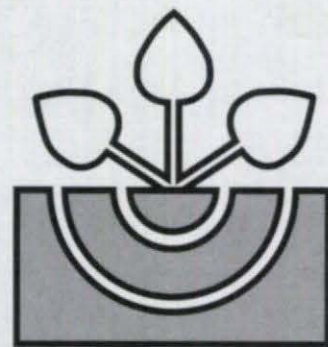


DBG



DEUTSCHE

BODENKUNDLICHE

GESELLSCHAFT

MITTEILUNGEN

DBG · Band 109 · 2006 · ISSN - 0343-1071

Schriftleitung: P. Hugenroth, Oldenburg

MITTEILUNGEN

der

**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT**

Band 109

2006

ISSN – 0343-1071

Schriftleitung: P. Hugenroth, Oldenburg

**MITTEILUNGEN
DER
DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT**

REFERATE

**Sitzung der Kommission I
„Strukturgenese und –dynamik in Böden mit Konsequenzen
für den Wasser-, Gas-, Stoff- und Energiehaushalt“
17. und 18. November 2006, Leipzig**

REFERATE

**Workshop
Der Kommission VI und der AG
„Abfall, Altlasten und Bodenhygiene“
28. und 29. November 2006, Müncheberg**

Band 109

2006

INHALT Band 109

Referate der Sitzung der Kommission I

„Strukturgenese und –dynamik in Böden mit Konsequenzen für den Wasser-, Gas-, Stoff- und Energiehaushalt“

17. und 18. November 2006, Leipzig

BADORRECK, A.; H. H. GERKE; R. F. HÜTTL	3D-Modellierung der Wasserflüsse in einem heterogenen forstlich rekultivierten kohlehaltigen Kippenboden der Lausitzer Bergbaufolgelandschaft	3
BÖHM, C.; R. H. ELLERBROCK; H. H. GERKE	Spektroskopische Charakterisierung von Eigenschaften heterogener Oberflächen an Gefügeelementen von Böden	4-5
FRUHNER, K.; R. HORN; H. FLEIGE	Einfluss von Wasserspannung und Humusgehalt auf die Bodenstabilität und Benetzungshemmung eines gley-Podsols in der Schleswig-Holsteinischen Vorgeest	6-7
GERKE, H.H.; R. O. KUCHENBUCH	Bedeutung und Variabilität des Wassergehaltsanteils in der Wurzelbiomasse am Beispiel von Mais in einem sandigen Niedermoorboden	8-9
HARTMANN, P.; R. HORN; H. FLEIGE; S. PETH HORNSCHUCH, F.; W. RIEK	Benetzungshemmung von flugaschebeeinflussten Waldböden in der Dübener Heide Kleinräumige Heterogenität der organischen Bodenst substanz in Abhängigkeit von Naturnähe und Waldtyp	10-11 12-13
IBRAHIM, J.; H. BORG; B. HOFMANN; O. CHRISTEN	Einfluss unterschiedlicher Berechnungsraten auf die Auswaschung von Nitrat, Chlorid und Sulfat aus Löß-Schwarzerde im Unterdrucksäulenversuch	14-15
JANSEN, I.; R. HORN	Auswirkungen der Bodengefügedynamik unter Nassreisanbau auf Porengrößenverteilung und Schrumpfungsverhalten	16-17
KRÜMMELBEIN, J.; S. PETH; R. HORN	Verhalten eines Steppenbodens aus der Inneren Mongolie, V. R. China, unter zyklischer Belastung	18-19
MARKGRAF, W.; R. HORN	Mikrostrukturelle Veränderungen in Böden auf der Partikel-Partikel-Ebene mittels rheologischer Untersuchungen (AST) und REM/EDX Analysen	20
SANDER, T.; H. H. GERKE; H. ROGASIK	Bodenstruktur von Paddy Reisfeldern unterschiedlichen Alters mittels Computertomographie	21-22
SCHWÄRZEL, K.; T. GRÜNWALD; U. EICHELHANN; K.-H. FEGER; C. BERNHOFER	Langjähriger Vergleich der gemessenen und modellierten Bodenwasserdynamik und Verdunstung einer Podsol-Braunerde unter Fichte	23-24
ULONSKA, H.-J.	Die Körnung als methodische Grundlage bei der Ermittlung bodenschutzrelevanter Kriterien ausgewählter landwirtschaftlich genutzter Mineralböden Thüringens	25-26

**Referate des Workshops der Kommission VI und der AG „Abfall, Altlasten und Bodenhygiene“
28. und 29. November 2006, Müncheberg**

MELCHIOR, S.	Aktuelle Fragestellungen bei der Rekultivierung von Deponien, Altlasten und Bergbaufolgelandschaften	29-30
SCHAFFER, R.	„REKULT“ – ein interdisziplinäres Forschungsprojekt zur Begrünung von Halden am Steirischen Erzberg	31-32
HÜTTL, R. F.; W. GERWIN	Bodenuntersuchungen auf Bergbaufolgestandorten im Lausitzer Braunkohlenrevier	33-34
WATTENDORF, P.; O. EHRMANN	Unverdichtete Rekultivierungssubstrate: Bodeneigenschaften, Vegetationsentwicklung und Wasserhaushalt	35-36
BAUER, C.	Rückverfüllung, Bodenauftrag und Begrünung am Fallbeispiel des Gipsbergbaues der Firma KNAUF in Weißenbach, Österreich	37-38
MARSKI, R.	Mineralische Dämm- und Speicherschichten auf Halden der WISMUT GmbH – Teil I – Anforderungen und Einbau	39-40
KNOCHE, D.; M. HAUBOLD-ROSAR	Mineralische Dämm- und Speicherschichten auf Halden der WISMUT GmbH – Teil II – Bodenphysikalische Eigenschaften und Langzeitverhalten	41-42
NESTROY, O.	Begrünung und Bodenreifung auf Bergbaufolgelandschaften, dargestellt am Steirischen Erzberg	43-44
WOLSFELD, N.	Erfahrungen mit locker geschüttetem Rekultivierungsboden nach 4 Jahren Wasserhaushaltsmonitoring im Feldversuch der Dillinger Hütte	45-46
SCHABER-SCHOOOR, G.;	Standortkundliche Untersuchungen von Rekultivierungsflächen in Abbaugebieten und auf Deponien	47-48
DUNGER, V.	Wasserhaushaltliche Optimierung einer Rekultivierungsschicht als alleinige Sicherungskomponente am Beispiel einer Altdeponie	49-50
JACHS, C.	Vererdung – qualitätsgesicherte Herstellung von Rekultivierungssubstraten	51-52
SCHRIEFER, T.	Rekultivierungssubstrat mit den Komponenten Rechengut, Sandfang, Kehrlicht und Boden	53-54
GRUBE, R.; M. DUSSEL	Herstellung von mineralischen Abdichtungen aus BFA-Bindemitteln	55-56
ZINGK, M.; F. BRAUNISCH	Herstellung von Rekultivierungssubstraten unter Einsatz von Kraftwerksrückständen – Eine Zwischenbilanz	57-58
HAUBOLD-ROSAR, M.; M. GAST	Zum Komposteinsatz bei der Rekultivierung von Braunkohletagebauen	59-60
ANLAUF, R.; C. SCHRÖDER; P. REHRMANN	Einfluss von Einbaudichte und Anteil organischer Substanz auf den Wasserhaushalt von Deponie-Rekultivierungsschichten	61-62
KOSER, M.	Bau von großflächigen Rekultivierungsschichten auf Deponien – Praxisverfahren	63-64

Inhalt nach Autoren

BADORRECK, A.; H. H. GERKE; R. F. HÜTTL	3
BÖHM, C.; R. H. ELLERBROCK; H. H. GERKE	4-5
FRUHNER, K.; R. HORN; H. FLEIGE	6-7
GERKE, H.H.; R. O. KUCHENBUCH	8-9
HARTMANN, P.; R. HORN; H. FLEIGE; S. PETH	10-11
HORNSCHUCH, F.; W. RIEK	12-13
IBRAHIM, J.; H. BORG; B. HOFMANN; O. CHRISTEN	14-15
JANßEN, I.; R. HORN	16-17
KRÜMMELBEIN, J.; S. PETH; R. HORN	18-19
MARKGRAF, W.; R. HORN	20
SANDER, T.; H. H. GERKE; H. ROGASIK	21-22
SCHWÄRZEL, K.; T.GRÜNWALD; U. EICHELMANN; K.-H. FEGER; C. BERNHOFER	23-24
ULONSKA, H.-J.	25-26
MELCHIOR, S.	29-30
SCHAFFER, R.	31-32
HÜTTL, R. F.; W. GERWIN	33-34
WATTENDORF, P.; O. EHRMANN	35-36
BAUER, C.	37-38
MARSKI, R.	39-40
KNOCHE, D.; M. HAUBOLD-ROSAR	41-42
NESTROY, O.	43-44
WOLSFELD, N.	45-46
SCHABER-SCHOOR, G.;	47-48
DUNGER, V.	49-50
JACHS, C.	51-52
SCHRIEFER, T.	53-54
GRUBE, R.; M. DUSSEL	55-56
ZINGK, M.; F. BRAUNISCH	57-58

HAUBOLD-ROSAR, M.; M. GAST	59-60
ANLAUF, R.; C. SCHRÖDER; P. REHRMANN	61-62
KOSER, M.	63-64

**MITTEILUNGEN
DER
DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT**

REFERATE

Sitzung der Kommission I

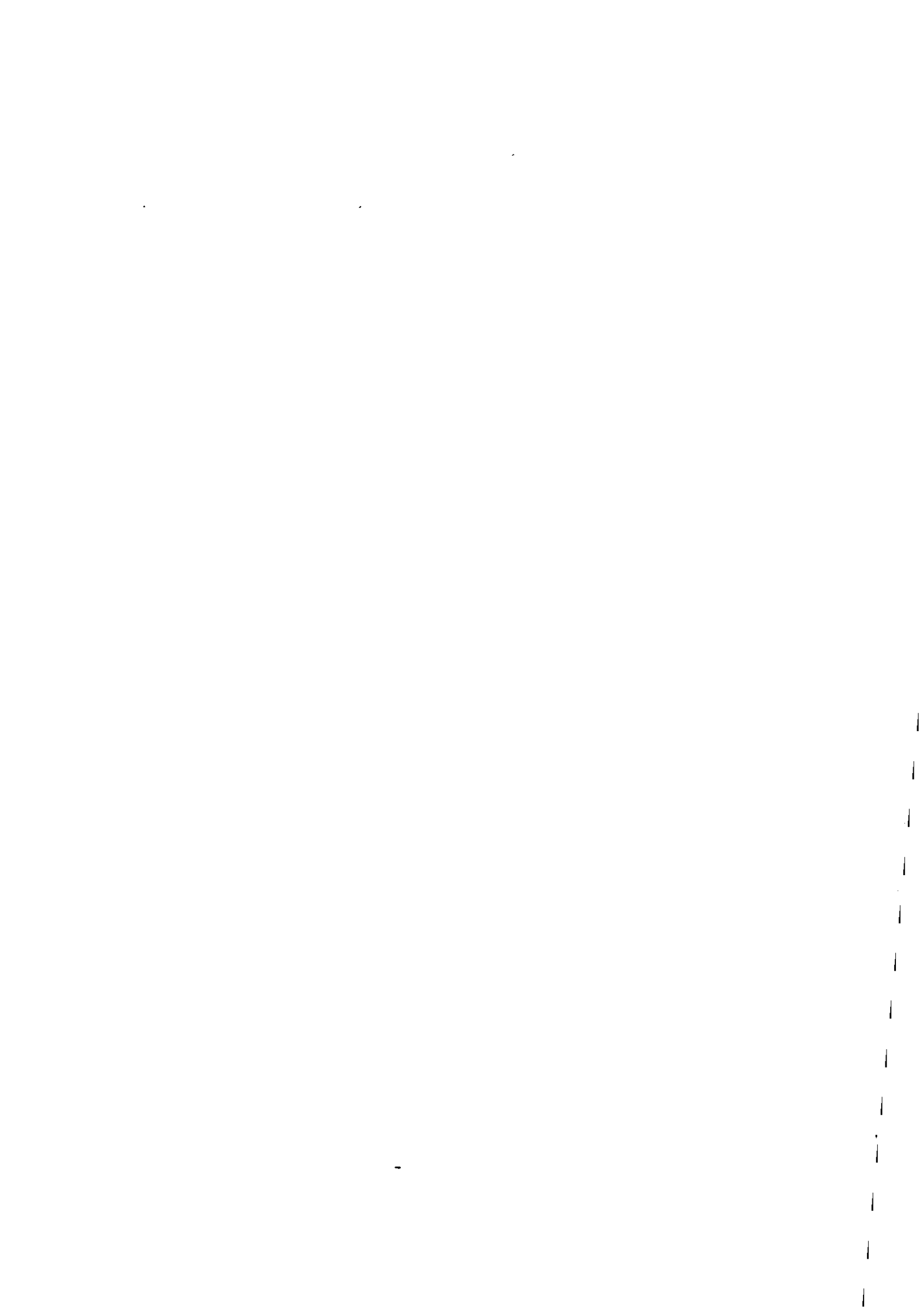
„Strukturgenese und –dynamik in Böden mit Konsequenzen

für den Wasser-, Gas-, Stoff- und Energiehaushalt“

17. und 18. November 2006, Leipzig

Band 109

2006



3D-Modellierung der Wasserflüsse in einem heterogenen forstlich rekultivierten kohlehaltigen Kippenboden der Lausitzer Bergbaufolgelandschaft

A. Badorreck¹, H.H. Gerke² und R.F. Hüttl¹

Einleitung

Für anthropogene Böden in den Bergbaufolgelandschaften des Lausitzer Braunkohlereviere sind räumliche Heterogenitäten von bodenphysikalische und -chemischen Bodeneigenschaften auf verschiedenen Skalenebenen typisch. Einerseits sind auf der Profilebene schräg gestellte Schüttstrukturen (Kiprippen) zu erkennen, in denen variierende Anteile aus kohligem Fragmenten und einer Sand-Kohlestaub-Matrix vorkommen. Zum anderen unterscheiden sich auf einer kleineren Raumskala diese Fragmente in ihren hydraulischen Eigenschaften von denen der umgebenden Matrix. Erste Versuche der Beschreibung der Fließprozesse erfolgten für 2D- vertikale Querschnitte (Buczko et al., 2006).

Ziel hier war eine 3D-Rekonstruktion der Grenzen zwischen zwei Schüttstrukturen, um deren Morphologie für die Simulation im Vergleich mit den Sickerwasserraten einer darunter liegenden Lysimeterzelle zu nutzen. Zudem sollten Verteilung und Größe der Kohlefragmente im Modell SWMS-3D (Simunek et al., 1995) berücksichtigt werden.

Material und Methoden

Das Untersuchungsgebiet auf der Bärenbrücker Höhe liegt etwa 10 km nordöstlich der Stadt Cottbus. Es diente als Außenkippe benachbarter Tagebaue. Der Versuchsstandort weist tertiäre kohlehaltige Sedimente auf. Hauptbestandteile sind Feinsand, Kohlestaub und kohlige Fragmente. Im Unterboden kommen schräge Kippstrukturen vor. Während der vollständigen Beprobung des etwa 3 m³ Bodenblocks, der zuvor mit Zellenlysimeter unterfangen worden war, wurden Bilder von allen Profilschnitten aufgenommen. Die

Fotos wurden digitalisiert und die Grenzen zwischen zwei Schüttstrukturen interpoliert. Auf Grundlage der Oberflächenmorphologie dieser schräggestellten Struktur wurde die Fläche ermittelt, die als eine Art ‚Einzugsgebiet‘ für die am Fuß liegende Zelle angesehen werden könnte (Abb. 1).

Kleinräumige 3D- Simulationen mit SWMS-3D wurden zunächst für die Daten von 300 cm³ großen Stechzylindern durchgeführt. Dabei wurden Effekte von zwei verschiedenen Verteilungen an kohligem Fragmenten verglichen. Die Fragmente unterschieden sich in ihren hydraulischen Eigenschaften von denen der umgebenden Sand-Kohlestaubmatrix vor allem im erhöhten Residualwassergehalt (0.3 gegenüber 0.16) und in einer geringeren gesättigte Wasserleitfähigkeit (60 gegenüber <1 cm d⁻¹).

Erste Ergebnisse

Die Zellen, die an die Kippstruktur angrenzten, hatten zwar relativ mehr Wasser aufgefangen; die Größe der ableitenden Fläche pro Zelle korrelierte jedoch nicht mit der Menge an Sickerwasser.

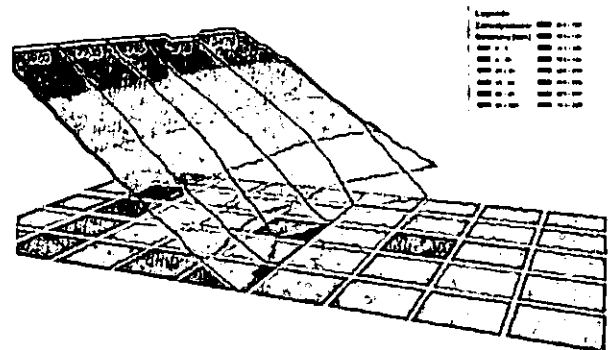


Abb.1 3D-Rekonstruktion einer Kiprippengrenze

Auf einer kleineren Skala zeigten Simulationen für stationäre Zustände, dass bei größeren Fragmenten aber gleichem Volumenanteil höhere Flussdichten in der umgebenden Matrix auftreten als bei kleineren Fragmenten.

Literatur

- Buczko, U., and H.H. Gerke (2006). Modeling two-dimensional water flow and bromide transport in a heterogeneous lignitic mine soil. *Vad. Zone J.* 5:14-26.
- Simunek, J., K. Huang und M.Th. van Genuchten, (1995): "The SWMS_3D Code for simulating water flow and solute transport in three-dimensional variably-saturated media", U.S. Salinity Laboratory, Riverside, California

¹Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung, BTU Cottbus, Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus (badorreck@tu-cottbus.de)

²Inst. f. Bodenlandschaftsforschung, Leibniz-Zentrum f. Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Eberswalder Str. 84, D-15374 Müncheberg, hgerke@zalf.de

Spektroskopische Charakterisierung von Eigenschaften heterogener Oberflächen an Gefügeelementen von Böden

Christian Böhm¹, Ruth H. Ellerbrock¹, Horst H. Gerke¹

Problem- und Zielstellung

Auskleidungen von Wurmröhren und Wurzelgängen (Bioporen) sowie Cutane (Aggregatrand-schichten) weisen häufig nicht nur einen von der Matrix abweichenden Ton- und C_{org} -Gehalt auf, sondern können sich auch hinsichtlich der Zusammensetzung ihrer organischen Bodensubstanz (OBS) voneinander unterscheiden (Ellerbrock & Gerke, 2004). Da Bioporen und Interaggregatporen bevorzugte Fließ- und Transportwege darstellen, sind Art und Heterogenität der OBS auf Oberflächen von Gefügeelementen für das Verständnis des reaktiven Stofftransports in strukturierten Böden von besonderer Bedeutung (Gerke et al., 2000). Obwohl Heterogenitäten in Randzonen teilweise visuell sichtbar sind, gibt es kaum quantitative kleinräumige Analysen der OBS. Ziel der Arbeit ist es daher, ein Verfahren zu entwickeln, mit denen sich die räumliche Verteilung der OBS auf Oberflächen in situ erfassen lässt.

Material und Methoden

Die funktionelle Zusammensetzung der OBS wird mit der Fourier-Transformation Infrarot-Spektroskopie (FTIR) analysiert (Gottwald & Wachter, 1997). In Vorversuchen wurde zunächst

geprüft, ob sich mittels Diffuser Reflexion (DRIFT) (Abb. 1b; Fuller & Griffiths, 1978) angenommene Spektren in ähnlicher Weise quantitativ auswerten lassen wie Transmissionsspektren. Dazu wurden Laurinsäure-Quarzmehl-Gemische unterschiedlicher Konzentrationen mittels DRIFT- bzw. Transmissions-Technik gegen KNO_3 als internen Standard (Abb. 1a) analysiert. Aus den Spektren erfolgte mit Hilfe der Biorad Software Win-IR Pro 3.4 die Bestimmung der C-H/ NO_3 -Verhältnisse (Abb. 2c_T bzw. c_D).

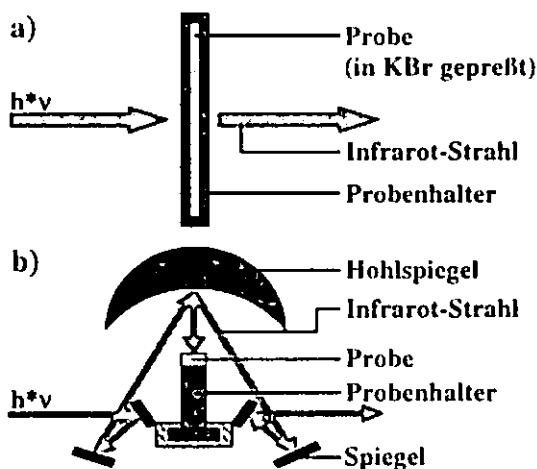


Abb. 1: Schematische Darstellungen a) des Probenträgers der Transmissionstechnik sowie b) der DRIFT-Einheit der DRIFT-Technik im FTIR-Gerät

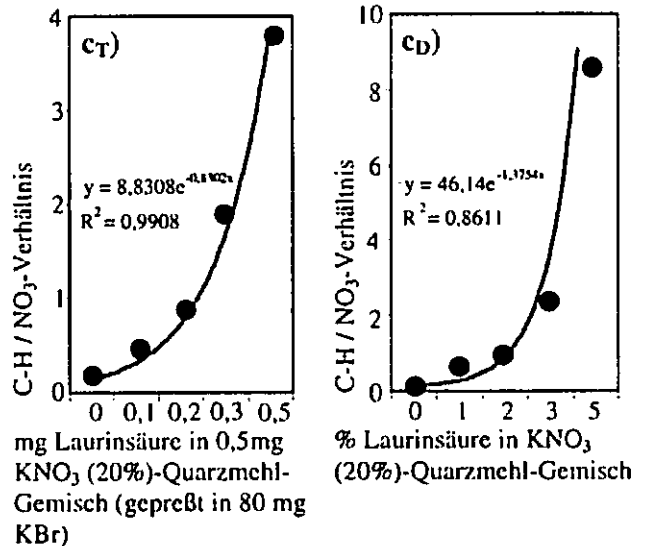
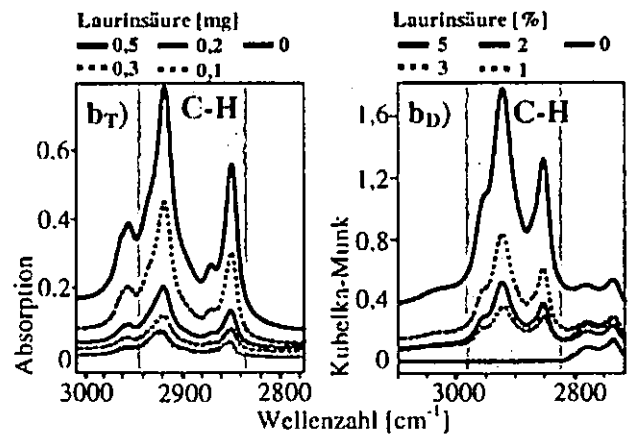
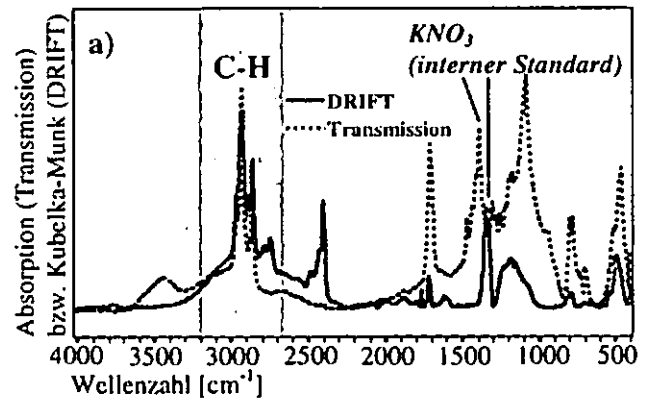


Abb. 2: a) Transmissions- bzw. DRIFT-Spektrum eines Laurinsäure(3%)-Quarzmehl-Gemisches, b) Spektrenausschnitte der C-H-Banden (b_T) bzw. (b_D) und c) C-H/ NO_3 Verhältnisse in Transmissions- (c_T) bzw. DRIFT-Spektren (c_D)

¹Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
 Institut für Bodenlandschaftsforschung
 Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg
 Christian Böhm: boehm@zalf.de

Anschließend wurden Transmissions- (Abb. 3a) und DRIFT-Spektren (Abb. 3b) gestörter Bodenproben, sowie räumlich aufgelöste DRIFT-Spektren geschichteter Bodenproben aufgenommen (Abb. 4). Die verwendeten Bodenproben stammen von Standorten nahe: Herrenberg (BW) (Pelosol), Bispingen (NS) (Podsol) und Nellingen (BW) (Terra fusca).

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Mit steigender Laurinsäure-Konzentration nimmt das C-H/NO₃-Verhältnis sowohl in DRIFT- als auch in Transmissionsspektren zu (Abb. 2c_T bzw. 2c_D).

Das C-H/C=O-Verhältnis in DRIFT- und Transmissionsspektren der Podsol- und Pelosol-Proben ist qualitativ ähnlich (Abb. 3). Allerdings sind die mittels DRIFT ermittelten Werte ca. 1,8-fach höher. Das C-H/C=O-Verhältnis in den Podsol-Spektren ist kleiner als das der Spektren des Pelosols. Die OBS des Podsoils dürfte somit hydrophiler sein als die des Pelosols.

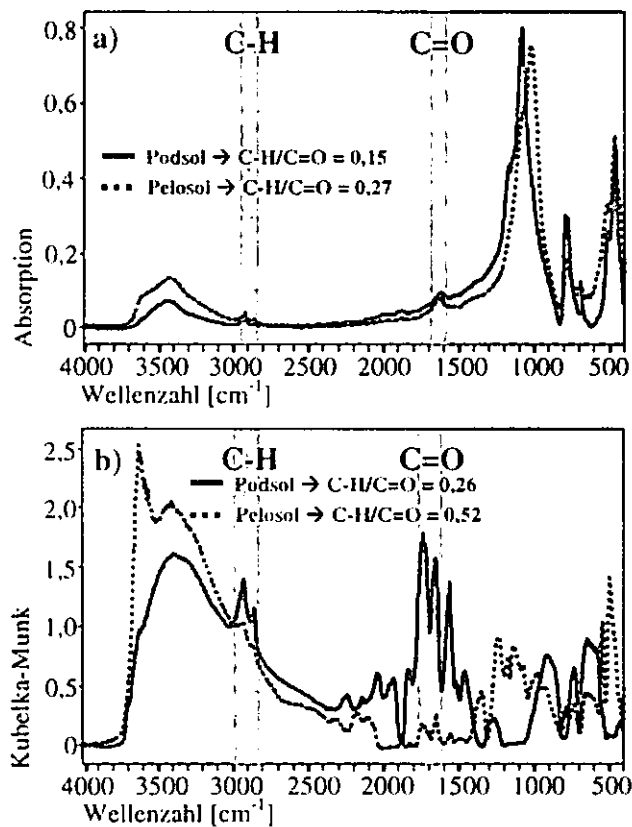


Abb. 3: a) Transmissions- und b) DRIFT-Spektren ausgewählter Bodentypen (Podsol und Pelosol (Ah-Horizont unter Wald)) mit Angabe der jeweiligen C-H/C=O-Verhältnisse

Visuell erkennbare Unterschiede zwischen Bodenproben werden mittels DRIFT erfasst (Abb. 4a): Die C-H/C=O-Verhältnisse in den FTIR-Spektren des Podsoils unter Wald sind klei-

ner als die des Podsoils unter Ackernutzung. Für Terra fusca-Proben konnten vergleichbare Unterschiede zwischen Acker und Wald nicht beobachtet werden.

DRIFT-Spektren einer heterogenen Podsol-Probe markieren Differenzen in den C-H/C=O-Verhältnissen in Abhängigkeit von der kleinräumigen Streuverteilung (Abb. 4b).

Die Ergebnisse zeigen, dass sich mittels DRIFT-Technik kleinräumige Unterschiede in der OBS-Zusammensetzung analysieren lassen.

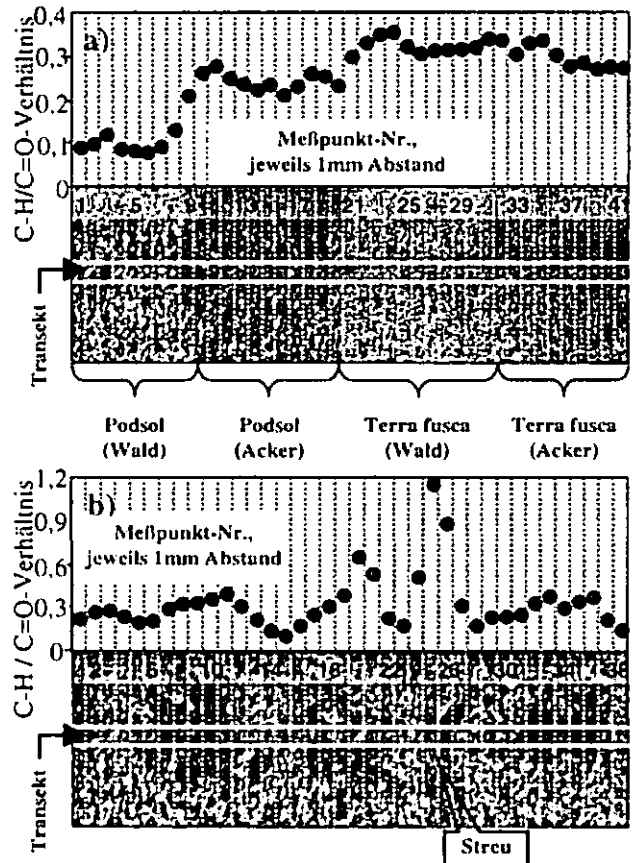


Abb. 4: C-H/C=O-Verhältnisse von DRIFT-Spektren entlang definierter Transekte von a) geschichteten Bodenproben, die aus Podsol- bzw. Terra fusca-Böden (Ah- bzw. Ap-Horizont) unter Wald- und Ackernutzung stammen und b) einer Podsol-Bodenprobe (Ah-Horizont unter Wald) mit visuell erkennbaren Streuteilen.

Danksagung

Das Projekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) (EL 191/7-1) gefördert. Die Bodenproben wurden von Herrn Dr. M. Kaiser (DFG KA 2652/1-1) zur Verfügung gestellt.

Literatur

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.

Fuller, M.P., Griffiths, P.R. (1978): Diffuse Reflectance Measurements by Infrared Fourier Transform Spectrometry. *Analytical Chemistry* 50: 1906-1910.

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 2nd Intern. Symposium, January 3-5, 2001, Honolulu, Hawaii, USA*, Published by ASAE, St. Joseph, Michigan: 293-296.

Gottwald, W., Wachter, G. (1997): *IR-Spektroskopie für Anwender*. WILEY-VCH Verlag GmbH Weinheim.

Einfluß von Wasserspannung und Humusgehalt auf die Bodenstabilität und Benetzungshemmung eines Gley-Podsols in der Schleswig-Holsteinischen Vorgeest

K. Fruhner, R. Horn, H. Fleige

1 Einleitung

Die Bodenstabilität ist ein ausschlaggebender Faktor für die Reduktion des Erosionsrisikos in der durch Winderosion gefährdeten Landschaft der Schleswig-Holsteinischen Vorgeest (hohe Erosivität der Winde). Bei vorherrschenden Sanden (hohe Erodibilität) wird die Stabilität der im Untersuchungsgebiet dominierenden Podsole, Gley-Podsole und Podsol-Gleye sowie Tiefumbruchböden im Wesentlichen vom Scherwiderstand des mineralischen Oberbodens bestimmt. Aufgrund der sandigen Substrate (mittelsandige Schmelzwassersande und Flugsande) wird der Scherwiderstand vor allem durch den Winkel der inneren Reibung determiniert.

2 Material und Methoden

Bodenproben (gestörte Proben und Stechzylinderproben von 235 & 100 cm³) wurden aus dem Oberboden (Ap, 2-4 cm, 6% Humus) und Unterboden (Bhs, 31-33 cm, 1,4% Humus) eines Gley-Podsols aus wechsellagernden Schmelzwassersanden entnommen. Die Stechzylinderproben (235 cm³) wurden bei definierter Wasserspannung (-30; -60; -150; -300; -500 hPa) und Normalspannung (2; 5; 8; 10; 20 hPa) kraftgesteuert mit einer Scherrate von 140 ml min⁻¹ (durch Wasserzugabe) im Oberflächenscherapparat (Zhang et al., 2001, modifiziert) abgeschert (15 STZ/Schergerade) (Abb. 1).

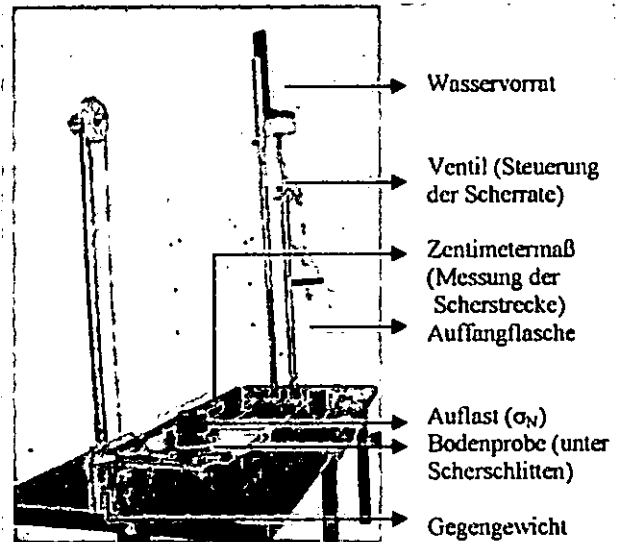


Abb. 1: Oberflächenscherapparat

Die Kontaktwinkelmessung erfolgte mittels Kapillaraufstiegmessung (CRM) an lufttrockenen Feinbodenproben (Ap-Horizont mit und ohne organische Substanz), sowie durch Berechnung aus Sorptivitätsdaten. Die Sorptivitätsmessung erfolgte nach Hallett & Young (1999) an ungestörten (100 cm³), drainierten Ap-Proben in Wasser & Ethanol.

3 Ergebnisse und Diskussion

Bodenstabilität/Scherwiderstand:

Der Scherwiderstand (Abb. 2) ist im Oberboden sowohl im trockenen als auch im feuchten Zustand höher als im Unterboden, was auf die höheren Humusgehalte zurückgeführt wird.

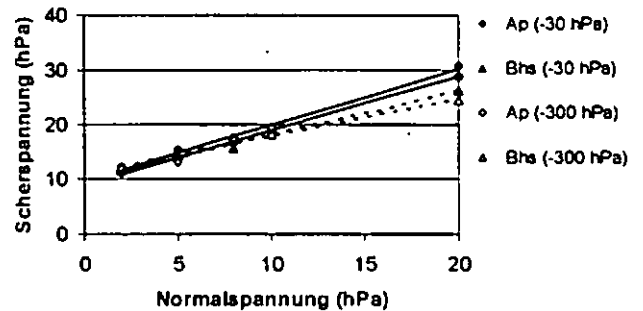


Abb. 2: Schergeraden im Oberboden (Ap) und Unterboden (Bhs) eines Gley-Podsols aus Schmelzwassersanden im feuchten und trockenen Zustand (-30 hPa und -300 hPa).

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Olshausenstr. 40, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24118 Kiel, k.fruhner@soils.uni-kiel.de

Beide untersuchten Horizonte weisen höhere Reibungswinkel im feuchten Zustand auf (Abb. 3). Die

höchste Stabilität wird im Oberboden bei -60 ha erzielt, was auf die Meniskenkräfte der bereits teilentwässerten Grobporen zurückgeführt wird. Im feuchteren Zustand, sowie insbesondere bei weiterer Austrocknung, wird der Scherwiderstand reduziert, mithin steigt die Erodibilität.

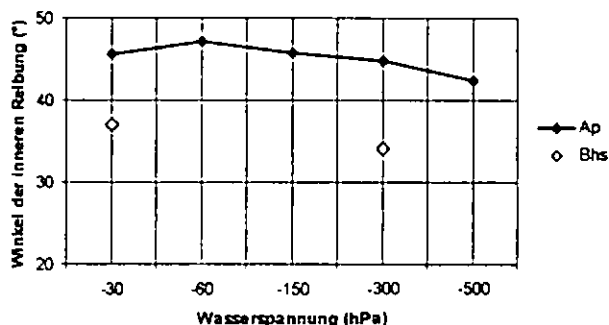


Abb. 3: Winkel der inneren Reibung (n=3, arithmet. Mittel) im Oberboden (Ap) und im Unterboden (Bhs) eines Gley-Podsols aus Schmelzwassersanden in Abhängigkeit von der Wasserspannung.

Benetzungshemmung:

Der CRM-Kontaktwinkel (Abb. 4) beträgt 89° im Ap-Horizont, im humusfreien Ap-Horizont nur noch 48°. Wasserspannungsabhängig steigt, analog dem Hydrophobie-Index, der berechnete Kontaktwinkel von minimal 60° bei -30 hPa bis auf maximal 87° bei 105°C. Ein signifikanter (67% Konfidenzintervall, n=20) Anstieg des Kontaktwinkels tritt ab -300 hPa auf.

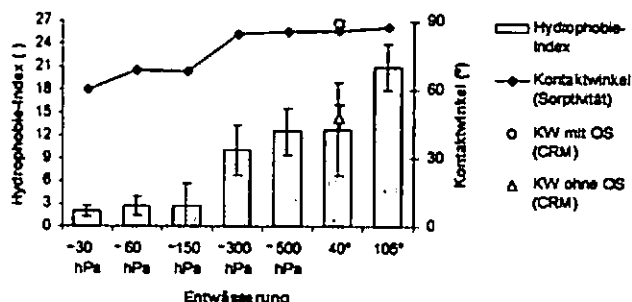


Abb. 4: Entwässerungsabhängiger Hydrophobie-Index (Sorptivitätsdaten) und Kontaktwinkel (KW) (Sorptivitätsdaten und CRM, mit und ohne organische Substanz) des Ap-Horizontes eines Gley-Podsols aus Schmelzwassersanden.

Mit dem Anstieg der Benetzungshemmung ab -300 hPa kommt es zur Ausbildung unregelmäßiger, d.h. präferentieller Fließpfade während/nach Niederschlagsereignissen. Da sich bei unvollständiger Befuchtung nicht in vollem Maße Wassermenisken ausbilden können, resultiert daraus eine Verminderung der Bodenfestigkeit und damit z.B. eine erhöhte Winderosionsgefährdung.

4 Fazit

Der Humusgehalt erhöht effektiver den Scherwiderstand als ein höheres Matrixpotential.

Der strukturstabilisierende Effekt im Bereich von Wasserspannungen zwischen -30 und -150 hPa ist den wirksamen Wassermenisken in Verbindung mit der organischen Substanz zuzurechnen, die eine Erhöhung meniskengestützter Korn zu Kornkontakte bewirken.

Der Kontaktwinkel nimmt, analog zum Hydrophobie-Index, mit höherer Wasserspannung und steigendem Humusgehalt zu.

5 Literatur

Hallett PD & Young IM (1999): Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. *European Journal of Soil Science* 50:35-40.

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 & Tillage Research* 59, 97-106.

Bedeutung und Variabilität des Wassergehaltsanteils in der Wurzelbiomasse am Beispiel von Mais in einem sandigen Niedermoorboden

Horst H. Gerke¹ und Rolf O. Kuchenbuch²

Einleitung

Der Wassergehalt in lebender Biomasse (wie z.B. Wurzeln) unterscheidet sich hinsichtlich seiner Bindung und Funktion grundlegend vom Wasser im Porenraum des Bodens. Während sich die Beschreibung der Wasserbewegung im Boden nur auf den Wasseranteil in Poren bezieht, wird bei Feldmessungen zur Modellprüfung meist keine Unterscheidung vorgenommen. Ziel war es, beispielhaft den Anteil des Wassers in Wurzeln am gesamten Bodenwassergehalt abzuleiten und dabei Effekte der kleinräumigen Heterogenität zu erfassen.

Methodik

Experimentell erfolgte eine vollständige volumengerechte Blockbeprobung (Abb. 1) auf 0.7 x 0.4 m² Flächen (0-30 cm Tiefe, 84 Würfel mit je 10 cm Kantenlänge) eines mit Mais (2 Reihenabstände) bestandenem Niedermoorstandorts bei Paulinenaue (Havelland, Brandenburg).

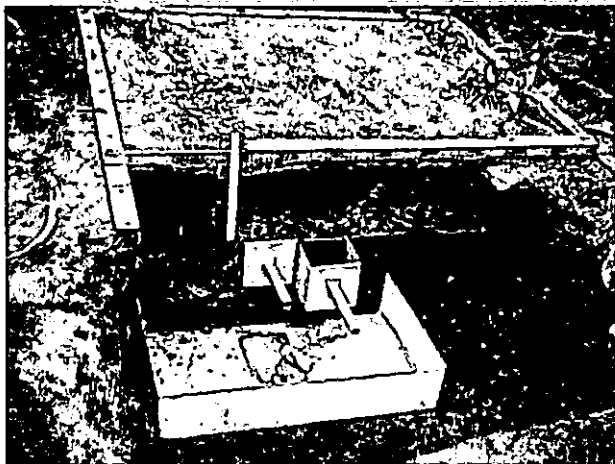


Abbildung 1: Bodenbeprobung von 1000 cm³ Blöcken.

Der Boden war ein Humusgley mit einem Wassergehalt beim permanenten Welkepunkt von etwa PWP = 7% und bei Feldkapazität von Fk = 33%, einem gesamten Gehalt an Kohlenstoff von C_t = 2,1-2,2 g/100g und an Stickstoff von N_t = 0,15-0,16 g/100g.

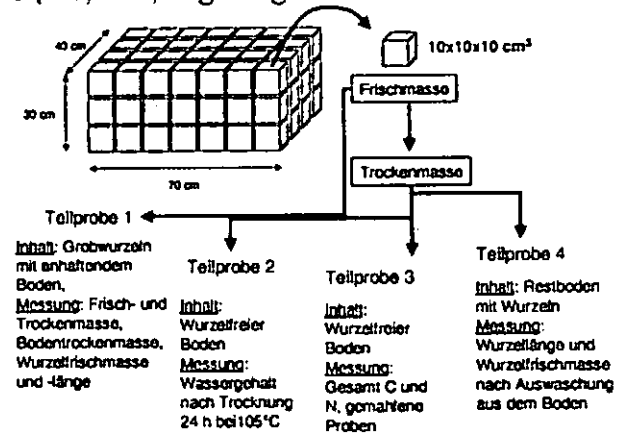


Abbildung 2: Beprobungs- und Analyseschema.

