

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der
DBG, Kommission I
Titel der Tagung: Böden verstehen –
Böden nutzen – Böden fit machen
Veranstalter: DBG, 3. - 9. September
2011, Berlin
Berichte der DBG (nicht begutachtete
online Publikation)
<http://www.dbges.de>

Modellierung der strukturellen Heterogenität in einem künstlichen Wassereinzugsgebiet und Ableitung von hydraulischen Eigenschaften mittels Pedotransferfunktionen.

Thomas Maurer¹, Robert Bartsch¹, Anna Schneider¹, Uwe Buczko², Horst H. Gerke³

Einführung / Zusammenfassung

Die Kenntnis der räumlichen Heterogenität von Einzugsgebieten ist die Voraussetzung für das Verständnis von Fließprozessen, die Anwendung hydrologischer Modelle und die Bewertung von Prozessen in Ökosystemen. Die Erstellung eines geologisch realistischen räumlichen Modells erfordert Kenntnis des spezifischen Baus eines Einzugsgebiets und der damit assoziierten Entstehungsprozesse. Geostatistische Methoden können viele räumlich komplexe Verhältnisse, wie z.B. abrupte Übergänge von Struktureinheiten, nicht richtig erfassen.

Wir präsentieren ein prozessbasiertes Strukturgenerator-Modell mit dem Ziel, exemplarisch die Strukturen und heterogenen Sedimentverteilungen eines künstlichen Einzugsgebiets möglichst realistisch abzubilden; als Basis für eine räumlich verteilte hydrologische Modellierung von Wassereinzugsgebieten.

¹ Brandenburgische Technische Universität (BTU), Forschungszentrum Landschaftsentwicklung und Bergbaulandschaften, Cottbus.

² Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, Rostock.

³ Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Institut für Bodenlandschaftsforschung, Müncheberg.



Abbildung 1: Ein Absetzer schüttet den Westteil des künstlichen Einzugsgebiets „Hühnerwasser“ (Februar 2009). Das Untersuchungsgebiet befindet sich in der Bergbaufolgelandschaft des Tagebaus Welzow-Süd, ca. 20 km südlich von Cottbus (Foto: SFB/TRR 38).

Die initiale Sedimentverteilung im künstlichen Einzugsgebiet „Hühnerwasser“ (Gerwin et al. 2009) wird primär von bergbautechnischen Schüttprozessen (Abb. 1) und dem geologischen Ausgangssubstrat an der Abbauseite bestimmt, welches im Tagebau Welzow-Süd relativ heterogen ist. Die relevanten geologischen Einheiten umfassen das Pleistozän oberhalb der kohleführenden miozänen Sedimente. Ost- und Westteil des EZG wurden getrennt aus diesen Sedimenten geschüttet und haben folglich leicht unterschiedliche Zusammensetzungen. Von welcher Position der Abbaustrosse das Material entnommen wurde ist nicht dokumentiert, daher wurden Szenarien modelliert, in denen unterschiedliche, möglichst plausible Abbaupositionen angenommen wurden. Ziel war eine iterative Annäherung an die initial gemessenen Korngrößenverteilungen. In einem weiteren Schritt wurden an einem räumlichen Modell der geschütteten Bereiche verschiedene Pedotransferfunktionen zur Ableitung hydraulischer Parameter angewendet.

Schlüsselworte: 3D Bodenmodell, initiale Sedimentverteilung, Bodenhydrologie

Material und Methoden - Simulation der Abbauseite

Für die modellhafte Darstellung der Abbauseite wurden die von Vattenfall Europe Mining (VEM) zur Verfügung gestellten geologischen Informationen (Strossenprofile) digitalisiert. Außerdem

wurden die Informationen über den Betriebsmodus (Blockverhieb, Drebenstedt 2008) des in Welzow-Süd eingesetzten Vorschnittbaggers SRs 6300 in den Strukturgenerator übertragen: Entlang der Blocktiefe (ca. 80 m) werden einzelne Portionen (Chargen) abgebaut, das Material wird dabei homogenisiert (Abb. 2). Mehrere Schnitte ergeben eine Scheibe (ca. 60 m Tiefe). Nach Abbau einer Scheibe wird die darunterliegende Terrasse angefahren. Die Masse einer Charge wird anhand der VEM-Körnungsdaten und der näherungsweise berechneten Lagerungsdichten des Ausgangsmaterials berechnet.

