

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

3D-räumliche Beschreibung initialer Sedimentumverteilung in einem künstlichen Einzugsgebiet

Anna Schneider¹, Thomas Maurer¹ und Horst H. Gerke²

Einleitung

Die räumliche Verteilung des Ausgangsmaterials stellt neben dessen Zusammensetzung eine zentrale Anfangsbedingung für die Entwicklung von Böden dar. In sich neu entwickelnden Systemen können allerdings Prozesse der Sedimentumlagerung innerhalb kurzer Zeiträume eine wesentliche Veränderung dieser Bedingungen bewirken. Erosion und Sedimentation führen so zur räumlichen Differenzierung einer (Boden-)Landschaft in Regionen verschiedener Ausgangsbedingungen und Entwicklungsalter. Grundlage für die Untersuchung von Boden-Landschaftsentwicklung ist es daher, die initiale Sedimentverteilung unter Beachtung erster Umverteilungsprozesse raumzeitlich zu quantifizieren. Ziel dieser Studie war es, in einem dreidimensionalen (3D) Modell den initialen Sedimentkörper eines künstlichen Wassereinzugsgebiets sowie seine ersten Entwicklungsphasen zu beschreiben und zu bilanzieren. Im Folgenden werden die dafür entwickelte Methodik sowie erste Ergebnisse vorgestellt.

Schlüsselwörter

Boden-Landschaftsentwicklung, 3D-Modell, Sedimentumlagerung

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

² Institut für Bodenlandschaftsforschung, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. Müncheberg
anna.schneider@tu-cottbus.de

Untersuchungsgebiet und Methoden

Das ca. 6 ha große Wassereinzugsgebiet „Hühnerwasser“ ist in der Rekultivierungslandschaft des Braunkohletagebauebiets „Welzow Süd“ (südlich von Cottbus) künstlich als schwach geneigter Hang angelegt. Der Sedimentkörper besteht aus quartärem, überwiegend sandigem Substrat in einer Mächtigkeit von 2 – 3 m. Nach unten hin wird das Einzugsgebiet durch eine 2 - 3 m mächtige Tonschicht abgegrenzt. Abfluss sammelt sich in einem durch eine Mulde in der Tonschicht angelegten Teich. Seit seiner Fertigstellung im September 2005 ist das Einzugsgebiet der un gelenkten Sukzession überlassen. Bereits in den ersten Jahren der Entwicklung bildete sich ein ausgedehntes Netz von Erosionsrinnen und zugehörigen Schwemmfächern (Gerwin *et al.* 2009).

Der initiale Sedimentkörper ist in einem 3D-Volumenmodell beschrieben (Schneider *et al.* 2011), die interne Struktur der Sediment-Festphase wurde dabei auf Basis der Werte einer Rasterbeprobung (Gerwin *et al.* 2009) interpoliert. In einer Kombination von zwei Ansätzen wurde dieses 3D-Modell so ergänzt, dass der Aufbau des Sedimentkörpers nach ca. vier Jahren Entwicklung dargestellt werden kann:

In einem ersten Schritt wurde auf Basis von Digitalen Geländemodellen (DGMs) die Geometrie des initialen Sedimentkörpers sowie weiterer, neu abgelagerte Sedimentschichten in einem 3D-Volumenmodell wiedergegeben. Das Modell beschreibt den Entwicklungszustand zum Ende des Untersuchungszeitraums (März 2010), es bildet also Schichten von abgelagertem und in späteren Entwicklungsphasen nicht wieder abgetragenen Material ab. Die Konstruktion erfolgte mithilfe der Software GOCAD Suite 2.5.2 (Paradigm Ltd., George Town, Cayman Islands). Die Datenbasis bildeten ein DGM der Tonschicht (basierend auf Photogrammetrie und Bohrungen) sowie Zeitreihen von DGMs, die die sich entwickelnde Geländeoberfläche zu neun Zeitpunkten zwischen November 2005 und März 2010 abbilden. Die Höhendaten wurden in der Markscheidereiabteilung der Vattenfall Europe Mining AG mittels Photogrammetrie aus Luftbildern abgeleitet, die Höhengenuau-

