  
hans.sticher@bluewin.ch

Eine ausführliche Fassung des Vortrags mit einem Schriftenverzeichnis Wiegners erscheint Ende 2007 im Band *Persönlichkeiten der europäischen Bodenkunde I in der Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde Universität Kiel*.

Für praktische Belange setzte er sich aber ganz selbstverständlich ein, wenn die Zeit es erforderte. Als gegen Ende des ersten Weltkriegs die Ernährung der Bevölkerung wie der Haustiere auf bedeutende Schwierigkeiten stieß, begann er sich mit humanernährungsphysiologischen Studien zu beschäftigen.

Die große Liebe Wiegners aber gehörte dem Boden, auch wenn er sich selber keineswegs als Bodenkundler sah, sondern als Chemiker, für den der Boden das geeignete Objekt darstellte, um die Kolloidchemie zu studieren. Bei seinen ersten bodenkundlichen Studien fand er diesen aber rasch als ein zu komplexes, noch zu wenig übersichtliches System, als dass die allgemeinen Kolloidgesetze an ihm experimentell abgeleitet werden könnten. Als exakter Chemiker scheute er sich vor den allzu vielen Variablen. Er wählte deshalb den zweckmäßigen Weg, an einfachen, übersichtlichen Modellsystemen die gestellten Fragen zu studieren und die erhaltenen Erkenntnisse sodann auf den realen Boden zu übertragen. So stellte er die physikalische Chemie und im Besonderen die Kolloidchemie in den Dienst der Bodenkunde. 1916 gab er vor der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich eine Vorlesung, die er in erweiterter Form und mit ausführlichen Fußnoten versehen unter dem Titel „Boden und Bodenbildung in kolloidchemischer Betrachtung“ als Buch herausgab (Wiegner 1918). Diese kurze aber exzellente Darstellung machte ihn mit einem Schlag populär und international bekannt. Von seinen Mitarbeitern, die zum Teil von der Agronomie her kamen, verlangte er – wie wir von Hans Jenny wissen – eine vertiefte Ausbildung in Chemie. Unter dem Einfluss von J. M. van Bemmelen wurden durch gründliche Untersuchungen an Tonen, Permutiten, Metallsolen und Humus die Gesetze der Koagulations- und Sedimentationsvorgänge sowie der Umtauschreaktionen bis ins kleinste Detail erforscht. Besondere Beachtung schenkte Wiegner dem Protonenaustausch und dem bei der pH-Messung in Suspensionen auftretenden Suspensionseffekt, der die Forschung bis heute beschäftigt. Als erster führte er in der Bodenchemie das Konzept der Hydratation zur Erklärung der Lyotropen Reihe der Ionen ein. Im methodischen Bereich verbesserte Wiegner die Schlämmanalyse, die er durch den Einsatz des Ultramikroskops ergänzte. Mit seinen Arbeiten zum Ionentausch und zur Koagulation wurde Wiegner rasch eine international anerkannte Autorität.

Aus der Überzeugung heraus, die an Modellsystemen erarbeiteten Gesetzmäßigkeiten auch in den realen Böden nachweisen zu können, regte Wiegner an, die Morphologie und die Verbreitung der verschiedenen Böden im Feld zu untersuchen. Die Profilstudien und die Kartographie der Böden überließ er aber gerne seinen Mitarbeitern. Wenn diese ‚Seitenlinie‘ seiner Forschung zu einem durchschlagenden Erfolg wurde, so ist dies sicher dem glücklichen Umstand zu verdanken, dass er für die Feldarbeit nicht unerfahrene Anfänger einsetzen musste, sondern außerordentlich begabte Mitarbeiter gewinnen konnte, die sich nicht nur in der Bodenkunde auskannten, sondern auch die Kolloidchemie in seinem Sinne von

Grund auf beherrschten und entsprechende Themen bearbeiteten. Es waren dies Hermann Gessner, Alfred Meyer, Hans Jenny und Hans Pallmann.

Wiegners internationale Ausstrahlung machte sein Institut zu einem Anziehungspunkt für Forscher aus aller Welt. Viele kamen nach Zürich, um in Wiegners Labor zu arbeiten, andere, um mit ihm über ihre eigenen Arbeiten zu diskutieren und seinen Rat zu holen. Auf der langen Liste der Gäste aus dem Bereich Boden finden sich als wichtigste Artturi I. Virtanen, Finnland, Selman A. Waksman, Rutgers Univ. NJ, Robert Bradfield, Missouri, Hubert Kappen, Bonn, Charles E. Marshall, Missouri, E.W. Russell, Rotterdam, R. Kawashima, Japan, José M. Albareda Herrera, Spanien, Victor A. Kovda, Moskau, A.B. Stewart, Aberdeen, Fritz Scheffer, Halle, R.L. Mitchell, Aberdeen, A.C. van Schuffelen, Holland, Wolfgang Ostwald, Leipzig, Jacob S. Joffe, New Brunswick. Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass auch Wiegners andere Forschungsgebiete eine analoge Zahl Gäste anzog.

Wiegners hervorragende wissenschaftliche Leistungen in der Fachgebieten Kolloidchemie, Bodenkunde, Tierernährung und Milchwissenschaft fanden im In- und Ausland hohe Anerkennung. Dies äußerte sich zunächst in ehrenvollen Berufungen an die Universitäten Bonn, Hohenheim und München (Nachfolge Ramann), die er jedoch alle ablehnte. In- und ausländische wissenschaftliche Vereinigungen ernannten ihn zu ihrem Ehrenmitglied, so die Gesellschaft Schweizerischer Analytischer Chemiker und die Internationale Bodenkundliche Gesellschaft, zu deren Gründung er substantiell beigetragen hatte. Schließlich verlieh ihm die Universität Zürich anlässlich ihrer 100-Jahrfeier den Dr. h.c. der Veterinärmedizin (1933) in besonderer Würdigung seiner bahnbrechenden Forschungen auf dem Gebiet der Haustierernährung, und die Kolloidgesellschaft zeichnete ihn mit dem bedeutenden Leonard-Preis aus.

Wiegner war aber nicht nur ein hervorragender Forscher, sondern auch ein vortrefflicher Lehrer. Düggele, der mit ihm während vieler Jahre eng zusammenarbeitete, schrieb in seinem Nachruf:

*„Die gehaltvollen, wohldurchdachten Vorlesungen forderten vom Studierenden völlige geistige Konzentration. (...) So sehr Wiegner als Forscher in jede Einzelheit vordrang und nicht ruhte, bis sie durchgearbeitet war, so verstand er es für die Vorlesungen und Besprechungen das herauszuschälen, was der Studierende als Kern für seine Ausbildung wissen muss.*

Wiegner starb am 14. April 1936 im Alter von bloß 53 Jahren an den Folgen einer schweren Magenoperation, die er – völlig unerwartet – nicht überlebte.

*Wiegner, G. (1918): Boden und Bodenbildung in kolloidchemischer Betrachtung. Verlag Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig, 98 S.*

*Düggele, M. (1936): Prof. Dr. phil. et Dr. med. vet. hc. Georg Wiegner. Schweiz. Landw. Monatsh. 14: 125-134.*

*Jenny, H. (1936): Georg Wiegner. Soil Science 42: 79-85.*

*Pallmann, H. (1936): G. Wiegner. Kolloid-Z. 77: 2-11.*

Mit umfassendem Schriftenverzeichnis Wiegners.