Nach Massen-, Volumen- und Dichtebestimmungen der Bodenproben wurden alle Wurzeln aus den 1 Liter Blockproben ausgewaschen (Abb. 2) und in 3 Größenklassen getrennt auf Masse und Wurzellängendichte hin quantifiziert (Kuchenbuch und Gerke, 2005).

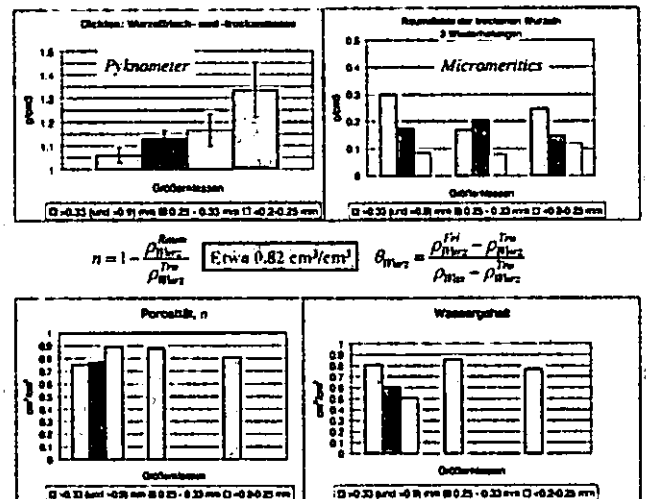


Abbildung 3: Raum- und Festsubstanzdichten von Wurzeln aus drei Größenklassen sowie berechnete Porositäten und Wassergehalte von Maiswurzeln.

Aus der Raum- und Festsubstanzdichten der Wurzeln wurde ein mittlerer Wassergehalt in der Wurzelfrischmasse entsprechend den Porositätsmessungen (Abb. 3) von etwa 0.82 cm³ cm⁻³ abgeleitet. Über die Wurzelbiomassen wurden die Wasseranteile je Bodenwürfel räumlich verteilt bestimmt.

¹Horst H. Gerke, Inst. f. Bodenlandschaftsforschung, Leibniz-Zentrum f. Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Eberswalder Str. 84, D-15374 Müncheberg, hgerke@zalf.de

²Universität Rostock, Justus-von-Liebig Weg 6, D-18059 Rostock; rolf.kuchenbuch@uni-rostock.de

Ergebnisse

Die Wassergehalte in der im Boden vorhandenen Wurzelbiomasse waren räumlich variabel und nahe bei Einzelpflanzen erwartungsgemäß relativ hoch (Abb. 4). Die relativen Wassergehaltsanteile (Gleichung 1) lagen meist unter 5 % des Bodenwassers, jedoch stiegen innerhalb der Pflanzreihen auf im Mittel etwa 20%. Diese Werte gelten für relativ geringe Bodenfeuchten und den Zustand zum Zeitpunkt des Reihen-schlusses. Die Anteile könnten bis zum Zeitpunkt der Blüte potenziell ansteigen, da die Wurzelbiomasse bis dahin zunimmt.

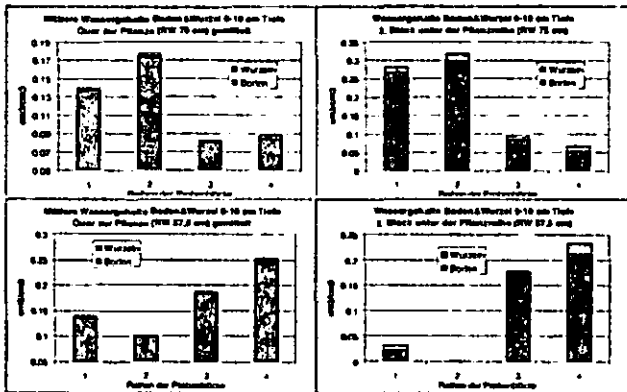


Abbildung 4: Wassergehalte in Boden und Wurzeln in 0-10 cm Tiefe und in den reihen quer zur Pflanzung für 75 cm und 37.5 cm Reihenweite.

$$\theta_{\text{rel}}^{\text{Wurzel}} = \frac{\theta_{\text{Wurzel}}}{\theta_{\text{Boden}} - \theta_{\text{Wurzel}}} \cdot 100 \quad (1)$$

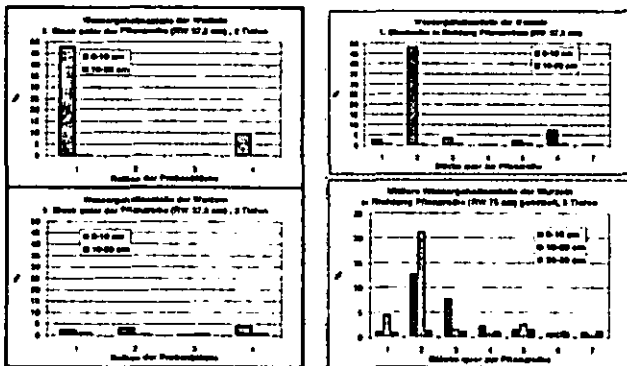


Abbildung 5: Relative Wasseranteile und deren räumliche Unterschiede.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Abgesehen von der Gefügebildung während der Vegetationszeit durch die Wurzelentwicklung von Kulturpflanzen muss auch eine ‚Umverteilung‘ des Wassers zwischen hydraulisch ‚verfügbarem‘ Wasser in Bodenporen und ‚nicht mehr verfügbarem‘ Wasser in lebender Wurzelbiomasse berücksichtigt werden.

Wasser in Maiswurzeln kann im Vergleich zum Bodenwassergehalt quantitativ relevant sein, und zwar in Abhängigkeit von Vegetationszustand, Wurzelverteilung, Bodenfeuchte und Speicherkapazität.

Bei Wassergehaltsmessungen in Böden mit relativ hohen Anteilen lebender Biomasse im Boden stellt sich zudem die Frage: „Was messen wir mit welchem Verfahren?“, z.B. mittels Gravimetrie, TDR, Tensiometer und pF.

Danksagung

Wir danken Herrn Bernd Lobitz, Paulinenaue, für seine Unterstützung bei den Feldmessungen und den Probenahmen, Frau Busse, ZALF Müncheberg, für die Wurzeluntersuchungen und Frau Hypscher, ZALF Müncheberg, für die Dichtemessungen.

Literatur:

Kuchenbuch, R. O.; Gerke, H. H. (2005): Heterogeneity of root distribution under maize : is representative subsampling possible at all?. - In: Plant nutrition for food security, human health and environmental protection : [XV International Plant Nutrition Colloquium, September 14-19, 2005, Beijing, China] : 468-469; Beijing (Tsinghua University Press).

Benetzungshemmung von flugaschebeeinflussten Waldböden in der Dübener Heide

P.Hartmann*, R. Horn*, H. Fleige*, S.Peth*

1 Einleitung

Seit Ende des 19. Jh. wurden zur Deckung des Energiebedarfs der Chemieindustrie der Region Bitterfeld 820 Mio. t Rohbraunkohle abgebaut (NEUMEISTER et al. 1991). Durch deren Verbrennung fielen u.a. 12 Mio. t alkalische Flugasche an, die größtenteils in der Region Bitterfeld und der westlich von Bitterfeld gelegenen Dübener Heide abgelagert wurden.

Innerhalb des Projektes ENFORCHANGE werden an zwölf Leitprofilen die Auswirkungen der Flugaschedeposition untersucht. Ziel ist es, den Einfluss der Aschen auf bodenhydrologische Eigenschaften auszuweisen und Handlungsempfehlungen für die zukünftige Waldnutzung unter dem Aspekt eines sich wandelnden Klimas zu erarbeiten.

Im Folgenden werden erste Ergebnisse für fünf grundwasserferne Rohhumus-Standorte aus Geschiebe- und Schmelzwassersanden (Reinsande bis schwach schluffige Sande) mit Kiefernbestand vorgestellt (Tab.1).

Tab.1: Untersuchte Bodensubtypen und ihr Waldschädigungsgrad nach Lux (1965).

Standort	Bodensubtyp (KA5)	Waldschädigung
a	SS-BB	sehr stark
b	PP-BB	sehr stark
c	PP-BB	mäßig
d	PPn	gering
e	SS-BB	gering

2 Material und Methoden

Im Mittelpunkt der Analyse steht die Charakterisierung der Benetzungshemmung.

Sorptivität:

Bei der Bestimmung der pF-Kurve wird die Sorptivität von Ethanol und Wasser bei pF 1, 1.5, 1.8, 2.2, 2.5, 2.7, 3.7 und 4.2 gemessen (HALLETT&YOUNG 1999). Hieraus lassen sich wasserspannungsspezifische Benetzungshemmungen ermitteln.

Der Zusammenhang zwischen Benetzungshemmung und kapillarer Steighöhe lässt sich mit Hilfe des Kontaktwinkels α in der Young-Laplace-Gleichung berücksichtigen.

$$\text{kapillarer Aufstieg: } h = 2 \cdot \gamma / (r \cdot \rho \cdot g \cdot \cos \alpha)$$

(h = kapillare Aufstiegshöhe; γ = Oberflächenspannung der Flüssigkeit; α = Kontaktwinkel; r = Kapillarradius; ρ = Dichte der Flüssigkeit; g = Erdbeschleunigung)

Abb.1 zeigt den Einfluss der Benetzungshemmung auf den Verlauf der pF-Kurve. Im benetzungsgehemmten Fall ist der Lufteintrittspunkt deutlich in Richtung einer niedrigeren Wasserspannung verschoben. Dieser Effekt wirkt sich ebenfalls auf den Verlauf der ungesättigten Wasserleitfähigkeit aus und muss bei der Parametrisierung von hydraulischen Modellen beachtet werden.

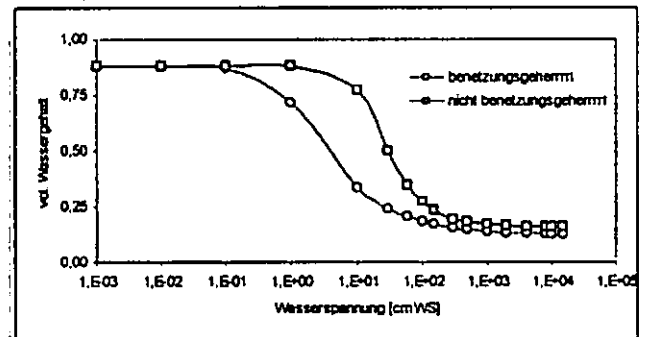


Abb.1 Vergleich der benetzungsgehemmten mit der nicht benetzungsgehemmten pF-Kurve (Standort a).

Wilhelmy-Platten-Methode (WPM):

Oberflächenspannungen der Festsubstanz und die dadurch auftretenden Kontaktwinkel werden anhand luftgetrockneter und $630\mu\text{m}$ gesiebter Proben mit der WPM ermittelt (BACHMANN et al. 2003).

Water Drop Penetration Time (WDPT):

Beim WDPT-Test wird mittels der Zeit, die ein Tropfen Wasser (0,5ml) zum vollständigen Versickern benötigt, die Ausprägung der Benetzungshemmung im Feld und im 45°C getrockneten Zustand festgestellt und klassifiziert (nach DEKKER et al. 2001) (Tab.2).

3 Ergebnisse und Diskussion

Sorptivität & Modellierung:

Um den Einfluss der Benetzungshemmung auf Wasser- und Lufthaushaltskenngößen darzustellen, wurden Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität und Totwasser für den benetzungsgehemmten und den nicht benetzungsgehemmten Zustand verglichen (Quotient gehemmt / nicht ge-

*Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Olshausenstr. 40, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24118 Kiel

hemmt). Ist der Quotient <1, bewirkt die Benetzungshemmung eine Verringerung des Befüllungsgrades und somit eine quantitative Abnahme des aktiven Porenvolumens.

In Abhängigkeit von der Distanz zur Hauptemissionsquelle Zschornowitz nördlich von Bitterfeld weisen die Auflagehorizonte (Of-Oh) hierbei einen Gradienten auf (Abb.2). Bei den Oberböden ist keine derartige Abhängigkeit zu erkennen (nicht dargestellt).

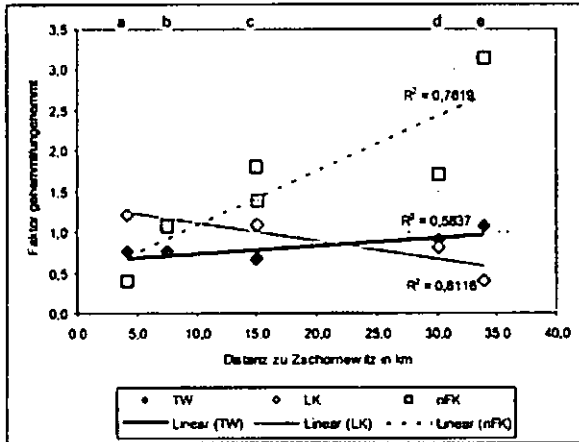


Abb.2: Einfluss der Benetzungshemmung auf Wasser- und Luft-haushaltskennwerte der Auflagehorizonte unterschiedlich stark belasteter Standorte.

WPM:

Die Auflagehorizonte weisen stets WPM-Kontaktwinkel zwischen 130° und 180° auf. Die mineralischen Horizonte zeigen eine stärkere Abhängigkeit der Kontaktwinkel von der Jahreszeit (Abb.3). Im Sommer sind die Kontaktwinkel höher als im Frühjahr, was auf eine Hydrophobisierung durch Austrocknungsprozesse im Sommer hinweist.

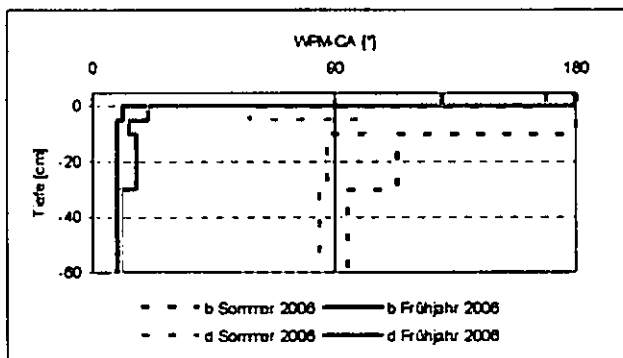


Abb.3: WPM-Kontaktwinkel im Jahresverlauf am Beispiel von einem sehr stark und einem gering belasteten Standort (b und d)

WDPT:

Am Beispiel von 2 Standorten wurde der Einfluss des Ascheintrags auf die WDPT untersucht (Tab.2). Die stark humose Auflage und die oberen 30 cm des mineralischen Bodens von Standort c (mäßig belastet) weisen im feld-feuchten Zustand eine extrem hohe Benetzungshemmung

auf. Standort b (sehr stark belastet) weist hingegen benetz-bare neben extrem benetzungsgehemmten Bereichen innerhalb einer Tiefe auf, was auf die Aschebeimengung zurückgeführt wird.

Tab.2: Bewertung der WDPT am Beispiel von einem sehr stark und einem mäßig belasteten Standort (b und c) (WDPT-Klassen: 1: <5s; 2: 5-60s; 3: 60-600s; 4: 600-3600; 5: >3600.)

Standort	Tiefe	WDPT Klassen-Anteile in %				
		1	2	3	4	5
c	0	0	0	0	0	100
	-5	0	0	0	0	100
	-10	0	0	0	0	100
	-30	0	0	0	0	100
	-90	0	100	0	0	0
b	5	0	3	16	19	47
	0	50	32	18	0	0
	-5	82	2	0	16	0
	-30	100	0	0	0	0
	-60	100	0	0	0	0

4 Fazit

Die untersuchten Standorte weisen bezüglich der Benetzungshemmung für Waldböden typische Werte auf. Eine tendenzielle Beeinflussung des Wasser- und Luft-haushalts durch Flugaschedeposition ist erkennbar. Jahreszeitliche Schwankungen der Benetzungshemmung lassen sich aus den WPM-Kontaktwinkelmessungen ableiten.

4 Literatur

Bachmann, J. et al. (2003): Extended methodology for determining wetting properties of porous media. In: Water Resour. Res., Vol. 39, Issue 12.

Dekker, L.W. et al. (2001): Water repellency and critical soil water content in a dune sand. In SSSAJ 65, S.1667-1674.

Hallett, P. & Young, I.M. (1999): Changes to water repellency of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. In Eur.Jo.of So.Sci. 50, 1999, S.35-40.

Lux, H. (1965): Die großräumige Abgrenzung von Rauchschadenszonen im Einflussbereich des Industriegebietes um Bitterfeld. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, 14 (2), S.433-442.

Neumeister, H. et al. (1991): Immissionsbedingte Stoffeinträge aus der Luft als geomorphologischer Faktor - 100 Jahre atmosphärische Deposition im Raum Bitterfeld. In: Geoökodynamik Band XII, S.1-40.

Kleinräumige Heterogenität der organischen Bodensubstanz in Abhängigkeit von Naturnähe und Waldtyp

F. Hornschuch¹, W. Riek^{1,2}

¹ Fachhochschule Eberswalde, 16225 Eberswalde, fhornschuch@fh-eberswalde.de; wriek@fh-eberswalde.de

² Landesforstanstalt Eberswalde, 16225 Eberswalde, Winfried.Riek@LFE-E.Brandenburg.de

1 Hintergrund und Arbeitshypothese

Ein Einflussfaktor auf bodenbildende Prozesse ist die kleinräumig wechselnde Vegetationsstruktur. Sowohl Bäume als auch krautige Pflanzen nehmen Einfluss auf das räumliche Muster von Bodeneigenschaften. Insbesondere in Buchenwäldern finden sich deutliche Muster des pH-Wertes infolge sauren Stammablaufwassers. Auch die bestandesstrukturelle Eigenheit aufgrund spezifischer Stammzahlen sowie der Kronen- und Wurzelarchitektur verschiedener Waldtypen (Hauptbaumarten) dürfte Auswirkungen auf die räumliche Ausprägung von Bodenkennwerten haben.

Kennzeichen der Naturnähe von Wäldern sind neben taxonomischen Merkmalen (Indikatorarten, Eveness) bestimmte Strukturelemente (Altbäume, Totholz, Wurzelteiler, Textur durch Waldentwicklungsphasen). Diese erhöhen u.U. die Variabilität (α -Diversität) und Heterogenität (β -Diversität) von Bodenkennwerten, z.B. des Humusgehaltes. Infolge Zersetzung von Baumleichen oder Mineralbodendurchmischung bei Herausreißen von Wurzelteilern sind größere räumliche Unterschiede als in Wirtschaftswäldern zu erwarten.

2 Material und Methoden

Auf historisch alten Waldstandorten Brandenburgs und Westpolens wurden Flächenpaare von Natur- und Wirtschaftswald von Rot-Buche, Trauben-Eiche und Wald-Kiefer jeweils vergleichbarer Standorte auf grundwasserfernen Sand-Braunerden und Sand-Podsolen ausgewählt (Hornschuch & Riek, 2006).

Die Probenahme zur Untersuchung der Variabilität verschiedener Parameter (u.a. Humusgehalt) geschah entlang eines Kreuztransekts in wiederkehrenden Intervallabschnitten mit 40, 80 und 160 cm-Punkt-Abständen durch die Entnahme von 221 Bodensäulen je Fläche mittels Wurzelbohrer ($d = 8$ cm). Nach der Horizontansprache und Bestimmung der Mächtigkeit von Humus- und Mineralbodenhorizonten wurde der Mineralboden in sieben Tiefenstufen (0-5, ..., 25-30, 30-40 cm) zerlegt, so dass 9282 Einzelproben zur Analyse vorlagen. An 49 Probepunkten im 3,20 m-Abstand wurden weitere Untersuchungen vorgenommen (Trockenrohdichte u.a.).

Die Humusgehalte wurden durch Glühverlust ermittelt. Die deskriptiv- und geo-statistische Auswertung erfolgte mit SPSS 10.0 und Variowin 2.2.

3 Ergebnisse

3.1 Auflagemächtigkeit und Horizontierung

Die Dicke des Of(h)-Horizontes nimmt entsprechend der schlechteren Nährstoffausstattung von den Buchen- über die Eichen- zu den Kiefernbeständen zu. In den Naturwäldern von Eiche und Kiefer variiert die

Mächtigkeit der Auflage (rohhumusart. Moder und Rohhumus) stärker als in Wirtschaftswäldern (Abb. 1). Der Buchen-Naturwald zeichnet sich durch die beste Humusform (F-Mull) aus, weshalb die Of-Lage durchgängig sehr geringmächtig und vergleichsweise homogen ausgeprägt ist. Die höhere Heterogenität der Untergrenze der A-Horizonte in den bewirtschafteten Wäldern ist vermutlich auf das Pflügen zurückzuführen, denn einmalige, nicht sehr intensive Bodenbearbeitung in Zusammenhang der Vorbereitung von Pflanzung oder Naturverjüngung erhöht die Bodenheterogenität.

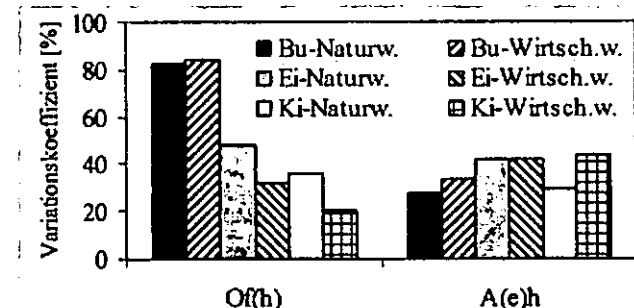


Abbildung 1: Variationskoeffizient der Mächtigkeiten von Ofh- und Aeh-Horizont

Die räumlichen Muster der Humusaufgabe sind bei Buche am großflächigsten (Autokorrelationslänge [=range] 9-10 m), die Eichenbestände weisen mittelgroße ranges auf (3-7 m) und die Kiefernbestände die kleinsten (1,5-2 m). Dabei werden in Naturwäldern von Eiche und Kiefer großräumigere Muster der Mächtigkeit von Of(h)- und A(e)h-Horizont als in den entsprechenden bewirtschafteten Vergleichsbeständen abgebildet.

3.2 Organische Substanz im Mineralboden

Die untersuchten Sandböden weisen unabhängig von Hauptbaumart und Nutzungsintensität ähnliche mittlere Humusgehalte in den jeweiligen Tiefenstufen auf. Die Variabilität des Humusgehaltes jedoch ist in den Naturwäldern von Buche (Abb. 2) und Eiche größer als in den bewirtschafteten Beständen, während dieser Befund bei Kiefer auf Podsol bzw. Podsol-Regosol nur in der Tiefenstufe 5-10 cm zutrifft.

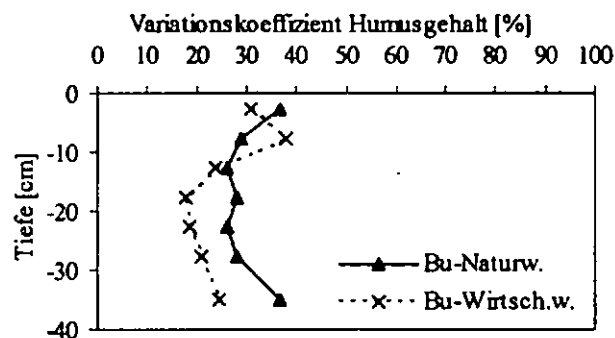


Abbildung 2: Variationskoeffizient des Humusgehaltes [%] im Buchen-Natur- und Wirtschaftswald

Die Autokorrelationslängen sind im Buchen-Naturwald größer als im Wirtschaftswald (z.B. in 0-5 cm: 9 m zu 4 m) und zeigen damit ungestörtere Musterbildungsprozesse unter natürlichen Bedingungen an (Abb. 3 und 4). Gleichzeitig ist der Restfehler (nugget-Varianz) gering, d.h. die Muster sind im Wesentlichen ein durch Struktur

und Eigendynamik des Bestandes bedingtes Phänomen. Die Eichenbestände unterscheiden sich bei insgesamt niedrigen Autokorrelationslängen (2-6 m) nicht wesentlich voneinander. Im Kiefern-Naturwald sind die ranges im Unterboden größer (6 m) als in den oberen Tiefenstufen (3 m) und im bewirtschafteten Kiefernbestand auf Podsol-Regosol fallen die sehr großen Korrelationslängen von 10 m im Bereich des Ae-Horizontes (5-15 cm) aus dem Rahmen (andere Tiefenstufen max. 6 m).

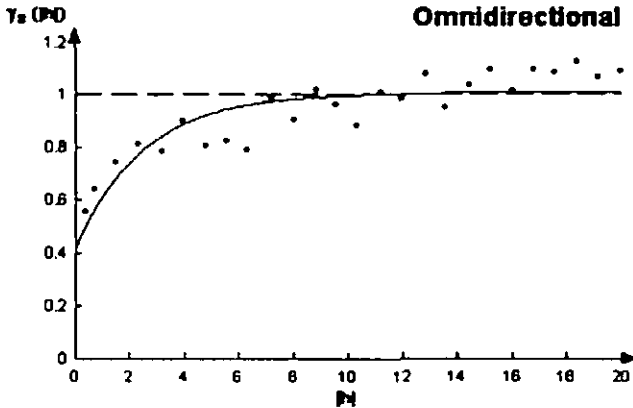


Abbildung 3: Variogramm für den Humusgehalt in 0-5 cm Tiefe im Buchen-Naturwald (range: 9 m, nugget: 0,4)

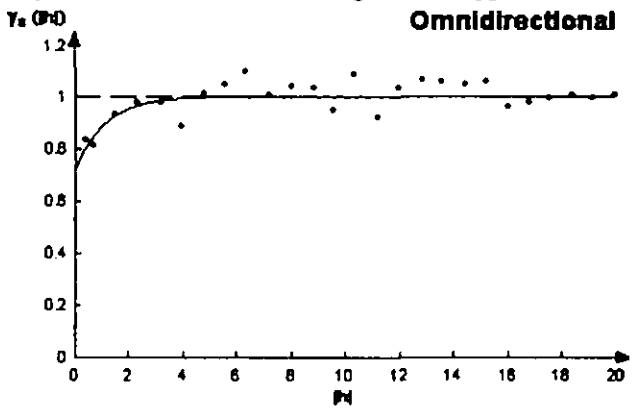


Abbildung 4: Variogramm für den Humusgehalt in 0-5 cm Tiefe im Buchen-Wirtschaftswald (range: 4 m, nugget: 0,7)

3.3 Zusammenhang Humusgehalt - Bestandesstruktur

Die Ergebnisse zeigen einen Zusammenhang zwischen der Bestandesstruktur (z.B. angegeben als Durchmesser-differenzierung oder Winkelmaß) und der Variabilität von Bodenkenngößen. Je heterogener ein Bestand ist (Naturwald), desto größer sind Streuungsmaße verschiedener Kennwerte auf Bestandesebene.

Die Kronenstruktur bestimmt, wie der Niederschlag im Bestand unverteilt wird und wie hoch die Bodenfeuchte nach Regenereignissen an bestimmten Orten ist.

Signifikante Zusammenhänge bestehen auch zwischen einem Strukturindex (SI) der Form

$$SI = \sum \frac{KF}{E^h} \text{ für alle Baume mit } E \leq r$$

(KF: Kreisfläche Stamm [m²], E: Entfernung des Baumes [m], h: nichtlinearer Parameter, r: Suchkreisradius)

und der Ausprägung mancher Bodenparameter, wie der Feinwurzel-dichte und dem Humusgehalt, der in *Lumbriciden*-armen Sandböden nicht zuletzt durch den Feinwurzelumsatz gebildet wird. Dabei zeigt sich, dass ein Strukturindex, der ausschließlich dickere (ältere) Bäume sowie die Baumstubben, also alte Bestandesstrukturen berücksichtigt, besser mit dem Humusgehalt korreliert, als

ein SI aller rezent lebenden Bäume. Letzterer weist hochsignifikante Beziehungen zur Gesamtfeinwurzelmasse (leb. + tot) auf (Tab. 1). Die Korrelation zwischen Strukturindex und Humusgehalt wird - wie bei der Feinwurzelmasse entsprechend der räumlich-spezifischen Wurzelstruktur - in der Reihenfolge Ki < Ei < Bu straffer.

Tabelle 1: Korrelationskoeffizienten zwischen Feinwurzelmasse bzw. Humusgehalt und dem SI, der alle lebenden Bäume bzw. dem SI, der nur Stämme mit d_{1,3} > 30 cm sowie alle Baumstubben berücksichtigt (h = 1, r = 6 m)

Parameter	Tiefe	SI _{rezent}	SI _{alt}
Feinwurzelmasse [g/m ²]	0-40 cm	<u>0,337**</u>	0,317**
Humusgehalt [%]	0-5 cm	0,067	<u>0,161*</u>
	5-10 cm	0,135*	<u>0,241**</u>
	10-15 cm	0,122	<u>0,168*</u>
	15-20 cm	0,148*	<u>0,181**</u>
	20-25 cm	0,162*	<u>0,212**</u>
	25-30 cm	0,177**	<u>0,215**</u>
	30-40 cm	<u>0,319**</u>	0,317**

3.4 Zusammenhang des Humusgehaltes mit anderen Bodenparametern

Hochsignifikante negative Korrelationen bestehen zwischen dem Humusgehalt und dem pH-Wert in allen Beständen und Tiefenstufen. Zwischen dem Humusgehalt und der Trockenrohdichte in 0-5 cm Tiefe zeigen sich sehr enge Beziehungen in den Buchen- und Eichenbeständen sowie im Kiefern-Naturwald. Erhöhte Humusgehalte bewirken im Naturwald der Buche eine stärkere Lockerung des Bodens als im Wirtschaftswald (Abb. 5) Nach dem Strukturindex (s.o.) erwies sich der Humusgehalt als zweit wichtigste Steuergröße der Feinwurzelverteilung im Bestandesboden der Buchen- und Kiefernbestände. Ergebnisse für Eiche liegen noch nicht vor.

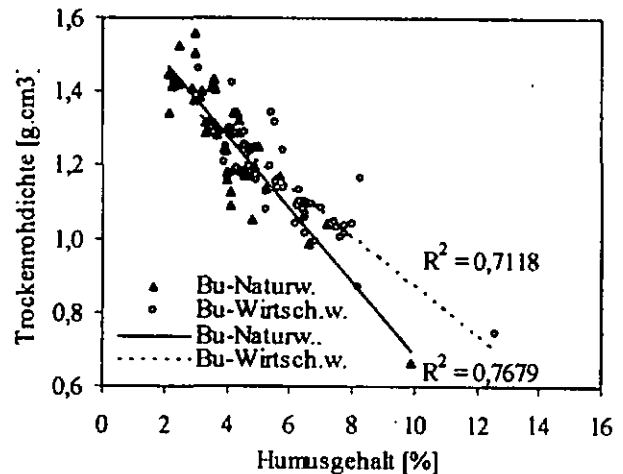


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Humusgehalt [%] und Trockenrohdichte [g · cm³] in 0-5 cm Tiefe im Buchen-Natur- und Wirtschaftswald

4 Literatur

Hornschuch, 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.

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Finanzierung der Untersuchungen (RI 1219/1-1).

Einfluss unterschiedlicher Beregnungsraten auf die Auswaschung von Nitrat, Chlorid und Sulfat aus Löß-Schwarzerde im Unterdrucksäulenversuch

J. Ibrahim¹, H. Borg², B. Hofmann²
und O. Christen²

1. Einleitung

Die Verlagerung von Pflanzennährstoffen und Pflanzenschutzmitteln in die Aerationzone und in das Grundwasser stellt ein ernstzunehmendes Umweltproblem dar. Bei entsprechender Lösungskonzentration und großer Versickerungsrate ist der vertikale Stofftransport besonders ausgeprägt. In neueren Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die einzelnen Grobporenbereiche in unterschiedlicher Weise an den Stofffrachten beteiligt sind. Der Einfluss der kleineren Grobporen ist dabei größer als bisher angenommen wurde, wie Hagenau und Borg (2003) und Hagenau et al. (2005) bei verschiedenen Substraten nachweisen konnten.

Mit diesem Hintergrund wird hier die Auswaschung von Nitrat, Chlorid und Sulfat aus verschiedenen Grobporenbereichen von Krumenboden einer Schwarzerde aus Löß im mitteldeutschen Raum bei unterschiedlichen Beregnungsstrategien untersucht.

2. Material und Methoden

Für die Versuche stand eine Unterdrucksäulenanlage (Fa. UIT, Dresden) zur Verfügung. Verwendet wurden ungestörte Bodensäulen (Höhe 30 cm, Durchmesser 12 cm) aus der Krume eines langjährigen organischen Düngungsversuches der Versuchsstation Bad Lauchstädt. Bei dem Boden handelt es sich um einen Norm-Tschernosem aus stark tonigem Schluff (Ut4, Ton 21 %, Schluff 68 %, pH 7.5, KAK 24.4 cmol/kg). In die Untersuchungen wurden 2 Teilflächen mit unterschiedlicher organischer Düngung einbezogen (Tab. 1).

Die Beregnungsintensitäten wurden so variiert, dass eine vollständige Auffüllung des jeweiligen Porengrößenbereichs (Tab. 2) gewährleistet und Überstau vermieden wurde. Mit diesem Versuchsaufbau wurde die systematische Durchströmung einzelner Grobporenbereiche

Tab. 1: Ausgewählte Bodenparameter für die beiden Teilflächen (θ = Wassergehalt)

Parameter	ohne org. Düngung	Stallmistdüngung ¹
C _{ORG} (M.-%)	1.62	4.10
d _B (g/cm ³)	1.57	1.34
θ bei pF 1.8 (V.-%)	32.8	35.5
θ bei pF 2.5 (V.-%)	30.4	32.1
θ bei pF 4.2 (V.-%)	15.5	16.8

¹ langjährig 400 dt/ha Stallmist jährlich

Tab. 2: Beregnungsraten, ku-Werte, pF-Stufen und Radien der durchströmten Äquivalentporen

Beregnungsrate mm/h	ku-Wert m/d	Unterdruck hPa	pF-Stufe	durchstr. Porenradien μ m
15.0	0.344	10	1.00	< 146
10.0	0.249	20	1.30	< 73
5.0	0.124	30	1.48	< 49
2.5	0.062	40	1.60	< 36

¹ unges. Wasserleitfähigkeit (theoretisch)

und die damit verbundene Auswaschung der darin enthaltenen löslichen Anionen ermöglicht. Zur Quantifizierung der beregnungsabhängigen Frachten wurden in der Regel je Porengrößenbereich 10 aufeinanderfolgende Perkolate mit jeweils 50 ml (insges. 500 ml) gesammelt und analysiert. Danach wurde (je nach Variante) die Beregnungsrate zur schrittweisen Be- bzw. Entwässerung der Porenbereiche verändert. Es wurden auch Versuche mit konstanten Raten durchgeführt. Konkret wurde mit folgenden Beregnungsvarianten gearbeitet:

1. Konstante Beregnungsrate mit 2.5 bzw. 15.0 mm/h (Perkolate 40 x 50 ml),
2. Variable Beregnungsrate - Beginn der Auswaschung mit dem größten (< 146 μ m) bzw. kleinsten Grobporenbereich (< 36 μ m) und schrittweise Be- bzw. Entwässerung weiterer Porenbereiche (Tab. 2), Abschluss mit den Beregnungsraten wie zu Versuchsbeginn (Perkolate 10 x 50 ml je Rate).

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Nitratfrachten werden bei der Variante 1 durch die Beregnungsintensität unterschiedlich beeinflusst (Abb. 1). Differenzierungen zwischen geringer und hoher Beregnungsrate ergeben sich nach Perkolatmengen von 200 ml. Danach ist bei der geringen Rate (2.5 mm/h) die Fracht deutlich größer als bei der hohen Rate von 15.0 mm/h. Ab einem kumulativen Durch-

¹ Tishreen University, Faculty of Agriculture, Latakia, Syria

² Inst. für Agrar- u. Ernährungswissenschaften, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

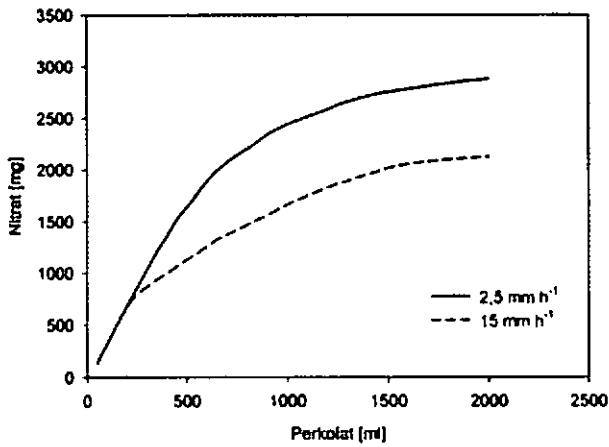


Abb. 1: Nitratfrachten (kumulativ) bei unterschiedlicher, aber konstanter Beregnungsrate

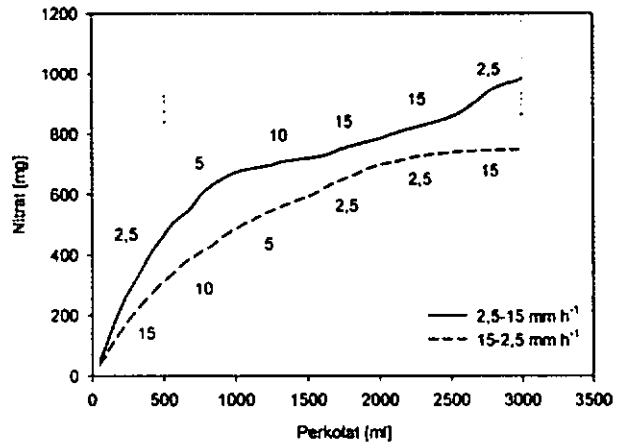


Abb. 2: Nitratfrachten (kumulativ) bei unterschiedlicher, aber variabler Beregnungsrate (ansteigend, abnehmend)

fluss von 1000 ml ist der Anstieg in der Fracht aber bei beiden Raten gleich.

Der Frachtverlauf ergibt sich aus dem Konzentrationsverlauf, der hier nicht dargestellt ist. Anfänglich waren die Konzentration im Perkolat bei beiden Raten gleich. Bei dem Versuch mit 15 mm/h fielen sie dann aber schneller ab. Nach 1000 ml Durchfluss waren sie wieder gleich.

Ähnliche Ergebnisse (hier nicht dargestellt) werden auch für Chlorid, Sulfat sowie die elektrische Leitfähigkeit erzielt.

Die ermittelten Befunde decken sich mit Beobachtungen zur Bodenentsalzung (Nielsen et al., 1966; Leffelaar und Pal Sharma 1977; Jury et al., 1979) und zur Schadstoffentfrachtung von porösen Medien (Hagenau und Borg, 2003; Hagenau et al., 2005), wo bei kleineren Beregnungsraten ebenfalls die ausgewaschene Stoffmenge pro Volumen Wasser größer war als bei höheren Raten.

Bei Variante 2 verlaufen die Nitrat-Konzentrationen und -Frachten so, wie aus den Ergebnissen für Variante 1 zu erwarten war: Niedrigere Beregnungsraten liefern jeweils höhere Konzentrationen (nicht dargestellt) und Frachten (Abb. 2). Sie sind beim Versuch, der mit 2,5 mm/h gestartet wurde, zunächst höher als bei dem mit anfänglich 15 mm/h. Ab Erhöhung der Rate auf 10 mm/h bzw. Senkung auf 5 mm/h sind dann die Konzentrationen und Frachten im Versuch, der mit 15 mm/h begonnen wurde, höher. Als nach insgesamt 2500 ml Durchlauf die Beregnungsraten wieder auf den Ausgangswert (2,5 mm/h bzw. 15 mm/h) zurückgestellt wurden, sind sie wieder im Versuch mit 2,5 mm/h höher.

Für Chlorid und Sulfat (nicht dargestellt) verlaufen die Konzentrations- und Frachtkurven anders, lassen sich aber wie unten beschrieben erklären.

4. Schlussfolgerungen

Poren, durch die Wasser fließt, werden im Lauf der Zeit ausgelaugt. Dadurch entsteht ein Konzentrationsgefälle zwischen ausgelaugten und nicht ausgelaugten Poren, was zu Diffusion von Stoffen in die ausgelaugten, aber weiterhin von Wasser durchströmten Poren führt. Da in großvolumigen Poren die Durchflussrate größer ist, wird bei einer diffusiven Stoffnachlieferung in ausgelaugte große Poren weniger Stoff mit einer gegebenen Wassermenge ausgewaschen als bei einer Nachlieferung in kleinvolumige. Somit wird bei niedrigen Beregnungsraten effektiver ausgelaugt als bei höheren.

Literatur

- Jury, W. A.; W. M. Jarrell; D. Devitt (1979): Reclamation of saline-sodic soils by leaching. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43, 1100-1106.
- Hagenau, J.; H. Borg (2003): Einfluss der applizierten Wassermenge und Applikationsrate auf die Stoffauswaschung aus porösen Medien. *Wasser und Boden* 55, 105-111.
- Hagenau, J., H. Borg; K.-U. Fehse; M. Wolter (2005): Simulation der Auswaschung von organischen Verbindungen, Chlorid und Zink aus Deponiekörpern in Abhängigkeit von der Niederschlagsrate. *Müll und Abfall* 37, 82-90.
- Leffelaar, P. A.; R. Pal Sharma (1977): Leaching of a highly saline-sodic soil. *J. Hydrol.* 32, 203-218.
- Nielsen, D. R.; J. W. Biggar; J. N. Luthin (1966): Desalination of soils under controlled unsaturated flow conditions. 6. Congress of the International Commission on Irrigation and Drainage, 19.15 - 19.24.

Auswirkungen der Bodengefügedynamik unter Nassreisanbau auf Porengrößenverteilung und Schrumpfungsverhalten

I. Janßen & R. Horn

1. Einleitung

Um die umweltrelevanten Auswirkungen landwirtschaftlicher Nutzung auf Menge und Qualität der Wasserressourcen zu studieren, müssen präferenzielle Verlagerungsvorgänge von Wasser und gelösten Stoffen in Abhängigkeit von Bodengefüge und -heterogenität untersucht werden. Beim Nassreisanbau mit zeitweiliger Überflutung des Bodens ändert sich das Bodengefüge in Abhängigkeit von der Entwässerung und infolge der Bodenbearbeitung unter Wasser (Puddling) durch Homogenisierung, Verknetung und Quellen. Folglich wirkt sich puddling nachhaltig auf die Dynamik der Bodenstruktur sowie auf das Inter- und Intraaggregatporensystem des Reisbodens aus, was sich in der Porengrößenverteilung (PGV) sowie im Schrumpfungsverhalten des Gesamtbodens und der Aggregate widerspiegelt. Es wurden vier Reisböden untersucht, die bereits unterschiedlich lang für Nassreisanbau genutzt werden (20 und >100 Jahre) und sich in der Textur unterscheiden. Ziel der Untersuchungen ist es, Beziehungen zwischen der Porengrößenverteilung und dem Schrumpfungsverhalten im Gesamtboden sowie in den Aggregaten als Funktion der Anbauzeit und der Bodentextur aufzuzeigen.