igkeit beträgt $\pm 0,147$ m (vgl. Schneider *et al.* 2011), der Abstand der Datenpunkte 1 m. Die Zeitpunkte der Aufnahme der Höhenda- ten definieren die Grenzen der Sediment- schichten im Volumenkörper. Die Grenzflä- chen zwischen diesen Schichten wurden aus den DGMs abgeleitet: Sofern Daten- punkte in DGMs früherer Entwicklungsstu- fen (z.B. t_1 , t_2 in Abbildung 1) höher liegen als im letzten Modell der Zeitreihe (z.B. t_3 in Abbildung 1), wird ihre Höhe auf die des jüngsten DGMs angepasst. Die resultieren- den Flächen (z.B. t_1^* , t_2^* in Abbildung 1) bilden die Grenzflächen im Volumenmodell.

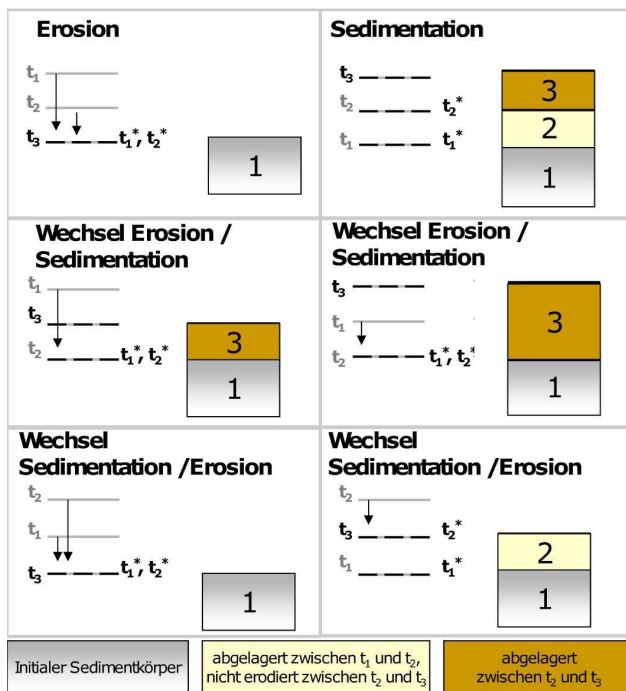


Abbildung 1: Schematische Darstellung zur Konstruktion des Volumenmodells am Beispiel von drei Oberflächenaltern ($t_1 - t_3$): Konstruktion der Grenzflächen (jeweils links) und resultierender Aufbau des Volumenmodells

Auf Basis der so bearbeiteten DGMs wurde in GOCAD die Schichtabfolge des Sedi- mentkörpers definiert und ein Volumenmo- dell erstellt, das in Zellen von 1 m * 1 m Grundfläche unterteilt ist. In vertikaler Rich- tung wurde der initiale Sedimentkörper in Zellen von maximal 0.2 m Höhe unterteilt, die Höhe der Zellen in neu abgelagerten Schichten variiert entsprechend der Schichtdicke.

Im zweiten Schritt wurde zur Generierung der internen Struktur der neu abgelagerten Bereiche eine Simulation der Sedimentum- verteilung mit dem Landschaftsentwick-

lungsmodell CAESAR (Version 6.2e, Coulthard *et al.* 2002) durchgeführt. Die Simulation umfasst den Zeitraum von 26.11.2005 (Aufnahmedatum des ersten DGMs der Zeitreihe) bis 31.12.2009 (Ende der zum Bearbeitungszeitpunkt verfügbaren Niederschlagsdaten). Als Eingangsdaten dienten das DGM der Geländeoberfläche im November 2005, das DGM der Tonschicht, sowie eine aus dem Volumenmodell des initialen Sedimentkörpers abgeleitete Be- schreibung der Korngrößenverteilung in insgesamt 11 Schichten von 0.2 m Mächtigkeit. Die horizontale Auflösung aller Ein- gangsdatensätze beträgt 1 m * 1 m; der Bereich des Teichs wurde aus den Model- len entfernt. Zusätzlich wurde die im Ein- zugsgebiet gemessene Niederschlagsver- teilung (Biemelt und Nenov 2009) verwen- det. Um die aus der Simulation resultieren- de 2D-räumliche Verteilung von neun Korn- größenfraktionen auf das Volumenmodell übertragen zu können, wurde zu den aus- gegebenen Datenpunkten in GOCAD Hö- heninformation auf Basis des letzten DGMs der Zeitreihe und der Mächtigkeit der Sedi- mentschichten hinzugefügt.