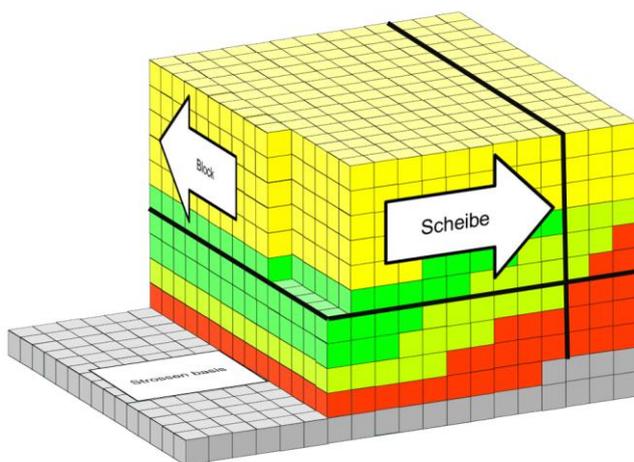


Abbildung 2: Simulation der Abbauprozesse am geologischen Modell der Abbauseite. Die Farben stehen für (hier nicht näher spezifizierte) geologische Einheiten. Eine Zelle repräsentiert ein Volumen von 1 m³.

Definition von 2D Schüttkegeln und deren 3D Konfiguration

Als Basis-Strukturelemente im Raummodell wurden zunächst 2D-Querschnitte der großtechnisch aufgetragenen Schüttrippen generiert. Der Strukturgenerator berechnet hierbei die korrekten Querschnittsgeometrien. Die Querschnitte setzen sich aus Rasterpunkten mit der Auflösung von 1 cm² zusammen. Jeder Punkt - abhängig von der Distanz zum nächsten 2D-Querschnitt - repräsentiert dabei ein bestimmtes Volumen.

Im nächsten Schritt werden die Rasterpunkte (= Volumen) mit dem definierten Material der aktuellen Charge ‚gefüllt‘, wobei Segregations- und Kompaktionsprozesse berücksichtigt werden. Zusätzlich wird eine zentrale Verdich-

tungszone als Folge der Partikeleinschläge am Aufprallpunkt angenommen. Jede Rasterzelle enthält danach Informationen zu gravimetrischen Gehalten von Skelett, Grob-, Mittel- und Feinsand, Schluff und Ton sowie zur Lagerungsdichte.

Durch Aneinanderreihung der 2D-Querschnitte entlang der digitalisierten Absetzertrajektorien wird eine relativ hochaufgelöste 3D-Konstellation der 2D-Strukturelemente erzeugt (Abb. 3). Dabei werden die Querschnittselemente rechtwinklig zu den Trajektorien ausgerichtet und die Rasterpunkte mit geographischen Koordinaten versehen. Die generierten Strukturdaten werden in einem letzten Schritt entsprechend der gewählten räumlichen Auflösung aggregiert und in einer ASCII-Datei gespeichert.

Konstruktion in GOCAD

Aus den begrenzenden Flächen des künstlichen Einzugsgebiets (DGM der initialen Oberfläche, DGM der Tondichtschicht) wurde mit der GOCAD-Software (Paradigm Ltd., George Town, CI) ein Volumenkörper konstruiert, der die gesamte durchlässige Sedimentschicht repräsentiert. Die Strukturgenerator-Daten werden importiert und in dem 3D-gerasterten Volumenkörper (Zelldimensionen 1 m * 1 m * 0,2 m) interpoliert.

Evaluation von Pedotransferfunktionen

An einer Realisation des Strukturmodells wurden zwei verschiedene Pedotransferfunktionen zur Ableitung der Retentionseigenschaften angewandt. Dafür wurden die Ansätze von Arya & Paris (1981) und von Vereecken et al. (1989) gewählt.

Die Funktion von Arya & Paris (1981) stellt einen physikoempirischen Ansatz dar. Er basiert auf der Ähnlichkeit der Korngrößenverteilung und der Wasserretentionskurve. Buczko und Gerke (2005) zeigten die Anwendbarkeit mit Einschränkungen bereits auf einem anderen Kippenstandort. Die Funktion von Vereecken et al. (1989) basiert auf Regression der Parameter der Wasserretentionsfunktion nach van Genuchten (1980). Dieser Ansatz erzielte bei Evaluationen, z.B. Tietje & Tapkenhinrichs (1993) auf vorwiegend sandigen Standorten bereits gute Ergebnisse.