2. Material und Methoden

Die vorliegenden Ergebnisse stammen von zwei Nassreisböden mit unterschiedlicher Nutzung (20 u. >100 Jahre Reiskultur) aus den obersten 15cm (gepuddelter Horizont) und der darunter liegenden Pflugsohle.

- Dystric Fluvisol (Q(O)) >100 Jahre,
37%S, 42%U, 21%T
- Stagnic Cambisol (Q(Y)) 20 Jahre,
12%S, 48%U, 39%T

Für die pF/WG-Kurven wurden die feldfeuchten Aggregate und Zylinderproben aufgesättigt und mit der Unterdruckmethode bis -500hPa entwässert, die Entwässerung auf pF 4,2 erfolgte im Überdrucktopf. Die vertikale Schrumpfung wurde an den Zylindern parallel zu den Entwässerungsstufen an acht festgelegten Punkten mit einer Schieblehre gemessen. Für die Bestimmung der Schrumpfung der Aggregate wurden 7 Wiederholungen mit Saran ummantelt und mittels Wägung und anschließender Tauchwägung die Gewichts- und Volumenabnahme bestimmt.

3. Ergebnisse

Abb.1 zeigt die pF-WG-Beziehung für den 100 J. alten Gesamtboden (gepuddelter Horizont).

Die Luftkapazität des Gesamtbodens im gepuddelten Horizont und in der Pflugsohle (nicht dargestellt) zeigt keinen großen Unterschied zwischen dem jungen und alten Feld. Puddeln über längere Zeit jedoch erhöht die nFK, v. a. das alte Feld zeigt eine signifikant höhere nFK im gepuddelten Horizont. In der Pflugsohle (nicht dargestellt) sinkt der Anteil an Grob- und Mittelporen und der Anteil an Feinporen steigt. Die pF-WG-Beziehung der Aggregate (nicht dargestellt) zeigen sowohl für den gepuddelten Horizont als auch für die Pflugsohle ähnliche Ergebnisse wie der Gesamtboden.

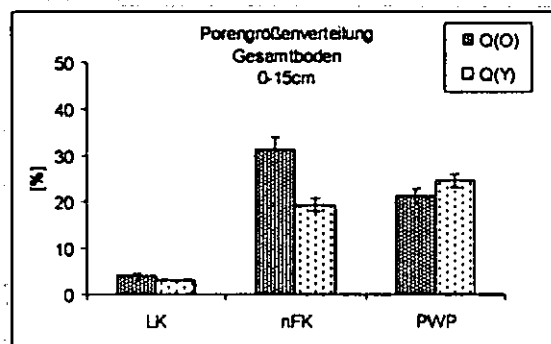


Abb.1: pF-WG-Beziehung des Gesamtbodens gepuddelter Horizont (0-15cm).

Abb.2 zeigt den COLE-Index des Gesamtbodens und der Aggregate. Der COLE-Index wird normalerweise an <2mm gesiebtes Material bestimmt, hier wurden jedoch ungestörte Proben genommen. Die Werte liegen im moderaten Bereich mit Ausnahme der alten Pflugsohle, die mit einem Wert von <0.03 im geringen Quellfähigkeitsbereich liegt. Der 100 J. alte gepuddelte Horizont hat einen signifikant höheren Wert im Vergleich zur alten Pflugsohle und zum jungen gepuddelten Horizont. Die COLE-Werte des 20 J. gepuddelten Horizontes und der 20 J. alten Pflugsohle zeigen keine signifikanten Unterschiede. Die COLE-Werte der Aggregate zeigen nahezu identische Werte wie für den Gesamtboden.

Abb. 3 zeigt Schrumpfungskurven (Porenziffer als Funktion der Entwässerung dargestellt) des alten Gesamtbodens im Vergleich zu den alten Aggregaten im gepuddelten Horizont. Betrachtet man den Gesamtboden, so ist zu erkennen, dass der alte Reisboden mit einer Porenzifferdifferenz (ΔPZ) von 0,41 eine höhere Schrumpfung aufweist als der junge Reisboden (ΔPZ 0,27, nicht dargestellt). Beide Standorte zeigen die größte Volumenabnahme im Mittelporenbereich (pF 1,8-4,2). Auch bei den Aggregaten weist der alte Reisboden die größte Volumenabnahme auf (ΔPZ 0,28) gefolgt vom jungen Feld (ΔPZ 0,21, nicht dargestellt). Jedoch tritt für die Aggregate die entscheidende Volumenabnahme erst ab pF4,2 ein.

Abb. 4 zeigt die Schrumpfungskurven des Gesamtbodens und der Aggregate für die alte Pflugsohle. Hier besitzt jedoch die junge Pflugsohle (nicht dargestellt) eine höhere ΔPZ im Gesamtboden und in den Aggre-

gaten im Vergleich zur alten Pflugsohle. Und wieder ist eine signifikante Volumenabnahme der Aggregate erst ab pF 4,2 erkennbar.

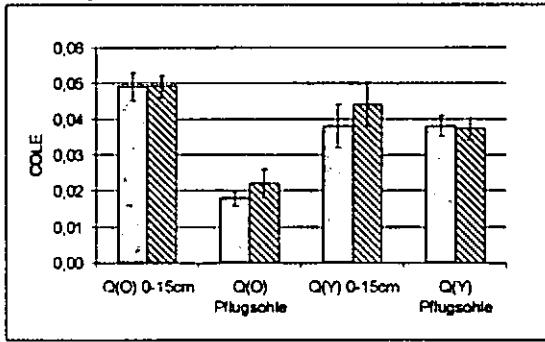


Abb.3: COLE Index: Q(O)=100J.; Q(Y)=20J.; gefüllte Säulen = Gesamtboden; schraffierte Säulen = Aggregate

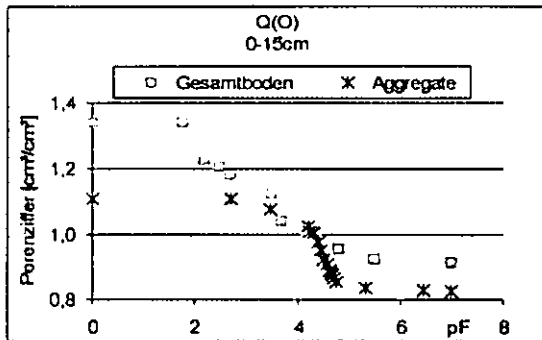


Abb.4: Vergleich Schrumpfungskurve des Gesamtbodens und der Aggregate des alten Reisbodens – gepuddelter Horizont

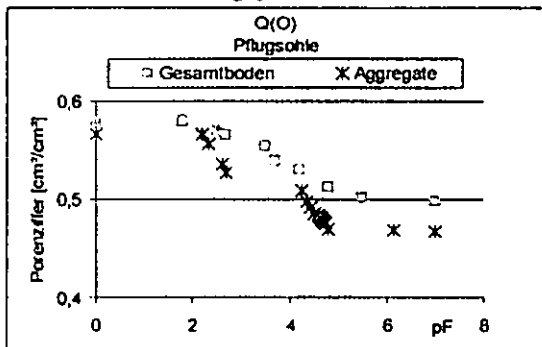


Abb.5: Vergleich Schrumpfungskurve des Gesamtbodens und der Aggregate des alten Reisbodens – Pflugsohle

4. Schlussfolgerung

Die typische Bodenbearbeitung der Nassreisfelder (puddeln) wirkt sich auf die Porengrößenverteilung und auf das Schrumpfungsverhalten aus. Nach >100J. Puddeln werden vor allem Mittelporen geschaffen, sowohl im Gesamtboden als auch in Aggregaten. Insgesamt ist das Gesamtporenvolumen im gepuddelten Horizont des alten Bodens höher im Vergleich zum jungen Reisboden, was auf die Zunahme an Mittelporen zurückzuführen ist. Der Gesamtboden und die Aggregate des gepuddelten Horizonts besitzen eine hohe Luftkapazität, jedoch ist zu berücksichtigen, dass die Aggregate frei gequollen sind. Die Entwicklung einer Pflugsohle aufgrund der Bodenbearbeitung führt zu einer Abnahme des Gesamtporenvolumens bzw. zu einer Veränderung der Porengrößen-

verteilung, was an der Abnahme der Grob- u. Mittelporen zu erkennen ist.

Aus dem COLE-Index ist zu sehen, dass die Bodenstruktur, die einen sehr großen Einfluss auf das Schrumpfungsverhalten hat, beim 100 J. alten Reisbodens im Vergleich zu den 20 J. alten Reisboden nachhaltig verändert ist. Die Werte des alten gepuddelten Horizontes sind signifikant höher als die Werte der alten Pflugsohle sowie des jungen gepuddelten Horizontes und der jungen Pflugsohle. Die Werte des jungen Reisbodens zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen dem gepuddelten Horizont und der Pflugsohle, was darauf hinweist, dass 20 Jahre puddeln nicht ausreichen, um die Bodenstruktur so nachhaltig zu verändern wie nach 100 Jahren puddeln.

Bei den Schrumpfungskurven des gepuddelten Horizontes zeigt sich, dass das >100 J. alte Feld (21%Ton) sowohl beim Gesamtboden als auch bei den Aggregaten die höchste ΔPZ aufweist, gefolgt vom jungen Feld (39%Ton). Dass der 100J.alte Reisboden eine höhere Schrumpfungskapazität aufweist, ist u.a. auf die durch das Puddeln geschaffenen Mittelporen zurückzuführen, sowie auf die geringere Zugfestigkeit der Aggregate (hier nicht dargestellt), was zu einer größeren Partikelbeweglichkeit aufgrund der geringeren Scherwiderstände führt. Die Aggregate beider Standorte weisen erst ab ca. pF 4,2 eine eindeutige Volumenabnahme auf, d.h., das Material, das bis pF 4,2 im Gesamtboden schrumpft, ist das gepuddelte und so nahezu homogenisierte Bodenmaterial zwischen den Aggregaten, bzw. das Interaggregatporenvolumen. Dieses homogenisierte Bodenmaterial zwischen den Aggregaten besitzt geringere Scherwiderstände, was wiederum die Partikelbeweglichkeit innerhalb des Bodenpaketes erhöht und somit auch die Schrumpfung. Offenbar reichen 20 Jahre puddeln nicht aus, um die vorhandene Bodenstruktur so zu verändern, dass die Partikelbeweglichkeit zwischen den Aggregaten steigt bzw. die Bodenstruktur weist noch eine höhere Stabilität auf. In der Pflugsohle kehren sich die Verhältnisse um. Die ΔPZ des 20 J. alten Reisbodens weist sowohl für den Gesamtboden als auch für die Aggregate einen höheren Wert auf. Die Pflugsohle des 20 J. alten Reisfeldes ist weniger ausgeprägt, was zu einer höheren Partikelbeweglichkeit bzw. geringeren Kohäsion führt (nicht dargestellt).

5. Fazit

Der alte Reisboden weist aufgrund der geringeren Schrumpfung der Pflugsohle geringeren präferentiellen Fluss auf. D.h. für junge Reisfelder, dass diese häufiger gepuddelt werden müssen, um möglichst schnell eine dichtere Pflugsohle zu schaffen.

6. Dank

Dieses Projekt wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanziell gefördert (HO 011/36-1).

Verhalten eines Steppenbodens aus der Inneren Mongolei, V.R. China, unter zyklischer Belastung

J. Krümmelbein*, S. Peth* & R. Horn*

1. Einleitung

In der Inneren Mongolei, V.R. China, haben steigende Beweidungsintensitäten (v.a. Schafe, Ziegen) zu einer ausgedehnten Degradation des Weidelandes geführt.

Eine Methode zur Ermittlung der Bodenstabilität ist die Bestimmung der Vorbelastung nach Casagrande (1936, beschrieben in KEZDI, 1980). Die Vorbelastung stellt die größte Spannung dar, der ein Boden bisher ausgesetzt war, wobei die Spannung hydraulischer (z.B. Austrocknung), mechanischer (z.B. Auflast) aber auch chemischer Natur sein kann. Sie ist somit ein Maß für die Bodenstabilität (HORN et al., 1995). Da die Vorbelastung klassisch mittels statischer Drucksetzungsversuche bestimmt wird (siehe 2.2.), Böden häufig aber sehr kurzfristigen sich wiederholenden Belastungen ausgesetzt sind (z.B. Schaftritt), soll im Folgenden das Verhalten eines Steppenbodens unter Belastungen, die ähnlich dem Schaftritt zyklisch aufgebracht werden, gezeigt werden.

2. Material und Methoden

2.1. Untersuchungsgebiet und Probennahme:

Das Untersuchungsgebiet liegt in der Inneren Mongolei, V.R. China, etwa 500 km nördlich von Beijing. Bei den untersuchten Böden handelt es sich um Chernozeme (WRB 2006) unter Steppenvegetation. Untersucht wurden vier Standorte mit unterschiedlichen Beweidungsintensitäten (Unbeweidet seit 1979; Unbeweidet seit 1999; Winterweide mit 1,3 Schafeinheiten/ha; Überweidet mit 3 Schafeinheiten/ha). Es wurden ungestörte Proben aus 4 Tiefen entnommen (4-8 cm, 18-22 cm, 30-34 cm, 40-44 cm).

2.2. Methodik:

Die Vorbelastung nach Casagrande (1936, zitiert in KEZDI, 1980) wurde für die ersten beiden Tiefen nach einer Vorentwässerung auf -30 kPa im Oedometer bestimmt. Dabei wurde die Auflast jeweils auf unterschiedlichen Belastungspfaden aufgebracht:

Statischer Belastungspfad:

Die unterschiedlichen Laststufen (50; 70; 100; 150; 200; 400kPa) wurden statisch für jeweils 10 min auf die Bodenprobe aufgebracht.

Zyklischer Belastungspfad:

Die unterschiedlichen Laststufen (50; 70; 100; 150; 200; 400kPa) wurden in jeweils 20 Belastungszyklen auf die Bodenprobe aufgebracht, wobei ein Belastungszyklus aus 30s Be- und 30s Entlastung bestand.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Statischer Belastungspfad

Die Vorbelastung zeigt auf den beiden unbeweideten Standorten in der ersten Tiefe deutlich geringere Werte als auf den beweideten Standorten (Abb.1). Die Werte auf den beweideten Flächen sind deutlich höher, der Boden gewinnt an mechanischer Stabilität (GREENWOOD et al., 1997). Die ermittelten Vorbelastungswerte der beweideten Flächen stimmen gut mit den Kontaktflächendrücken unter Schafhufen, die für ein stehendes Schafes etwa 80 kPa betragen (WILLAT & PULLAR, 1983), überein.

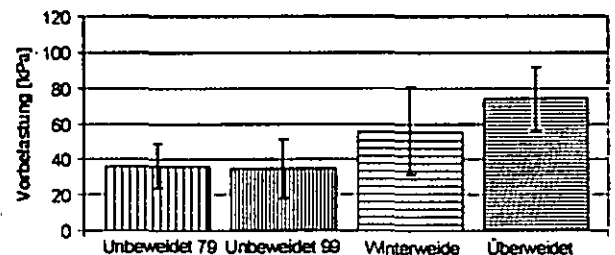


Abb. 1: Einfluss unterschiedlicher Beweidungsintensitäten auf die Werte der Vorbelastung, 1. Tiefe, Vorentwässerung -30kPa. Die Balken zeigen die Standardabweichung

3.2. dynamischer Belastungspfad, Ermittlung der Vorbelastung nach dem ersten Belastungszyklus

Wenn nach dem ersten Belastungszyklus (30s Be-, 30s Entlastung) die Vorbelastung ermittelt wird, zeigen die unterschiedlichen Flächen sehr viel ähnlichere Werte als bei den durch statische Belastung ermittelten Vorbelastungen (Vergl. Abb.2 und Abb.1).

*Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Olshausenstr. 40, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24118 Kiel

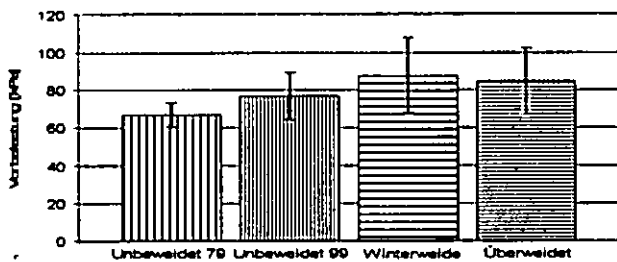


Abb. 2: Werte der Vorbelastung bei zyklischem Belastungspfad (nach 1 Belastungszyklus), 1. Tiefe, Vorentwässerung -30kPa. Die Balken zeigen die Standardabweichung

3.3. dynamischer Belastungspfad, Ermittlung der Vorbelastung nach 20 Belastungszyklen
 Nach 20 Belastungszyklen und damit wiederum nach insgesamt 10 minütiger Belastungsdauer zeigt sich ein deutlicherer Unterschied der Vorbelastung der unterschiedlichen Flächen (Abb.3).

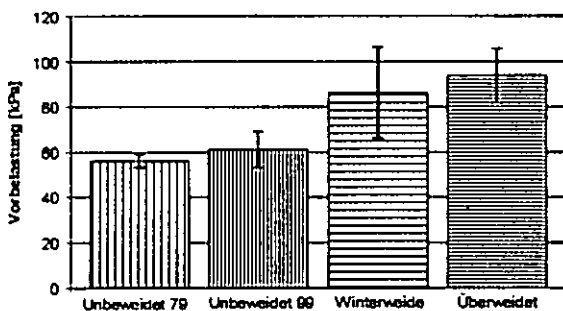


Abb. 3: Werte der Vorbelastung bei zyklischem Belastungspfad (nach 20 Belastungszyklen), 1. Tiefe, Vorentwässerung -30kPa. Die Balken zeigen die Standardabweichung

Die Standardabweichung, v.a. auf den unbeweideten Flächen, ist deutlich kleiner als nach 1 Belastungszyklus (Vergl. Abb.2 und 3), was für eine stärkere Einregelung der Bodenpartikel spricht.

Vergleicht man nun die durch statische Belastung ermittelten Vorbelastungen mit den Vorbelastungen nach dem ersten und 20. Zyklus, so ist zu sehen, dass sich die deutlichsten Unterschiede zwischen beweideten und unbeweideten Flächen bei statischer Belastung zeigen. Die Standardabweichung ist hier jedoch höher als nach 20 Belastungszyklen, was für eine stärkere Strukturdegradation bzw. Homogenisierung bei zyklischer Belastung spricht.

Auffällig ist außerdem, dass bei der überweideten Fläche die Höhe der Vorbelastung bei den drei unterschiedlichen Belastungspfaden kaum variiert, die relativ hohe Vorbelastung dieser Fläche ist Ergebnis wiederholter Trittbelastungen, was zu einer stärkeren

Partikeleinregelung und einer Erhöhung der Anzahl der Kornkontaktpunkte führt. Dies zeigt sich auch in der relativ geringen Streuung der Werte der Vorbelastung nach 20 Belastungszyklen. Auf den unbeweideten Flächen ist die Höhe der Vorbelastung stark von der Art des Belastungspfades abhängig. Mit zunehmender Anzahl von Belastungszyklen nimmt die Höhe der Vorbelastung ab, da sich offenbar die Setzung immer mehr der bei statischer Belastung erreichten Endsetzung annähert. Die unbeweideten Flächen sind empfindlicher gegenüber zyklischen Belastungen als die beweideten.

4. Schlussfolgerungen

Eine Beweidung verursacht eine Bodenstrukturänderung und infolgedessen einen Anstieg der Vorbelastung. Die hohe Vorbelastung auf den überweideten Flächen ist Resultat wiederholter Trittbelastungen. Zyklische Belastungen verursachen aber eine weitergehende Einregelung von Bodenpartikeln als statische Belastungen. Die Vorbelastung der unbeweideten Flächen nimmt mit zunehmender Anzahl von Belastungszyklen ab, was auf eine höhere Empfindlichkeit gegenüber dynamischen Belastungen hindeutet.

Die Bestimmung der Vorbelastung unter Verwendung statischer Belastungspfade erlaubt bei Erreichen der Endsetzung eine Ermittlung minimaler Bodenstabilität. Zyklische Belastungen zeigen den Effekt wiederholter kurzer Belastungen, wie z.B. Schaftritt, wobei sich nach dem ersten Belastungszyklus noch keine Gleichgewichtssituation, vergleichbar mit einer Endsetzung, einstellt. Mit steigender Zahl an Belastungszyklen jedoch nähern sich die auf statischem und zyklischem Weg ermittelten Werte der Vorbelastung immer mehr an.

Die statische Ermittlung der Vorbelastung ist zur Bestimmung der Bodenstabilität geeignet, da häufige kurzfristige Belastungen offenbar ähnliche Wirkungen auf den Boden haben wie eine einmalige, lang andauernde Belastung.

Literatur:

Greenwood, K.L., D.A. Mac Leod and K.J. Hutchinson (1997): Long-term stocking rate effects on soil physical properties. *Austr. Journ. Of Experimental Agriculture*, 1997, 37, 413-419

Horn, R., H. Domzal, A. Slowinska-Jurkiewicz & C. van Ouwerkerk (1995): *Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. Soil & Tillage Research*, 35, 205-216

Kezdi, A. (1980): *Handbook of soil mechanics: Soil testing*. 2, Elsevier, Amsterdam, 258

Willat, S.T. & D.M. Pullar: *Changes in Soil Physical Properties under Grazed Pastures. Aust. J. Soil Res.*, 22, 343-348

WRB: IUSS Working Group WRB (2006): *World reference base for soil resources 2006, World Soil Resources Reports No.103, FAO, Rome*

Mikrostrukturelle Veränderungen in Böden auf der Partikel-Partikel-Ebene mittels rheologischer Untersuchungen (AST) und REM/EDX Analysen

Wibke Markgraf, Rainer Horn

Rasterelektronenmikroskopie (REM), darin eingeschlossen energiedispersive Scan (EDS) Analysen und so genannte Amplitudetests (AST, oszillierend) mit kontrollierter Scherdeformation (CSD) werden an homogenisierten Substraten durchgeführt, die u.a. vier kaolinitische, eisen(hydr)oxidreiche Oxisole und einen smektitischen Vertisol aus Südbrazilien (Rio Grande do Sul) umfassen, sowie weitere Substrate aus europäischem und deutschem Raum (S.-H.; Halle/Kassel). Die Anwendbarkeit eines Modular Compact Rheometers (MCR 300, Paar Physica) mit einem Platte-Platte-Messsystem (PP MS) soll hierdurch bestätigt werden (Abb. 1).

Auf der im Rahmen dieser Untersuchungen fokussierten Mikroskala (Partikel-Partikel-Ebene) werden unterschiedliche Einflüsse von organischer Substanz, Eisen(hydr)oxiden, mineralogischen Komponenten und anderen natürlich vorhandenen oder künstlich generierten (z.B. durch Düngemittel) Faktoren bei bestimmtem Wassergehalten (gesättigt, vorentwässert bei -60hPa) erkennbar. Diese verändern die mikrostrukturelle Beschaffenheit von Böden, und damit einhergehend deren Scherverhalten. Aus den gewonnenen Daten, die Parameter wie G' , den Speichermodul $[\text{Pa}]$, G'' , den Verlustmodul $[\text{Pa}]$, einen linear viskoelastischen (LVE) Deformationsbereich und eine dazugehörige Deformationsgrenze (γ_L) umfassen, kann der Elastizitätsverlust von viskoelastischen Substanzen, wie hier von Bodensubstraten, abgeleitet werden. Daneben werden grundsätzliche Aspekte von mechanischem Verhalten einzelner Partikel - sei es als Einzelkorn, im losen Verbund oder als (Mikro)Aggregat - im Bezug auf Messinstrumente untersucht.

Die so gewonnenen Resultate führen mitunter zu der Erkenntnis, dass Eisen(hydr)oxiden im Vergleich zu organischer Substanz in erster Linie einen stabilisierenden Effekt auf die Bodenstruktur besitzen (Pseudosandeffekt); des weiteren können die Zugabe von Düngemitteln und/oder von Salzen

unterschiedlicher Konzentrationen zur Stabilisierung des Bodengefüges beitragen (Wertigkeitseffekte, „soil crusting“).

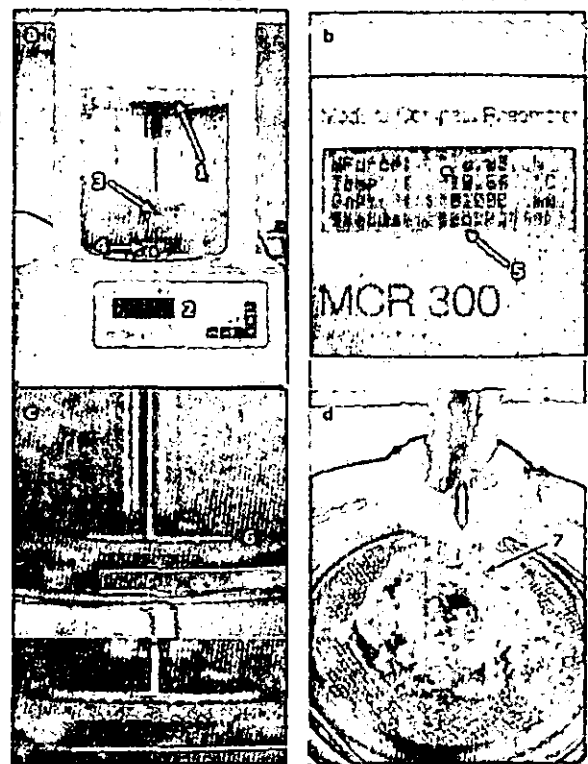


Abb. 1 Modular Compact Rheometer MCR 300 a) 1 druckluftbetriebenes Kugellager, Geräte-Lift; 2 manuelle Kontrolle; 3 obere, rotierende Messplatte (25 mm); 4 untere fest installierte Messplatte mit Peltier Einheit; b) 5 Kontrolldisplay; c) 6 profiliertes Platte-Platte-Messsystem (25PP MS) im Detail; d) 7 gescherte Probe nach durchgeführtem Amplitudetest (oszillierend, CSD); Dauer eines Testdurchlaufs ca. 15 Min.

Empfohlene Literatur:

- Markgraf, W., R. Horn, and S. Peth. 2006. An Approach to Rheometry in Soil Mechanics: Structural Changes in Bentonite, Clayey and Silty Soils. *Soil Till. Res.* 91: 1-14. ISSN 0167-1987
- Markgraf, W., and R. Horn. 2006a. Rheological Stiffness Analysis of K^+ -treated and CaCO_3 -rich Soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169:411-419. ISSN 1436-8730
- Markgraf, W., and R. Horn. 2006b. Rheometry in Soil Mechanics: Microstructural Changes in a Calcaric Gleysol and a Dystric Planosol. 47-58 In R. Horn, H. Fleige, S. Peth, and Xh. Peng, ed. *Sustainability - Its Impact on Soil Management and Environment*. Catena Verlag. ISBN 3-923381-52-2
- Markgraf, W., and R. Horn. 2006b. Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive Scans and Rheological Investigations of South-Brazilian Soils. *SSSAJ* (akzeptiert, in Druck), DOI 10.2136/sssaj2006.0231
- Markgraf, W. 2006. Microstructural Changes in Soils - Rheological Investigations in Soil Mechanics. Kumulative Dissertation. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenernährung und Bodenkunde. Online: http://e-diss.uni-kiel.de/diss_1882/d1882.pdf

* Kontaktadresse:

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde
Hermann-Rodewald-Str. 2, D-24118 Kiel
w.markgraf@soils.uni-kiel.de

Bodenstruktur von Paddy Reisfeldern unterschiedlichen Alters mittels Computertomographie

Till Sander¹, Horst H. Gerke¹, Helmut Rogasik¹

Einleitung

Das „Puddling“ von Böden in überstaubewässerten chinesischen Paddy Reisfeldern führt zu deren Homogenisierung und zur Pflugsohlenbildung. Eine relativ gering durchlässige Pflugsohle ist bei Nassreisböden beabsichtigt, um Überstau zu gewährleisten sowie um Auswaschungs- und Versickerungsverluste möglichst gering zu halten. Diese Bearbeitung erfolgte bisher weitgehend von Hand und mit Wasserbüffeln. Zukünftig ist bei Intensivierung der Landwirtschaft allerdings mit einer Zunahme von Maschineneinsatz zu rechnen. Die Auswirkungen auf das Bodengefüge von Nassreisböden sind jedoch weitgehend unbekannt. Aufgrund des Zusammenhangs zwischen Bodengefüge und hydraulischen Bodeneigenschaften stellt sich auch in der Volksrepublik China vermehrt die Frage des flächigen Stoffaustrags. Das Ziel der hier vorgestellten Untersuchung ist die Beschreibung des Bodengefüges durch Röntgen-Computertomographie an ungestörten Bodenproben von Feldern mit unterschiedlich langer Dauer des Nassreisanbaus.

Methodik

Die 20 Jahre alten (Y) und mehr als 100 Jahre alten (O) Paddy Reisfelder liegen im „Sunjia“ Einzugsgebiet im subtropischen China in der Provinz Jiangxi. Der Zyklus aus zwei jährlichen Anbauperioden mit Reis wurde vor der Probenahme für Feld Y einmalig durch eine Anbauperiode mit Erdnüssen unterbrochen. An ungestörten Bodensäulen wurde der Übergang vom Oberboden zur Pflugsohle und zum Unterboden mittels medizinischer Computertomographie untersucht. Die vertikale Verteilung der Trockenrohddichte wurde aus Hounsfield-Einheiten (HU) (1 mm vertikale, 0.25 mm horizontale Auflösung) und Messungen des gravimetrischen Wassergehalts (1 cm vertikale Auflösung) und der Partikeldichte (2 bis 5 cm Intervalle) aus Gleichungen (1) und (2) (Rogasik et al. 2003) berechnet.

$$\rho_b(z) = \frac{\rho_s(z)\rho_w(HU(z)+1000)}{\rho_w(HUs+1000)+1000w(z)\rho_s(z)} \quad (1)$$

$$HUs = \frac{HU_{corr} + 1000 AV_{corr}}{SV_{corr}} \quad (2)$$

Sekundärporen wurden durch 3D-Darstellungen von Untereinheiten mit geringer Strahlenabschwächung und

die Gefügestruktur zwischen den Sekundärporen anhand von 2D CT-Bildern beschrieben.

Ergebnisse

Werte relativ geringer Strahlenabschwächung (< -43 HU) (Abb. 1) zeigen Bereiche mit geringerer Lagerungsdichte an. Die Strahlenabschwächung hängt zusätzlich von Wassergehalt und Partikeldichte ab. Diese Informationen sind als Mittelwert für einen Querschnitt verfügbar (Abb. 2). Die wurzelgangartigen Strukturen reichen durch die Pflugsohle beider Felder bis an den unteren Rand der Proben (Anzahl von Untereinheiten < -43 HU für Y: = 1.55 cm⁻²; O: 0.97 cm⁻²). Wenige Strukturen (0.23 cm⁻²) sind im Feld O bei 23 bis 26 cm Tiefe erkennbar. Abbildung 5 zeigt Volumenuntereinheiten (Voxel; 0.25 x 0.25 x 1.00 mm³) mit < -875 HU, für Bereiche luftgefüllter Sekundärporen. Die Probe O beinhaltet Teile einer Reispflanze. Der untere Rand von Y zeigt eine Störungszone, die während der Probenahme entstand.

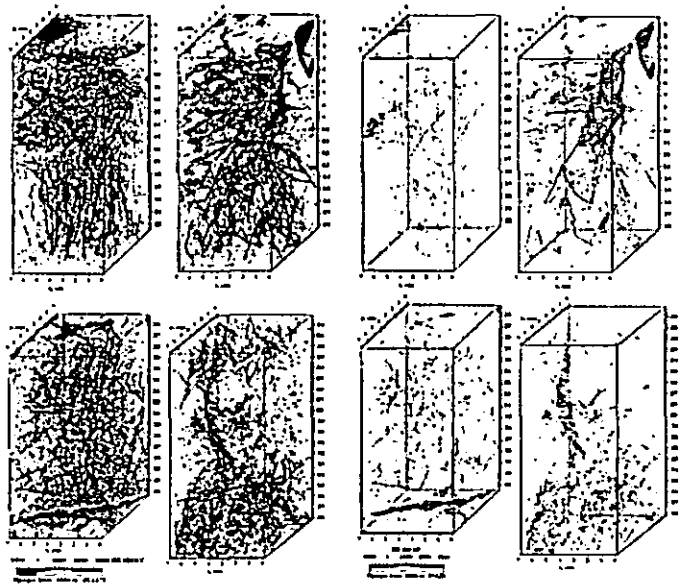


Abbildung 1: 3D- Visualisierung von Untereinheiten mit < -43 HU Strahlenabschwächung für Y (erste von links) und O (zweite von links) und mit einem Grenzwert < -875 HU (Y dritte von links, O vierte von links).

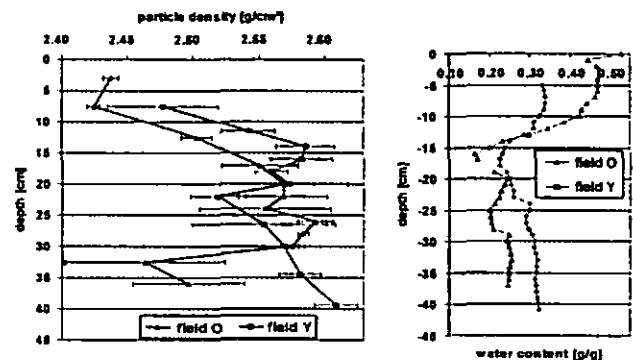


Abbildung 2: Partikeldichte und Wassergehalt als Funktion der Tiefe

Die 2D-Bilder (Abb. 3) ermöglichen eine Interpretation des Bodengefüges zwischen den Sekundärporen. Der Bearbeitungshorizont von Feld Y (Abb. 3, Bsp. 6 cm)

¹Till Sander, Horst H. Gerke, Helmut Rogasik, Inst. f. Bodenlandschaftsforschung, Leibniz-Zentrum f. Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Eberswalder Str. 84, D-15374 Müncheberg, till.sander@zalf.de, hgerke@zalf.de, hrogasik@zalf.de

zeigt Untereinheiten mit einheitlichen HU- Werten von 1 bis 20 mm Durchmesser, der Unterboden der Felder Y und O (Bsp. 38 cm u. 37 cm) zeigt vergleichbare Strukturen von 3 bis 8 mm. Diese scheinbar krümelartigen Aggregationen fehlen im frisch gepuddelten Bearbeitungshorizont von Feld O und in den verdichteten Horizonten beider Felder. In Farbtracerversuchen von Sander and Gerke (2007) korrelieren diese Strukturen mit Bereichen starker horizontaler Ausbreitung von Farbtracer aus Makroporen. Zwischen Bearbeitungshorizont und Pflugsohle (Bsp. 10.8 cm) zeigt sich eine Risszone für Feld Y.

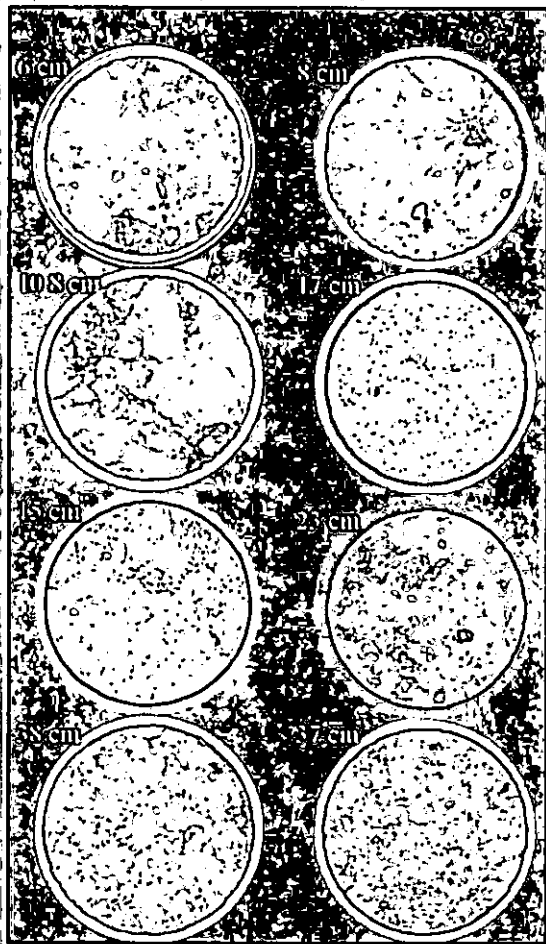


Abbildung 3. 2D-Röntgenschnittbilder, links Y, rechts O.

Berechnete Trockenrohdichtewerte (Abb. 4) bleiben in O unterhalb der Pflugsohle bis 32 cm Tiefe hoch (Höchstwert 1.74 g cm^{-3}), während sie in Y (Höchstwerte 1.60 g cm^{-3}) linear zur Tiefe abnehmen.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Zahlreiche vertikale Wurzelgänge reichen durch die verdichteten Horizonte beider Böden in den Unterboden und beeinflussen darum wahrscheinlich die hydraulischen Eigenschaften und den Wasser- und Stofftransport. Höhere Trockenrohdichten im 100-jährigen als im 20-jährigen Feld deuten an, dass die Verdichtung allmählich zunehmend erfolgt und im jungen Feld noch nicht sein dynamisches Gleichgewicht mit der Intensität der Bodenbearbeitung und Bewirtschaftung erreicht hat.

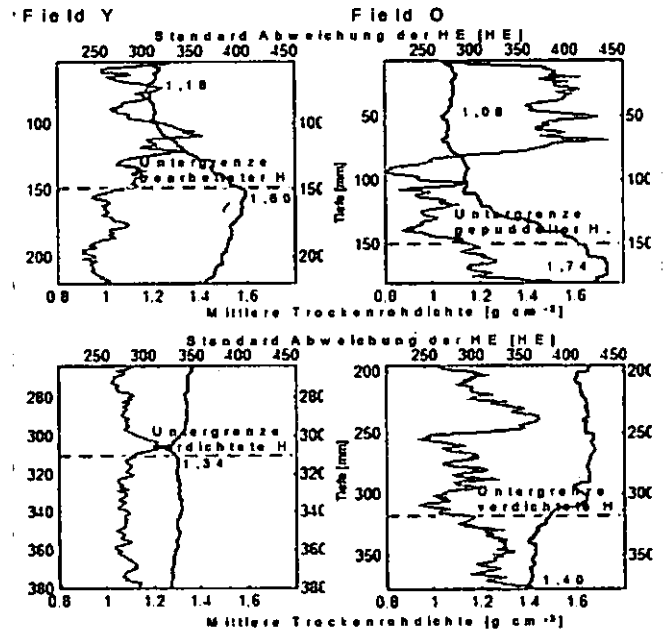


Abbildung 4: Berechnete Trockenrohdichten und Standardabweichungen der Hounsfield-Einheiten als Funktion der Bodentiefe für y (links) und O (rechts).

Krümelige Aggregate wurden im Oberboden von Feld Y offensichtlich bereits innerhalb einer Anbauperiode ohne Puddling gebildet und in Feld O sind sie nicht vorhanden da durch Puddling zerstört.

Das Fehlen einer krümeligen Struktur in den verdichteten Horizonten ist eine mögliche Erklärung für den stärkeren (vertikalen) präferenziellen Wasserfluss in Feld Y im Vergleich zu Feld O beobachtet anhand von Farbtracer-Infiltrationsversuchen (Sander and Gerke, 2007)

Danksagung

Die Feldarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Ecological Experimental Station of Red Soil und dem Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, durchgeführt. Wir danken unseren chinesischen Mitarbeitern Zhang Bin, Li Jiangtao, Bi Lidong und Sun Yue-xing sowie Robert Bartsch, Norbert Wypler, Ingrid Onasch. Dieses Projekt wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanziell gefördert (GE 990/5-1, 5-2).

Literatur:

- Sander, T. and Gerke, H.H., 2007. Preferential Flow Patterns in Paddy Fields Using A Dye Tracer. Vadose Zone J. (in press).
- Rogasik, H., Onasch Ingrid, Brunotte, J., Jegou, D. and Wendroth, O., 2003. Assessment of soil structure using X-ray computed tomography. In: F. Mees, R. Swennen, M. Van Geet, and P. Jacobs (Editors), Geological Society, London, pp. 151-165.

Langjähriger Vergleich der gemessenen und modellierten Bodenwasserdynamik und Verdunstung einer Podsol-Braunerde unter Fichte

K. Schwärzel¹, T. Grünwald², U. Eichelmann²,
K.-H. Feger¹, C. Bernhofer²

Seit 1996 erfolgen in einem Fichtenaltbestand im Tharandter Wald (Sachsen) kontinuierliche Messungen zum Energie- und Wasserhaushalt. Zeitlich hochauflösend werden durch die AG Bernhofer Strahlung, Wind, Lufttemperatur/feuchte, Freiland- und Bestandesniederschlag, sensible und latente Wärmeströme bzw. Verdunstung mittels Eddy-Kovarianz-Technik, Safffluss der Bäume sowie Bodenwassergehalt und -potenzial erfasst. Mit dem von Hammel und Kennel (2001) modifizierten, forsthydrologischen Modell BROOK90 (Federer et al., 1996) wurden für den o.g. Standort auf täglicher Basis die Verdunstungs- und Abflusskomponenten sowie die Änderung des Bodenwasservorrates für den Zeitraum 1.1.1996 bis 31.12.2005 berechnet. Der 114-jährige Fichtenbestand stockt auf einer Podsol-Braunerde aus Skelettlehm über tiefem Quarzporphyr.

BROOK90 simuliert die vertikale Wasserbewegung im System Boden-Pflanze-Atmosphäre. Der Wasserfluss im Boden wird durch die Richardsgleichung beschrieben, über konzeptionelle Ansätze kann auch das Auftreten von Makroporen- und Bypassfluss berücksichtigt werden. Die tägliche Verdunstung wird in BROOK90 auf der Basis des Shuttleworth-Wallace-Ansatzes berechnet, wobei die Boden-, Pflanzen- und Interzeptionsverdunstung getrennt ausgegeben wird. Die aktuelle Transpiration wird durch einen pflanzeninternen Widerstand, einen Widerstand im System Boden/Wurzel und ein minimales Blattwasserpotenzial begrenzt.