In Kombination beider Ansätze wurden schließlich den Zellen der im Volumenmo- dell dargestellten Sedimentschichten Infor- mationen zur Korngrößenverteilung zuge- wiesen. In den als initialer Sedimentkörper klassifizierten Bereichen erfolgte dies auf Basis von Ergebnissen der Rasterbepro- bung des initialen Sedimentkörpers mittels Kriging (vgl. Schneider *et al.* 2011). In den als neu abgelagert klassifizierten Bereichen soll die aus der Simulation mit CAESAR resultierende Information auf die Zellen des Modells übertragen werden.

Erste Ergebnisse

Das 3D-räumliche Modell der Geometrie des entwickelten Sedimentkörpers (Abb. 2) gibt die Ablagerung mehrerer Sedi- mentschichten im Bereich der Schwemmfächer wieder. Auch im übrigen Einzugsgebiet zeigt das Modell neu abgelagertes Material an. Die Gesamtvolumina der einzelnen Se- dimentschichten (Tabelle 1) sind für die in frühen Entwicklungsphasen (bis ca. 2007) abgelagerten Schichten besonders hoch.

Auch für die in den letzten im Modell enthaltenen Ablagerungsphasen wurden hohe Gesamtvolumina ermittelt, was evtl. auf die Bedeutung von wechselnder Erosions-/ Sedimentationsdynamik und Wiederabtrag von in früheren Phasen abgelagertem Material hinweist. In der Interpretation der Ergebnisse ist die im Vergleich zur beobachteten Höhenänderung von meist nur wenigen cm relativ hohe Unsicherheit der DGMs zu beachten. Eine detaillierte Analyse der DGMs (Schneider *et al.* 2011, submitted) zeigte, dass Erosion und Sedimentation nur in den Haupterosionsrinnen und den zentralen Schwemmfächerbereichen zuverlässig rekonstruiert werden können.

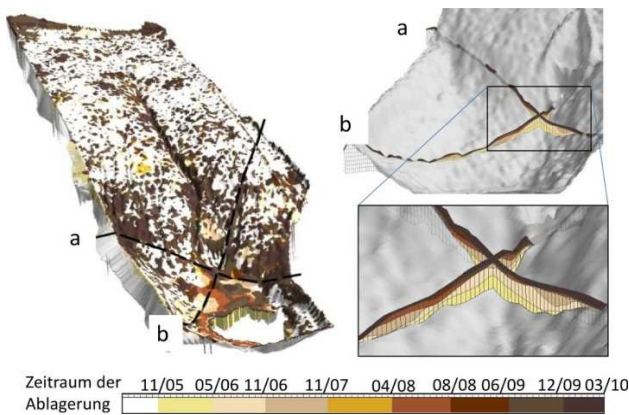


Abb. 2: Gesamtansicht des Volumenmodells zur Sedimentschichtung (links) und Schnitte durch den Bereich der Schwemmfächer (rechts).

Tabelle 1: Volumen des veränderten initialen Sedimentkörpers und der neu abgelagerten Sedimentschichten im 3D-Modell

Zeitraum der Ablagerung	bis 11/05 (technogen)	11/05 - 05/06	05/06 - 11/06	11/06 - 11/07
Volumen im Modell [m ³]	113443	285	314*	228*
Zeitraum der Ablagerung	11/07 - 04/08	04/08 - 08/08	08/08 - 06/09	06/09 - 12/09
Volumen im Modell [m ³]	51	143	208	719**
				347**

* ca. 9500 m² im Norden des EZG nicht erfasst (DEM 11/06 unvollständig)

** ca. 1700 m² im Norden des EZG nicht erfasst (Änderung der EZG-Abgrenzung)

Ein Vergleich der aus der Simulation mit CAESAR über ca. vier Jahre resultierenden Höhenänderung und der aus DGMs abgeleiteten Höhenänderung für November 2005 bis Dezember 2009 (Abb. 3) zeigt, dass die simulierte Erosionsintensität deutlich gerin-

ger als die in den DGMs angezeigte ist. Charakteristische räumliche Muster der Oberflächendynamik werden allerdings wiedergegeben.