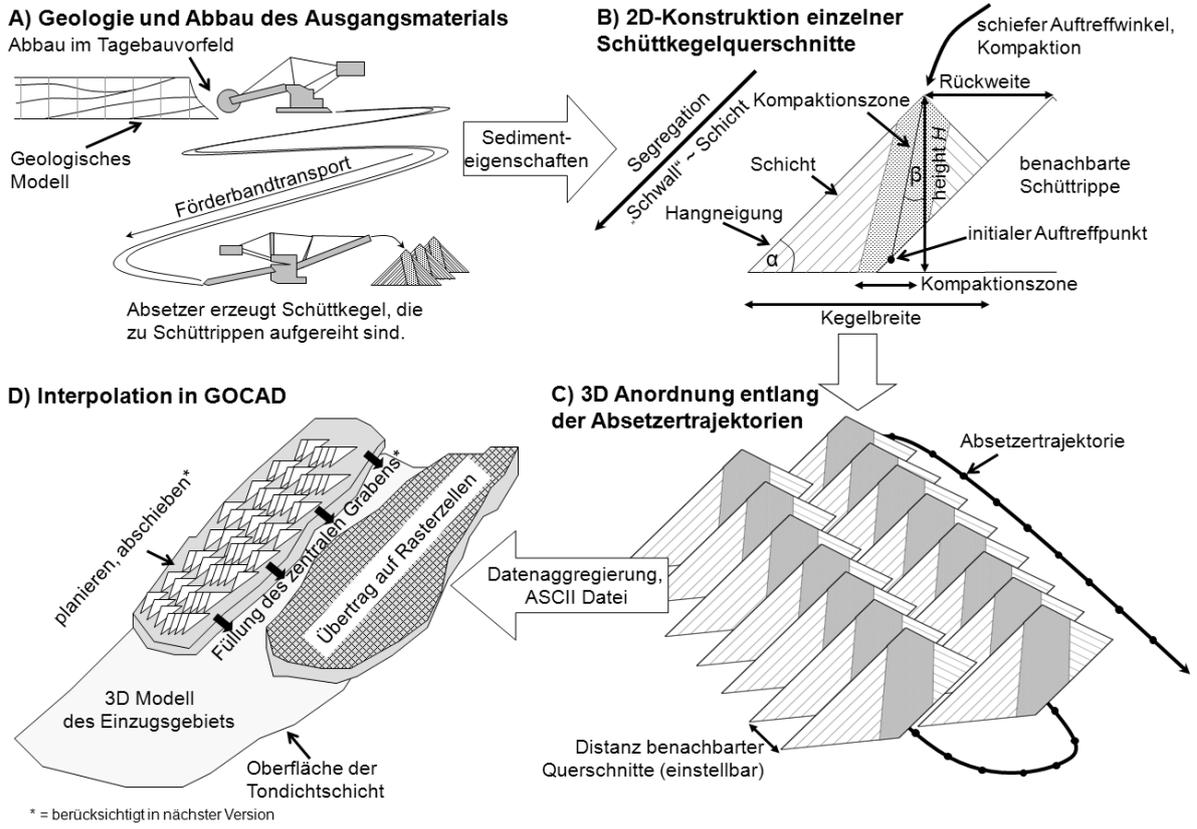


Abbildung 3: Konzeptmodell des Strukturgenerators: A) Modell der geologischen Verhältnisse an der Abbauseite. B) Relevante Parameter und Prozesse, die bei der Konstruktion der 2D Schüttkegelquerschnitte berücksichtigt werden. C) 3D-Konfiguration der Querschnitte. D) Einbindung der erzeugten Modelldaten in das 3D-Raster Modell des Einzugsgebiets, Einbeziehung nachfolgender Schritte (z.B. Abschleiben und Verdichten durch Bulldozer – Realisierung in zukünftiger Version.) – Abbildung verändert aus Maurer et al. 2011.