In die modifizierte Version von BROOK90 wurde von Hammel und Kennel (2001) ein phänomenologisches Modell zur Berechnung der Blattflächenentwicklung im Jahresverlauf in Abhängigkeit der Lufttemperatur implementiert. Dabei werden vier Phänophasen unterschieden: Winterruhe (minimaler LAI, vorgegeben vom Modellanwender), Austrieb, Sommerphase (maximaler LAI, vorgegeben vom Modellanwender) und Blattfallphase. Die Austriebs- und Blattfallphase stellen lineare Übergangsstadien zwischen Winter- und Sommerphase dar. Abbildung 1 verdeutlicht, dass das Modell den beobachteten Maitrieb der Fichte zufriedenstellend nachvollzieht.

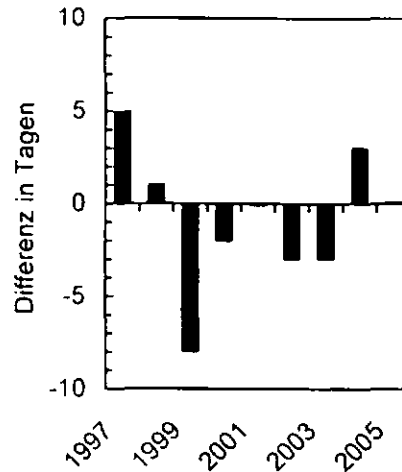


Abb. 1: Differenz zwischen simuliertem und beobachtetem Maitrieb der Fichte.

Abweichungen zwischen gemessener und simulierter Verdunstung zeigten sich vor allem in den Wintermonaten (Abb. 2).

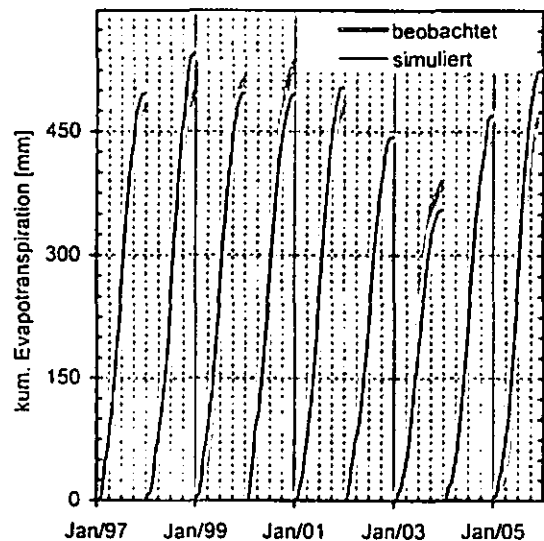


Abb. 2: Gemessene und berechnete Verdunstung, Ankerstation, Tharandter Wald.

BROOK90 berechnete für diese Zeiträume relativ hohe Werte der Interzeptionsverdunstung. Die Überschätzung der Interzeptionsverdunstung beruht möglicherweise auf den Schwierigkeiten von BROOK90, den Niederschlag in Schnee oder Regen zu separieren. Der Übergang von Regen in Schnee wird im Modell durch eine vom Anwender vorgegebene Grenztemperatur geregelt. Da die Pflanzenoberfläche mehr Regen als Schnee aufzufangen vermag, würde in Verbindung mit hohem Verdunstungsanspruch der Atmosphäre BROOK90 als Folge einer Überschätzung des Regenanteils am Niederschlag höhere Werte der Interzeptionsverdunstung berechnen. Die Überschätzung der simulierten Interzeptionsverdunstung könnte auch durch eine

¹ TU Dresden, Professur für Standortslehre und Pflanzenernährung

² TU Dresden, Professur für Meteorologie
Kai.Schwaerzel@Forst.TU-Dresden.de

Überschätzung des Interzeptionsspeichers verursacht wurden sein. In zusätzlichen Simulationsstudien prüften wir deshalb, ob die in den Herbst- und Wintermonaten beobachteten Unterschiede zwischen berechneter und gemessener Verdunstung auf einer Überschätzung des minimalen Blattflächenindex beruhen. Für diese Fragestellung verwendeten wir für den Winter-LAI einen minimalen relativen Wert von 0.5. Trotz dieses geringen LAI-Wertes konnten die weiter oben diskutierten Abweichungen zwischen simulierter und gemessener Verdunstung nicht verringert werden. Die in den Herbst- und Wintermonaten beobachteten Unterschiede zwischen den Modell- und Messergebnissen könnten auch den Unsicherheiten bei der Erfassung der Verdunstung geschuldet sein. Unter diesen Bedingungen (geringe Temperaturen, hohe Luftfeuchte) sind die den Verdunstungsfluss antreibenden Gradienten meist sehr klein, Messfehler entfalten dementsprechend eine große Wirkung. Zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen gemessener und berechneter Bodenwasserdynamik fand sich erst, wenn bei der Modellierung das Auftreten schnellen Bodenwasserflusses (Makroporen- und Bypassflow) berücksichtigt wurde (Abb. 3).

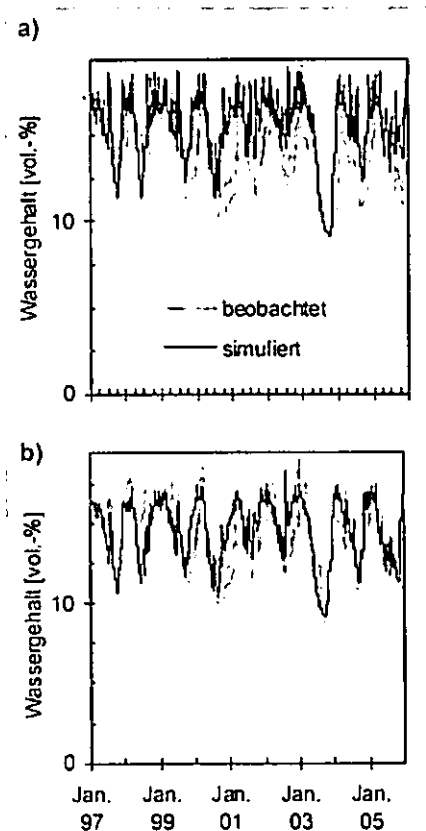


Abb. 3: Gemessene und simulierte Wassergehalte im Oberboden a) ohne und b) mit Berücksichtigung von Makroporen- und Bypassflow. Ankerstation Tharandter Wald.

Aufgrund der höheren Bodenwassergehalte (Abb. 3a) führte die Simulation des

Wasserhaushaltes ohne Berücksichtigung schneller Fließkomponenten zu geringfügig höheren Verdunstungswerten (im Mittel 15 mm a^{-1}) als bei der Simulationsrechnung mit Berücksichtigung schneller Fließkomponenten (Abb. 4). Diese Zunahme beruhte überwiegend auf der Erhöhung der Bodenverdunstung. Die Menge der jährlichen Transpiration des Fichtenbestandes wurde durch das Auftreten schnellen Bodenwasserflusses nur geringfügig beeinträchtigt. Unterschiede zwischen den Simulationsrechnungen mit und ohne schnellen Bodenwasserfluss zeigten sich aber bei den Abflusskomponenten. Bei der Variante mit Bypassflow überwog der hypodermische Abfluss, während bei Berechnung des Bodenwasserflusses mit dem klassischen piston flow-Konzept verstärkt Tiefsickerung auftrat (nicht dargestellt).

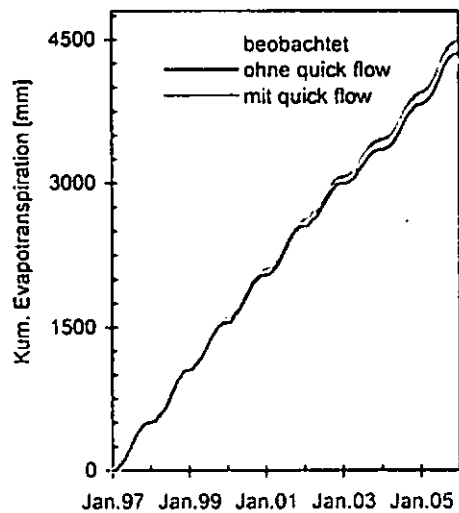


Abb. 4: Gemessen und simulierte kumulative Verdunstung, Ankerstation Tharandter Wald.

Literatur

Federer, C.A., C. Vörösmarty, and B. Fekete. 1996. Intercomparison of methods for calculating potential evaporation in regional and global water balance models. *Water Resour Res* 32:2315-2321.

Hammel, K., Kennel, M. 2001. Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushaltes von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell BROOK90. *Forstliche Forschungsberichte München* 185.

Die Körnung als methodische Grundlage bei der Ermittlung bodenschutzrelevanter Kriterien ausgewählter landwirtschaftlich genutzter Mineralböden Thüringens Hans- Jürgen Ulonska¹

1. Einleitung und Zielstellung

Der Boden wird begrifflich nach Bodenfunktionen und Bodenteilfunktionen (z. B. Wasserkreislauf) definiert. Diese sind über Kriterien (z. B. Totwasser, Feldkapazität oder natürlicher Grundgehalt) bewertbar. Mit Hilfe von Parametern (z. B. Körnungsart) und Teilparametern (z. B. Korngrößenfraktionsanteile) können insbesondere auf land- und forstwirtschaftlich, gärtnerisch und weinbaulich genutzten Böden Kriterien statistisch abgeleitet werden.

Ziel ist es, einen Beitrag nach Verbindungen zwischen v. g. Böden und verpflichtenden Umweltauflagen auf Basis nachvollziehbarer, ableitbarer und bezifferbarer Kriterien zu leisten. Offen sind z. B. rechtlich verbindliche Vorgaben harmonisierter Definitionen für den Parameter Körnungsart. Letzterer trägt u. a. bei Verwertung von Klärschlamm und Bioabfall sowie Düngung im Verbund mit anderen Parametern (z. B. organische Substanz) zur Ermittlung, Ausweisung, Zuordnung und Bewertung geeigneter Mineralböden bei. Über Verknüpfungen von BBodSchV mit AbfKlärV, DöV, Nitratrichtlinie und BioAbfV, stellen sich weiterhin Fragen geeigneter Beschreibungen z. B. für die Kriterien natürlicher Grundgehalt an Schwermetallen oder Totwasser über den zu harmonisierenden Parameter Körnungsart. Die statistische Ableitung, z. B. des Totwassers in Abhängigkeit definierter Körnungen eröffnet, soweit möglich, exakte und vergleichbare Zusammenstellungen von Umweltinformationen.

Die Ausführungen sollen einen Beitrag zur aktuellen Diskussion im Rahmen der angestrebten Harmonisierung und Verknüpfung von Bodenarten im Feinboden nach amtlicher deutscher Bodenschätzung mit den nichtkompatiblen Kornfraktionierungen nach Bodenkundlicher Kartieranleitung im Rahmen der zu novellierenden BBodSchV leisten (DOMSCH et al., 2006; ULONSKA, 2006a; ANONYMUS b, 2006; ANONYMUS c, 2002; ANONYMUS d, 2006; ANONYMUS f, 1998; ANONYMUS g, 1991; ANONYMUS i, 2006; ANONYMUS j, 1999; ANONYMUS k, 2005; ANONYMUS l, 2003; ANONYMUS n, 2000).

2. Material und Methoden

Die nach Tabelle 1 vorgeschlagene Festlegung der Körnung im Feinboden wurde unter Berücksichtigung fachübergreifender Vergleichbarkeiten und subsidiärer nationaler gesetzlicher Vorgaben vorgenommen. Dazu wird angeregt, von einer dreistufigen Vorgehensweise auszugehen:

- Erfassen der angesprochenen Körnungsart im Feinboden nach Körnigkeit, Konsistenz und Grobeinschätzen der Bearbeitungsschwere (Hauptkörnungsart Sand: leicht, Lehm und Ton: schwer) über visuell- taktile Fingerproben in situ sowie Erstbestimmung der Körnungsart nach Körnungsartendreieck;
- Labormessung der Korngrößenfraktionsanteile im Feinboden und Berechnung entsprechender Anteile für die Kornsummenkurve;
- Festlegung von Körnungs- und Hauptkörnungsarten im Feinboden nach Tabelle 1 (HORN, 2000; KRETSCHMER et al., 2003; ULONSKA, 2006b).

3. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 2 zeigt enge statistische Zusammenhänge zwischen definierten Körnungsarten bei der Ermittlung des nichtpflanzenverfügbaren Wassers (Totwasser) landwirtschaftlich genutzter Böden Thüringens. Die dazu ermittelten Wassergehalte werden als statistisch gesichert und reproduzierbar angesehen. Bei der Ermittlung geogener

(natürlicher) Grundgehalte von Schwermetallen auf immissionsfernen Böden Thüringens wurde der gleiche statistische Ansatz gewählt. Über die in Tabelle 1 definierten Körnungsarten ist, auf Basis hinreichender Stichprobenumfänge, eine ausreichende Abschätzung der nichtjustiziablen Zielgröße Totwasser aus Tabelle 2 ersichtlich (ULONSKA, 2004, 2006a und b).

4. Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Die vorgeschlagene Verwendung bestimmender nichtsynthetischer mineralischer Korngrößenfraktionen mit gleichbleibender Skalierung für die erwogene Definition des justiziablen Begriffes „Körnungsart“ oder „Bodenart“ im Feinboden, besitzt vordergründig für die zu evaluierende BBodSchV, nebst Bodenkundlicher Kartieranleitung, Grundsatzcharakter. Dies trifft z. B. für abzuleitende Porengrößenverteilungen und Wasserdurchlässigkeiten im wassergesättigten Zustand (in Verbindung mit Textur und organischer Substanz) sowie Orientierungswerte für Schwermetalle (in Verbindung mit pH- Wert und organischer Substanz) zu. Enge statistische Abhängigkeiten werden über Tabelle 2 zwischen ausgewählten Kriterien und definierter Körnung als Primärparameter sichtbar. Daraus verwendbare Ergebnisse sind über die in Thüringen landesweit kartierten Hauptbodenformen mit vorzuschlagenden „Bodengeologischen Kartierungseinheiten“ großmaßstäbig bodentyp- und horizontbezogen ausreichend sowie mittelmaßstäbig bodentypbezogen hinreichend ableitbar. Verifizierungen und Validierungen archivierter Körnungsdaten sind nach Tabelle 1 grundsätzlich möglich.

Für das Medium Boden besteht mit Blick auf europäische Aktivitäten, vorab ein nationales (regionales) fachrechtsübergreifendes Regelungsbedürfnis. Davon sind z. B. Harmonisierung und gleichzeitige numerische Umsetzungen des Begriffes Körnungsart bzw. Bodenart mit Anforderungen des Vollzuges nach BBodSchV betroffen. Verbindungen zu AbfKlärV, Nitratrichtlinie und DöV sowie Verknüpfung von Datenbanken und -programmen, Festlegung vergleichbar zu skalierender Parameter im Zusammenhang mit indikativ zu ermittelnden Orientierungs-, Richt- und/ oder Grenzwerten sind anzustreben. Mit definierten Anteilen o. g. Korngrößenfraktionen werden wiederholt die überarbeiteten kompatiblen Körnungsarten nach Tabelle 1, insbesondere für den Vollzug des vor- und nachsorgenden Bodenschutzes nach BBodSchV, vorgeschlagen. (CAPELLE et al., 2006; HORN, 2002; SCHNEIDER et al., 2006; KNOBLAUCH et al., 2006; KRETSCHMER, 2004; MÜLLER, 2004; RAU et al., 2000; ULONSKA 2004 und 2006a; ANONYMUS a, 2006; ANONYMUS d, 2006; ANONYMUS e, 2006; ANONYMUS h, 2000; ANONYMUS k, 2005; ANONYMUS n, 2000).

5. Quellenverzeichnis

CAPELLE, A.; ULONSKA, H.- J. et RÖTSCHER, T. (2006): Administrative und wissenschaftliche Nachnutzungen von Primärdaten der Bodenschätzung.- in Wasserwirtschaft 7/ 8: 64- 68. DOMSCH, H.; HARTMANN, K.- J. et BOESS, J. (2006): Welche Bodeninformationen nutzen? Genauere Bewirtschaftung durch Kombination alter und neuer Daten.- in Neue Landwirtschaft 10: 26- 28. HORN, R. (2002): 5 Bodenphysik.- in SCHEFFER/ SCHACHTSCHABEL: Lehrbuch der Bodenkunde: 155- 266. Bonn. KNOBLAUCH, S.; BRUNE, S. et ULONSKA, H.- J. (2006): Erste Monitoringergebnisse standortgebundener Belastungen ackerbaulich genutzter Böden Thüringens – ein Beitrag zur Modellbewirtschaftung nach EG- WRRL.- in: Wasser- und Bodentage Tagung DWA, Feuchtwangen: 1- 26. KRETSCHMER, H. (2004): Fruchtbarkeitsbestimmende Bodenparameter.- in KÖPPEN, D.: Bodenfruchtbarkeit im Agroökosystem: 125- 267. KRETSCHMER, H.; KAHLE, P. et ULONSKA, H.- J. (2003): Die Kornverteilungskurve eines Bodens als Grundkriterium für die Ableitung von Bodenarten nach verschiedenen Klassifikationssystemen.- in Landnutzung und Landentwicklung 44: 26- 28. MÜLLER, U. (2004):

¹ c/o: Hans-Juergen.Ulonska@tlnu.thueringen.de

Auswertungsmethoden im Bodenschutz.- in Arbeitshefte Boden 3: 1- 409. RAU, D.; SCHRAMM, H. et WUNDERLICH, J. (2000): Die Leitbodenformen Thüringens Legendenkartei zu den Bodengeologischen Übersichtskarten Thüringens i. M. 1: 100.000.- in Geowissenschaftliche Mitteilungen von Thüringen 3: 1- 100. SCHNEIDER, U.; HÜTTL, R.; BANNICK, C. G.; REPMMANN, F. et GRÜNEWALD, H. (2006): EU- Strategien zu Bodenschutz und nachwachsenden Rohstoffen – Handlungsrahmen und Perspektiven auf europäischer Ebene.- in: Energiefruchtfolgen, Stoffkreisläufe, Bodenfruchtbarkeit 13: 15- 29. ULONSKA, H.- J. (2004): Kennzeichnung von Mineralböden für den landwirtschaftlichen Bodenschutz. Vorschlag zur Neugliederung der Korngrößenfraktionen.- in Bodenschutz 9/1: 16- 20. ULONSKA, H.- J. (2006a): Bodenschätzungsdaten als methodische Grundlage im vorsorgenden Bodenschutz auf ausgewählten landwirtschaftlich genutzten Standorten Thüringens.- in 4. Marktredwitzer Bodenschutztag: 217- 223. ULONSKA, H.- J. (2006b): Die außersteuertliche Nutzung von Bodenschätzungsdaten im Kontext der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie.- in Mitt. d. Dt. Bodenkundl. Ges. 108: 97- 98. ULONSKA, H.- J. et KRETSCHMER, H. (2001): Bodenartenklassifizierungen – Bestandsaufnahme, Vergleich und Alternativen.- in ECKSTÄDT, H.: Rostocker Agrar- und Umweltwissenschaftliche Beiträge 9: 259- 264. ANONYMUS a (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.- in KOM (2006) 232 endgültig: 1- 32. ANONYMUS b (2006): Thüringer Umweltinformationsgesetz vom 10. Oktober 2006.- in GVBl. 14: 513- 517. ANONYMUS c (2002): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (BioAbfV) vom 21. September 1998.- in

BGBl. I 65; zuletzt geändert durch VO vom 25. April 2002.- in BGBl. I 28: 1488- 1493. ANONYMUS d (2006): Stellungnahme des Bundesverbandes Boden zur Novellierung der BBodSchV.- in Bodenschutz 11/ 4: 96- 103. ANONYMUS e (2006): Strategie thematique en faveur de la protection.- in communication de la commission au conseil, au parlement europeen, au comite economique et sozial et au comite des regions COM (2006) 231 final : 1- 13. ANONYMUS f (1998): Gesetz zum Schutz des Bodens (BBodSchG).- in BGBl. I 16: 502- 510. ANONYMUS g (1991): Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen 91/ 676/ EWG.- in ABl. L 375: 1-8. ANONYMUS h (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.- in ABl. L 327: 1- 72. ANONYMUS i (2006): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (DüV).- in BGBl. I 2; zuletzt geändert durch VO vom 27. 9. 2006.- in BGBl. I 44: 2163- 2175. ANONYMUS j (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV).- in BGBl. I 36: 1554- 1582. ANONYMUS k (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. ANONYMUS l (2003): Klärschlammverordnung (AbKlärV) vom 15. April 1992.- in BGBl. I 21; zuletzt geändert durch VO vom 26. November 2003.- in BGBl. I 57: 2373- 2437. ANONYMUS m (2006): Direktzahlungen-Verpflichtungsverordnung vom 4. 11. 2004.- BGBl. I 58; zuletzt geändert durch VO vom 25. 5. 2006.- in BGBl. I 25: 1252- 1253. ANONYMUS n (2000): Anlage zu §1 der Fünften Verordnung zur Durchführung des Bodenschätzungsgesetzes vom 20. April 2000.- in BGBl. I 20: 642.

Tabelle 1: Hauptkörnungsarten und Körnungsarten des durchwurzelbaren Raumes terrestrischer Böden (nach: CAPELLE et al., 2006 ; KNOBLAUCH et al., 2006; ULONSKA, 2004, 2006a; ULONSKA et KRETSCHMER, 2001; ANONYMUS d, 2006; ANONYMUS l, 2003; ANONYMUS m, 2006; ANONYMUS, n, 2000)

Hauptkörnungsart	Körnungsarten (Bodenarten) gemäß amtlicher deutscher Bodenschätzung		nichtsynthetische mineralische Korngrößenfraktionen (Masse- %)		
	Begriff	Abschlämmbares (A) < 0, 01 mm (Masse- %)	Ton (T)	Schluff (U)	Sand (S)
I	2a	2b	3a	3b	3c
Sand (Sa)	Sand (S)	0, 0- 9, 9	0, 0- 5, 0	0, 0- 15, 0	85, 0- 100, 0
	anlehmiger Sand (SI)	10, 0- 13, 9	0, 0- 8, 0	0, 0- 30, 0	70, 0- 95, 0
	lehmiger Sand (IS)	14, 0- 18, 9	0, 0- 13, 0	0, 0- 49, 9	45, 0- 92, 0
	stark lehmiger Sand (SL)	19, 0- 23, 9	0, 0- 18, 0	50, 0- 100, 0	0, 0- 50, 0
Lehm (Le)	sandiger Lehm (sL)	24, 0- 29, 9	5, 0- 18, 0	0, 0- 49, 9	32, 0- 87, 0
	Lehm (L)	30, 0- 44, 9	18, 1- 29, 9	0, 0- 81, 9	0, 0- 81, 9
	stark toniger Lehm (LT)	45, 0- 60, 0	30, 0- 44, 9	0, 0- 70, 0	0, 0- 70, 0
Ton (To)	Ton (T)	60, 1- 100, 0	45, 0- 99, 9	0, 0- 54, 9	0, 0- 55, 1

Tabelle 2: Beziehungen des gemessenen Totwassers zum gemessenen Tongehalt ausgewählter Böden Thüringens

Körnungsart (cn)	Entstehungsart (ANONYMUS n, 2000)	Zielgröße (y): Totwassergehalt (mm/ dm) und Einflußgröße (x): Kornfraktionsanteil Ton (M%)	Bestimmtheitsmaß (B)	Korrelationskoeffizient (K)	gemessene Wertepaare (n)	geprüfte Werte
1	2	3	4	5	6	7
LT+T	V/ Vg	23, 5 bis 55, 1 (y= 0, 4518x + 9, 9278)	0, 8413	0, 9173	34	ULONSKA (2004)

**MITTEILUNGEN
DER
DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT**

REFERATE

**Workshop der Kommission VI und der AG
„Abfall, Altlasten und Bodenhygiene“
28. und 29. November 2006, Müncheberg**

Band 109

2006



Aktuelle Fragestellungen bei der Rekultivierung von Deponien, Altlasten und Bergbaufolgelandschaften

Stefan Melchior

Rekultivierungsschichten werden großflächig zur Schließung von Deponien, bei der Sicherung von Altlasten durch Oberflächenabdichtung, zur Wiedernutzbarmachung von Bergbaufolgelandschaften und im Landschaftsbau hergestellt. Dabei werden natürliche Böden, Bodenaushub und technisch hergestellte Gemische aus mineralischen und organischen Komponenten eingesetzt, woraus sich zahlreiche Fragen des vorsorgenden und nachsorgenden Bodenschutzes am Gewinnungs- und am Einbauort ergeben. Aufgrund des bundesweit aktuell sehr hohen Massenbedarfs an Rekultivierungssubstraten ist es von großer Bedeutung, welche Anforderungen an diese Substrate zu stellen sind. Obwohl bei der Rekultivierung von Deponien, Altlasten und Bergbaufolgelandschaften in der Praxis oft sehr ähnliche Ziele verfolgt werden, gelten je nach Einsatzort unterschiedliche gesetzliche Regelungen (i.w. Abfallrecht, Bergrecht, Bodenschutzrecht und Wasserrecht; einschlägige Gesetze und Regelwerke siehe unten) und entsprechend unterschiedliche Anforderungen an die Materialien, deren Einbau und langfristige Funktion im eingebauten Zustand. Bei Deponien werden die Anforderungen an die Rekultivierungsschicht im Anhang 5 der DepV festgelegt. Bei Sicherungsmaßnahmen zur Gefahrenabwehr auf Altlasten nach BBodSchG gibt es keine solchen spezifischen, den allgemeinen Stand der Technik bauwerkbezogen konkretisierenden Vorgaben. Häufig wird in Genehmigungen jedoch auf die GDA-Empfehlung E 2-31 zu Rekultivierungsschichten Bezug genommen, die für die Anwendung bei Deponien und Altlasten verfasst wurde. Bei der Wiedernutzbarmachung von Bergbaufolgestandorten werden die Anforderungen in der Regel einzelfallbezogen aus dem Nutzungsziel und den Eigenschaften der verfügbaren Böden abgeleitet.

Ziel des Status-Workshops „Rekultivierungssubstrate“ der Kommission VI der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft am 28./28.11.2006 in Münchenberg war die Zusammenstellung der Grundlagen zu den Qualitätsanforderungen, die Herstellung, den Einbau und das Langzeitverhalten von Rekultivierungssubstraten, um auf den Ergebnissen des Workshops aufbauend ein „Leitbild Rekultivierungssubstrate“ zu entwerfen.

Dr. habil. Stefan Melchior
melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft
Karolinenstraße 6
D-20357 Hamburg
www.mplusw.de

Im vorliegenden Band werden die Zusammenfassungen der Einzelbeiträge des Workshops dokumentiert. Die Synthese der (Zwischen-) Ergebnisse ist noch zu erarbeiten und abzustimmen. Sie wird an anderer Stelle publiziert und über die Internetseite der Kommission VI auf www.dbges.de verfügbar gemacht werden.

Folgende, nach Themenschwerpunkten gegliederten Fragen und Überlegungen bildeten den Ausgangspunkt für den Workshop und Entwicklung eines Leitbildes Rekultivierungssubstrate:

A Funktion und Qualitätsanspruch an die fertige Rekultivierungsschicht (samt Bewuchs)

Welche Funktionen sollen Rekultivierungsschichten erfüllen?

Sind die Anforderungen in allen Einsatzgebieten (Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften, Altlasten, Deponien, Rekultivierung im Landschaftsbau) gleich oder erfordern unterschiedliche Standorte und Bauwerke unterschiedliche standortindividuelle und objektbezogene Systemwirksamkeiten?

B Planung und Bemessung

Was ist zu bemessen (Zielgrößen)?

Welche Werkzeuge stehen zur Verfügung?

Welcher Zustand ist zu betrachten (nach Einbau, nach Bodenreifung, welcher Bewuchs)?

Welche Festlegungen können im Planungsablauf auf welcher Informationsbasis getroffen werden?

C Lieferquellen und Komponenten

Aus welchen Quellen können geeignete „natürliche“ Rekultivierungsböden gewonnen werden?

Reichen die verfügbaren Mengen für den aktuell absehbaren Bedarf?

Welcher Qualitätsanspruch ist an die Böden zu stellen?

Aus welchen Komponenten können „technische“ Rekultivierungssubstrate hergestellt werden?

Welche grundlegenden Anforderungen sind an die Aufbereitung und Mischung der Komponenten zu stellen?

Welche rechtlichen Anforderungen sind zu beachten?

Wie sind die Gesichtspunkte des Bodenschutzes an den Herkunftsquellen (Ressourcenschutz) und am Einbauort (nachsorgender Bodenschutz) am besten zu vereinbaren?

D Anforderungen und Erfahrungen zu Abbau, Transport und Zwischenlagerung von Rekultivierungsböden und -substraten

Sind die in DIN 18915 (Vegetationstechnik im Landschaftsbau: Bodenarbeiten) und DIN 19731 (Bodenbeschaffenheit: Verwertung Bodenmaterial) formulierten Anforderungen im Hinblick auf die Rekultivierung in den genannten Einsatzbereichen funktionsgerecht und angemessen?

E Anforderungen und Erfahrungen zur Einbautechnik und Begrünung

Welcher Verdichtungsgrad ist sinnvoll?

Soll die Rekultivierungsschicht in Lagen eingebaut werden oder in voller Höhe ohne Befahrung?

Welchen Einfluss hat die Einbautechnik auf die bodenhydrologischen Kennwerte (nFK, LK, k_v/k_h)?

Wie sind unterschiedliche Einbauverfahren hinsichtlich Erosionsschutz und Böschungstabilität zu beurteilen?

Welche Prozesse der Bodenreifung sind bereits bei der Wahl der Einbautechnik zu beachten (z.B. Sackungen)?

Wie wird eine ausreichende Befahrbarkeit für die Begrünungsmaßnahmen und die Pflege des Bewuchses erreicht?

F Erfahrungen zum Langzeitverhalten (Bodenreifung und Sukzession)

Welche Erfahrungen und Datensätze liegen vor?

Ist es sinnvoll, mit bautechnischem Aufwand bestimmte Einbauzustände herzustellen, die mittel- und langfristig nicht beständig sind?

G Offene Fragen - Bedarf an Forschung, technischer und rechtlicher Regelung

Welche offenen Fragen bestehen?

Wie können sie in geeigneter Weise untersucht und beantwortet werden?

Wie kann der Stand der Technik am besten weiterentwickelt und in die Regelwerke umgesetzt werden?

Ausgewählte Gesetze, Verordnungen, Regelwerke und Merkblätter zum Thema

AbfAbIV – Abfallablagerungsverordnung, 2001

BBergG – Bundesberggesetz, 1980

BBodSchG – Bundes-Bodenschutzgesetz, 1998

BBodSchV - Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, 1999

BioAbfV - Bioabfallverordnung, 1998

DepV – Deponieverordnung : Verordnung über Deponien und Langzeitlager, 2002

DepVerwV – Deponieverwertungsverordnung, 2005

Deutsche Gesellschaft für Geotechnik: Geotechnik der Deponien und Altlasten (GDA) - Empfehlung E2-31 Rekultivierungsschichten. Überarbeitete Fassung. Bautechnik, Heft 9, 2006

DIN 18915: Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Bodenarbeiten. Beuth Verlag, Berlin/Köln, 2002

DIN 19731: Bodenbeschaffenheit - Verwertung von Bodenmaterial. Beuth Verlag, Berlin/Köln, 1998

Düngemittelverordnung : Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln, 2003

Düngeverordnung: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen, 2006

LABO - Bund-Länderarbeitsgemeinschaft Boden: Vollzugshilfe zu § 12 BBodSchV, 2002

LAGA - Länderarbeitsgemeinschaft Abfall: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln, Teil I – III, 1997

LAGA - Länderarbeitsgemeinschaft Abfall: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln. Allgemeiner Teil, 2003

LAGA - Länderarbeitsgemeinschaft Abfall: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen. Technische Regeln. Teil II, 1.2 Bodenmaterial (TR Boden), 2004

Länderausschuss Bergbau: Anforderungen an die Verwertung von bergbaufremden Abfällen im Bergbau über Tage. Technische Regeln, 2004

LAWA - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Grundsätze des vorsorgenden Grundwasserschutzes bei Abfallverwertung und Produkteinsatz (GAP-Papier), 2002

LAWA - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, 2004

„REKULT“ – ein interdisziplinäres Forschungsprojekt zur Begrünung von Halden am Steirischen Erzberg

Roman Schaffer

Das Projekt „REKULT“ wurde in der Zeit von 4/1997 bis 3/2000 als interdisziplinäres Forschungs- und Entwicklungsprojekt mit der Zielsetzung geführt, Renaturierungen und Rekultivierungen von Steinbruch- und Bergbaufolgefleichen als Geschäftsfeld für den Auftraggeber, die VÖEST ALPINE ERZBERG Ges.m.b.H, zu entwickeln.

Das Projektteam:

VOEST – Alpine Erzberg Ges.m.b.H.

(Auftraggeber, Projektantragsteller)

Büro Pirkl (Geologie)

Inst. f. Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft der Montantuniv. Leoben

(Bergtechnik, Dokumentation, Visualisierung)

Büro Schaffer, Agrarconsulting u. Handelsunternehmen (Begrünung)

Büro Maierhofer (Bepflanzung)

Die Ausgangslage war dadurch charakterisiert, dass keine allgemeingültigen Standards existierten, die dieses Thema betreffend sowohl Schlüsse auf mögliche Zielsetzungen als auch auf empfehlenswerte Abläufe zuließen. Wohl lagen Einzelstudien vor, die auf realisierten Renaturierungsprojekten basierten, und diese zeigten eine Reihe von Maßnahmen auf, ließen aber keine Ableitung von Standards in der Beurteilung der Ausgangslage für einzelne Renaturierungs- und Rekultivierungsmaßnahmen zu.

In „REKULT“ wurde das Ziel verfolgt, im interdisziplinären Zusammenwirken von Bergbautechnik, Bergbauwirtschaft, Geologie, Begrünungs- und Bepflanzungstechnik Standards für eine Beurteilung der Ausgangslage, für eine Festlegung von sinnvollen und erreichbaren Zielsetzungen und darauf aufbauend für die Festlegung von geeigneten technischen und biologischen Maßnahmen zu erarbeiten.

Diese Interdisziplinarität hat sich sowohl im Projekt als auch für die Praxis (Schließungen, Teilschließungen, Flächenvorbereitung ...) als besonders wichtig und zielführend erwiesen.

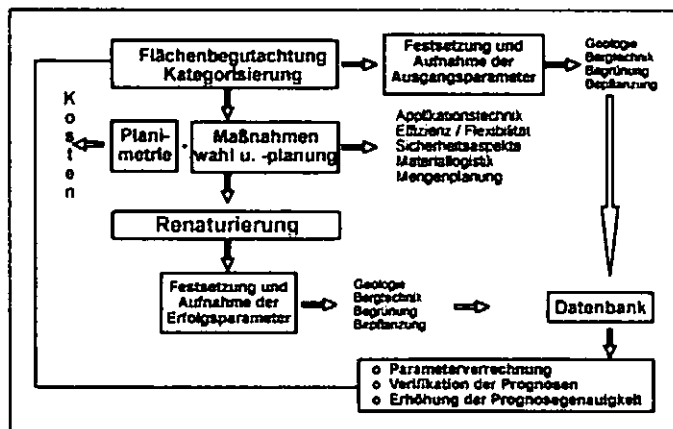


Abb. 1: Arbeitsweise im Projekt „Rekult“

Insgesamt wurden auf etwa 60 ha mehr als 200 Versuchspartellen zu unterschiedlichsten Fragestellungen installiert und interdisziplinär untersucht. Die Ergebnisse flossen in eine Datenbank ein, mit deren Hilfe ein- und mehrfaktorielle Auswertungen möglich sind. Im folgenden wird jedoch ausschließlich der Bereich „Begrünung“ überblicksmäßig dargestellt.

Die Vorgabe (Behörde / Auftraggeber) für sämtliche Versuche war, Bedingungen zu schaffen, die mittel- bis langfristig die Etablierung von Wald zulassen würden. Es wurde keinerlei Materialauftrag (begünstigendes Bruchmaterial, Erde ...) auf den Halden vorgenommen. Die standortbedingten, zum Teil äußerst ungünstigen Randbedingungen lassen auf diesen Standorten, wenn überhaupt, eine Sukzession zu, mit der die genannten Vorgaben (Wald) nicht erfüllt werden können (Abb.2).



Abb. 2: Unbearbeitete Halde, 20 Jahre alt

Das Hauptaugenmerk der Begrünung lag demnach auf einer Verbesserung der Standortbedingungen für

Roman SCHAFFER, Dr. nat. techn.

Agrarconsulting und Handelsunternehmen,

A -8952 Irdning 168, +43(0)3682 - 22 7 13

www.roman-schaffer.com; roman-schaffer@aon.at

höhere Pflanzen, wozu eine Reihe von Versuchsanstellungen diente:

- * Einschätzung der Begrünbarkeit von Haldenflächen und Verifikation der Ergebnisse
- * Saatgut-Mischungsvarianten
- * Varianten hinsichtlich Rhizobien-Symbiose mit Fabaceae
- * Grunddüngungsvarianten
- * Nachdüngungsvarianten
- * Organisch-mineralische Dünger
- * Varianten hinsichtlich Stickstoffformen
- * Neuartige Dünger
- * Bodenklebervarianten
- * Wasserspeichervarianten
- * Deckfruchtvarianten
- * Wildverbisslenkung
- * Begrünungen für forstw. Untersuchungen
- * Begrünungen für geologische und bergtechnische Untersuchungszwecke

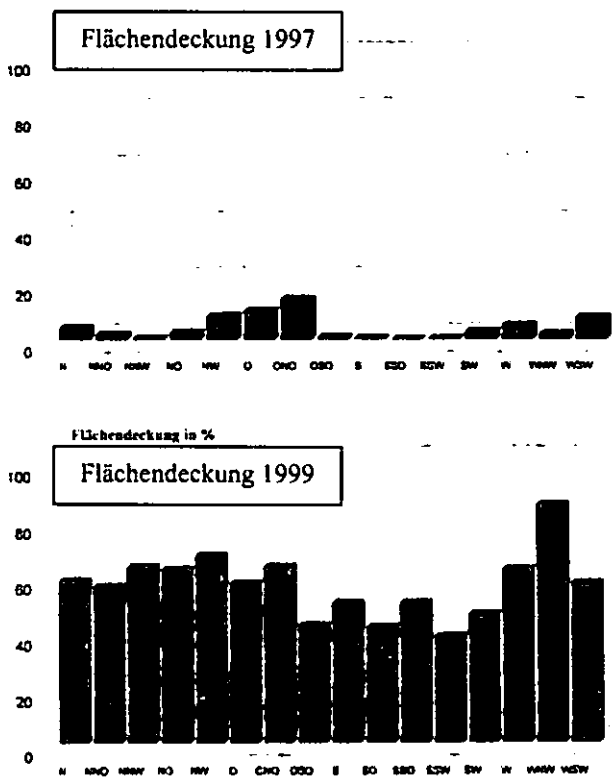


Abb. 3: Entwicklung der projektiven Deckung durch Pflanzen im Vergleich von 1997 zu 1999.

Neuentwicklung aus „REKULT“

Das sogenannte „Dickschichtverfahren“ wurde als Hydrosaatvariante entwickelt, mit der es im F & E-Projekt „Rekult“ am Steirischen Erzberg gelang, Keimergenergie, Wuchsverhalten, Klee-Etablierung und Biomassebildung entscheidend zu verbessern. Darüber wurde beobachtet, dass Begrünungserfolge rascher eintraten, dauerhaft waren/sind und ungünstige Randbedingungen wie Exposition,

Steilheit, Humus- und extreme Nährstoffarmut etc. in ihren Auswirkungen deutlich abgeschwächt werden konnten. Die Bestandesbeurteilungen fielen sehr gut aus. Die Ergebnisse des im Projekt angewandten Standard-Hydrosaatverfahrens, das in der Praxis auch stets Basis für Stroh Begrünungen ist, wurden insbesondere unter ungünstigen Standortbedingungen wesentlich übertroffen.

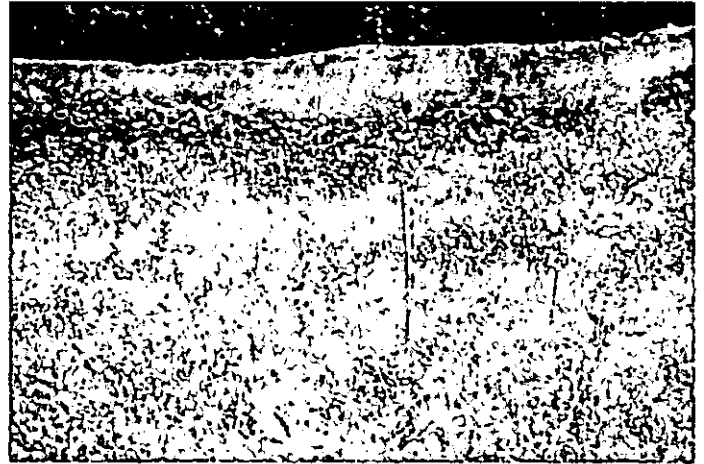


Abb. 4: Begrünung aus 1998, Dickschicht, seit 7 Jahren ohne weitere Düngungs- oder Saatmaßnahmen

Hydrogeologische Untersuchungen (Lysimeter) belegen, dass Nährstoffauswaschungen nur kurzzeitig und in unbedenklichem Maße auftraten, das Verfahren also auch als umweltschonend bezeichnet werden darf.

Im Jahre 2006 wurden nun erneut Untersuchungen auf „Rekult“-Flächen angestellt. Botanische Aufnahme von mehr als 130 Parzellen aus den Begrünungen von 1997 und 1998 sowie die Aufnahme von Bodenprofilen wurden durchgeführt. Bodenphysikalische und bodenchemische Untersuchungen laufen derzeit.

Erste Ergebnisse und Ausblick:

- * Die Parzellen unterscheiden sich stärker als im Jahre 2000
- * Das Verbleiben / die Einwanderung autochthoner Pflanzen überraschen hinsichtlich ihrer Intensität: ca. 50 Arten wurden 1997-1999 gesät bzw. gepflanzt
ca. 200 Arten wurden 2006 gefunden
ca. 40 davon stehen in der „Roten Liste“
- * Das Dickschichtverfahren zeigt eindeutige Vorteile
- * Das Tempo Boden bildenden Prozesse überrascht.

Geplante Arbeiten bis 2008:

- * Statistische Bearbeitung des Datenmaterials aus dem Bereich „Begrünung“.

Bodenuntersuchungen auf Bergbaufolge-standorten im Lausitzer Braunkohlenrevier

Reinhard F. Hüttl & Werner Gerwin¹

1. Einleitung

Deutschland ist der weltweit bedeutendste Braunkohleproduzent. Die Gewinnung der Braunkohle erfolgt in drei großen Bergbau-revieren in der Regel im Tagebaubetrieb. Das östlichste Braunkohlenrevier liegt in der Lausitz und ist gemessen an der durch den Bergbau beanspruchten Fläche das größte Revier in Deutschland.