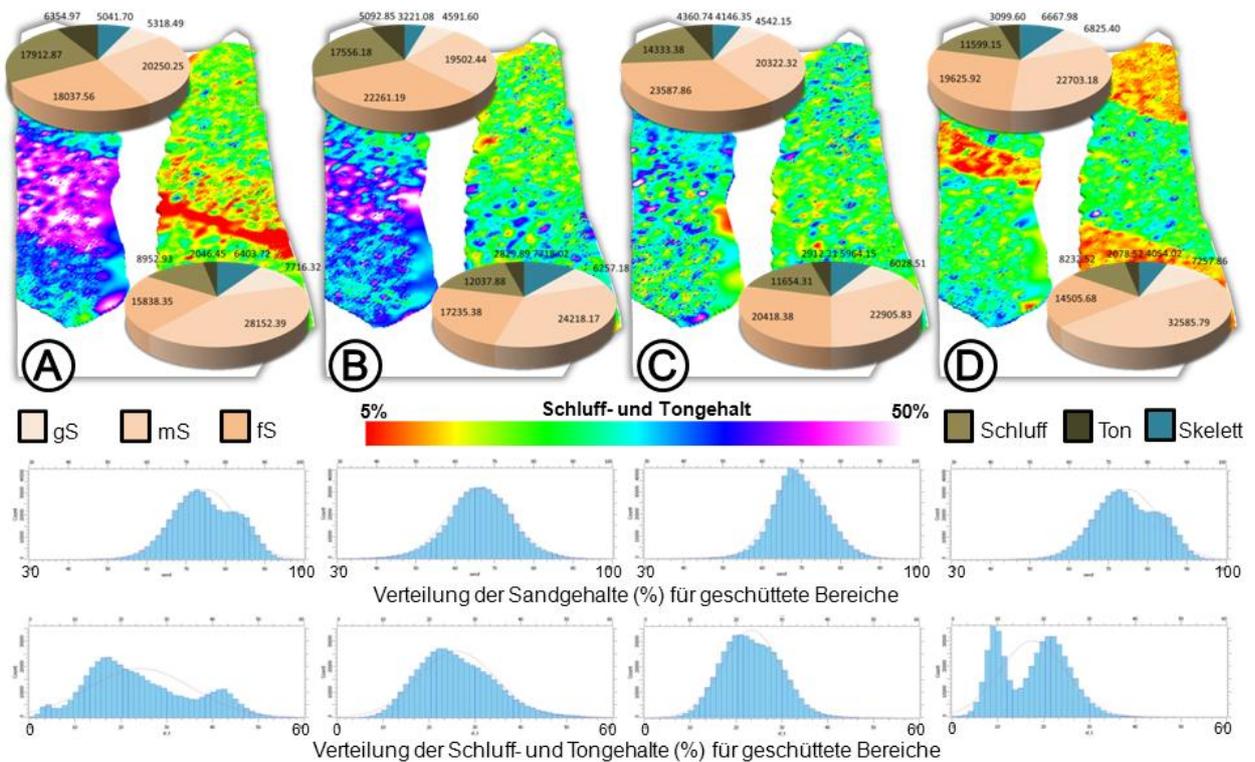


Abbildung 4: Ergebnisse für 4 Szenarien (A-D), die jeweils unterschiedliche potentielle Abbaupositionen – und damit unterschiedliche Zusammensetzungen des Ausgangssubstrats – annehmen. Abgebildet ist der kombinierten Schluff- und Tongehalt für die geschütteten Bereiche des Einzugsgebiets (Ost- und Westteil). Außerdem angegeben sind Massenbilanzen (Tortendiagramme) und Partikelverteilungen für die gesamte Sandfraktion sowie für Schluff und Ton kombiniert.

Ergebnisse

Es wurden vier Szenarien der Sedimentverteilung berechnet, wobei jeweils unterschiedliche Abbaupositionen postuliert wurden (Abb. 4). Ein Vergleich der Szenarien mit realen Messwerten zeigt für den Ostteil insgesamt bessere Übereinstimmungen als für den Westteil (Tab. 1). Die Anwendung der Pedotransferfunktionen ergab, dass grundsätzlich die Berechnung der Retentionseigenschaften mit beiden Funktionen ähnliche Ergebnisse aufweist. Die Funktion nach Vereecken et al. (1989) zeigt dabei aber für die nutzbare Feldkapazität eine deutlich geringere Spannweite (Abb.5) als die Funktion nach Arya & Paris (1981).