Der Abbau im Lausitzer Braunkohlenrevier erfolgt derzeit in 5 Tagebauen. Es kommen Abraumförderbrücken zum Einsatz, die bis zu 60 m mächtige Abraumschichten in einem Arbeitsgang abtragen und sofort verkippen können. Dieses nur bei entsprechenden geologischen Lagerstättenverhältnissen einsetzbare Verfahren hat zur Folge, dass die entstehenden Kippenflächen durch erhebliche Heterogenitäten gekennzeichnet sind.

2. Untersuchungen zur Heterogenität der Kippböden

Ungleichmäßige Bodenverhältnisse lassen sich auf Lausitzer Bergbaustandorten sowohl im Landschaftsmaßstab als auch in kleinsten Skalenebenen nachweisen. Auf der groß-flächigen Betrachtungsebene muss die Heterogenität vor allem bei der für die Rekultivierung meist notwendigen Meliorationsmaßnahmen berücksichtigt werden, da die Kalkungsbedürftigkeit erheblich schwankt.

Auf der Ebene eines Bodenprofils treten erhebliche Unterschiede der bodenchemischen und -physikalischen Eigenschaften auf kleinstem Raum auf. Gerke et al. (2001) untersuchten die Wasserflüsse in Kippenböden mittels Farbtracern. Es stellte sich heraus, dass sich die Versickerung in den Unterboden unterhalb des Meliorationshorizonts auf bestimmte Fließwege beschränkte. Ähnliche Ergebnisse konnte Hangen (2003) bei der Durchführung eines Zellenlysimeter-Experiments unter einem ungestörten Bodenmonolithen erzielen. Während einzelne der Lysimeterzellen über die Beobachtungsdauer nur wenig oder keinen Austrag zeigten, konzentrierte sich der Austrag auf wenige Bereiche des Bodenblocks.

Nach Abschluss der Lysimeterversuche wurde der kohle- und pyrit-haltige Bodenblock in kleine Quader unterteilt und abgetragen (s. Wecker 2005). Es wurde auf diese Weise ein dreidimensionales Bild der kleinräumigen Heterogenität erreicht. Abb. 1 zeigt die räumliche Verteilung der pH-Werte in dem beprobten Bodenmonolithen.

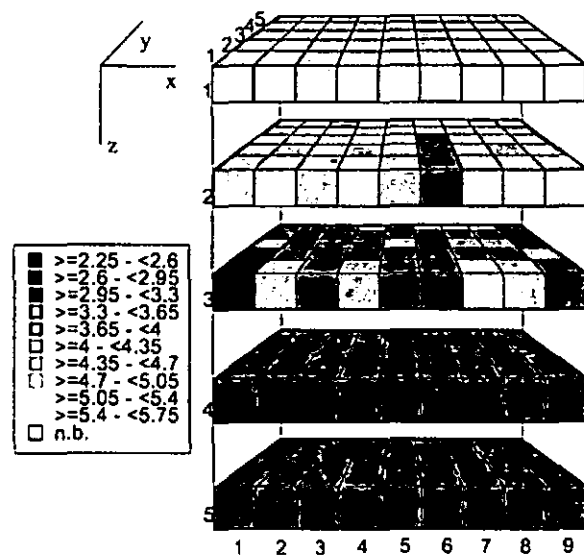


Abb. 1: Räumliche Verteilung der pH-Werte in einem Kippboden (Schaaf et al. 2004)

Anhand der Verteilung der pH-Werte zeichnet sich deutlich der mit Kalk meliorierte Oberboden gegenüber dem extrem stark versauerten Unterboden ab. Die Prozessdynamik des Unterbodens ist durch die auch rund 20 Jahre nach der

¹ Prof. Dr. Dr. h.c. Reinhard F. Hüttl,
Dr. Werner Gerwin
BTU Cottbus, Forschungszentrum
Landschaftsentwicklung und Bergbaulandschaften,
Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus
huettl@tu-cottbus.de
werner.gerwin@tu-cottbus.de

Verkippung anhaltende Pyritoxidation und die damit verbundene Säurefreisetzung gekennzeichnet.

Der untersuchte Kippboden ist weiterhin insbesondere in seinen tieferen Bereichen durch hohe elektrische Leitfähigkeitswerte zu charakterisieren (Abb. 2).

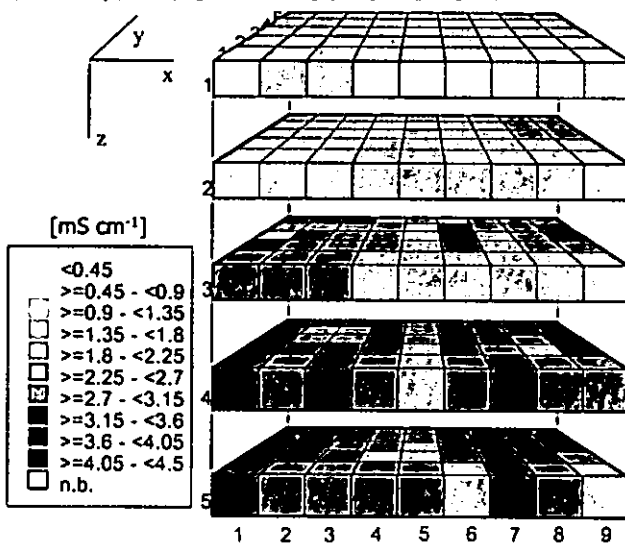


Abb. 2: Räumliche Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit (Schaaf et al. 2004)

Die damit korrespondierenden hohen Salzgehalte lassen sich durch die Freisetzung von Produkten der Pyritverwitterung erklären (Schaaf 2001). Im meliorierten Oberboden kommt es dagegen zu Ausfällungserscheinungen bzw. zur Auswaschung leicht löslicher Salze.

Neben der bodenchemischen Charakterisierung wurde die Verteilung der Wurzeln der auf dem Bodenmonolithen stockenden Kiefern untersucht. Abb. 3 gibt die räumliche Verteilung wieder. Entsprechend der bodenchemischen Verhältnisse im Unterboden konzentriert sich die Wurzelbiomasse vor allem auf den meliorierten Oberboden. Es können jedoch vereinzelt auch in tieferen Bereichen Wurzeln in größerer Menge gefunden werden. Hier sind Fließwege des Sickerwassers von Bedeutung, in denen alkalisch wirkende Inhaltsstoffe lokal zu besseren

bodenchemischen Verhältnissen führen können (Schneider et al. 2004).

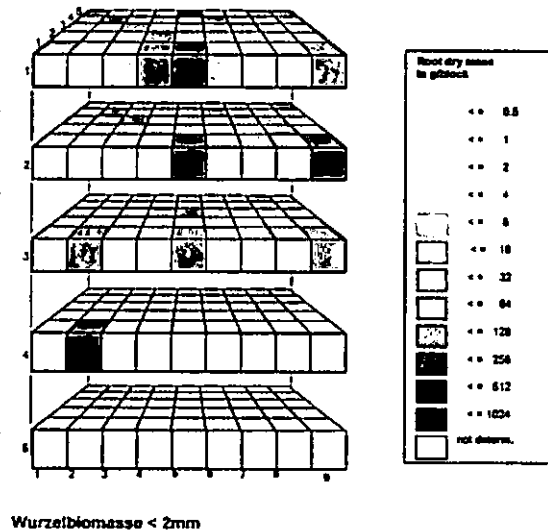


Abb. 3: Verteilung der Feinwurzel-Biomasse (< 2 mm) (Baumann 2004)

3. Zitierte Literatur

- Baumann, K. (2004):** Wurzelverteilung, Rhizosphärenchemie und Rhizosphärenbakteriengemeinschaft bei Kiefer in heterogenem kohlehaltigen Substrat. Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, 25.
- Gerke, H.H., Hangen, E., Schaaf, W. & Hüttl, R.F. (2001):** Spatial variability of water repellency in a lignite mine soil afforested with *Pinus nigra*. *Geoderma* 102, 255-274.
- Hangen, E. (2003):** Präferenzialer Fluss in einem heterogenen aufgeforsteten Kippboden. Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, 19.
- Schaaf, W. (2001):** What can element budgets of false-time series tell us about ecosystem development on post-lignite mining sites? *Ecological Engineering*, 17, 241-252.
- Schaaf, W., Gerke, H.H., Einecke, M., Wecker, B. & Hüttl, R.F. (2004):** Lokoale Ungleichgewichte und damit verbundene bodenchemische und hydrologische Prozessdynamik als Merkmale des Stoffhaushalts gestörter Standorte. Cottbuser Schriften zur Ökosystemgenese und Landschaftsentwicklung, 2, 7-48.
- Schneider, B.U., Münzenberger, B., Baumann, K., Hohensee, C. & Hüttl, R.F. (2004):** Funktion von Wurzelsystem und Mykorrhizapilzen im Nährstoffkreislauf gestörter Standorte. Cottbuser Schriften zur Ökosystemgenese und Landschaftsentwicklung, 2, 81-125.
- Wecker, B. (2005):** Kleinräumige Heterogenität kohlehaltiger Kippböden und ihre Auswirkungen auf den Stoffhaushalt. Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, 29.

Unverdichtete Rekultivierungssubstrate: Bodeneigenschaften, Vegetationsentwicklung und Wasserhaushalt

Peter Wattendorf & Otto Ehrmann

1 Einleitung

Rekultivierungsschichten im Oberflächenabdichtungssystem von Deponien sollen unter anderem die Sickerwassermenge reduzieren und für einen möglichst gleichmäßigen Abfluss sorgen. Im Gegensatz zu technischen Dichtungselementen bleiben sie zeitlich nahezu unbegrenzt wirksam. Ihre Wirkung hängt vom Klima des Standortes ab, jedoch beeinflussen auch Bodeneigenschaften und Vegetation den Wasserhaushalt und damit den Wirkungsgrad erheblich.

Substratqualität, Bodeneinbau und Vegetationssteuerung sind wichtig, wenn eine möglichst hohe Verdunstung die Absickerung reduzieren soll (BRAUNS et al. 1997). Ein standortgerecht aufgebauter Bewuchs, meist Wald, kann den Boden tiefreichend und intensiv durchwurzeln und zwischengespeichertes Bodenwasser auch aus größerer Tiefe aufnehmen und verdunsten. Hierzu sollte der Boden der Rekultivierungsschicht aber möglichst gering verdichtet sein (z.B. BÖNECKE 1994). Dies ist wichtig, weil die nutzbare Feldkapazität mit zunehmender Dichte geringer wird, vor allem aber werden verdichtete Böden weniger intensiv durchwurzelt.

In diesem Beitrag werden Bodeneigenschaften, Vegetationsentwicklung und Wasserhaushalt verdichteter und unverdichteter Rekultivierungsschichten in Testfeldern auf der Deponie Leonberg (Baden-Württemberg) miteinander verglichen.

2 Versuchsanlage

In Leonberg wurden im Herbst 2000 zwei Großlysimeterfelder von je 360 m² Fläche mit ca. 2,1 m mächtigen Rekultivierungsschichten aus schwach tonigem Schluff (Ut2) gefüllt. Standort der Felder ist eine südostexponierte Böschung mit einer Neigung von 1:2,7. Die Rekultivierungsschichten unterscheiden sich nur durch das Einbauverfahren: Beim unverdichteten Einbau (**U-Feld**) wurde der Boden in der Endhöhe vorkopf eingeschoben, beim konventionellen Einbau (**K-Feld**) wurde er in drei Lagen eingebracht und jeweils auf circa 0,95 ρ_p verdichtet.

Die Konstruktion der Lysimeterfelder erlaubt es, die
Dr. Peter Wattendorf, Institut für Landespflege,
Albert-Ludwigs-Universität, 79108 Freiburg;
peter.wattendorf@landespflege.uni-freiburg.de

Dr. Otto Ehrmann, Büro für Bodenmikromorphologie und
Bodenbiologie, Münster 12, 97993 Creglingen,
otto.ehrmann@gmx.de

Absickerung aus den Rekultivierungsschichten in beliebigen Zeitintervallen zu messen.

3 Ergebnisse

Trockenraumdichte

Die Trockenraumdichte des Unterbodens an der Entnahmestelle lag zwischen 1,44 und 1,77 g/cm³, im Mittel bei 1,57 g/cm³. Einige Wochen nach dem Bodeneinbau hatte sich der unverdichtete Boden im U-Feld deutlich gesetzt. Die Trockenraumdichte betrug im Mittel über vier Messstellen und vier Bodentiefen (25, 50, 85 und 135 cm) im verdichteten K-Feld 1,63 g/cm³ und im unverdichteten U-Feld 1,52 g/cm³. Während die Dichte im K-Feld in der Tiefe fast konstant blieb, war im U-Feld ein schwacher Gradient von oben nach unten festzustellen (Tab. 1). Dieser kam durch die Befahrung der Bodenoberfläche zustande. In beiden Feldern war die Dichte am Oberhang größer als am Unterhang, dies ist auf die unterschiedliche Anzahl von Befahrungen zurückzuführen: Da der Boden von der Böschungsoberkante nach unten eingeschoben wurde, sinkt die Anzahl der Befahrungen der Bodenoberfläche von oben nach unten sukzessive (siehe WATTENDORF et al. 2005).

Tab. 1: Tiefenfunktion der Trockenraumdichte [g/cm³] in Lysimeterfeld K und U; 2001: Mittel aus 4 Messstellen, 2004: eine Messstelle

Tiefe [cm]	2001		2004	
	K	U	K	U
25	1,61	1,55	1,57	1,61
50	1,62	1,55	1,61	1,57
85	1,63	1,51	1,71	1,67
135	1,65	1,46	1,68	1,57

In Folge von Setzungen hat der unverdichtete Boden des U-Feldes im Jahr 2004 die Trockenraumdichte des Entnahmestandes wieder erreicht. In beiden Feldern ist die Dichte als *mittel* bzw. *hoch* (nach AG Boden 2005) einzustufen. Geringe Dichteunterschiede zwischen den Feldern U und K sind jedoch nach wie vor erkennbar (Tab. 1).

Eindringwiderstände

Ein Vergleich der Eindringwiderstände im April 2004 (Abb. 1) zeigt folgende Unterschiede: Im Oberboden des U-Feldes sind die Eindringwiderstände höher, denn er ist wegen der intensiveren Durchwurzlung (s.u.) stärker ausgetrocknet. Unterhalb von 35 cm Tiefe sind die Eindringwiderstände im K-Feld jedoch trotz feuchteren Bodens fast immer größer als im U-Feld. Die im K-Feld durch den Einbau entstandenen Verdichtungen in 40–60 cm und 80–100 cm Tiefe sind im April 2004 noch deutlich zu erkennen.

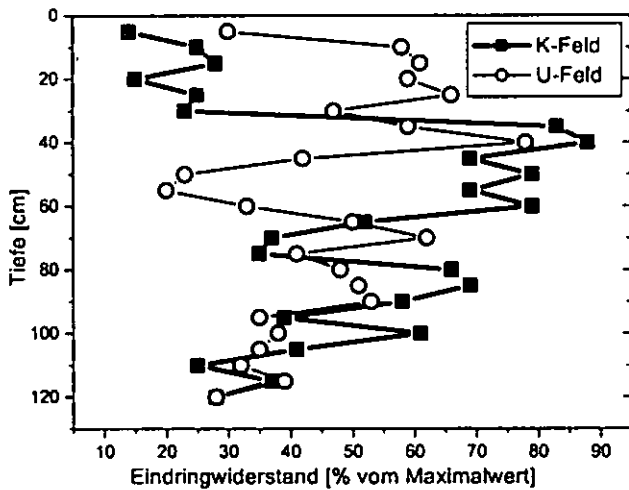


Abb. 1: Eindringwiderstände im April 2004

Standorteigenschaften und Bewuchs

Die unverdichtete Rekultivierungsschicht ist ein günstigerer Pflanzenstandort als die verdichtete. So ist der Gehölzbestand im U-Feld kräftiger und vitaler als im K-Feld. Dies zeigte sich im besseren Anwuchsenerfolg gepflanzter Aspen (*Populus tremula*): Die Ausfälle im ersten Jahr waren im K-Feld um 66 % höher als im U-Feld. Die Zuwachsraten - gemessen am Stammdurchmesser der Bäume - sind im U-Feld höher als im K-Feld, die Unterschiede zwischen den Feldern nehmen tendenziell im Lauf der Vegetationsentwicklung zu (WATTENDORF & EHRMANN 2006).

Aufgrabungen in den Jahren 2001 und 2004 belegen eine tiefer reichende und intensivere Durchwurzelung des Bodens im U-Feld. So betragen die Durchwurzelungstiefen größerer Stufen W2 (> 3 Wurzeln/100 cm²) nach AG BODEN (2005) im K-Feld 35 cm und im U-Feld 65 cm. Die bessere Durchwurzelung im U-Feld ist auf die geringere Verdichtung zurückzuführen. Die Konsequenz aus der intensiveren Durchwurzelung ist eine bessere Wasserversorgung und letztlich günstigere Wuchsbedingungen für Gehölze im U-Feld.

Wasserhaushalt der Lysimeterfelder

Die Lysimeterfelder unterscheiden sich hinsichtlich der Absickerung: Lysimeterfeld U reagiert weniger stark auf Niederschlagsereignisse als Feld K. Die Absickerungsraten des U-Feldes sind ausgeglichener, es liefert geringere Spitzenabflüsse (Abb. 2, Anfang Oktober) und eine gleichmäßigere Restabsickerung in Trockenphasen (Abb. 2, Mitte Oktober). In der Summe ist die Absickerung aus dem Lysimeterfeld K um circa 30 % höher. Im Zeitraum Juni 2003 - Oktober 2006 betragen die Sickerwassermengen aus dem K-Feld 462 mm und aus dem U-Feld 338 mm, das sind 23 % bzw. 17 % der Niederschläge.

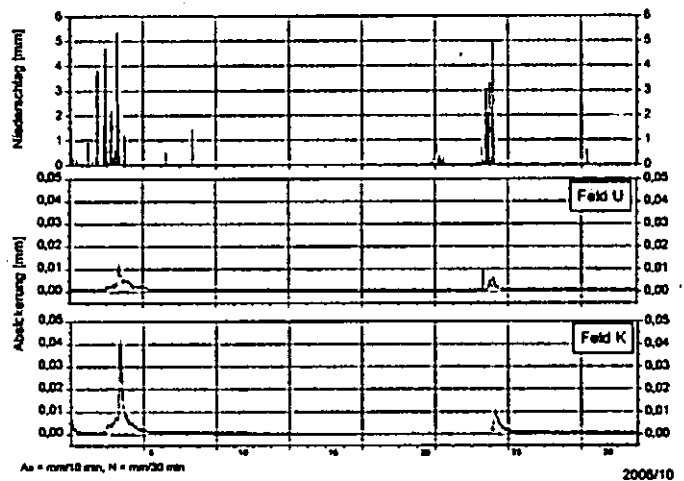


Abb. 2: Niederschlag [mm] und Absickerung [mm] aus den Lysimeterfeldern U und K, Oktober 2006; Zeitintervall 10 min, Niederschlag 30 min

Als Grund für diese Unterschiede kann angenommen werden, dass der geschichtete Aufbau im Gegensatz zum ungeschichteten bei Regen weniger gleichmäßig aufgesättigt wird. Auf den Schichtoberflächen fließt Wasser bevorzugt ab. Zusätzlich ermöglicht die intensivere Durchwurzelung im U-Feld vermutlich eine bessere Wasseraufnahme durch die Pflanzen und eine höhere reale Evapotranspiration, welche die Absickerung ebenfalls reduziert.

4 Literatur

- AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 438 S.
- BRAUNS, J., K. KAST, H. SCHNEIDER, W. KONOLD, P. WATTENDORF & B. LEISNER (1997): Forstwirtschaftliche Rekultivierung von Deponien mit TA Siedlungsabfall konformer Oberflächenabdichtung, Handbuch Abfall Band 13, 97 S. + Anhang, Karlsruhe
- BÖNECKE, G. (1994): Forstwirtschaftliche Belange bei der Oberflächenabdichtung und Rekultivierung von Deponien, Schriftenreihe Angewandte Geologie (AGK) 34: 409 – 425, Karlsruhe
- WATTENDORF, P. & O. EHRMANN (2006): Eigenschaften von Rekultivierungsschichten – Ergebnisse aus Messungen und Wasserhaushaltsmodellierungen, in: Egloffstein, T., G. Burkhardt & K. Czurda [Hrsg.]: Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten 2006, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis 140: 221 - 238, Berlin
- WATTENDORF, P., W. KONOLD & O. EHRMANN [Hrsg.] (2005): Rekultivierungsschichten und Wurzelsperren, Culterra Band 41, 268 S., Freiburg

Das Vorhaben wird im Rahmen des Förderprojektes „Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“ (BW-PLUS) am Forschungszentrum Karlsruhe mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg sowie mit Mitteln des Landkreises Böblingen gefördert.

Rückverfüllung, Bodenauftrag und Begrünung am Fallbeispiel des Gipsbergbaues der Fa. KNAUF in Weißenbach, Österreich

Christian Bauer

Einleitung

Die Fa. Knauf betreibt seit dem Jahre 1970 im Tagebau einen Gipsbergbau am Pyhrnpass in Oberösterreich. Seit diesem Jahr wurden in etwa 3,4 Millionen Tonnen Wertmineral (Gips) aus 4,3 Millionen Abraummaterial für die nachgelagerte Gipskartonplattenerzeugung im Werk Weißenbach bei Liezen gewonnen. Im Zuge der Erschöpfung der Lager des Gipsvorkommens im Grubenfeld „Claudia“ begann man im Jahr 2002 mit ersten Rekultivierungsmaßnahmen. Dabei wurde ein, aus den 1970er Jahren stammendes, Rekultivierungskonzept verworfen und durch ein Neues (Planung und Umsetzung durch Dr. Schaffer, Agrarconsulting Irnding) ersetzt. Das neue Rekultivierungskonzept basierte auf einer flächenhaften Trennung von künftigen Wald- und Weideflächen, um eine land- und forstwirtschaftliche Nutzung auf den betreffenden Flächen (in der Größe von rund 23ha) zu gewährleisten. Neben den Rekultivierungsflächen wurden auch natürliche Bereiche, in Form von Sukzessionen, ausgewiesen.

Standort und Lage

Geographie/Geologie: Der Gipsbergbau der Fa. Knauf befindet sich an der Steirisch-Oberösterreichischen Landesgrenze am Pyhrnpass und liegt auf einer Seehöhe von 1100 – 1250m. Geologische gesehen liegt er in den nördlichen Kalkalpen (Oberostalpin) bzw. in weiterer Folge im permischen Haselgebirge, in dem viele weitere saline Ablagerungen vorkommen.

Klima: Das Jahresmittel der Lufttemperatur liegt im Bereich von 0 – 5°C, die mittlere Zahl der jährlichen Frosttage beträgt 150d. Die Summe der jährlich anfallenden Niederschläge betragen rund 1700mm, wobei Jahre mit Niederschlagsmengen über 2000mm keine Seltenheit darstellen.

Vegetation: Die Ursprungsvegetation im Gipsbergbau ist Wald (Fichtenreinbestand). Der Bergbau befindet sich in der mittelmontanen Höhenstufe bzw. in der nördlichen Alpenzwischenzone, in welcher Fichten-Lärchen-Tanne-Buche-Mischwälder vorzufinden sind.

Rückverfüllungsvorgang

Im Zuge des Rückverfüllungsvorganges musste eine gleichzeitige Oberflächen- und Reliefgestaltung erfolgen. Dabei konnte die Fa. Knauf für diesen Standort auf eine dreißigjährige Erfahrung in Hinblick auf die Geländegestaltung und die Geländestabilität zurückgreifen.

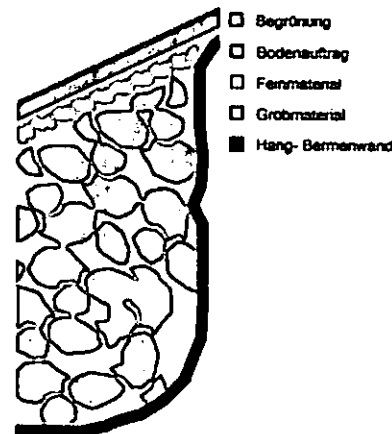


Abb. 1.: Schematische Darstellung des Rückverfüllungsvorganges (Eigenentwurf).

Die für die Rohsteingewinnung im Gipsbruch notwendigen Bermen wurden in erster Linie mit grobem Material verfüllt. Bei diesem Grobmaterial handelte es sich um Abraummaterialien, die mehr oder weniger große Körnung aufwiesen, keiner Verwertung unterlagen und im Bruch zwischengelagert wurden. Über dieses Grobmaterial wurde zur Schließung der Hohlräume feineres Abraummaterial (vgl. Abbildung Feinmaterial) geschüttet, das gleichzeitig die endgültige Oberflächenform bildete. Zum Schluss wurde das Feinmaterial mit dem Auflagenhorizont von Waldboden versehen, darauf erfolgte die Begrünung.

Bodenauftrag

Seit 2003 wird seitens des Bergbaubetriebes auf allen zu rekultivierenden Flächen Bodenmaterial aufgetragen. Dieses Material stammte aus der unmittelbaren Umgebung des Gipsbruches (Waldbodenabtrag aus laufenden Flächenrodungen) und bildete die Substratgrundlage für alle Begrünungsmaßnahmen im Gipsbruch. In das Bodenmaterial wurden stellenweise abgeschobene Grasflecken (sog. Grassoden) eingesetzt. Auch wurde durch die Einbringung von Totholz eine weitere Maßnahme zur Strukturierung der Oberfläche (Verrottung des Totholzes und damit verbundener Reliefierung) geschaffen. Diasporen, die im aufgetragenen Bodenmaterial gespeichert waren keimten und ergänzten die Begrünung.

Der Bodenauftrag wurde mittels Schubraupe in die Flächen eingearbeitet und erwies sich auf allen Flächen als sehr geeignetes und kostengünstiges Rekultivierungssubstrat. Ebenso gewährleistete der Bodenauftrag bereits nach kurzer Zeit Durchwurzelungen bis in rund 25cm Tiefe. Auf allen Flächen erfolgte keine Bodenkalkung.

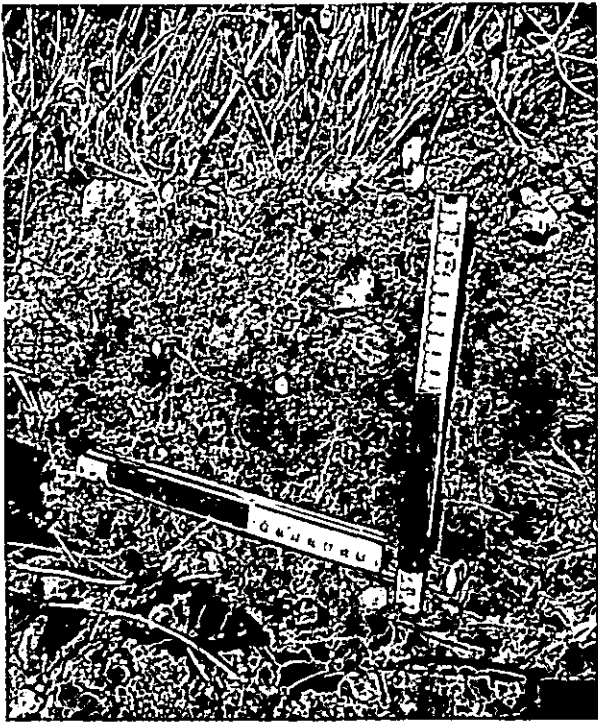


Abb. 2: Bodenprofil der Rekultivierungsfläche 1.1.

Entnahmetiefe [cm]	Skelett [%]	Zusammensetzung des Feinbodens [in M.-%]		
		2000 – 60 µm	60 - 2 µm	< 2 µm
5 - 10	54	35	45	20
Humus (Walkley) [M.-%]	Kalk (Schelbler) [M.-%]	pH [nKCl]	P [mg/1000g]	K [mg/1000g]
3,2	10,0	7,2	14,0	65,0

Tabelle 1: Ergebnisse der Bodenanalyse für das Bodenprofil der Rekultivierungsfläche 1.1.

Begrünung

Die Begrünung diente in erster Linie zur Herstellung neuer Weideflächen. In zweiter Linie fand die Begrünung bei Vorwaldbegründung ihre Anwendung. Durch Kombination von Begrünung und Baumpflanzung wurde eine flächendeckende Struktur geschaffen. Die Begrünung als horizontale Struktur unterstützt die gepflanzten Bäume (vertikale Struktur) in vielerlei Hinsicht (z. B. Schutz vor Bodenerosion, Eindämmung von Nährstoffauswaschungen, Einbringung von Nährstoffen).

Begrünt wurde im Hydrosaatverfahren, bei dem über einen Spritztank mittels Pumpe ein Gemisch aus Wasser, Saatgut, organischer Substanz und Bodenhilfsstoffen auf die Rekultivierungsflächen appliziert wird. Die verwendete standortsangepasste Begrünungsmischung setzte sich dabei aus 32 Arten (Gräser, Kräuter, Leguminosen) zusammen und lief in der Regel innerhalb von 14 Tagen auf. 2005 wurden Rekultivierungsflächen aus dem Jahr 2003 botanisch aufgenommen. Dabei wurde die flächenspezifische Artenverteilung, gegliedert nach Artengruppen und deren gebildete Deckungsgrade (Aufnahme nach Braun-Blanquet) ermittelt. Für die Rekultivierungsfläche 1.1. wurden folgende Parameter festgestellt.

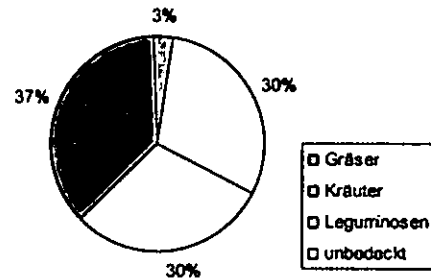


Abb. 3: Flächenspezifische Artenverteilung nach Artengruppen auf der Fläche 1.1.

Die Rekultivierungsfläche 1.1. wies 2005 (zwei Jahre nach Anlage) eine Gesamtdeckung von 70% auf, die sich aus 35 Arten zusammensetzte.

Aussichten

Bei dem derzeit auf den Rekultivierungsflächen vorherrschenden Bodentyp handelt es sich, gemäß ÖBS 2000, um einen carbonathaltigen Feinmaterialrohoden, der sich, je nach Entwicklung des Humushorizontes, in eine carbonathaltige Braunerde oder in eine Mull-Pararendzina weiterentwickeln wird. Auch die Entwicklung der Vegetation schreitet kontinuierlich fort, bei erneuten botanischen Aufnahmen im Jahre 2006 konnten gegenüber 2005 Deckungsgradzuwächse von bis zu 20% ermittelt werden. In Bezug auf die landwirtschaftliche Folgenutzung wurden Weideflächen hinsichtlich deren Weidepotentials untersucht. Aus den dabei gewonnenen Daten lässt sich ableiten, dass während der Alpperiode auf dem Standort 1.1. ca. 5 GVE (= Großvieheinheiten, 500kg Lebendgewicht) auf einem Hektar Weideland ausreichend mit Futter versorgt werden können.

Literatur

NESTROY, O. et al. (2000); Österreichische Bodensystematik 2000. Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges., H. 60; Wien. 124 S.

Mineralische Dämm- und Speicherschichten auf Halden der WISMUT GmbH - Teil I - Anforderungen und Einbau

Reinhold Marski

Der mehr als 40 Jahre anhaltende intensive Uranerzbergbau der SDAG Wismut hat in Thüringen und Sachsen zu einer großen Anzahl von Haldenaufschüttungen geführt (ca. 64 Einzelhalden mit rund 230 Mio m³ Volumen und ca. 1.100 ha Aufstandsfläche). Basierend auf dem radioaktiven und auch konventionellen Schadstoffinventar der Bergematerialien bestehen aufgrund der von den Haldenkörpern ausgehenden Emissionen - insbesondere über den Luft- und Wasserpfad - Schädigungen und Gefährdungen des natürlichen Umfeldes bzw. Risiken für die menschliche Gesundheit. Neben diesen stofflichen Umweltbelastungen erweisen sich die mit natürlichem Schüttwinkel abgelagerten Haldenmassen im Hinblick auf die Untergrundgegebenheiten (Neigungsverhältnisse, bodenphysikalische Eigenschaften der oberflächennahen Bodenschichten) als in vielen Fällen nur bedingt standsicher und zeigen in der Regel keine Langzeit-Standfestigkeit im Sinne der DIN 4084. Im weiteren sind Störungen oder Schädigungen des Landschaftshaushaltes (Wasser- und Luftströmungen) und des Landschaftsbildes sowie der Infrastrukturen infolge der beträchtlichen Flächendevastierungen zu verzeichnen. Hieraus sowie aus der berggesetzlichen Verpflichtung zur Wiedernutzbarmachung der vom Bergbau in Anspruch genommenen Areale leitet sich für die meisten Halden ein Sanierungsbedarf [1] mit folgenden Sanierungszielstellungen ab:

- Herstellung von standsicheren und tragfähigen Haldenkonturen
- Reduktion der äußeren Strahlenexposition auf natürliches Niveau (Hintergrundbelastung)
- Unterbindung von direkter Ingestion sowie Verwehung und Erosion von Haldenmaterialien
- Reduktion der Radonexhalation auf ca. 20 % - 30 % des Ausgangszustandes
- Reduktion der Niederschlagsinfiltration in den Haldenkörper auf mind. 50 % (bleibende Infiltrationsrate: ca. 15 ... 25 % des Jahresniederschlages)

- Durchführung von Maßnahmen zur Gewährleistung der Wiedernutzbarmachung des Haldengeländes entsprechend den abgestimmten Nachnutzungskonzepten.

Die Realisierung dieser Sanierungsziele wird für die überwiegende Mehrheit der Halden durch In-situ-Verwahrung mittels Profilierung und Abdeckung sowie unmittelbar anschließender Erstbegrünung mit Gräsern/Kräutern und späteren Anpflanzungen von Büschen und Bäumen erreicht [2]. Aufgrund der spezifischen Objektgegebenheiten für Haldenkörper und Umfeld sind unterschiedliche Abdeckungen bzw. Abdecksysteme (min. 0,3 m mächtige Einschichtabdeckungen bis max. 2,0 m mächtige Mehrschicht-Abdecksysteme) entwickelt und praktisch umgesetzt worden. Die damit herzustellenden technischen Erdstoffauflagen aus weitestgehend unkonditionierten natürlichen Bodensubstraten unterscheiden sich von herkömmlichen Erdbauwerken vor allem durch die Gewährleistung einer deutlich höheren Lebensdauer/Langzeitstabilität (≥ 200 Jahre !), durch z.T. stark abweichende Einbauvorgaben hinsichtlich Verdichtungsgrad, Durchlässigkeit und Speichervermögen sowie durch deutlich erhöhte Anforderungen an die Vegetationsvoraussetzungen (rasche Erstbegrünung zum Erosionsschutz, Sicherung des späteren Waldaufwuchses). Das bedeutet, daß neben den dämmenden/dichtenden Eigenschaften der Haldenabdeckung auch genügend große Speicherwirkungen für Bodenluft und Bodenwasser zu gewährleisten sind. Gleichzeitig sind Mindest-Scherfestigkeiten der einzusetzenden Erdstoffe zur Sicherung der geotechnischen Standsicherheit der Abdeckung einzuhalten. Dabei ist kennwertmäßig zwischen dem auf der Basis eines Qualitätssicherungsprogrammes bautechnisch herzustellenden Einbauzustand und dem sich über die Einwirkung von klimatischen und biogenen Faktoren entwickelnden Langzeitzustand

der aufgetragenen Abdeckung zu unterscheiden. Die jeweils notwendigen Bodenfunktionen bzw. bodenphysikalischen Parameter in den definierten Größenordnungen können sowohl über separat einzubauende Einzelschichten in Mehrschicht-Abdecksystemen als auch über dahingehend optimierte Schichtkombinationen in Ein- und Zweischicht-Abdeckungen eingestellt werden. So gelten z.B. folgende differierende Vorgaben für die hydraulische Durchlässigkeit k_f für den Einbauzustand:

- $\leq 1 \times 10^{-7}$ m/s für eine kombinierte Dämm-/Speicherschicht
- $\leq 1 \times 10^{-9}$ m/s für eine separate Dichtschicht.

Voraussetzungen dafür sind zum einen die Vorauswahl geeigneter Bodenmaterialien und die Kenntnis des Bodenverhaltens in Abhängigkeit von der Verdichtung. Dies geschieht zunächst auf der Grundlage von laborativen Eignungsnachweisen (Ermittlung von Kennwertspektren in Abhängigkeit von verschiedenen Verdichtungsgraden [3]), bevor in aufwendigen Feldversuchen mit vorausgewählter Erdbautechnik die großflächige Einbautechnologie entwickelt und dabei die Einhaltung der benötigten Kennwert-Größenordnungen nachgewiesen werden.

Als für diverse Abdeckzwecke nutzbare Materialqualitäten haben sich die lokal und regional verfügbaren, schluffig/lehmgigen Erdstoffe (mineralische Unterböden der Bodengruppen SU*, UL/UM, TL nach DIN 18 196) erwiesen. Hinsichtlich der einzusetzenden Erdbautechnik kann einerseits auf herkömmliche Erdbaumaschinen (leichte bis mittelschwere Planiermaschinen mit 13 t bis max. 20 t Dienstgewicht für den Einbau von Dämm- und Speicherschichten, Verdichtungswalzenzüge mit etwa 12 t Dienstgewicht für den Einbau separater Dichtschichten) zurückgegriffen werden. Andererseits ist teilweise der Einsatz von Spezialtechnik (High-speed-Raupenschlepper mit ca. 6 t Dienstgewicht für den Einbau separater Rekultivierungs-/ Oberbodenschichten) notwendig.

Die über umfangreiche Feldversuche [3] ermittelten optimalen Verdichtungsgrade für die unterschiedlichen Abdeckschichten bewegen sich in folgenden Größenordnungen:

- Speicherschicht/Komb. Dämm-/ Speicherschicht ca. 88 % ... 92 % D_{Pr}
- Separate Dichtschicht >95 % D_{Pr} .

Literatur

- [1] GATZWEILER, R., MARSKI, R., 1996: Haldensanierung – eine interdisziplinäre Herausforderung; In: Geowissenschaften 14, Heft 11, S. 461-466
- [2] WISMUT GmbH, 1996: Grundsätze und Lösungen für die Haldenabdeckungen an den Standorten Schlema-Alberoda/Pöhla zur Reduzierung der Umweltbeeinflussungen Chemnitz, November 1996, unveröff.
- [3] C & E Consulting und Engineering GmbH, 1998: Erstellung einer Eignungsbeurteilung für die 3 vorgesehenen Unterbodenmaterialvarianten sowie Begleitung der Feldversuche zur Technologie der Haldenabdeckung am Standort Schlema-Alberoda über den Testverlauf bis zur Abschlußberichterstellung Chemnitz, Dezember 1998, unveröff.

Mineralische Dämm- und Speicherschichten auf Halden der WISMUT GmbH - Teil II - Bodenphysikalische Eigenschaften und Langzeitverhalten

Dirk Knoche & Michael Haubold-Rosar¹

1 Problemstellung

Bisherige Annahmen zum Langzeitverhalten mineralischer Abdecksysteme für Halden des Uranerzbergbaus gehen von einer fortschreitenden Fragmentierung durch Austrocknung und Durchwurzelung aus. Befürchtet wird eine Verringerung der Stabilität sowie Erhöhung der Wasser- bzw. Gasdurchlässigkeit. Modellbasierte Prognosen der Zustandsentwicklung und theoretische Überlegungen sind allerdings mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Genehmigungsseitig werden daher weitere Indizien für die langfristige Wirksamkeit der begrünten Abdeckungen gefordert; dies betrifft insbesondere ihre hydrologischen Eigenschaften.

Am Beispiel einfacher Mineralbodenabdeckungen soll geprüft werden, ob sich deren Entwicklung anhand eines Monitorings bodenphysikalischer Zustandsgrößen quantifizieren lässt. In einem weiteren Ansatz werden Analogieschlüsse aus der Untersuchung gewachsener Böden zur Beurteilung des Langzeitverhaltens komplexer Abdecksysteme mit einer stark komprimierten Ton-Dichtschicht herangezogen.

2 Ergebnisse und Diskussion

2.1 Bodenphysikalisches Monitoring zur Langzeitentwicklung einfacher Mineralbodenabdeckungen (Wismut GmbH, NL Aue: u.a. Halde 371/II, 366, Borbadhdamm)

Die Abdecksysteme bestehen aus einem locker gelagerten, schluffig-lehmigen Rekultivierungs-Mischsubstrat (RMS: 50 Vol.-% Klärschlammkompost / 50 Vol.-% Mineralboden, 20 cm mächtig, Lu, LD 1,4-1,6 g cm⁻³) sowie einer Speicher-/Dämmschicht (20-100 cm, Ls2 bis Lt2, LD 1,7-1,9 g cm⁻³, Knoche 2006). Wie aus Abb. 1 ersichtlich, unterliegt das Decksubstrat einer signifikanten Konsolidierung. Binnen weniger Jahre nach Einbau verschiebt sich die Porengrößenverteilung zu Gunsten der wasserspeichernden Mittelporen. So beträgt die nutzbare Feldkapazität der Abdeckung zu Untersuchungsbeginn rund 125 l m⁻², nach 6 Jahren Standzeit dagegen 180 l m⁻². Mit Etablierung einer verdunstungsintensiven Grünlandvegetation geht die Sickerwasserinfiltration in den Haldenkörper von ca. 60 % des Jahresniederschlags (804 mm) bei unabgedeckten Halden auf ca. 20 bis 30 % zurück (Knoche et al. 2006).

¹ Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V., Brauhausweg 2, 03238 Finsterwalde; d.knoche@fib-ev.de

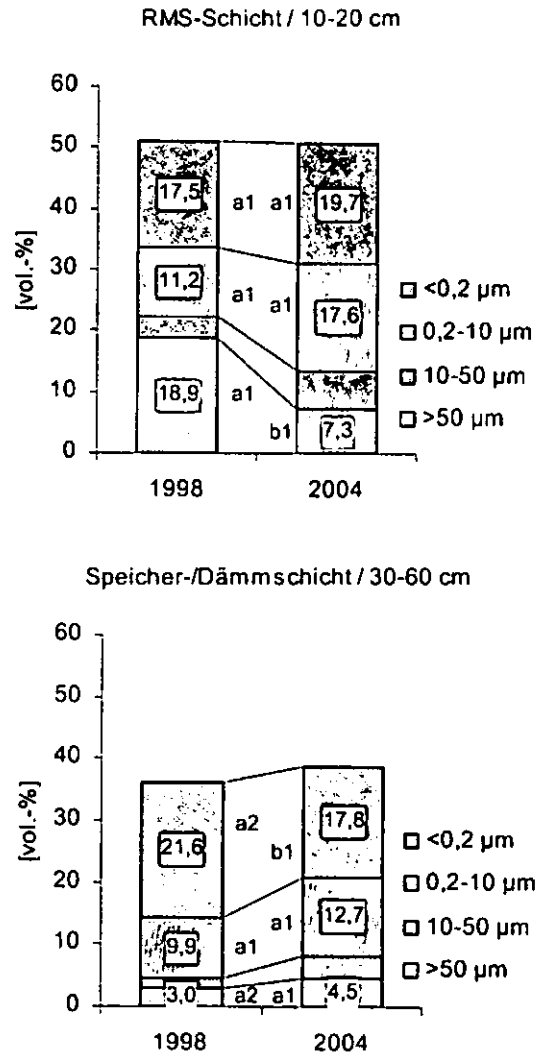


Abb. 1: Porengrößenverteilung der kombinierten Mineralbodenabdeckung am Standort Halde 371/II in den Jahren 1998 und 2004 (Fertigstellung der Abdeckung Ende 1997, Median (n = 8).

Bei gleichen Ziffern (Tiefen) bzw. Buchstaben (Jahre) liegt kein signifikanter Unterschied vor, Mann-Whitney U-Test, p = 0,05)

2.2 Analogieschlüsse zum Langzeitverhalten komplexer Haldenabdecksysteme mit Dichtschicht (Wismut GmbH, NL Ronneburg, NL Königstein: u.a. Halde Gittersee, Marienschacht, Haldenkomplex Beerwalde/Drosen/Korbußen)

Zur Abschätzung der langfristigen Funktionalität mehrschichtiger Haldenabdecksysteme mit Basis-Dichtschicht wurden Zweischichtböden aus sandig-lehmigen Sedimenten (0-50 cm, Su3/S13 bis Ss, LD 1,2-2,0 g cm⁻³) über liegender Tonschicht (50-150 cm, T1/Tu2/Ts2 bis Tt, LD 2,2-2,5 g cm⁻³) natürlicher Waldstandorte untersucht. Dabei sollen die mäßig bindigen Decksedimente die Rekultivierungs- bzw. Speicherschicht der Abdeckung abbilden, die kaoli-

nitreiche Basislage soll deren Dichtschicht entsprechen.

In der dichtgelagerten Tonschicht der natürlichen Profile unter Wald treten keine luftführenden Grobporen auf, der Totwasseranteil nimmt rund 60 bis 90 % des Porenvolumens ein. Die gesättigte Wasserleitfähigkeit (k_f , n. Hanus 1964) geht auf 10^{-8} bis 10^{-7} $m s^{-1}$ zurück (Abbildung 2), der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert (k_{f10} , Triaxialzelle) beträgt 10^{-7} bis 10^{-10} $m s^{-1}$. Entgegen den ursprünglichen Erwartungen erfolgt jedoch eine tiefgründige Durchwurzelung bis mindestens 150 cm. Durch den Wasserentzug bildet sich während der Sommermonate eine Fragmentierung des Tones heraus, entlang der Aggregatoberflächen sind bevorzugte Wurzelbahnen nachweisbar. Im Winterhalbjahr führt die gleichmäßige Aufsättigung des Bodens zur Quellung der Tonpartikel und damit zum Verschluss von Haarrissen, wie die minimale gesättigte Wasserleitfähigkeit belegt.

Die Mehrschicht-Abdecksysteme weisen eine den Zweischichtböden vergleichbare Einbausituation auf. So beträgt die Proctordichte >90 %, die Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte der Dichtschicht fallen auf 10^{-7} bis $<10^{-9}$ $m s^{-1}$ (k_{f10} , Triaxialzelle) ab. Selbst bei Durchwurzelung und teilweiser Entwässerung der Tonschicht dürfte daher langfristig keine gravierende Veränderung der Wasserdurchlässigkeit auftreten. Voraussetzung ist allerdings eine ausreichend dimensionierte Speicherschicht (>100 cm und >200 mm nutzbarer Feldkapazität), welche einer schrumpfungsbedingten Rissbildung bzw. Wurzelperforation der Dichtschicht entgegen wirkt.

3 Literatur

- Knoche, D., 2006: Structural dynamics of a vegetative soil cover for waste rock dumps. Archives Agronomy Soil Science 52, 4, 477-483
- Knoche, D., Schramm, A., Marski, R., 2006: Hydrological properties of a double-layer soil cover system for uranium mining dumps in Eastern Germany. Archives Agronomy Soil Science 52, 1, 37-43

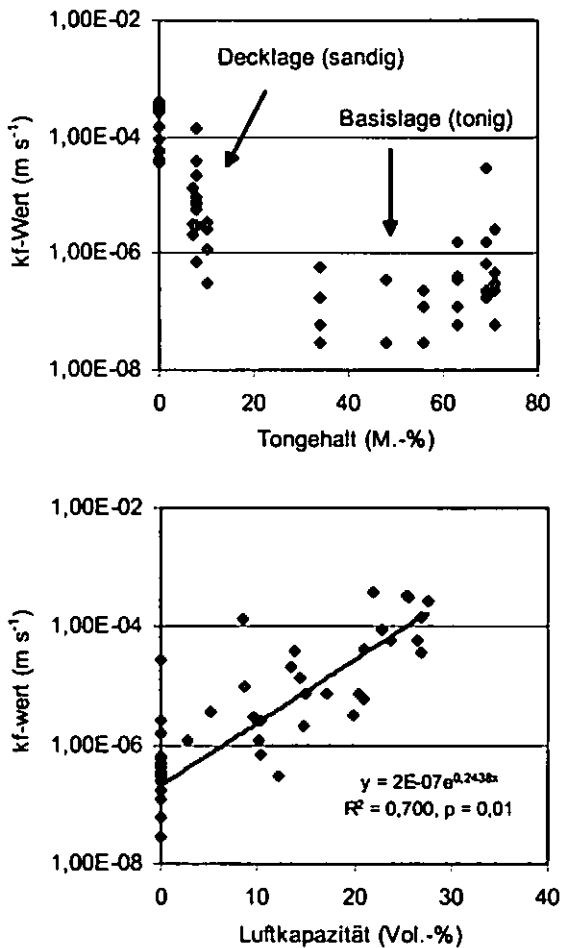


Abb. 2: Beziehung zwischen k_f -Wert (Hanus 1964) und Tongehalt bzw. Luftkapazität (>50 μm) an drei Referenzstandorten, Korrelation nach Pearson, $p = 0,01$

Begrünung und Bodenreifung auf Bergbaufolgelandschaften, dargestellt am Steirischen Erzberg

Othmar Nestroy*

Der Steirische Erzberg ist seit keltisch-römischer Zeit der größte Eisenbergbau in Österreich.

Hier wird vorwiegend im Etagenbau, teils auch im Tiefbau Siderit (Eisenspat, Spateisenstein) mit einem durchschnittlichen Gehalt um 32% Eisen und 1,5 bis 2% Mangan, einer Härte zwischen 4 bis 4,5 und einer Dichte von 3,7 bis 3,9 abgebaut. Daneben existiert noch eine Menge anderer Mineralien und Gesteine, die oftmals begehrte Objekte von Hobbysammlern sind. Die Jahresförderung betrug 2003 1,9 Mio. t und es waren 171 Personen beschäftigt.

Die bisher geförderten Kubaturen an Siderit sind auch an der Tatsache erkennbar, dass der Erzberggipfel derzeit um 60 m niedriger ist als zu Abbaubeginn und heute eine Höhe von 1465m. ü. d. M. erreicht.

Geologisch gesehen liegt dieses Gebiet innerhalb des Paläozoikums der Nordalpen, in der nördlichen Grauwackenzone. Die Eisenerze sind metasomatisch entstanden und an Schollen und Züge paläozoischer Kalke und Dolomite gebunden; das Material reagiert demnach hochalkalisch.

Der Erzberg wird gegenwärtig nicht nur bergbaulich genutzt. Neben dieser Hauptnutzung sind auf diesem Berg eine Restmüllverwertungsgesellschaft, Kalibrierungssysteme für Artilleriekanonen, eine Schienenoberflächenhärteanlage für Weichen, eine Strecke für Erzberg-Rodeos, eine mobiles Militärspital, eine Arena für Freiluftkonzerte, eine Teststrecke für Geländefahrzeuge und Lkws, eine Schauschmiede sowie die Möglichkeiten für Fahrten mit den Haulypaks, die bis zu 70.000 Touristen pro Saison anlocken, vorhanden.

In den Mittelpunkt unserer Betrachtungen sollen aber die Halden und Kippen gerückt werden sowie die Maßnahmen der Begrünung dieser neu geschaffenen Flächen.

Um mit der erforderlichen Klarheit vorgehen zu können, sollen einleitend einige Definitionen stehen.

Der Abraum kann im Steinbruch verkippt werden, er kann im oder außerhalb des Steinbruchs auf Halde gelegt werden. Dementsprechend sprechen wir von einer Begrünung und Bodenbildung auf Kippen oder Halden.

Eine Renaturierung im weiteren Sinne ist infolge eines zunehmenden Mangels an ökologischen Ausgleichflächen prinzipiell höher einzuwerten als eine Rekultivierung. Unter Rekultivierung versteht man die Wiederherstellung einer naturnahen Fläche. Die schwindende Zahl an Feuchtbiotopen kann mit Grundwasser erfüllten Kiesgruben, Flachuferzonen, Ruhebuchten sowie Inseln und durch sekundäre limnische Ökosysteme kompensiert werden. In manchen Fällen können sich interessante Trockenbiotope auf aufgelassenen Steinbrüchen und ehemaligen Eisenbahnanlagen einstellen.

Die hier zu behandelnden Rekultivierungsmaßnahmen dienen also nicht nur der „Behübschung“ der Landschaft, also ästhetischen Zielen, sondern sollen neben einer Minderung der Verstaubung bei Wind oder durch das Befahren vor allem die Ausbildung einer Gründecke und in der Folge auch einer Bodendecke bewirken.

Bei der Bodenbildung wollen wir ein wenig verweilen.

Es geht um die Grundfrage, auf welche Weise und in welcher Zeit es gelingt, auf einem im Prinzip vegetationsfeindlichen Substrat Pflanzenwuchs zu erreichen und auf diese Weise organische Substanz als Basis für eine Bodenbildung zu schaffen. Dieses Vorhaben kann nur gelingen, wenn eingangs eine genaue Standortanalyse vorgenommen wird, dann für die Lage und das Substrat geeignete Pflanzen, geeignetes Saatgut (Art und Rassen) ausgewählt werden und als Starthilfe Mineraldünger sowie biologische Dünger appliziert werden.

Bei der Standortbeurteilung müssen Chemismus der Gesteine, Neigungsrichtung und -grade, Seehöhe, klimatische Parameter (Niederschlag und dessen Verteilung), Temperatur, wie Jahresmittel und Andauer der Vegetationszeit, 14-Uhr-Temperatur, Aufbau der Aussaat (Pioniervegetation,

*Institut für Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Graz, Rechbauerstraße 12, A-8010 Graz

die den Standort für die höheren Pflanzen aufbereitet), eine erforderliche Impfung mit Mikroorganismen, einzäunen des begrüntes Gebietes durch mehrer Jahre hindurch zur Verhinderung von Wildverbiss, später eine eventuelle Beweidung nur durch Schafe, nicht durch zu schwere Rinder, berücksichtigt werden. Zur Verhinderung von Erosion durch Wasser und/oder Wind sind vorbeugenden Maßnahmen geboten.

Der Faktor Zeit bedarf besonderer Berücksichtigung.

Wir können im Allgemeinen unter günstigen Bedingungen eine rasche Anfangsentwicklung feststellen, die dann infolge des bereits gebildeten humosen Mineralhorizontes eine Verlangsamung erfährt. Übertragen auf Standorte im Bereich des Steirischen Erzberges liegen hier, bedingt durch das vegetationsfeindliche Ausgangsmaterial, sehr spezielle Bedingungen vor. Dies bedeutet, dass ohne unterstützende Maßnahmen sich keine oder nur sehr langsam eine lückige Vegetation einstellen wird; mit einer flächendeckenden Selbstbegrünung kann also nicht gerechnet werden.

Durch gezielte Begrünungsmaßnahmen wird aber selbst auf Halden und Kippen relativ rasch nach einer ersten Pioniervegetation eine Bodenbildung erkennbar, zwar zunächst nur partiell, die in günstigen Fällen, d.h. wenn alle vorher genannten Parameter optimal erfüllt sind, bald zu einer flächendeckenden wird. Haben wir es in der ersten Phase mit partiellen Terrestrischen Rohböden, wie z.B. im gegenständlichen Fall mit einem Carbonathaltigen Grobmaterial-Rohboden nach der ÖBS 2000 (O. Nestroy et al.) zu tun, so kann nach Einstellen einer ersten flächendeckenden Vegetation in einer unerwartet kurzen Zeit ein bereits als entwickelt anzusprechendes Profil entstehen. Es hat uns überrascht, wie auf Standort 955 bereits nach 14 (!) Jahren ein fast mittelgründiges Profil entstanden ist.

Der Standort kann folgendermaßen beschrieben werden:

Aufnahme: 11. Juli 2006

Seehöhe: 980 m

Haldenhang, 35° Nord

Ausgangsmaterial: Grus und Schutt aus Siderit.

Profilaufbau:

L 1-0 cm: Auflage aus abgestorbenen Pflanzenresten von Poaceae, Fabaceae, krautigen Pflanzen und Larix, absetzend

A 0-10 cm: sandiger Lehm, geringer Grobanteil (Grus), undeutlich feinkrümelig, porös, stark plastisch, klebend, stark durchwurzelt, keine Regenwurmtätigkeit, übergehend

BhCv 10-30 cm: sandiger Lehm, mäßiger Grobanteil (Grus, Schutt), undeutlich feinblockig-kantengerundet, porös, stark plastisch, klebend, schwach durchwurzelt, keine Regenwurmtätigkeit, allmählich übergehend

BvCv 30-40 cm+: sandiger Lehm mit zunehmenden Grobanteil (Grus, Schutt), undeutlich feinblockig-kantengerundet, porös, stark plastisch, klebend, Wurzeln auslaufend, keine Regenwurmtätigkeit.

Bodentyp: Schwach entwickelte Carbonathaltige Braunerde.

Die Vegetation besteht flächendeckend aus Grau- und Grünerlen, Fichten, Lärchen und vereinzelt Orchideen, obwohl es sich um einen nord-schauenden Hang mit einer Neigung von 35° handelt. Dies ist aber nur deshalb möglich geworden, da die Wahl der Pflanzen und der Arten dem Standort angepasst und auch die mineralische wie biologische Düngung optimal gewählt und dosiert waren. Positiv haben sich noch die ausreichenden Niederschläge sowie die relativ geringe Höhenlage auf die Vegetationsentwicklung ausgewirkt.

Wir haben damit den sichtbaren Beweis, dass es sehr wohl möglich ist, selbst auf steilen, nord-schauenden Hängen und auf pflanzenfeindlichem Substrat innerhalb eines überschaubaren Zeitraums eine flächendeckende Vegetation von höheren Pflanzen zu erreichen, verbunden mit der Entwicklung einer mittelgründigen Bodendecke.

Die Begrünung solcher substratbedingter Extremstandorte ist eine Herausforderung, doch geben Erfolge wie diese Mut, weiterzuforschen und weitere Versuche anzulegen. Es wäre jedoch gefährlich, ein allgemeingültiges Rezept zu erstellen, sondern es muss eine auf den jeweiligen Standort abgestimmte Entscheidung über die zu treffenden Maßnahmen getroffen werden.

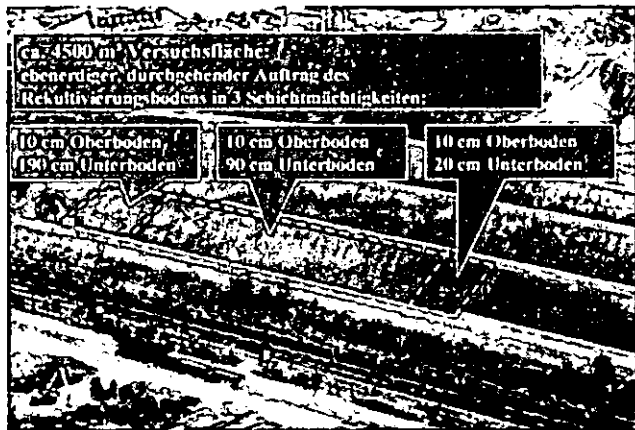
Literatur:

Nestroy O. et al. (2000): Systematische Gliederung der Böden Österreichs (Österreichische Bodensystematik 2000). Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges., H. 60, S. 1-99, Wien.

Erfahrungen mit locker geschüttetem Reaktivierungsboden nach 4 Jahren Wasserhaushaltsmonitoring im Feldversuch der Dillinger Hütte

Norbert Wolsfeld*

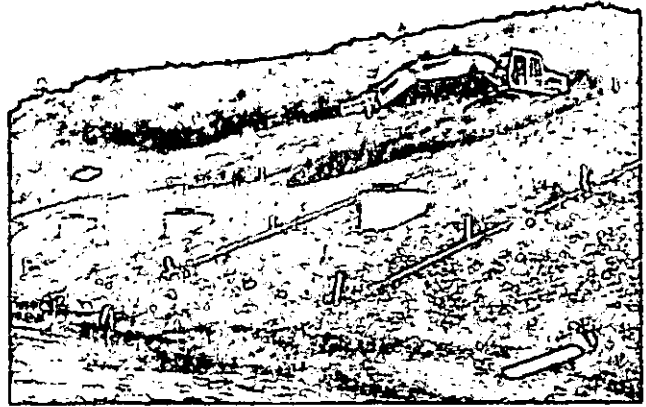
In einem 2001 errichteten Feldversuch mit 4500 m² Fläche werden in 12 Lysimeterfeldern am Standort Dillinger Hütte unterschiedliche Oberflächenabdichtungssysteme untersucht. Neben der passiven Konvektionssperrwirkung einer technischen Dichtschicht, soll die optimierte Reaktivierungsschicht Niederschlagswasser zwischenspeichern und den "lebenden Pumpen" einer möglichst vitalen Vegetation zuführen. Deren (Evapo-) Transpirationsaustrag wiederum verhindert, wie sich im Versuch zeigen ließ, die Versickerung beachtlicher Anteile des Niederschlags eintrages. Neben der Maximierung der Feldkapazität des Bodens war hierzu insbesondere die Nährstoffversorgung und der Gasaustausch der lebenden und atmenden Pflanzenwurzeln durch einen möglichst grobporenreichen Reaktivierungsbodenauftrag zu optimieren.



Im Feldversuch wurden 3 Varianten der Reaktivierung ausgeführt [1]. Unter Verwendung des gleichen Bodens aus Buntsandsteinverwitterung unterscheiden sich die Varianten nur in ihrer Schichtmächtigkeit von 30 cm, 100 cm und 200 cm. In allen Varianten wurde ein zweischichtiger Reaktivierungsboden mit einem schluffreichen, zum Teil lehmigen Sand (Su2) mit ca. 23% kiesigem Bodenskelettanteil als Unterboden (jCv) sowie einem ebenfalls schluffreichen Sand, jedoch hohem Humusanteil, als ca. 5-10 cm mächtige Oberbodenauflage (jAh) aufgebracht. Der Einbau erfolgte trotz Hanglage in einer Steigung von 1:2,5 (23°) jeweils ohne Einbauverdichtung in lockerer Schüttung per Langarmbagger von den Bermenwegen aus.

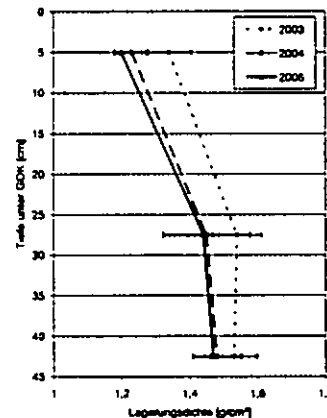
Gemessen werden seit April 2002 der Niederschlags-eintrag, der Oberflächenablauf, der Drainageablauf oberhalb und die Sickerwasserspende unterhalb der jeweiligen technischen Dichtschicht. Über die Wasserhaushaltsbilanz wird der Evapotranspirationsaustrag inkl. Bodenwasserspeicher für alle Varianten berechnet.

Dr. rer. nat. Norbert Wolsfeld,
AG der Dillinger Hüttenwerke, Abt. Umweltschutz
/-technik, Postfach 1580, 66763 Dillingen,
norbert.wolsfeld@dillinger.biz

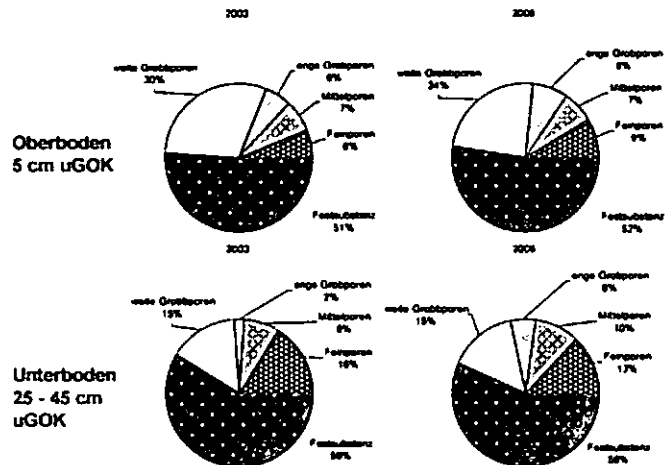


In den Jahren 2003, 2004 und 2006 wurden an 3 Profilschurfen insgesamt 135 Stechzylinder-Bodenproben aus 3 Tiefenstufen bis 50 cm unter GOK entnommen und pyknometrisch bezüglich Lagerungsdichte, Porenäquivalentdurchmesser und Wasserspannungs-Wassergehaltsbeziehung (pF-Kurve) untersucht.

Eine der lockeren Schüttung folgende Konsolidierungssatzung konnte ab erster Beprobung 2003 nicht festgestellt werden. Im Gegensatz verringerte sich die mittlere Lagerungsdichte zwischen den Beprobungen im März 2003 und August 2006 bis in 50 cm Bodentiefe von 1,55 hin zu 1,45 g/cm³.



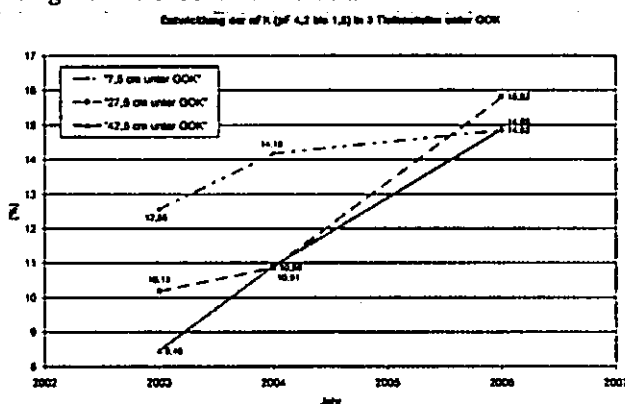
Anhand der Wassergehalts-pF-Korrelationen und daraus abgeleiteten Porenäquivalentdurchmesser-Entwicklungen kann gezeigt werden, dass nach der lockeren Schüttung Grobporen (Luftkapazität) weitgehend erhalten blieben, jedoch der "totwasserfixierende" Feinporenanteil abnahm.



Es ließ sich im Ansatz zeigen, dass die weitere Bodenbildung und biologische Erschließung entlang der

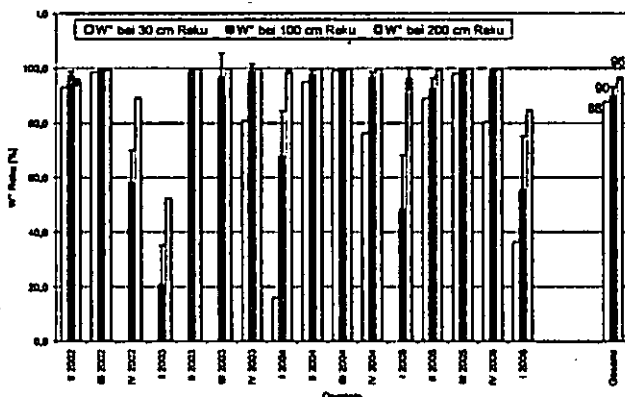
Grobporen beschleunigt abläuft und Schäden durch Bodenaushub, -zwischenlagerung und (lockeren) Einbau offensichtlich schneller ausgeglichen werden als in strukturgestörten Rekultivierungsböden [2,3]. Gleichzeitig wurde angenommen, dass auch die bodenmechanischen Eigenschaften strukturierter bindiger Böden mit drainierenden Grobporenkontinuitäten in Relation zu homogenisierten Substraten durch geringere Erosions- und Aufstaurisiken positiv beeinflusst werden [4].

Im Ergebnis konnte vor allem eine deutliche Verbesserung der nutzbaren Feldkapazität auf ca. 15 Vol.-% innerhalb weniger Jahre beobachtet werden.



Der resultierende Leistungsbeitrag der Rekultivierung an der Gesamtleistung der Dichtungssysteme lässt sich darstellen als Wirkungsgrad [W°], d.h. dem prozentualen Anteil des Niederschlags eintrages, der über Evapotranspiration am Versickern gehindert wird.

Es konnte gezeigt werden, dass eine Rekultivierung mit locker geschüttetem Rekultivierungsboden bei einer Schichtmächtigkeit von 100 cm im Mittel der Varianten und Jahre 90 % des Niederschlags eintrages von 2340 mm (bei durchschnittlich 608 mm/a) aus dem Wasserhaushalt austragen konnte. Für die Rekultivierungsvariante mit 200 cm mächtiger Bodenschicht wurde unter den Versuchsrandbedingungen sogar 96 % Evapotranspirationsausstrag ermittelt.

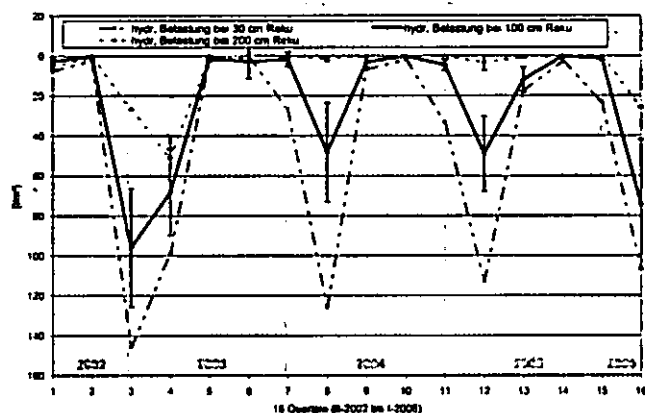


Die verbleibenden hydraulischen Belastungen auf der technischen Dichtschicht ($Q_{dr} + Q_{perc}$) unterlagen erwartungsgemäß den jahreszeitlichen Zyklen der vegetationsaktiven Zeiten.

Vergleicht man für die drei Varianten die zu Quartalssummenwerten zusammengefassten Flüsse unterhalb der Rekultivierungsschicht ($Q_{dr} + Q_{perc}$) als Maß der verbleibenden hydraulischen Dichtungs-Belastung, so wirken die Rekultivierungen mit 200 cm Bodenmächtigkeit sowohl verzögernd auf die Zusickerung in die

Drainageschicht sowie in erheblichem Maße wirksamer im Systemaustrag.

Beispielhaft ist im 8. Quartal (I. Quartal 2004) die klare Abstufung der Rekultivierungsvarianten erkennbar. Während unter 30 cm Rekultivierungsboden noch ca. 126 l/m² des Niederschlags von 152 l/m² im Quartal gemessen wurden, reduzierten die 100 cm Rekultivierungsvarianten den Drainageeintrag bereits auf 30 bis 60, im Mittel 48 l/m². Die 200 cm Varianten zeigten auch in dieser Darstellungsform, dass im gleichen Zeitraum nur unerhebliche Mengen (< 1 l/m²) des Niederschlags die Drainageschicht erreichen.



Die Ergebnisse der vorliegenden Feldversuche für das warm-gemäßigte, atlantisch geprägte Klima Dillingens zeigen bei locker geschütteten sandigen Schluff-Böden unterschiedlicher Mächtigkeit bereits innerhalb der ersten 4 Jahre erreichbare Evapotranspirationsausträge von 80 bis 96 % des zugehörigen Niederschlags-Eintrags von 2340 mm im Untersuchungszeitraum. Über die Entwicklung der Vegetation und des Bodens ist eine weitere Leistungssteigerung der untersuchten Rekultivierungsvarianten zu erwarten. Insbesondere die Erschließung des gesamten potentiellen Wurzelraumes zur Maximierung des an der realen Evapotranspiration beteiligten Bodenwasserspeichers wurde dabei offenbar durch die lockere Schüttung des Substrates gefördert.

[1] WOLSFELD N. 2005: Bodenphysikalische Eignung mineralischer Oberflächenabdichtungssysteme für Monodeponien der Stahlindustrie. In: Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, Heft 43, 177 S., Eigenverlag, Freiburg i. Br., ISSN 0344-2691.

[2] SCHACK-KIRCHNER H. 1994: Struktur und Gashaushalt von Waldböden. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A Bd. 112, Selbstverlag des Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen, 129 S.

[3] GAERTIG T., HILDEBRAND E. E., SCHÄFFER J. und v. WILPERT K. 2000: Melioration stark verdichteter Waldböden: Die Wirkung mechanischer Bodenlockerung auf Bodenbelüftung und Durchwurzelung. Allg. Forst Zeitschr. / Der Wald, 55 (21) : 1124-1126.

[4] KONOLD W., WATTENDORF P., LEISNER B. 1997: Anforderungen an die Rekultivierungsschicht beim Rekultivierungsziel "Wald". In: Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis Bd. 103, S.179 ff

Standortkundliche Untersuchungen von Rekultivierungsflächen in Abbaubetrieben und auf Deponien

Gerhard Schaber-Schoor geb. Bönecke

In Baden-Württemberg wird seit dem Jahr 2000 das von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt in Freiburg entwickelte „Forstliche Standortgutachten“ angewendet. Das Verfahren wurde konzipiert um die Rekultivierungsschicht zur Aufforstung freigegebener ehemaliger Abbauflächen und Deponien hinsichtlich ihrer Eignung für eine Bewaldung zu beurteilen. Untersuchungsgegenstand ist der Standort im pflanzenökologischen Sinn. Darunter wird die Gesamtheit der an einem Wuchsort auf Pflanzen wirkenden Umweltfaktoren verstanden, wie sie im Gelände durch Lage, Klima und Boden bedingt sind. Neben den standortkundlichen Erhebungen integriert das Verfahren Elemente einer Erfolgskontrolle. Diese beziehen sich z.B. auf planerische Vorgaben zum Aufbau der Rekultivierungsschicht (Mächtigkeit, Art des Bodeneinbaus) oder zur Zusammensetzung der Rekultivierungsschicht (Bodenart, Steingehalt).

Im zeitlichen Ablauf steht das Standortgutachten als Bindeglied zwischen der technischen Rekultivierung (Einbau der Rekultivierungsschicht, Geländemodellierung, Bau von Erschließungswegen) und der biologischen Rekultivierung (Begrünungsmaßnahmen mit anschließenden Pflegeeingriffen bis zum gesicherten Waldbestand). Prinzipiell können die Felduntersuchungen unmittelbar nach dem Einbau der Rekultivierungsschicht begonnen werden. Bei der Bewertung der Bodendaten spielt es aber eine Rolle, ob man unmittelbar nach dem Fertigstellen der Rekultivierungsschicht Erhebungen durchführt oder erst später. Einige der für die Bewertung maßgebenden Merkmale verändern sich: Zum Beispiel nimmt die Lagerungsdichte von locker eingebauten Böden im Laufe der Zeit - vor allem im Unterboden - durch Setzungsprozesse zu. Auch Staunässeanzeichen entwickeln sich erst allmählich (nach einem halben Jahr bis

Jahr), sind aber von großer Bedeutung für die Beurteilung einer Rekultivierungsschicht als Pflanzenstandort. Merkmale wie die Mächtigkeit des Wurzelraums können sowieso nur bei begrünten Flächen angesprochen werden, also frühestens nach einer Vegetationsperiode. Für eine sichere Bodenansprache wird empfohlen, die Untersuchung frühestens ein halbes Jahr nach dem Einbau der Rekultivierungsschicht durchzuführen.

Schwerpunkt der Arbeiten im Gelände sind Erhebungen zum Boden. Der Arbeitsablauf gestaltet sich folgendermaßen:

1. Die gesamte Fläche wird begangen, wobei eine grobe Einteilung in Teilflächen nach topografischen Merkmalen (Lage von Wegen, Bermen usw.) und nach dem Relief (Ebene, Böschung, Exposition) erfolgt. Ist für einzelne Abschnitte Material einheitlicher Herkunft bzw. ein Einbauverfahren verwendet worden, wird eine Einteilung vorrangig nach diesen Merkmalen vorgenommen.
2. Je Teilfläche wird eine ausreichende Zahl von Bohrpunkten für die bodenkundlichen Erhebungen mit dem PÜRCKHAUER-Erdbohrstock bestimmt. Die Zahl der Bohrpunkte richtet sich nach dem Ziel der Aufnahme, die „durchschnittlichen“ Bodeneigenschaften einer Einheit sowie die Größenordnung der Abweichungen von den durchschnittlichen Bedingungen treffend zu beschreiben.
3. Die Bodenerkundung mit dem Erdbohrstock wird an den festgelegten Bohrpunkten durchgeführt (zum Umfang der Bodenansprache siehe unten).
4. Anhand der Auswertung der Bohrpunktkartierung wird die Abgrenzung der Teilflächen überprüft und ggf. nach den vorherrschenden Bodenbedingungen und unter Beachtung topographischer Merkmale sowie des Reliefs neu festgelegt. Bei der Bildung von Einheiten sollte die Flächengröße nicht kleiner als 0,3 ha sein.
5. Da einige bodenkundliche Merkmale in Bohrstockproben nicht oder nur unzureichend bestimmt werden können, wird mit Hilfe der Ergebnisse der Bohrstockerkundung die Lage von Bodenaufschlüssen (Bodenprofile) festgelegt. Je Teilfläche reicht in der Regel ein Profil aus (zum Umfang der Bodenansprache siehe unten).

Bei der Durchführung der Bodenerkundung mit dem Erdbohrstock ist die Mächtigkeit des potentiellen Wurzelraums (auch physiologische Gründigkeit oder Durchwurzelbarkeit) im Hinblick auf die spätere Bewertung ein wichtiger Parameter. Zur Beurteilung des potentiellen Wurzelraums müssen Begrenzungsfaktoren des Wurzelraums berücksichtigt und erhoben werden: größere Steine, hohe Lagerungsdichten in Verbindung mit der Bodenart sowie Reduktionsmerkmale.

Die endgültige Zuordnung der Teilflächen zu sog. Standortseinheiten und deren Darstellung in einer Karte erfolgt anhand der ausgewerteten Bodendaten, nach der Lage (Relief, Hangneigung, Exposition) und den klimatischen Gegebenheiten. Eine Standortseinheit ist dann eine Zusammenfassung von Teilflächen, die sich so ähnlich sind, dass sich langfristig annähernd gleiche Entwicklungsmöglichkeiten für einen Waldbewuchs bieten. Für die Planung von Wald hat sich eine Bildung von Standortseinheiten nach den Leitparametern Gründigkeit und nutzbare Wasserspeicherkapazität bewährt. In einer Karte sollen durch zusätzliche Signaturen die Flächen gekennzeichnet werden, auf welchen bei einer Aufforstung mit ziemlicher Sicherheit Probleme zu erwarten sind. Das sind Bereiche mit Böden deren Grobbodennanteil (Korngröße > 2 mm) mehr als > 30 - 40 Vol.-% beträgt, Flächen mit Bodenverdichtungen und Staunässe, flachgründige Standorte, auf denen wegen mechanischer Begrenzungen eine Durchwurzelung bis höchstens 30 cm Tiefe zu erwarten ist sowie Mulden und Senken mit Frostgefährdung durch Kaltluftstau.

Sind einzelne Standortseinheiten nicht bzw. nur bedingt für Waldbewuchs geeignet, können im Standortgutachten Maßnahmen zur Bodenverbesserung, z.B. eine Bodenlockerung, vorgeschlagen werden. Dies sollte jedoch die Ausnahme sein. Bei konsequenter Anwendung der GDA-Empfehlung E2-31 - Rekultivierungsschichten ist es durchaus möglich, Bodenabdeckungen so herzustellen, dass zumindest für die Anpflanzung eines Waldes keine Nachbesserungen erforderlich sind.

Das Anfertigen eines Standortgutachtens als fachliche Grundlage für die Planung von Waldbewuchs bedeutet zwar einen zusätzliche Aufwand, der gemessen an den Fehlschlägen bei Rekultivierungen aber mehr als vertretbar ist. Es sollte aufgrund der insgesamt guten Erfahrungen angestrebt werden, das

Standortgutachten als festen Bestandteil in das Qualitätsmanagement von Arbeiten zur Rekultivierung von Abbauflächen und Deponien zu integrieren.

Umfang der Standortkartierung

Lage: Beschreibung und Abgrenzung nach der Geländemorphologie, Exposition und Hangneigung

Boden:

1. Beschreibung je Bohrpunkt (alle 30 - 50 m im Quadrat): maximale Bohrtiefe (bei Rekultivierungsschicht < 1,0 m), vorherrschende Bodenart in Tiefenstufen 0 - 20, 20 - 50, 50 - 100 cm (bei sichtbarer Schichtenfolge sind Tiefenstufen anzupassen), Carbonatgehalt des Feinbodens, Humusgehalt (geschätzt), Auffälligkeiten wie. Staunässezeichen, Schichtsprünge usw., relative Dichte (Einschläge bis ein Meter Tiefe), Durchwurzelungstiefe
2. Beschreibung je Bodenprofil¹⁾: Bodenart (Fingerprobe), Bodenfarbe (Farbtafeln), Bodentyp, Carbonatgehalt des Feinbodens, Humusgehalt (geschätzt), Steingehalt in Vol.-%, Bodengefüge, Lagerungsdichte (5 Stufen, Feldmethoden), Untergrundbeschaffenheit, Besonderheiten. Bei begrünten Flächen Gesamtmächtigkeit des Wurzelraumes und Vegetationstyp
3. Analyse von Bodenproben aus Bodenprofil²⁾: pH-Wert, Kohlenstoffgehalt (C), Stickstoffgehalt (N), Phosphorgehalt (P), C/N- und C/P-Verhältnis, Trockenraumdichte (TRD) in Gew.-% (als oberer Richtwert gilt 1,4 g/cm³, TRD über 1,5 g/cm³ ist als wurzelhemmend zu bewerten), Skelettanteil in Gew.-% und nutzbare Wasserkapazität³⁾ des effektiven Wurzelraums (nWSK WReff) nach Schätzmethode AKS 1996

Niederschläge: Menge, Verteilung über das Jahr und innerhalb der Vegetationsperiode

Temperatur: Ariditätsindex, Spätfrostgefahr

¹⁾ mindestens 1 Profil je Standortseinheit, durchschnittlich ein Profil je ha bei größeren Standortseinheiten, Tiefe 1,0 bis 1,5 m, Probennahme in Tiefenstufen 0 - 20, 20 - 50 und 50 - 100 cm, ggf. angepasst an Schichtenfolge

²⁾ Probennahme in Tiefenstufen 0 - 20, 20 - 50 und 50 - 100 cm, ggf. angepasst an Horizonte

³⁾ nutzbare Wasserspeicherkapazität (nWSK) syn. nutzbare Feldkapazität (nFK)

Literaturhinweise

SCHABER-SCHOOR, G. (2006): Regulierung des Wasserhaushalts von Deponien durch Gehölzbewuchs, AFZ/Der Wald, H. 19: 1050 - 1056

BÖNECKE, G. (2000): Das Standortgutachten, in BÖNECKE, G., SEIFFERT, P. (Hrsg.): Spontane Vegetationsentwicklung und Rekultivierung von Auskiesungsflächen, Culterra, Bd. 26: 117-12

Wasserhaushaltliche Optimierung einer Rekultivierungsschicht als alleinige Sicherungskomponente am Beispiel einer Altdeponie

Volkmar Dunger

1. Einleitung

Im Zusammenhang mit notwendigen Planungsarbeiten für die Deponie Borsdorf bei Leipzig war zu prüfen, unter welchen Voraussetzungen (Abdeckmächtigkeit, pedologische Eigenschaften der Abdeckmaterialien, Bewuchsart) eine Begrenzung der langjährig mittleren Restdurchsickerung auf etwa 100 mm/a (Modellwert: maximal 110 mm/a) durch ein nach Sächsischer Altlastenmethodik (SMUL, 1999) als qualifizierte Abdeckung zu charakterisierendes Oberflächensicherungssystem möglich ist.

Von Interesse waren ferner die Spannweite der Restdurchsickerung in Nass- und Trockenjahren sowie die Oberflächenabflussbildung, die 50 mm/a nicht überschreiten sollte.

2. Methodik

Die Variantenuntersuchungen wurden auf Grundlage von Modellrechnungen unter Verwendung des Deponie- und Haldenwasserhaushaltsmodells BOWAHALD (DUNGER, 2002) durchgeführt.

In Abhängigkeit von der Morphologie (Exposition und Hangneigung) ist die Deponie dabei in insgesamt 8 Hydrotone (Flächen mit gleichen hydrologischen Eigenschaften) untergliedert worden.

Vertikal erfolgte eine Untergliederung in 3 Schichten (Ober- und Unterboden sowie eine Ausgleichsschicht). Die beiden erstgenannten Schichten waren wasserhaushaltlich hinsichtlich Schichtmächtigkeiten und Schichtparameter zu optimieren, mit dem Ziel, die im Abschnitt 1 genannte Zielvorgaben zu erreichen.

Bewuchsseitig waren ein Gras-Krautbewuchs bzw. ein Gras-Kraut-Strauchbewuchs vorgesehen.

3. Modellparametrisierung

Zu variieren waren die für den Wasserhaushalt relevanten Bodenparameter k_f -Wert sowie nutzbare Feldkapazität nFK für den Ober- und Unterboden:

- k_f -Werte im Bereich von 10^{-5} ... 10^{-7} m/s,
- nFK-Werte im Bereich von 5 ... 25 Vol.-%.

Für den Oberboden ist ferner von einem mittleren Humusgehalt ausgegangen worden. Entsprechend Bodenkundlicher Kartieranleitung (AG BODEN, 1994) entspricht dies einem Humusgehalt von 2 – 15 % (Modellwert: 2 %, d.h. im Rahmen der Modellierung eher konservativ angesetzt).