Tabelle 1: Simulierte Partikelverteilungen, jeweils für den Ost- und Westteil des EZG, im Vergleich mit den unmittelbar nach der Schüttung gemessenen Werten (20 m * 20 m Rasterbeprobung)

Szenario	A	B	C	D	Mess	
Ostteil	Skelett	9,3	11,0	8,5	5,9	10,5
	gS	11,2	8,9	8,6	10,6	9,9
	mS	40,9	34,5	32,8	47,6	43,1
	fS	23,0	24,6	29,3	21,0	24,3
	Schluff	12,8	17,1	16,6	11,9	7,3
	Ton	2,9	4,0	4,2	2,8	5,0
Westteil	Skelett	6,9	4,5	5,8	9,4	13,1
	gS	7,3	6,4	6,3	9,7	13,0
	mS	27,8	27,0	28,5	32,5	39,5
	fS	24,7	30,8	33,2	27,7	18,1
	Schluff	24,5	24,3	20,0	16,3	9,1
	Ton	8,7	7,0	6,0	4,3	7,1

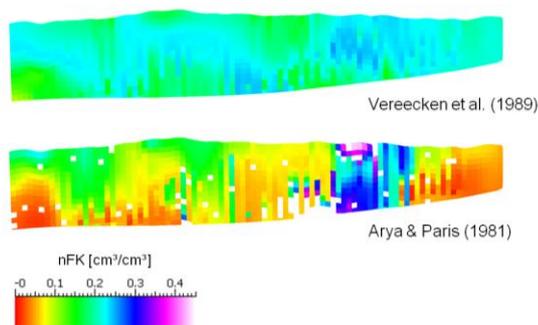


Abbildung 5: Ergebnisse der Anwendung von Pedotransferfunktionen, dargestellt an einem Profilschnitt durch den Ostteil des Hühnerwasser-EZG. Der Schnitt ist 5fach überhöht, die maximale Profilhöhe beträgt 3 m.

Fazit

Die Kombination eines prozess-basierten Strukturgenerators mit der Funktionalität

eines 3D-GIS (GOCAD) ermöglicht die Erstellung, Visualisierung und Analyse von Szenarien der internen räumlichen Verteilung der bodenphysikalischen Eigenschaften in einem künstlich geschütteten Wassereinzugsgebiet. Durch Anwendung von Pedotransferfunktionen auf die erstellten räumlichen Modelle können relativ hochaufgelöste 3D-räumliche Verteilungen der hydraulischen Modellparameter generiert werden, mit denen die hydrologische Modellierungen des Einzugsgebiets verbessert werden kann.

Danksagung

Diese Arbeit ist Teil des Sonderforschungsbereichs Transregio 38 (SFB/TRR 38, www.tu-cottbus.de/sfb_trr/). Der SFB/TRR 38 wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG, Bonn) und dem Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg gefördert. Wir danken der Vattenfall Europe Mining AG für die Bereitstellung des Untersuchungsgebiets sowie für die Überlassung von Daten. Vielen Dank auch an die Mitarbeiter der anderen Teilprojekte des SFB/TRR 38 für die Überlassung von Daten, besonders an die Mitarbeiter des zentralen Monitoringprojekts Z1.

Literatur

- Arya, L.M.; Paris, J.F.** (1981): A physicoempirical model to predict the soil-moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. *Soil Science of America Journal*, 45(6): 1023-1030.
- Buczko, U., Gerke, H.H.** (2005): Evaluation of the Arya-Paris Model for Estimating Water Retention Characteristics of Lignitic Mine Soils, *Soil Science*, 170(7): 483-494
- Drebenstedt, C.** (2008): Betriebsmittel, Betriebstechnik und Betriebsorganisation im Tagebau. In: Niemann-Delius, C.; Stoll, R.D.; Drebenstedt, C.; Müllensiefen, K. (Hrsg.): *Der Braunkohlentagebau – Bedeutung, Planung, Betrieb, Technik, Umwelt*. Springer, Berlin.
- Gerwin, W.; Schaaf, W.; Biemelt, D.; Fischer, A.; Winter, S.; Hüttl, R.F.** (2009): The artificial catchment „Chicken Creek“ (Lusatia, Germany) – A landscape laboratory for interdisciplinary studies of initial ecosystem development. *Ecological Engineering*, 35: 1786-1796.
- Maurer, T., Schneider, A., Gerke, H.H.** (2011): A structure generator for modelling the initial sediment distribution of an artificial hydrologic catchment. *Hydrology and Earth System Sciences Discussion*, 8: 4641-4699.
- Tietje, O., Tapkenhinrichs, M.** (1993): Evaluation of Pedo-Transfer Functions, *Soil Science Society of America Journal*, 57(4): 1088-1095.
- Vereecken, H.; Maes, J.; Feyen, J.; Darius, P.** (1989): Estimating the soil-moisture retention characteristic from texture, bulk density, and carbon content. *Soil Science*, 148(6): 389-403.