Hinsichtlich der meteorologischen Daten fanden Niederschlagswerte der Niederschlagsmessstationen Naunhof und Brandis, die sich in weniger als 10 km Entfernung vom Deponiestandort befinden, Verwendung.

Bezüglich Daten zur Temperatur, Luftfeuchte und Sonnenscheindauer wurde auf die nächstgelegenen Stationen Leipzig-Mockau und Leipzig-Schkeuditz zurückgegriffen. Verwendet wurde der entsprechend WMO (vgl. HAD, 2000) empfohlene 30-jährige Bezugszeitraum 1961 bis 1990.

Die Ermittlung von Nass- und Trockenjahren erfolgte auf Basis extremwertstatistischer Untersuchungen.

4. Ergebnisse

Die modellierten Bilanzen zeigen folgendes Bild:

- steigende Verdunstungsmengen mit zunehmender nutzbarer Feldkapazität und zunehmender Mächtigkeit von Ober- und Unterboden infolge einer Zunahme von pflanzenverfügbarem Wasser
- tendenziell höhere Verdunstungsmengen der Gras-Kraut-Strauchvegetation gegenüber einer reinen Gras-Krautvegetation
- zunehmende Oberflächenabflussmengen mit abnehmendem k_f -Wert des Oberbodens wegen der sich verschlechternden Infiltrationsbedingungen
- abnehmende Restdurchsickerungsmengen an der Basis des Oberflächensicherungssystems mit zunehmender nutzbarer Feldkapazität und zunehmender Mächtigkeit von Ober- und Unterboden sowie abnehmendem k_f -Wert des Oberbodens im Ergebnis des Wechselspiels von Oberflächenabflussbildung und Verdunstung, wobei eine Strauchvegetation tendenziell geringere Restdurchsickerungsraten liefert

Generell ist zu vermerken, dass infolge des langjährig mittleren Jahresniederschlags von etwa 650 mm/a (messfehlerkorrigierter Wert) relativ hohe Anforderungen an die Rekultivierungsschicht zu stellen sind (das Konzept einer qualifizierten Abdeckung ohne Dichtungselement vorausgesetzt). Ein kombinierter Gras-Kraut-Strauchbewuchs war dabei einem Gras-Krautbewuchs hinsichtlich der verdunstenden Wassermengen überlegen.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Abdeckmächtigkeit von insgesamt 2,0 m (0,3 m Oberboden, 0,7 m Unterboden und 0,5 m Ausgleichsschicht) unter den gegebenen Standortbedingungen nicht ausreichend

ist, um die langjährig mittleren Restdurchsickerungsmengen auf ca. 100 mm/a zu begrenzen.

Wasserhaushaltlich günstiger gestalten sich die Bedingungen für den Fall einer insgesamt 2,0 m mächtigen Abdeckung (0,3 m Oberboden, 1,2 m Unterboden und 0,5 m Ausgleichsschicht). Das zusätzliche Speichervolumen, das der halbe Meter Zuwachs beim Unterboden bringt, führt zu einer Zunahme der mittleren Verdunstung um etwa 10 – 20 mm/a im Vergleich zu einer nur 1,5 m mächtigen Abdeckung (bei ansonsten gleichen Randbedingungen).

Um genau diese Menge nehmen die Restdurchsickerungsraten ab. Dies führt dazu, dass für nutzbare Feldkapazitäten von Ober- und Unterboden von mindestens 15 Vol.-% die langjährig mittleren Restdurchsickerungsmengen maximal 110 mm/a betragen, einen Strauchbewuchs vorausgesetzt.

In Nassjahren erhöhen sich die Restdurchsickerungsmengen wegen des Fehlens einer echt dichtenden Schicht gegenüber dem langjährigen Mittel auf etwa das Doppelte (normales Nassjahr, 5 Jahre Wiederkehrintervall) bis Dreifache (extremes Nassjahr, 50 Jahre Wiederkehrintervall). Das Oberflächensicherungssystem, das im wesentlichen auf dem Verdunstungskonzept basiert, offenbart damit seine Leistungsgrenzen. In Nassjahren ist das System nicht in der Lage, die Restdurchsickerungsraten auf die Zielvorgabe zu begrenzen.

In normalen Trockenjahren gehen die Durchsickerungsmengen auf etwa 50 % der langjährig mittleren Werte zurück. Im extremen Trockenjahr entsteht praktisch keine Restdurchsickerung mehr.

Aus Sicht der Oberflächenabflussbildung scheiden alle Varianten mit einem k_f -Wert des Oberbodens von kleiner 10^{-6} m/s aus, da diese mehr als 50 mm/a Oberflächenabfluss führen und folglich über der Toleranzgrenze liegen (vgl. Abschnitt 1).

Wegen möglicher Staueffekte sollte auch die Ausgleichsschicht nicht zu bindig sein (k_f -Wert minimal im Bereich von 10^{-7} m/s).

Die langjährige mittlere Wasserbilanz sieht für das optimierte Oberflächensicherungssystem folgendermaßen aus:

- Niederschlag: 650 – 660 mm/a
- Oberflächenabfluss: ca. 10 mm/a
- reale Verdunstung: ca. 540 mm/a
- Restdurchsickerung: 100 – 110 mm/a

5. Literatur

AG Boden (1994):

Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage. Herausgeber: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.

Dunger, V. (2002 a):

Dokumentation des Modells BOWAHALD zur Simulation des Wasserhaushaltes von wasserungesättigten Deponien/Halden und deren Sicherungssystemen. Nutzerhandbuch, Version 04/2002 (unveröff.).

HAD Hydrologischer Atlas von Deutschland (2000):

Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn.

SMUL Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (1999):

Methodik für die Auswahl und Bewertung von Schutz- und Rekultivierungsmaßnahmen bei der Stilllegung von Altdeponien im Freistaat Sachsen – Stilllegungsmethodik Altdeponien - Oktober 1999.

Vererdung – qualitätsgesicherte Herstellung von Rekultivierungssubstraten

Christian Jachs

Das hier vorgestellte Verfahren wurde in seinen Grundzügen Ende der 80iger Jahre von Ao. Prof. G. Husz entwickelt und zum Patent angemeldet. Auf Grund seiner Ausbildung als Bodenkundler verfolgt auch dieses Verfahren den Ansatz einer natürlichen bodenbürtigen Stoffumwandlung.

Das Endprodukt des Vererdungsverfahrens ist somit Erde, welche auf Grund von Stoffkombination, Funktionalität und Stabilität als Ersatz für natürlich gewachsenen Boden verwendet werden kann. Dies stellt einen grundlegenden Unterschied zur Kompostierung dar, wo das Ziel in der Herstellung eines Bodenverbesserungsmittels für natürliche Böden liegt.

Besonderes Augenmerk bei der Entwicklung des Verfahrens wurde auf die Flexibilität des Endproduktes hinsichtlich der Anforderungen an das Endprodukt gelegt. Dabei kann neben Schadstoffgrenzwerten und Bodenfunktionen auch sehr genau auf funktionale Eigenschaften (zB Methanoxidation, Wasserspeicherfähigkeit, Erosionsschutz, ...) eingegangen werden.

Um bestmögliche Zielkonformität zu erreichen wurde ein spezielles Kontroll- und Überwachungssystem für Prozess und Materialqualität entwickelt.

Herstellungsprozess

Dabei kann das Vererdungsverfahren in verschiedene Bereiche gegliedert werden:

1. Zieldefinition
2. Analyse und Auswahl der Rohmaterialien
3. Berechnung der Komponenten-Kombination
4. Herstellung der Mischung, Ablauf des Umwandlungsprozesses
5. Auslagerung und Profilaufbau

1. Zieldefinition:

Hier wird die Verwendung (Qualität) des Endproduktes genau definiert. Profilmächtigkeit, Schichtstärken und Stoffkonzentrationen werden bereits hier festgelegt, wobei neben bodenkundlich relevanten Informationen meist auch gesetzliche Randbedingungen beachtet werden müssen. Weiters kommt es meist zu einer durch das konkrete technische Projekt vorgegebenen Gewichtung der natürlichen Bodenfunktionen (Pflanzenstandort, Lebensraumfunktion, Erosionsschutz, Methanoxidation, ...). Dabei ist auf die örtlichen und ökologischen Standortbedingungen zu achten, unter welchen die gewonnene Erde ihre Funktion erfüllen soll (Klima, Wasserhaushalt, Bewässerung, ...).

Mag. Christian Jachs
OEKO-Agrar / OEKO-Datenservice
Aredstr. 13/3-4; A-2544 LEOBERSDORF
c.jachs@oeko.co.at
www.oeko.co.at

Da obige Parameter nicht nur qualitativ sondern auch quantitativ erhoben werden, werden Wertebereiche definiert die für das zukünftige Endprodukt charakteristisch und wünschenswert sind.

Diese Vorgehensweise wurde in Österreich von der Analytik über die Interpretation und die Projektentwicklung in der Normenserie ON S 2122 „Erden aus Abfällen“ (Teil 1 bis 3) zusammengefasst.

2. Analyse und Auswahl der Rohmaterialien:

Die Auswahl der Rohmaterialien hängt nicht nur von der Zieldefinition – also der gewünschten Erdzusammensetzung – ab, sondern sehr stark auch von der Verfügbarkeit, stofflichen Zusammensetzung und ihren Einstandspreisen. In letzter Zeit treten weiters die Transportkosten bei der Anlieferung immer stärker in den Vordergrund, die eine regionale Verwertung von Abfallstoffen als zielführend erscheinen lassen.

Alle zur Verfügung stehenden Inputstoffe werden laboranalytisch kontrolliert

Als typische Inputstoffe für den Vererdungsprozess können genannt werden:

- Organische Materialien
 - Kommunaler Klärschlamm
 - Papierfaserschlamm
 - Grünschnitt
 - Altholz
 - ...
- Anorganische Materialien
 - Aushubmaterial
 - Abraummaterialeien
 - ...
- Zuschlagstoffe
 - Naturgips
 - Kalk
 - Magnesiumkarbonat
 - Rohphosphate

3. Berechnung der Komponentenkombination:

Auf Grundlage der laboranalytischen Untersuchungen wird ein Mischungsverhältnis der Einzelkomponenten so errechnet, dass im Zuge der Umwandlungsprozesse Übereinstimmung mit den Zielvorgaben der Erde und ihrer geplanten Nutzung erreicht wird. Dieses Mischungsverhältnis (Rezeptur) wird mittels eines Computer-Simulations-Programms, in dem alle analysierten Daten berücksichtigt werden, vorausberechnet.

Bei Übereinstimmung von Zieldefinition und Computersimulation wird das Mischungsverhältnis als Rezeptur an den Produktionsplatz weitergegeben.

4. Herstellen der Mischung, Ablauf des Vererdungsprozesses

Nach Vorgabe der Rezeptur werden die Inputstoffe gemischt und bis zum Abklingen der exothermen Reaktionen als offene Dreiecksmieten mit einer Basisbreite von ca. 3,5m und einer Anfangshöhe von ca. 1,8m geführt.

Durch regelmäßige Messungen der Gaszusammensetzung im Mietenkern und der Temperatur wird der Rotteverlauf dokumentiert und nötige Behandlungsschritte (Umsetzungsvorgänge, Geruchsbekämpfung, ...) geplant.

5. Austlagerung und Profilaufbau

Am Ende der Hitzerotte wird das Zwischenprodukt „Roh-Humin“ ausgelagert und von Bodenorganismen auf natürlichen Weg oder durch Beimpfung neu besiedelt. Binnen einiger Monate entsteht so ein Substrat, das in seinen wesentlichen Eigenschaften natürlich gewachsenem Bodenmaterial hinreichend gleichwertig ist und Bodenfunktionen übernehmen kann.

Unterschied Vererdung - Kompostierung

Von den üblichen Verfahren zur Kompostierung unterscheidet sich das Verfahren von Prof. Husz durch gezielte Vordefinition des Endproduktes Erde sowie durch entsprechende Auswahl und Zusammenführung der Reaktionspartner. Nach Abklingen der mikrobiologischen, biochemischen und physikochemischen Reaktionen entsteht ein weitgehend stabiles Endprodukt, das Bodeneigenschaften und nicht Komposteigenschaften hat. Es ist also wie Oberbodenmaterial einsetzbar. Eine Fehldosierung oder eine Überdüngung sind somit nach diesem Verfahren ausgeschlossen.

Prozesskontrolle und Qualitätssicherung

Jeder Produktionsschritt wird laboranalytisch kontrolliert um mögliche Kontaminationen oder menschliches Versagen möglichst bald erkennen und eingreifen zu können. Routinemäßig wird dabei das System der „fraktionierten Analyse“ verwendet, wobei ca. 120 Parameter erhoben werden. Neben bodenkundlich relevanten Parametern werden die untersuchten Elemente in 4 Fraktionen (wasserlöslich, austauschbar, nachlieferbar, gesamt) analysiert um bodenrelevante Aussagen treffen zu können.

Die fraktionierte Analyse ist in der österreichischen Norm ON S 2122-1 „Erden aus Abfällen – Teil 1: fraktionierte Analyse“ beschrieben.

Folgende Analysen werden durchgeführt:

- **Vorbeurteilung:** vor der ersten Übernahme wird die Eignung jedes Inputstoffes geprüft.
- **Eingangskontrolle:** regelmäßige Kontrolle der Inputstoffe um gleich bleibende Qualität sicherzustellen
- **Prozesskontrolle:** Übereinstimmung von Rezeptur und hergestellter Mischung werden kontrolliert (exotherme Rottephase).
- **Qualitätskontrolle:** Übereinstimmung von Computersimulation und Zieldefinition werden kontrolliert (mesophile Rottephase).
- **Endzertifikat:** Qualitätsnachweis für das Endprodukt (IST/SOLL-Vergleich).

Zusätzlich werden während der Hitzerottephase regelmäßige Messungen von Gaszusammensetzung und Temperatur im Mietenkern durchgeführt. Dadurch kann

der Rotteverlauf sehr gut kontrolliert und nötigenfalls sofort regelnd eingegriffen werden.

Abbildung 1: Produktionsprozess und Qualitätssicherung

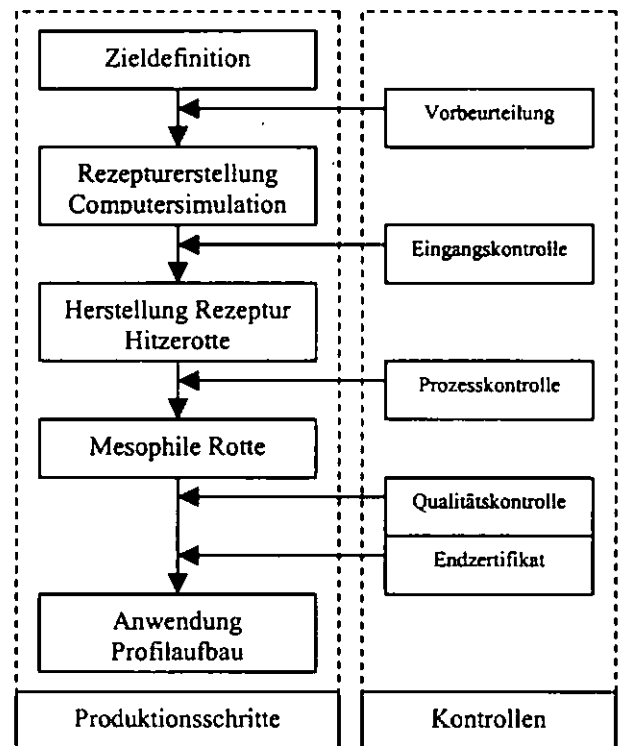


Abbildung 2: Erde als Rekultivierungsschicht



6. Literatur

Husz, G., Haider, R. (2003) Alternative stoffliche Verwertung von Klärschlamm. Wiener Mitteilungen 184, S. 161-184; ISBN 3-85234-068-3

ÖNORM S 2122-1 (2004) Erden aus Abfällen; Teil 1: Fraktionierte Analyse – Untersuchungsmethoden

ÖNORM S 2122-2 (2004) Erden aus Abfällen; Teil 2: Bewertung auf Basis der fraktionierten Analyse.

ÖNORM S 2122-3 (2004) Erden aus Abfällen; Teil 3: Anwendungsrichtlinien für Erden aus Abfällen.

ÖNORM S 2122-4 (Entwurf) Erden aus Abfällen; Teil 4: Qualitätssicherungssystem für die Herstellung von Erden

Rekultivierungssubstrat mit den Komponenten Rechengut, Sandfang, Kehrlicht und Boden

Thomas Schriefer

Auf der Basis von biologisch aufbereitetem Rechengut, Sandfang / Kehrlicht und Boden, wurde das technologische Substrat „RSK-BODEN“ entwickelt. Ziel der biologischen Behandlung von Rechengut, Sandfang und Kehrlicht ist die Hygienisierung und biologische Stabilisierung der Ausgangsmaterialien.

Wesentlich ist, dass der Abfall eine sinnvolle Aufgabe erfüllt, indem er andere Materialien ersetzt, die ansonsten für diese Aufgabe hätten verwendet werden müssen, wodurch natürliche Rohstoffquellen erhalten werden (EuGH, ASA-Urteil -C-6/00 vom 27.02.2002).

Es wird von einem Bedarf an Bauersatzstoffen von ca. 500.000 t (1,5 m dicke Wasserhaushaltsschicht) für die Rekultivierung des Altteils der Blockland Deponie ausgegangen (Abb. 1). Die mineralische Dichtung nicht eingerechnet.

Diese von Flora, Fauna und Mikroflora belebte Abdeckung regeneriert sich nach Stressphasen immer wieder neu und unterliegt quasi keiner Alterung. So werden beispielsweise bodenphysikalische und -chemische Veränderungen nach Trockenstresszeiten in den Sommermonaten in regenreichen Perioden wieder ausgeglichen. Deponiebewegungen wie Sackungen und Verschiebungen werden durch die Plastizität des Bodenkörpers wieder ausgeglichen. Bevorzugte Wegsamkeiten (preferential flow) des Sickerwassers „wachsen“ wieder zu und Kolmationen werden durch die „Bioturbation“ wieder aufgehoben.

Anfang März 2004 verringert sich das Dränwasseraufkommen nach einer langen Trockenperiode und beginnender Verdunstungsleistung. Der Trend zu sinkenden Dränagewasseraufkommen hält 2005 und 2006 an (Abb. 2).

Der prozentuale Anteil des Dränagewassers an der Niederschlagsmenge verringert sich von Anfangs 23 % (Fläche 1) auf 11,9 % in 2006 (Tabelle 1). Die Bodenentwicklung und die Vegetationsentwicklung sind verantwortlich für diesen Rückgang.

Im Oberflächenabdichtungssystem wird bis zu 30 % biologisch behandeltes Rechengut eingesetzt.

Perkulationsversuche im Labor zeigen das Auslaugverhalten von behandeltem reinem Rechengut (Tabelle 2).

Die Konzentration der Inhaltstoffe des Dränagewassers aus der Wasserhaushaltsschicht der Blockland Deponie sollte in einem überschaubaren Zeitfenster von z.B. 10 Jahren so weit gesunken sein, dass das Dränagewasser ohne weitere Vorreinigung in einen Vorfluter geleitet werden kann.

Die Umweltverträglichkeit im Rahmen der gesetzlichen Anforderungen ist gegeben. Beachtet wird besonders Anhang 5 der DepV. Die zulässigen Feststoffgehalte und Eluatkonzentrationen für RSK-BODEN der Tabelle aus Anhang 5 der DepV werden weitestgehend eingehalten.

Mit dem technologischen Rekultivierungsmaterial RSK-BODEN werden natürliche Rohstoffquellen erhalten.

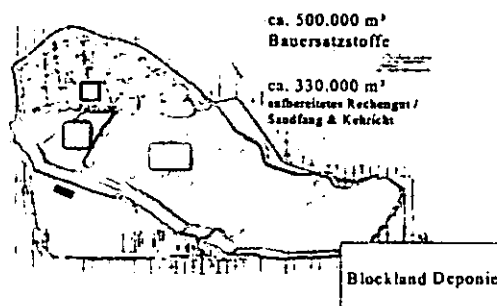


Abb. 1. Bedarf an Bauersatzstoffen

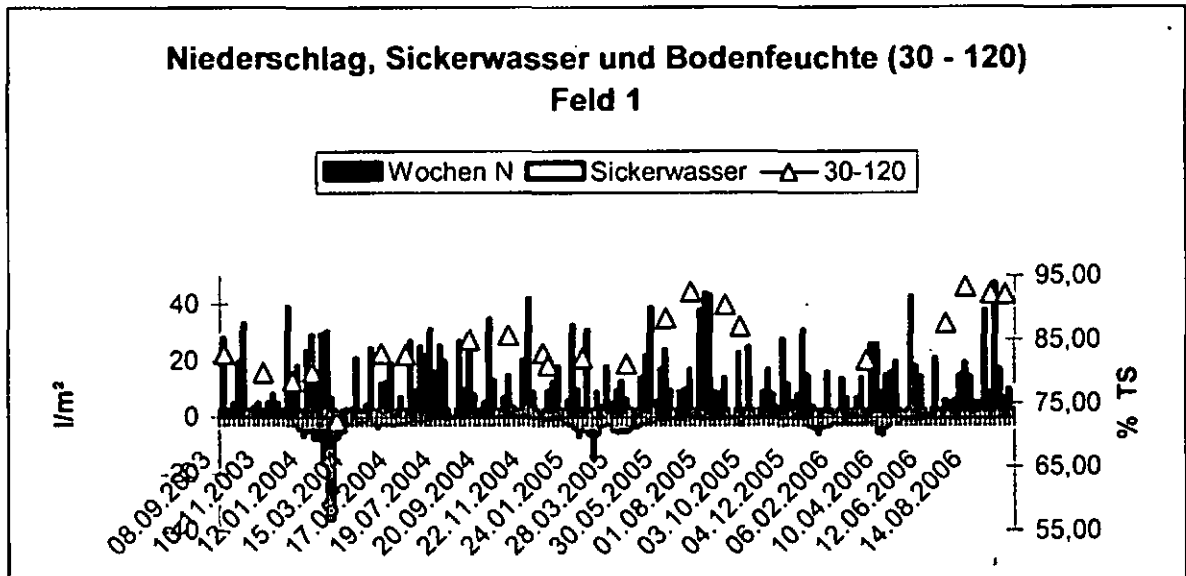


Abb. 2: Dränwasseraufkommen (untere Balken) von Dez. 2003 bis Okt.2006

		Fläche 1	Fläche 2	Fläche 3	
Summe N 2004	689,4 mm	Dränwasser			
		Summe 2004	158,5	192,7	24,2
Summe N 2005	686,0 mm	% von N	23,0 %	28,0 %	3,5 %
		Summe 2005	97,9	165,7	32,0
Summe N 2006	480,8 mm	% von N	14,3 %	24,2 %	4,7 %
		Summe 2006	57,1	87,6	27,9
		% von N	11,9 %	18,2 %	5,8 %

Tab. 1: Jahresniederschläge 2004 bis 2006 (2006 nur Jan bis Ende Okt).
Jahresdränwassermenge 2004-2006 (2006 von Jan bis Ende Okt)

		5 Jahre	10 Jahre	15 Jahre	20 Jahre
pH	mS/ m	7,4	7,7	7,35	6,65
Leitfähigkeit	mg/l	237	143,5	95,5	80,5
Chlorid	mg/l	38,2	28,35	22,45	20,85
Sulfat	mg/l	401	35,1	2,5	0
DOC	mg/l	68,5	35	17	9,45
Ammonium N	mg/l	100,05	56,30	23,17	22,06
Nitrat N	mg/l	0,67	0,52	0,275	0
P ₂ O ₅	mg/l	2,16	1,44	< 1	1,8
N ges.	mg/l	153,9	96,2	72,9	40,72

Tab. 2: Untersuchungsergebnisse aus Perkulationsversuchen mit Rechengut
(N_{ges} als Gesamtaufschluss - N, nicht Summe NO₃, NO₂, NH₄)

Herstellung von mineralischen Abdichtungen aus BFA-Bindemitteln

Ronald Grube & Michael Düssel¹

1. Einleitung

Bevor Schadstoffstabilisate in einer zu errichtenden Deponie abgelagert werden können, sind nach den geltenden Richtlinien Deponieabdichtungen herzustellen. Für die in Polen geplanten Schließungen von Hausmülldeponien besteht ebenfalls ein sehr hoher Bedarf an mineralischen Deponieabdichtungen. Bis 2012 sollen insgesamt 780 Deponien in Polen rekultiviert und zuvor abgedichtet werden. Ressourcen in Form von Bentonit (Deponie-Abdichtton) zur Deponieabdichtung sind jedoch sehr knapp. In Polen selbst sind keine höffigen Bentonit-Lagerstätten bekannt, so daß eine Einfuhr aus Deutschland (Bayern, Hessen, Baden-Württemberg), Rußland, Ungarn oder Tschechien/Slowakei erforderlich wäre. In den EU-Mitgliedsländern ist jedoch in den kommenden Jahren selbst mit einer erhöhten Nachfrage an Deponie-Abdichtton zu rechnen, da auch in diesen Ländern viele Deponien geschlossen und rekultiviert werden. Hieraus ergibt sich ein außerordentlicher Bedarf an alternativen Lösungen hinsichtlich der Abdichtung von Deponien - sowohl für Basisabdichtungen als auch für Oberflächenabdichtungen. Der Einsatz von Abfällen als Alternative entspricht dem Verwertungsgedanken des KrW-/AbfG. Nach § 4 Abs. 3 Satz 1 wird die stoffliche Verwertung als "Substitution von Rohstoffen durch die Gewinnung von Stoffen aus Abfällen (sekundäre Rohstoffe) oder die Nutzung der stofflichen Eigenschaften [...]" definiert. Die aus dem Abfall Filteraschen herzustellenden Bindemittel sind bei entsprechender Behandlung im EVADIS-Verfahren hierfür ein sehr gut geeignetes Material. Die Beimischung von lehmigen Substraten (z.B. lehmiger Abraum aus dem Braunkohlentagebau) führt zu einer Kostenreduzierung des Abdichtmaterials, was dessen Wettbewerbsfähigkeit erhöht.



Abb. 1: k-Wert-Bestimmungen in der Triaxialzelle

¹ GEOTOP - Ges. für Baugrund- und Umweltuntersuchungen, Hönower Str. 35, 10318 Berlin, geotop@egz.fhtw-berlin.de

2. Grundlagen für Deponieabdichtungen

Für mineralische Abdichtungen ist in Deutschland die ZTVE StB'94/'97 heranzuziehen. Bauaufsichtliche Zulassungen für Dichtungselemente durch das DIBt erfolgen nach den Regelwerken der *TA Abfall* und *TA Siedlungsabfall*. In den DIBt-Schriften zu Deponieabdichtungen werden die erforderlichen Eignungsnachweise weiter präzisiert. Mineralische Abdichtungen als Bestandteil von Deponieabdichtungssystemen haben besondere Anforderungen an

1. **Umweltverträglichkeit** (siehe DepVerwV 2005)
2. **Dichtigkeit** (Konvektionsverhalten, Diffusionsverhalten, Sorptionsverhalten)
3. **Mechanische Widerstandsfähigkeit** (Standicherheit, Verformungssicherheit, hydraulische Widerstandsfähigkeit)
4. **Beständigkeit** gegenüber chemischen, physikalischen und biologischen Einwirkungen
5. **Herstellbarkeit / Einbaubarkeit**

3. Ergebnisse der Untersuchungen

3.1 Umweltverträglichkeit

Sowohl die reinen Bindemittel als auch die LB-Abdichtungen erweisen sich als umweltverträglich nach der in Deutschland geltenden Deponieverwertungsverordnung DepVerwV.

3.2 Dichtigkeit

An einem Prüfzylinder wurden in der Triaxialzelle die hydraulischen Durchlässigkeiten k ermittelt. Diese lagen unterhalb von $1 \cdot 10^{-12}$ m/s (s. Abb. 1). Dieser Wert liegt deutlich unterhalb der maximal erlaubten Durchlässigkeiten von Deponieabdichtungen der Deponieklassen I bis III. Die hydraulische Durchlässigkeit k eines Prüfkörpers aus einem Lehm-Bindemittel-Gemisch (LB-Abdichtung) lag unterhalb von $1 \cdot 10^{-10}$ m/s (siehe Abb. 1). Die Kriterien an die Dichtigkeit von Deponieabdichtungen wurden demnach erfüllt. Bei Einbau von LB-Abdichtungen mit Ober- und Unterschichten aus reinem Bindemittel können hydraulische Durchlässigkeiten von $k = 10^{-11}$ m/s angenommen werden.

a) Konvektionsverhalten

Die Durchflußmengen durch eine 1 m mächtige Deponie-Basisabdichtung betragen bei Zugrundelegung einer hydraulischen Durchlässigkeit von $k = 1 \cdot 10^{-11}$ m/s bei einer Aufstauhöhe von 500 cm maximal $5 \cdot 10^{-11}$ m³/s m² bzw. 43,2 l/d ha. Die fiktive Durchtrittszeit beträgt bei Zugrundelegung der ermittelten hydraulischen Durchlässigkeit sowie einem Gradienten von $i = 5$ mehr als 600 Jahre.

b) Diffusionsverhalten

Die Diffusion beträgt bei Zugrundelegung einer Deponiewasserkonzentration von 5000 mg/l Chlorid sowie den ermittelten Durchflußmengen bei einem Porenraum von 25 % und einem Diffusionskoeffizienten von $2 \cdot 10^{-5}$ cm²/s ca. $1,25 \cdot 10^{-8}$ g/s m². Die jährliche Diffusionsrate von Chlorid würde demzufolge knapp 4 kg je Hektar betragen. (Grenzwert gemäß PTPR für Chlorid-Immisionen in Boden und Grundwasser = 2.000 kg/ha).

c) Sorptionsverhalten

Folgende Verteilungskoeffizienten und Retardationsfaktoren wurden ermittelt:

	K_D [l/kg]	R_D	R-BFA	R-Deponieton
Cd	122000	732000	1830000	
Cr	1400	8400	21000	25000
Cu	6700	39900	100000	
Pb	1200	7300	18000	10-15000
Zn	3400	20200	50000	2-5000

Tab. 1: Verteilungskoeffizienten und Retardationsfaktoren der BFA-Bindemittel

Die Ergebnisse erlauben die Schlußfolgerung, daß die Sorptionseigenschaften der BFA-Bindemittel mindestens so gut sind, wie die von Deponietonen. Angesichts der nicht erreichten Sättigungskonzentrationen ist von einer insgesamt höheren Gesamtaufnahmekapazität auszugehen. Der Anteil der stabil gebundenen (nicht nachlieferbaren) Schwermetalle lag bei ca. 80 % bei Chrom und Cadmium, bei ca. 90 % bei Kupfer und bei über 95 % bei Blei und Zink. Die Bindungsstärken nahmen in folgender Reihenfolge ab: Cd > Cu > Zn > Cr > Pb.

3.3 Mechanische Widerstandsfähigkeit

Die gut bis schwach thixotropen zylinderförmigen Prüfkörper der ersten Serie der reinen Bindemittel hatten nach 28 Tagen eine mittlere Druckfestigkeit von 13,3 N/mm². Die Würfeldruckfestigkeiten lagen in derselben Größenordnung (14,8 N/mm²). Nach 56 Tagen wurden um den Faktor 2,5 höhere Druckfestigkeiten erzielt. Demnach wurde die Mindestdruckfestigkeit von 0,6 N/mm² deutlich überschritten. Die Druckfestigkeiten der LB-Abdichtung lag nach 28 Tagen bei ca. 3 N/mm². Auch diese Materialien haben deutlich höhere Druckfestigkeiten, als mindestens erforderlich.

Nach 28 Tagen wurde an den reinen Bindemitteln eine Biegezugfestigkeit von 1,3 N/mm² ermittelt. Mit dieser Biegezugfestigkeit können bei 1 m mächtigen Abdichtungen u.a. hydraulische Piezometerdrücke (Auftriebskräfte) von 10 m ohne zusätzliche Gegenlasten durch Deponiebefüllung aufgenommen werden. Als maximale Auflast wären mehr als 50 m mächtige Deponiesubstrate mit einer Dichte von bis zu 2 g/cm³ auffüllbar.

Die Biegezugfestigkeiten der LB-Abdichtung lagen bei ca. 1,0 N/mm² nach 28 Tagen. Auch diese Festigkeiten liegen oberhalb von 0,6 N/mm², die maximal als Belastung auftreten können. Sowohl die reinen Bindemittel als auch die LB-Abdichtungen zeichnen sich demzufolge durch eine hohe mechanische Beständigkeit aus und sind auch nach diesem Kriterium sehr gut als Deponieabdichtmaterial geeignet.

3.4 Beständigkeit

Die Bindemittel wurden auf Unterwasser-Lagerungsbeständigkeit erfolgreich geprüft. Ebenso wurden Versuche zur chemischen Langzeitstabilität durchgeführt. Darüber hinaus erfolgten Tests mit Säuren und Laugen. Gegenüber Säuren sind vor allem Karbonate, jedoch auch Sulfate (Gips) als wichtige Bindemittel-Mineralphasen nicht sehr beständig. Karbonate spielen jedoch im Bindemittel keine und in den Mischungen mit Lehm nur eine untergeordnete Rolle. Ettringite als wichtigste Sulfate sind gegenüber anderen Sulfaten (wie z.B. Gips) vergleichsweise beständig. Insgesamt ist die chemische Beständigkeit des Bindemittels - z.B. gegenüber aggressiven Deponiewässern - bei der Nutzung als Deponieabdichtung als völlig ausreichend zu bezeichnen.

Das Bindemittel zeichnet sich durch hohe Frostbeständigkeit aus. Der Abrieb betrug im Durchschnitt 30 g/m² (Frost-Tau-Wechsel, 2 x 14 Zyklen á 7 Tage). Die Frostbeständigkeit der LB-Abdichtung ist gegenüber dem reinen Bindemittel geringer. Aus diesem Grund sollten bei den Mischungen längere Frosteinwirkungen während der Bauphase durch technische Sicherungsmaßnahmen unterbunden werden.

3.5 Herstellbarkeit und Einbaubarkeit

Zur Verwendung als mineralische Abdichtungen von Deponien lassen sich Bindemittelbaustoffe im Zentralmischverfahren (in EVADIS-Anlagen oder auch externen Intensiv-Mischanlagen) herstellen. Mit herkömmlichen Mischanlagen ist eine homogene Durchmischung nicht gewährleistet. Das Verfahren zur Bindemittelherstellung im EVADIS-Verfahren garantiert eine Beibehaltung der Konformität der Ausgangssubstanzen. Das Endprodukt B-Abdichtung muß thixotrop sein, um mittels Walzen verdichtet werden zu können. Zudem muß es direkt vom Werk mittels geschlossener Containerfahrzeuge transportiert und sofort verarbeitet werden. Die LB-Abdichtung muß eine weiche Ausgangskonsistenz haben und mittels Gummiradwalzen, nach Antrocknung (bei steifer Konsistenz) mittels Schaffußwalzen verdichtet werden.

Herstellung von Rekultivierungssubstraten unter Einsatz von Kraftwerksrückständen - Eine Zwischenbilanz

Zingk, M. & F. Braunisch

Einleitung

Die Gesellschaft für die Aufbereitung und Verwertung von Reststoffen mbH (GFR) beschäftigt sich seit rund 20 Jahren mit der Verwertung von Kraftwerksrückständen (KWR). Bei den von der GFR verwerteten Stoffen handelt es sich primär um Rückstände aus Steinkohlekraftwerken, die aus einem Gemisch von Aschen und Rauchgasentschwefelungsprodukten bestehen. Zur Aufbereitung und Verwertung von jährlich mehreren 100.000 Tonnen betreibt die GFR u.a. eine eigene Verfüllmaßnahme in Lüthorst/Niedersachsen, darüber hinaus werden diese Stoffe auch als Versatzmaterial zur Stabilisierung untertägiger Hohlräume, zur Deponieprofilierung oder als Bau- und Sekundär-Rohstoff genutzt.

Mit der Herstellung von Deponierekultivierungssubstraten unter Einsatz von Kraftwerksrückständen soll ein weiterer Verwertungsweg für diese Stoffe eröffnet werden. Die von der Korngröße her rein schluffigen Materialien können einen wesentlichen Beitrag zur bodentechnologischen Verbesserung natürlicher Bodensubstrate leisten. Insbesondere das Speichervermögen für pflanzenverfügbares Wasser, aber auch das Einbauverhalten kann durch den Einsatz von Kraftwerksrückständen erheblich verbessert werden.

Am Standort Lüthorst hat die GFR daher gemeinsam mit der Universität Kassel, Fachgebiet Landschaftsökologie und Naturschutz (Prof. Schmeisky), eine Großlysimeteranlage errichtet, um Funktionsfähigkeit und Umweltrelevanz eines unter Einsatz von Kraftwerksrückständen hergestellten Rekultivierungssubstrates wissenschaftlich absichern zu können. Nach Abschluss der Erprobung ist ein Einsatz derartiger Substrate an einer Vielzahl von Deponien möglich. Dies dient den Zielen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes, insbesondere der Schonung natürlicher Ressourcen, und nicht zuletzt auch den immer bedeutungsvolleren ökonomischen Belangen.

Rechtliche Grundlagen

Die für einen Einsatz von Reku-Substraten auf oberirdischen Deponien relevanten gesetzlichen Regelwerke sind neben der Deponieverordnung (DepV 2002) die Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV 1999 für DK 0) sowie die Klärschlamm- und die Bioabfallverordnung (BioAbfV 1998, AbfKlärV 1992).

Gemäß DepV sind zur Herstellung von Reku-Substraten Bodenmaterial sowie Gemische von Böden und Abfällen zulässig, wenn diese die in den jeweils relevanten Verordnungen genannten stofflichen Qualitätsanforderungen erfüllen. Die maßgeblichen Feststoff- und Eluatwerte sind in Anhang 5 DepV aufgelistet. Im Einzelfall sind Überschreitungen der festgesetzten Grenzwerte zulässig, insbesondere bei Reku-Substraten mit großer Mächtigkeit. Neben den stofflichen Anforderungen schreibt die DepV noch vor, dass Reku-Substrate einen möglichst hohen Vorrat an pflanzenverfügbarem Bodenwasser sowie eine ausreichende Luftkapazität aufweisen müssen. Darüber hinaus werden weitere funktionale Anforderungen gestellt (betrifft vornehmlich Schutzfunktionen).

Gemische von Böden und Kraftwerksrückständen können die an Reku-Substrate gesetzten stofflichen und funktionalen Anforderungen vom Grundsatz her erfüllen oder deren Erfüllung überhaupt erst ermöglichen.

Stoffliche Eigenschaften

Bei den hier eingesetzten Kraftwerksrückständen handelt es sich um Kesselsande sowie um Sprühabsorptionsprodukte (Stabilisate), einem Gemisch aus Steinkohle-Flugaschen und Rückständen aus der Rauchgasentschwefelung. Stabilisate haben einen Flugascheanteil von 30 bis 70 Prozent und sind von der Körnung her als Schluffe anzusprechen.

Die in den Stabilisaten enthaltenen Aschen bestehen hauptsächlich aus Silicium-, Aluminium- und Eisenoxiden und reagieren in Gegenwart von Kalk und Wasser puzzolanisch. Bei den Entschwefelungsprodukten handelt es sich um Calciumsulfid-Halbhydrate, Calciumsulfat-Halbhydrate und freiem Portlandit. Im Gemisch mit Böden können insbesondere die Stabilisate einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der nutzbaren Feldkapazität sowie zur Verbesserung der bodenmechanischen Eigenschaften leisten.

Die nach DepV oder BBodSchV zulässigen Metallgehalte bzw. Eluat-Konzentrationen werden von den meisten Stabilisaten (kraftwerks- bzw. kohleabhängig) bereits im unvermischten Zustand eingehalten. Sie können daher bei einem Einsatz in Reku-Substraten unbeachtet bleiben, erst recht alle organischen Schadstoffe. Die im Originalzustand noch verhältnismäßig hohen Werte für pH, elektrische Leitfähigkeit, Chlorid und Sulfat sprechen ebenfalls nicht gegen den hier vorgesehenen Verwertungsweg, da Reku-Substrate gemäß DepV als Ganzes betrachtet werden können und nicht zuletzt auch Ausnahmeregelungen statthaft sind.

Untersuchungskonzept

Im Rahmen der Verfüllmaßnahme des ehemaligen Gipstagebaus in Lüthorst/Niedersachsen sollen unter Einsatz von Kraftwerksrückständen hergestellte Reku-Schichten anhand eines mehrjährigen Freilandversuchs in Großlysimetern wissenschaftlich untersucht werden. Im Vorfeld sind schon auf ungedeckten Aschenflächen, die zudem verdichtet eingebaut wurden, 104 Pflanzenarten (davon 25 Gehölze) festgestellt worden. Dies sprach für eine grundsätzliche Kulturfähigkeit der dort verfüllten Kraftwerksrückstände.

Der am Standort vorhandene Unterboden war ebenso wie der Oberboden vor Beginn des Gipstagebaues abgeschoben und zwischengelagert worden. Beide Böden eignen sich aufgrund ihres hohen Gehaltes an Ton, Steinen und Blöcken nicht als Reku-Substrat. Daher wurden die oben beschriebenen Kraftwerksrückstände (Kesselsande und Stabilisate) in verschiedenen Verhältnissen zugegeben und mit einer Hochleistungsfräse durchmischte.

Ende 2004 ist mit dem Aufbau des aus 6 Großlysimetern bestehenden Testfeldes begonnen worden. Alle Varianten wurden mit einer geringmächtigen Oberbodenschicht überdeckt, um einen Austrag des Reku-Substrates durch Erosion zu vermeiden. Die Flächen wurden sofort nach der Fertigstellung mit Gräsern gesät und mit Weiden (*Salix caprea*) und Eichen (*Quercus robur*) bepflanzt. Ziel ist die Etablierung einer mehrschichtigen, verdunstungsstarken Vegetationsschicht. Neben den geländeklimatologischen Messgeräten direkt auf den Versuchsfeldern erfolgte in unmittelbarer Nähe die Einrichtung zusätzlicher Messfelder zur Niederschlagsersfassung.

Im März 2005 sind die Lysimeter dann mit Wasser aufgesättigt worden. Neben dem Wasserhaushalt und der Kulturfähigkeit der eingesetzten Abdeckschichten soll das dort angelegte Gehölzfeld mit seiner inzwischen geschlossenen Gras- und Krautvegetation über mehrere Jahre im Detail untersucht werden, speziell hinsichtlich des Wurzelwachstums der Gehölze.

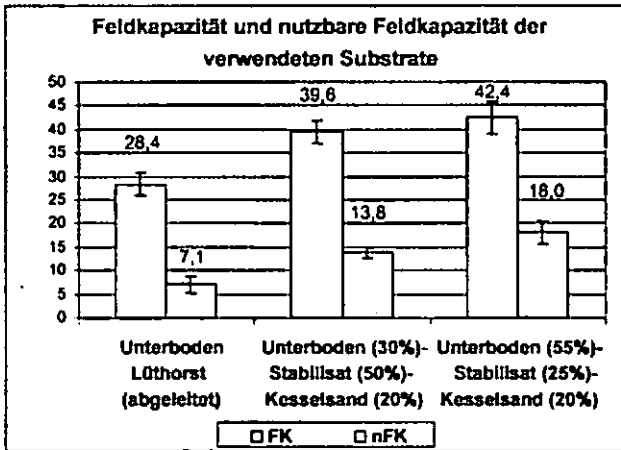
Ergebnisse

Der tonige Unterboden wurde bezüglich der Parameter Feldkapazität (FK) und nutzbarer Feldkapazität (nFK) deutlich verbessert. Die Abbildung zeigt eine Erhöhung der nFK um bis zu 11 Vol.-% durch Zumischung von 25% Stabilisat und 20% Kesselsand. Dies

Dr. Michael Zingk
Gesellschaft für die Aufbereitung und Verwertung von Reststoffen mbH (GFR),
NL Hannover, Lohweg 25, 30559 Hannover
zingk.michael@gfr-mbh.com

Dipl.-Ing. agr. Frank Braunisch
Universität Kassel, Fachgebiet Landschaftsökologie und Naturschutz,
Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen
braunisch@uni-kassel.de

eröffnet die Möglichkeit, im Zuge der anstehenden Rekultivierung auf den am Standort vorhandenen (Ton-)Boden zurückzugreifen zu können.



Da die pF-WG-Kurven und die Körnungsanalysen für den Unterboden Lüthorst aktuell noch nicht vorliegen, wurden die oben dargestellten Unterbodenwerte aufgrund des Humusgehalts des Oberbodens (3%) unter Verwendung der Abschläge gemäß bodenkundlicher Kartieranleitung (2005) abgeleitet. Die Ergebnisse der Körnungsanalyse zeigen bei den Gemischen eine deutliche Verschiebung in Richtung der Fraktionen Sand und Schluff.

Vegetationsaufnahmen und Beprobungen der Biomassen erfolgten bislang Ende Juli 2005 und 2006. Schon im ersten Versuchsjahr ist ein geschlossener, wüchsiger Bestand etabliert worden. Die geernteten Biomassen waren mit 60-70 dt TS/ha hoch. Im August 2006 fanden Aufgrabungen statt, um die Durchwurzelung der Substrate zu dokumentieren und um auszuschließen, dass der Übergang Oberboden/Kraftwerksrückstandsgemisch eine Wurzelsperre darstellt. Alle Varianten sind jedoch gut durchwurzelt und der Übergang zum Gemisch stellte keine Wurzelsperre dar. Deutlich ist, dass bis 60 cm Tiefe eine hohe Wurzelintensität vorliegt, die dann stark abnimmt.

Zur Ermittlung der KWR-spezifischen Evapotranspirationseffekte wurde neben den Kraftwerksrückstandsgemischen als Referenz ein naturbelassener Rekultivierungsboden aus der Höxtertau (mittel-schluffiger Sand) mit untersucht.

	Niederschlag/Sickerwasseranfall in mm	Evapotranspiration in % des Niederschlages
Niederschlag (kumuliert von April '05 bis Sept. '06)	1273,5	
Unterboden (30%)- Stab. (50%)- Kesselsand (20%)	261,4	79,5
Unterboden (30%)- Stab. (50%)- Kesselsand (20%)	274,5	78,4
Unterboden (55%)- Stab. (25%)- Kesselsand (20%)	289,6	77,3
Unterboden (55%)- Stab. (25%)- Kesselsand (20%)	296,6	76,7
Höxterboden	269,1	78,9
Höxterboden	254,9	80,0

Stab. = Stabilisat

Die Niederschläge (langjähriges Mittel ca. 750 mm/a) sind bei allen Varianten bereits von Beginn an um die 80% verdunstet worden (vgl. Tabelle). Für die Zukunft kann bei weiter zunehmender Durchwurzelungstiefe und -intensität sowie durch einen zunehmenden Einfluss der Gehölze infolge verstärkter Interzeption noch von einer gewissen Steigerung der Verdunstungsleistung ausgegangen werden.

Die im Sickerwasser nachgewiesenen Stoffkonzentrationen unterschreiten für die meisten Parameter die Eluat-Grenzwerte nach DepV (2002). Nur die Konzentrationen von Chrom (ges.), Sulfat, Chlorid sowie die elektrische Leitfähigkeit erscheinen im Ver-

gleich dazu erhöht. Da die Grenzwerte nach DepV aber auf dem Schüttel- Elutionsverfahren DIN 38414-S4 (DEV S4) beruhen, ist ein Vergleich der gemessenen Sickerwasserkonzentrationen mit den Grenzwerten der DepV nicht sachgerecht, und zwar schon allein aufgrund des unterschiedlichen Feststoff-/ Flüssigkeitsverhältnisses. Hierzu folgendes Beispiel: Bei einer Rohdichte von ca. 1,1 g/cm³ beträgt die Feststoffmasse der untersuchten Lysimeter-Variante mit 25% Stabilisat in etwa 5.600 kg. Das reale Feststoff-/Flüssigkeitsverhältnis lag folglich bei ca. 1/0,05. Wollte man die Feststoffmenge von 5.600 kg wie beim S4- Verfahren mit einem Feststoff-/Flüssigkeitsverhältnis von 1/10 eluieren, müsste eine Eluatmenge von 56.000 l eingesetzt werden. Dies entspräche der Sickerwassermenge von mehr als 320 Jahren. Auf einen derart langen Zeitraum lassen sich die Ergebnisse der ersten 1½ Versuchsjahre aber nicht übertragen, zumal unter Realbedingungen auch die chemischen, chemisch-physikalischen, mineralogischen und mikrobiellen Wechselwirkungen zwischen Substrat und Eluat (z.B. Ausscheidungen der Pflanzenwurzeln), die bisweilen sehr lange Verweildauer des Sickerwassers im Wurzelraum (z.T. mehrere Monate), und nicht zuletzt auch der Chemismus des Niederschlags auf das Elutionsverhalten eines Bodens einwirken.

Die Sickerwasserkonzentrationen müssen daher entsprechend der unterschiedlichen Versuchsbedingungen korrigiert werden. So könnten aus den Konzentrationen die Frachten ermittelt, aufsummiert und über die Konzentration des jeweils eluierten Stoffes deren Masse errechnet werden (vgl. Podlacha 1999, Grotheer 2000, Scheer 2001).

Zusammenfassend bleibt aber zunächst festzuhalten, dass das Lysimeterfeld Lüthorst mit 750 mm/a Niederschlag (bodeneben 850 mm/a) bereits zu Beginn der Untersuchungen ein Sickerwasseranteil aufwies, welcher auch unter Tondichtungen mit 1 m Reku-Boden nachgewiesen wurde (vgl. u.a. Egloffstein und Burkhardt 2002). Dies lässt darauf schließen, dass eine mit Kraftwerksrückständen optimierte Oberflächenabdeckung auch hier eine sinnvolle Alternative zur Regelabdeckung sein kann. Dies gilt umso mehr, weil für die Zukunft von einer noch höheren Verdunstungsleistung der Vegetation, mithin von weiter abnehmenden Sickerwasserraten ausgegangen werden kann. Natürlich kann der Einsatz von Kraftwerksrückständen bei der Herstellung von Reku-Schichten auch in anderen Gebieten eine ökologisch wie ökonomisch sinnvolle Lösung darstellen, insbesondere bei geringeren Niederschlägen und/oder bei nicht ausreichend vorhandenen Bodenmaterialien.

Literatur

AbfKlärV (1992): Klärschlammverordnung vom 15. April 1992, BGBl. I, S. 912, mit späterer Änderung.

BioAbfV (1998): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung) vom 21. September 1998, BGBl. I, S. 2955, mit späterer Änderung.

BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (Bundes-Bodenschutzverordnung) vom 12. Juli 1999, BGBl. I, S. 1554

Bodenkundliche Kartieranleitung (2005): Ad-hoc-AG Boden, 5. Aufl., Hannover 2005, 438 Seiten.

DepV (2002): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung) vom 24.07.2002, BGBl. I, S.2807, mit späterer Änderung.

DVWK (1980): Empfehlungen zum Bau und Betrieb von Lysimetern. DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft 114: 1-52.

Grotheer, J. (2000): Umweltverträglichkeit von Kraftwerksreststoffen bei ihrem Einsatz im Landschaftsbau. Eco Regio, 3, 247 S. Göttingen.

Podlacha, G. (1999): Untersuchungen zur Substratdeckung mit geringen Schichtstärken aus Bodenaushub-Wirtelschichtaschen-Gemischen und ihrer Begrünung. Ökologie und Umweltsicherung 16/1999, Universität - Gesamthochschule Kassel.

Scheer, T. (2001): Untersuchungen zur Nutzbarkeit aufbereiteter Salzschlacke der Sekundäraluminium-Industrie als Rekultivierungsmaterial einer Kalirückstandshalde. Ökologie und Umweltsicherung 20/2001, Universität - Gesamthochschule Kassel.

Egloffstein, Th. und G. Burkhardt (2002): Wissenschaftliche und ingenieurmäßige Bemessung contra starre Anforderungen - fachtechnische Anmerkungen und Alternativen jenseits der „Gleichwertigkeit“ nach DepV. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 128, 2002. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Zum Komposteinsatz bei der Rekultivierung von Braunkohletagebauen

Michael Haubold-Rosar & Martin Gast¹

1 Problemstellung

Die Gewinnung von Rohstoffen im Tagebau ist mit einem großflächigen Landschaftsverbrauch verbunden. Der Bergbau sowie seine Folgeindustrien führen zur Entstehung von Kippen, Halden, Restlöchern, Böschungssystemen, Deponien und Industrieödland aus natürlichen und technogenen Substraten. Diese Standorte sind durch Landschaftsplanung und -gestaltung sowie durch Sanierungsmassnahmen neu zu entwickeln und in das bestehende Landschaftsgefüge einzubinden, so dass eine vielfältige, nachhaltig nutzbare Bergbaufolgelandschaft entsteht. Der Rekultivierung und der Renaturierung stellt sich unter anderem die Aufgabe, Böden wiederherzustellen, welche möglichst rasch die natürlichen Bodenfunktionen (Lebensraum, Bestandteil der Wasser- und Stoffkreisläufe, Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen) und die Nutzungsansprüche der Gesellschaft erfüllen.

In den meisten Fällen gehen die gewachsenen Bodendecken durch den Abbau von Rohstoffen verloren. Eine separate Gewinnung und Aufbringung der Oberböden ist aus technologischen und wirtschaftlichen Gründen nicht möglich. Die land- und forstwirtschaftliche Rekultivierung hat zum Ziel, aus den verkippten oder aufgehaldeten Ausgangssubstraten durch bodenmeliorative, acker-, pflanzen- und waldbauliche Massnahmen kulturfreundliche und produktive Pflanzenstandorte zu entwickeln, die daneben auch die anderen genannten Bodenfunktionen gewährleisten.

Bei den Ausgangssubstraten handelt es sich in der Regel um humusarme bis -freie Bodenmaterialien mit geringen Gehalten verfügbarer Nährstoffe, einer geringen bodenbiologischen Aktivität und einem ungünstigen, technogenen Gefüge. Vergleichbare Bedingungen liegen in den von Boden-degradation durch Humusschwund und Erosion sowie von der Verkarstung und Desertifikation weltweit in zunehmendem Maße betroffenen Gebieten vor. Teilweise weisen die Rohböden der Bergbaufolgelandschaften und des Industrieödlandes auch kultur- oder vegetationsfeindliche Eigenschaften wie z.B. eine extreme Bodenreaktion oder hohe Schadstoffgehalte auf.

Bei der Rekultivierung derartiger Rohböden spielt der rasche Aufbau und die Aufrechterhaltung eines standort- und nutzungsangepassten Humus- und Nährstoffhaushaltes eine zentrale Rolle.

Zu diesem Zweck können Komposte als organische Bodenverbesserungsmittel bzw. Sekundärrohstoffdünger eingesetzt werden.

Im Folgenden sollen anhand von ausgewählten Forschungsergebnissen zum Komposteinsatz bei der Rekultivierung von Kippenflächen des Braunkohlenbergbaus im Lausitzer Revier einige Aussagen zu dem erzielbaren Nutzen und der Umweltverträglichkeit derartiger Maßnahmen getroffen werden. Die zitierten Untersuchungen wurden mit dem Ziel durchgeführt, durch den einmaligen Einsatz Kompost zu Beginn der Rekultivierung im Vergleich zur bisherigen Praxis mit überwiegender reiner Minereraldüngung eine Beschleunigung der Humus- und Bodenentwicklung zu bewirken und den Mineraldünger Aufwand zu vermindern.

2 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Verwertung von Komposten bei der landwirtschaftlichen Rekultivierung pH-Wert, Humus- und Nährstoffgehalte, Sorptionsfähigkeit, Wasserspeicherung und mikrobiologische Aktivität der behandelten Böden verbessert und die angestrebte Bodenentwicklung und Rekultivierung beschleunigt werden können (Haubold-Rosar & Gast 2003 und 2005) (Abb. 1 und 2).

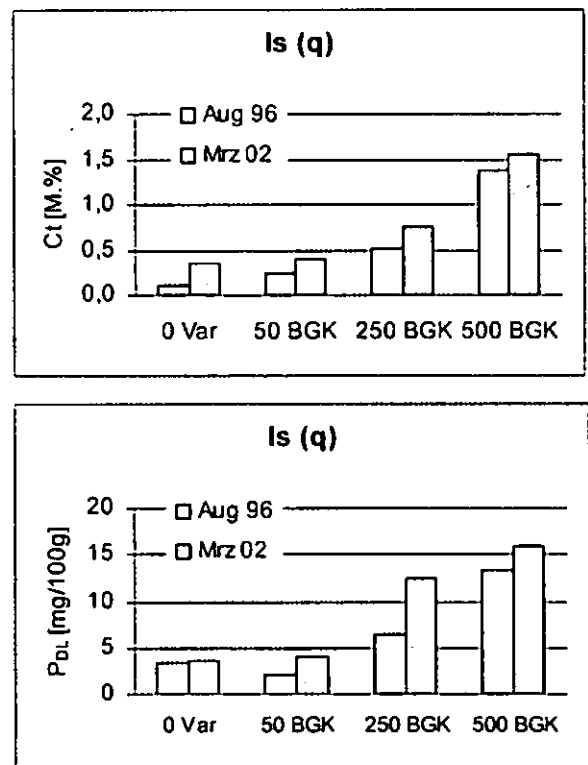


Abb. 1: Entwicklung der Gehalte an Kohlenstoff und pflanzenverfügbarem Phosphor in der Krume von Kipp-Lehmsand nach einmaliger Anwendung unterschiedlich hoher Kompostgaben (t TS ha⁻¹) im Vergleich zu mineralischer Grunddüngung (0-Var.)

¹ Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V., Brauhausweg 2, 03238 Finsterwalde; haubold-rosar@fib-ev.de

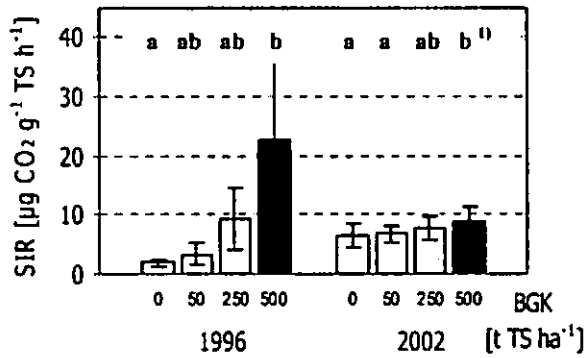


Abb. 2: Entwicklung der substratinduzierten Respiration (SIR) in der Krume von Kippböden im Lausitzer Braunkohlenrevier nach Komposteinsatz in 1996
Mittel aus 4 Substratvarianten ± S.D., n=8;
¹⁾ WILCOXON/WILCOX-Test; α=0,10

Kompostgaben führten zu einer Steigerung des Pflanzenwachstums und einer Verringerung der Sickerwasserbildung gegenüber rein mineralisch grundgedüngten Kippböden (Gast et al. 2002) (Abb 3). Nach hohen Kompostgaben (250 und 500 t TSha⁻¹) waren die Austräge an mineralischem Stickstoff als Folge des reduzierten Sickerwasseraufkommens geringer als nach rein mineralischer Grunddüngung oder bewegten sich auf dem gleichen Niveau (Tab. 1).

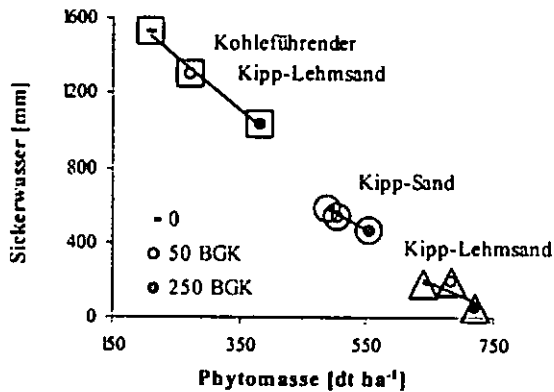


Abb. 3: Zusammenhänge zwischen Kompostgabe, Produktion oberirdischer Pflanzenmasse und Sickerwasseraufkommen (Summenwerte 8/1996 – 9/2002)

Der Austrag von Schwermetallen und organischen Schadstoffen mit dem Sickerwasser und die Schwermetallaufnahme durch die Kulturpflanzen wurde durch den praktizierten Komposteinsatz bei Einhaltung der Schadstoffgrenzwerte der BioAbfV im Kompost und der Vorsorgewerte der BBodSchV im meliorierten Oberboden nicht verstärkt (Haubold-Rosar et al. 2003). Bei Gewährleistung des Ziel-pH für eine landwirtschaftliche Nutzung ist unter diesen Bedingungen von geringen Gehalten mobiler und verfügbarer Schwerme-

talle in den mit Komposten behandelten Kippsubstraten auszugehen.

Tab. 1: N-Bilanzen eines rein mineralisch und mit 250 t TS ha⁻¹ Kompost behandelten Kipp-Lehmsandes nach Großlysimeterversuchen (Summen 8/1996 – 9/2002 in kg ha⁻¹)

		0	250 BGK
Input	BVM	0	4383
	Düngung	1010	950
	Deposition	92	92
	Summe	1102	5425
Output	Ernteentzug	1238	1453
	Sickerwasser	11	6
	Summe	1250	1459
Bilanz		-147	3966

Über die Effekte des Komposteinsatzes bei der forstlichen Rekultivierung berichten Hüttl et al. (2005). Sie geben weiterhin Empfehlungen zur Bemessung geeigneter Kompostgaben in Abhängigkeit von den Standortbedingungen und Nutzungsansprüchen sowie zu rechtlichen Rahmenbedingungen, Untersuchungs- und Dokumentationsanfordernissen und der geeigneten Ausbringungstechnologie.

3 Literatur

Gast, M., Haubold-Rosar, M. & Katzur, J. (2002): Auswirkungen des Komposteinsatzes bei der Rekultivierung tertiärer Kippsubstrate auf die N-Verlagerung mit dem Sickerwasser.- In: Klotz, D. (Hrsg.): Untersuchungen zur Schadstoffmigration in Lysoimetern, GSF-Bericht 05/02, ISSN 0721-1694, 31-36

Haubold-Rosar M. & Gast, M. (2003): Kompostverwertung bei Rekultivierungsmaßnahmen.- In: Fricke et al. (Hrsg.): Die Zukunft der Getrenntsammlung von Bioabfällen. 64. Informationsgespräch des ANS e.V., 8. und 9. Juli 2003 in Witzenhausen, 131-150

Haubold-Rosar, M. & Gast, M. (2005): Einsatz von Klärschlamm und Kompost bei der landwirtschaftlichen Rekultivierung von Kippenböden im Lausitzer Braunkohlenrevier.- In: Pickel, P. (Hrsg.): Agrartechnische Berichte aus Sachsen-Anhalt Nr. 3, Halle-Wittenberg, 44-61

Haubold-Rosar, M., Gast, M. & Katzur, J. (2003): Zum Schwermetallhaushalt von Kippenstandorten des Lausitzer Braunkohlenreviers nach Einsatz organischer Abfälle. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. Bd. 102 (1), S.177-178

Haubold-Rosar, M., Tonder, K., Gast, M. & Emmerling, C. (2005): Zur Nachhaltigkeit der Wirkungen einmaliger Gaben organischer Sekundärrohstoffdünger auf die bodenbiologische Aktivität in Rekultivierungsböden.- Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft 107, 1, 199-200

Hüttl, R.F., Haubold-Rosar, M., Schaaf, W., Heinkele, T. & Gast, M. (2004): Leitfaden zum Einsatz von Kompost und Klärschlamm bei der Rekultivierung.- Cottbus

Einfluss von Einbaudichte und Anteil organischer Substanz auf den Wasserhaushalt von Deponie-Rekultivierungsschichten

R. Anlauf, C. Schröder & P. Rehrmann

Kennwerte der Wasserbindung sind wichtige und notwendige Informationen zur Bewertung von Materialien zum Einbau als Rekultivierungsschicht. Hier sind vor allem die nutzbare Feldkapazität (nFK) als Maß für die Wasserspeicherung und die Luftkapazität (LK) als wichtiger Parameter für das Pflanzenwachstum zu nennen. Die Kennwerte der Wasserbindung sind abhängig von der Bodenart, der Lagerungsdichte und dem Anteil an organischer Substanz.

Eine Beimischung organischer Reststoffe erfolgt häufig, um die Wasserhaltefähigkeit der Einbaumaterialien zu verbessern, aber auch, um die organischen Reststoffe kostengünstig zu verwerten.

Kennwerte der Wasserbindung werden entweder gemessen, oder aber, z.B. für Simulationsrechnungen mit dem häufig eingesetzten Modell HELP, aus der bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5) übernommen. Voraussetzung und implizite Annahme dabei ist, dass die Werte der Kartieranleitung (Ad-hoc-AG Boden, 2005), die an natürlich gelagerten Böden ermittelt wurden, sich auf künstlich eingebaute Böden übertragen lassen.

Ziel der vorgestellten Untersuchungen war es, die Übertragbarkeit der Daten der KA5 auf künstlich verdichtete Böden und den Einfluss einer Zumi- schung von organischer Substanz zu ermitteln.

13 verschiedenen Materialien wurden jeweils in 3 Dichten untersucht (Tabelle 1). Bestimmt wurde die maximale Proctordichte nach DIN, anschließend wurden die Proben in Metallzylinder (250 cm³) auf 85, 90 und 95% der Proctordichte gepackt. Die Bestimmung der Wassergehalte bei pF 1.8 und pF 2.5 erfolgte im Unterdruckkasten und bei pF 4.2 im Drucktopf nach DIN.

Auswirkungen unterschiedlicher Einbaudichte:

Die Kartieranleitung gibt bei ansteigender Dichte eine sinkende nFK an (Abb. 1). Dies wird üblicherweise auch für Rekultivierungsschichten angenommen, z.B. in den GDA Empfehlungen: „Die Trocken- dichte beeinflusst die nutzbare Feldkapazität umge- kehrt proportional. Eine Verdichtung erfolgt ... zu Lasten von ... Mittelporen, die Wasser pflanzenver- fügbar speichern können“ (GDA, 2000).

Tabelle 1: Eigenschaften der untersuchten Materialien

Probe	Material	D _{Pr} (g/cm ³)	Boden- art	Glüh- verlust (%m)
A0	Grabenaushub+Ton	1.88	SI3	1.0
A10	Grabenaushub+Ton +10 Vol.% org. Mat.	1.77	SI3	2.3
A20	Grabenaushub+Ton +20 Vol.% org. Mat.	1.73	SI3	3.8
A40	Grabenaushub+Ton +40 Vol.% org. Mat.	1.48	SI3	7.6
B1	Löss-Sand-Gemisch	1.67	Su4	1.8
B2	Sand-Bauschutt-Gemisch	1.86	Su3	2.3
B3	Sand-Schluff-Gemisch mit org. Beimengungen	1.45	Su2	7.4
C1	Miete (nat. Bodenmat.)	1.84	Lts	2.6
C2	Miete (nat. Bodenmat.)	ca. 1.84	Lt2	2.6
C3	Miete (nat. Bodenmat.)	ca. 1.84	Lt2	1.4
C4	Miete (nat. Bodenmat.)	ca. 1.84	Lts	3.0
D1	Baggergut	1.16	Ls3	6.0
D2	Miete (nat. Bodenmat.)	1.41	SI4	4.4

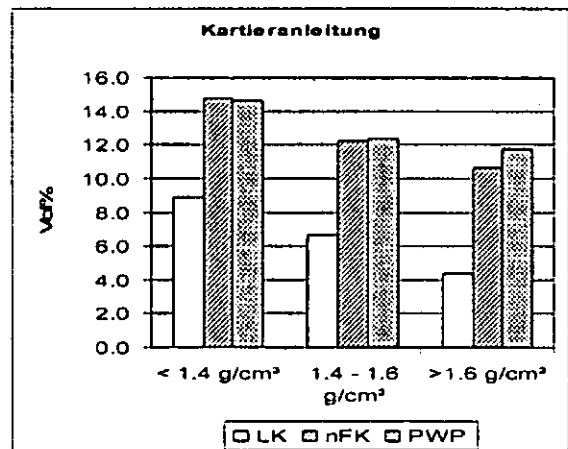


Abb. 1: Kennwerte der Wasserbindung (Mittelwert der Bodenarten SI3, Su3, Ls2, Ut3, Ts4, Lt2) gemäß KA5

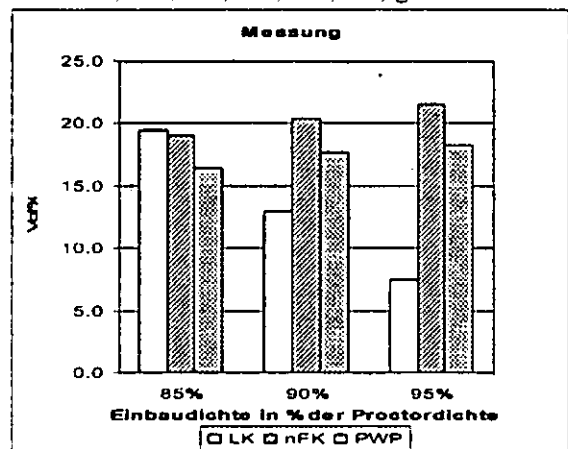


Abb. 2: Kennwerte der Wasserbindung der untersuchten Materialien (Mittelwert)

Die Ergebnisse der Messungen zeigen, dass bei steigender Einbaudichte die Luftkapazität stark abnimmt und die nFK und der Totwasseranteil (PWP) im Gegensatz zu den Angaben der Kartieranleitung zunehmen (Abb. 2).

Unter bestimmten Annahmen (keine Verdichtung der Festsubstanz des Bodens) kann aus der Porengrößen-

verteilung bei verschiedenen Dichten die prozentuale Veränderung verschiedener Porengrößen bei Verdichtung berechnet werden. Bei zunehmender Dichtlagerung natürlicher Böden geht die Reduzierung der Poren laut KA5 im Mittel der 6 Bodenarten SI3, Su3, Ls2, Ut3, Ts4 und Lt2 zu 36% zu Lasten der Grobporen, zu 38% zu Lasten der Mittelporen und zu 26% zu Lasten der Feinporen. Ergebnisse der Messungen an 13 künstlich verdichteten Materialien zeigen, dass die Reduktion der Porengruppen bei steigender Dichtlagerung fast ausschließlich zu Lasten der Grobporen (95 %), und nur zu 2% zu Lasten der Mittelporen und zu 3% zu Lasten der Feinporen geht.

Diese Unterschiede zwischen künstlicher Verdichtung (Messung) und natürlicher Dichtlagerung (KA5) weisen auf grundsätzlich andere Mechanismen der Veränderung des Porensystems hin.

Eine Reduzierung der Poren fast ausschließlich zu Lasten der Grobporen muss zu einer Erhöhung der nFK und des Totwasseranteils bei steigender Einbaudichte führen (Rechenbeispiel Abb. 3).

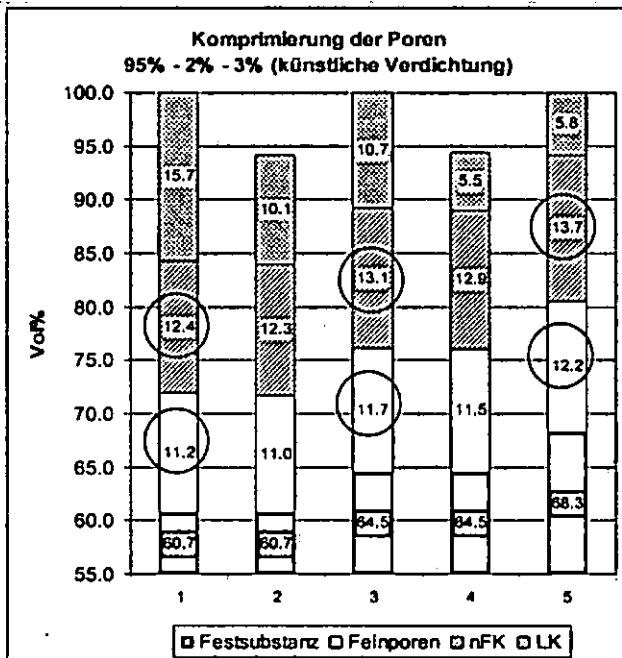


Abb. 3: Rechenbeispiel für künstliche Verdichtung von Böden, wobei die Reduzierung des Porenvolumens jeweils zu 95%, 2% und 3 % zu Lasten der Grob-, Mittel- und Feinporen geht. 1: Ausgangssituation; 2: Verdichtung mit Reduzierung der Poren; 3: Umrechnung auf 100%; 4: weitere Verdichtung; 5: Umrechnung auf 100 %

Einfluss steigender Beimischung von organischem Material: Die ansteigende nFK und die Vergrößerung des Totwasseranteils (PWP) bei steigender Zumischung organischer Substanz stimmen relativ gut überein zwischen KA5 (Abb. 4) und Messung (Abb. 5); die Beimischung steigender Mengen an organischem Material kann jedoch bei künstlich verdichteten Böden zu einer Reduzierung der Luftkapazität führen. Ergebnisse von Simulationen mit dem Modell HELP zeigen eine Reduzierung der Sickerwassermenge bei steigender Zumischung organischen Materials.

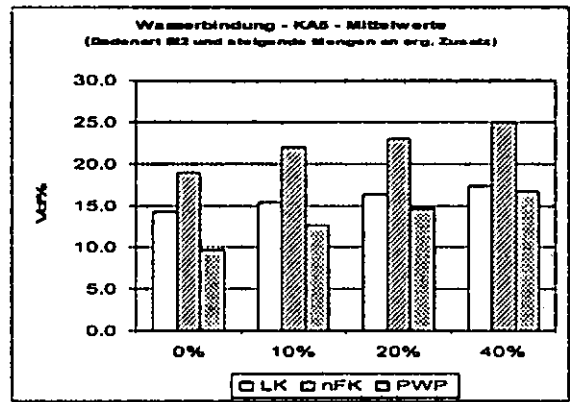


Abb. 4: Kennwerte der Wasserbindung (Bodenart SI2 mit steigendem Anteil organischen Materials gemäß KA5)

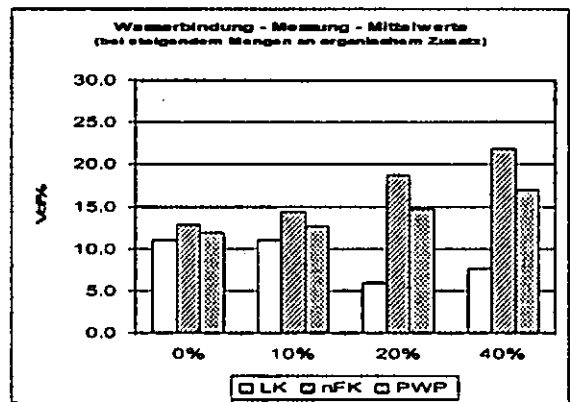


Abb. 5: Kennwerte der Wasserbindung der untersuchten Mischungen

Schlussfolgerungen: Bei steigender Einbaudichte gleicher Materialien nimmt die Luftkapazität stark ab, die nFK und der Totwasseranteil (PWP) nimmt zu. Ursache ist die fast ausschließliche Reduzierung der Grobporen. Dies steht im Widerspruch zur KA5. Die Daten der KA5 in Bezug auf Veränderungen der Kennwerte der Wasserbindung in Abhängigkeit von der Dichte können somit nicht auf Rekultivierungsschichten übertragen werden! Die Notwendigkeit eines lockeren Einbaus von Rekultivierungsschichten besteht **nicht** aus Gründen der Wasserspeicherfähigkeit sondern ausschließlich zur Gewährleistung einer hohen Luftkapazität, die für eine optimales Pflanzenwachstum und einer maximalen Transpiration notwendig ist.

Der Zusatz von organischem Material führt zu einer Erhöhung der nFK und des Totwasseranteils (PWP), die Luftkapazität nimmt zumindest bei dem untersuchten organischem Material ab. Der Zusatz von organischen Stoffen kann somit das Wasserhaltevermögen verbessern. Ein positiver Einfluss auf die Rekultivierungsschicht ist aber nur dann zu erwarten, wenn eine ausreichende Luftkapazität gewährleistet ist.

Literatur:

Ad-hoc-AG Boden, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, Hannover.
 GDA, 2000. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik: E 2-31 - Rekultivierungsschichten. Veröffentlicht in Bautechnik 9/2000

Bau von großflächigen Rekultivierungsschichten auf Deponien – Praxiserfahrungen

Michael Koser¹

1. Einleitung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Untersuchungen zur Gestaltung von Rekultivierungsschichten und Wurzelsperren“ wurden auf der Deponie Leonberg unter Beteiligung der Umweltwirtschaft GmbH in Zusammenarbeit mit einer interdisziplinär besetzten Arbeitsgruppe Testfelder (Großlysimeter) gebaut. Wesentliches Projektziel war die Untersuchung der Unterschiede im Verhalten von verdichtet und unverdichtet eingebauten Substraten.

Die Ergebnisse belegen eindeutig, dass die Vegetationsentwicklung in unverdichtet eingebauten Substraten deutlich günstiger verläuft. Es lässt sich eine tiefer reichende und intensivere Durchwurzelung feststellen. Ein verdichteter Einbau fördert dagegen die Ausbildung von Schichten, die die Wurzelausbreitung behindern. Weiterhin ist die Absickerung aus unverdichteten Böden messbar geringer als im verdichtet eingebauten Feld. Zusätzlich ist die Absickerung aus dem unverdichteten Feld gleichmäßiger als im verdichteten Feld (selteneres Auftreten von Spitzenabflüssen). Detaillierte Ergebnisse der Testfeldauswertung sind dokumentiert z. B. in der nachfolgend unter Punkt 7 genannten Literatur.

Obwohl die Vorteile eines unverdichteten Einbaus somit eindeutig dokumentiert sind, sind in der Praxis Hemmnisse festzustellen.

2. Standsicherheit

Im Regelfall besitzen die abzudichtenden Deponiekörper Böschungsbereiche mit großer Neigung. Flachbereiche stellen meist einen flächenmäßig untergeordneten Anteil dar.

Ein unverdichteter Einbau in steilen Böschungen entspricht jedoch nicht den Regeln des Erdbaus. Detaillierte Standsicherheitsuntersuchungen, die im Rahmen des vorgenannten Forschungsvorhabens durchgeführt wurden, beziehen sich auf eine homogene Bodenart. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Bodenarten und auf

Gemische unterschiedlicher Bodenarten ist noch nicht abschließend geklärt. Aus haftungsrechtlichen Gründen sind die beauftragten Standsicherheitsgutachter daher meist nicht bereit, vom aktuellen Stand der Technik abzuweichen und das Risiko evtl. Rutschungen auf sich zu nehmen. Somit besteht ein Interessenkonflikt zwischen der aus vegetationskundlicher Sicht gewünschten geringen Verdichtung und den Anforderungen an die zu gewährleistende Standsicherheit.

Aus Sicht des Autors besteht weiterer Forschungsbedarf in Bezug auf die Bestimmung der Scherparameter und die Standsicherheitsberechnung locker geschütteter Substrate. Ein unverdichteter Einbau in Böschungsbereichen wird sich erst dann großflächig durchsetzen, wenn Bemessungsregeln in Bezug auf die erforderlichen Standsicherheitsnachweise z. B. in DIN-Normen oder GDA-Empfehlungen fixiert und somit als Stand der Technik definiert sind.

3. Bodenarten

Die gewünschte Verwendung von Böden mit einer möglichst hohen nutzbaren Feldkapazität (Schluffe) ist an manchen Standorten nur eingeschränkt möglich, da die regional anstehenden Böden z. B. hohe Tonanteile enthalten. Eine Anlieferung von optimal geeigneten Bodenarten würde daher hohe Transportkosten verursachen und zusätzlich zur Ausbildung von nicht ortstypischen Standortbedingungen führen.

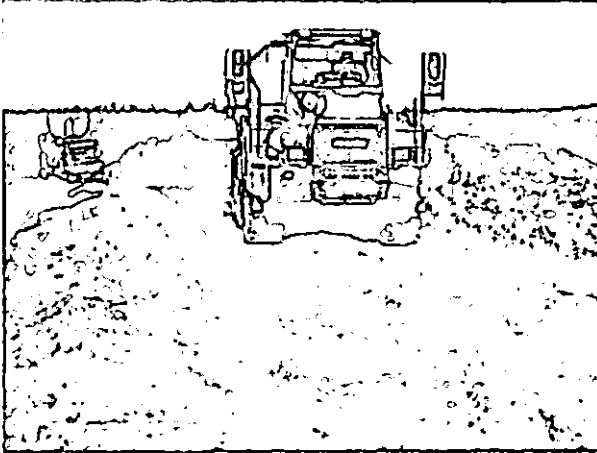
Im Regelfall wird Baugrubenaushub als Rekultivierungsboden angeliefert. Bei den großen erforderlichen Massen (häufig mehrere 100.000 m³) stammt das Material zwangsläufig aus zahlreichen unterschiedlichen Bauvorhaben. Eine Begutachtung der Böden an der Aushubstelle vor Anlieferung ist nur im Ausnahmefall möglich.

Aus Sicht des Autors ist die Beauftragung eines Bodenkundlers für die Überwachung des angelieferten Bodenmaterials während der Bauausführung erforderlich. Weiterhin erscheint die Erstellung von Standortgutachten nach Fertigstellung der Rekultivierungsschicht bzw. einzelner Abschnitte mit Untersuchung der eingebauten Bodenarten und daraus resultierender Empfehlung für die anzupflanzenden Vegetationstypen unter Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse sinnvoll.

¹ Dipl.-Ing. Michael Koser, UW Umweltwirtschaft GmbH, Friolzheimer Str. 3, 70499 Stuttgart

4. Bauausführung

Die Materialzulieferung zum Einbauort mit schwerem Gerät führt zu erheblichen lokalen Verdichtungen. Aus diesem Grund ist eine exakte Planung des Bauablaufes erforderlich. Optimal ist eine Materialzufuhr auf verdichteten Trassen, die hinterher als Unterbau von im Endzustand geplanten Wegen/Bermen verbleiben können.

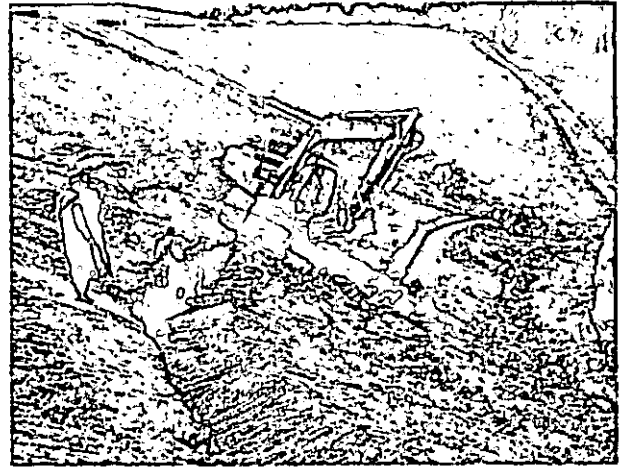


Ist dies aus bautechnischen Erfordernissen lokal nicht möglich, so muss die Materialzulieferung über definierte (gekennzeichnete) Trassen auf überhöht eingebautem Boden erfolgen. Diese Trassen sind später rückzubauen oder wieder aufzulockern.

Weiterhin ist zu beachten, dass die Vorgabe einer Mindestverdichtung in der Praxis häufig zu einer weit höheren Verdichtungen führt, da in allen anderen Bereichen des Bauwesens eine möglichst hohe Verdichtung erwünscht ist. D.h. es ist eine Sensibilisierung der Baufirma (insbesondere des Gerätefahrers vor Ort) für den gewünschten Einbau möglichst nah an den geforderten Werten erforderlich.

5. Böschungssicherung mittels Buschlagenverbau

Zur Sicherung steiler Böschungen eignet sich ein sog. Buschlagenverbau, bei dem triebfähige Weidenäste auf in den Boden eingeschnittenen Stufen ausgelegt und wieder mit Boden überschüttet werden. Nach Verfüllung der Arbeitsbermen soll der Überstand der Zweigspitzen ca. 10 bis 30 cm betragen.



Die Buschlagen zeigen ein hervorragendes Anwuchsverhalten. Bereits wenige Tage nach Einbau treiben die Äste aus, so dass eine rasche Böschungsstabilisierung in Folge Durchwurzelung gegeben ist.

6. Zusammenfassung

In steilen Böschungsbereichen ist zwingend die Standsicherheit zu gewährleisten. Ein unverdichteter Einbau von Substraten, der aus vegetationskundlicher Sicht deutliche Vorteile bietet, entspricht nicht dem Stand der Technik. Aus haftungsrechtlichen Gründen sind die beauftragten Standsicherheitsgutachter daher häufig nicht bereit, das Risiko evtl. Rutschungen zu tragen. In weniger geneigten Flächen, in denen ein unverdichteter Einbau erfolgen soll, sind unerwünschte Verdichtungen durch exakte Vorgaben im Leistungsverzeichnis, eine sorgfältige Bauablaufplanung und Bauüberwachung zu vermeiden.

7. Literatur

WATTENDORF, P.; KONOLD, W.; EHRMANN, O. [Hrsg.] (2005): Rekultivierungsschichten und Wurzelsperren, Culterra Band 41, Freiburg

WATTENDORF, P.; EHRMANN, O. (2006): Eigenschaften von Rekultivierungsschichten – Ergebnisse aus Messungen und Wasserhaushaltsmodellierungen, in: Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten 2006, Erich Schmidt Verlag, Berlin