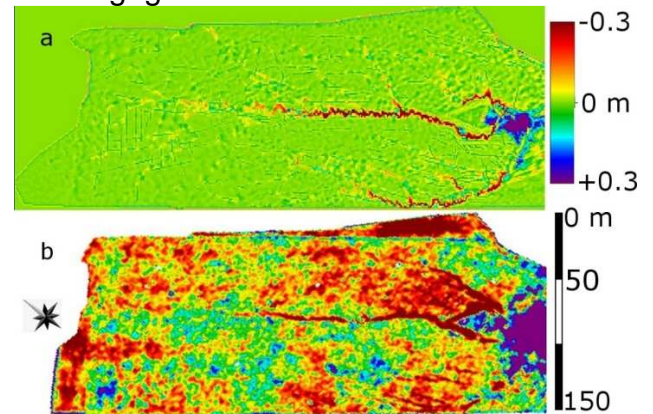


Abb. 3: Höhenänderung als Ergebnis der Simulation mit CAESAR (a) und abgeleitet aus DGMs (b). Gelbe bis rote Farbtöne zeigen Erosion, blaue bis violette Sedimentation.

Die Übertragung der generierten Information zur Korngrößenverteilung war im Bereich der Schwemmfächer auf Basis der räumlichen Lage möglich, da die simulierte Ausdehnung des Bereichs stark veränderter Sedimentzusammensetzung ausreichend mit der beobachteten Ausdehnung der Schwemmfächer im Einzugsgebiet übereinstimmt. Als Ergebnis der Übertragung ist im 3D-Volumenmodell deutlich die im Vergleich zum initialen Sedimentkörper andersartige Internstruktur der neu abgelagerten Bereiche erkennbar (Abb. 4).

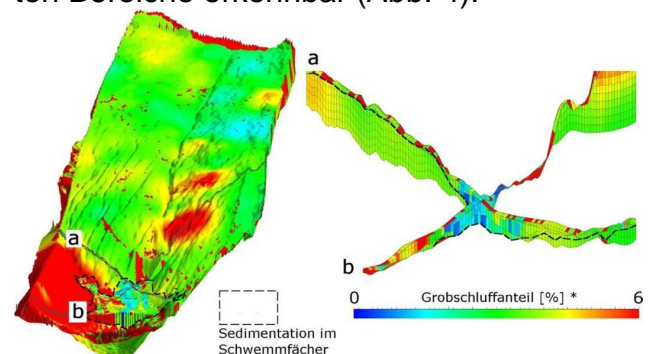


Abb. 4: Verteilung des Grobschluffanteils als Ergebnis von Interpolation und Simulation in einer Gesamtansicht des Volumenmodells (links) und in Schnitten (a, b) durch den Bereich der Schwemmfächer (rechts).

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass Ausdehnung und Sedimentzusammensetzung verschiedener (technogener und natürlich entstandener) Sedimentschichten in einem 3D-Modell räumlich beschrieben werden können. In Bereichen mit starker und räumlich

konzentrierter Sedimentation konnten Ergebnisse der Simulation mit einem Landschaftsentwicklungsmodell auf das Volumenmodell übertragen werden. Entlang von Erosionsrillen und im Hangbereich war eine Übertragung auf Basis der räumlichen Lage nicht möglich. Hier ist eine detaillierte Analyse charakteristischer räumlicher Muster von Erosion erforderlich. Die Darstellung charakteristischer Internstrukturen in einem dreidimensionalen Modell kann z.B. zur Ermittlung charakteristischer hydraulischer Eigenschaften unterschiedlicher Regionen des Untersuchungsgebiets verwendet werden. Weitere mögliche Schritte zur Verbesserung des vorgestellten Ansatzes sind unter anderem:

- die Ergänzung des Simulationszeitraumes in CAESAR bis zum Ende des durch die DGMs erfassten Zeitraums
- die Anpassung der Modellparameter zur verbesserten Simulation der Erosionsintensität, besonders in Bezug auf Erosionsprozesse in Zwischenrillbereichen
- die Anpassung der Schichtdicke zur verbesserten Darstellung von Feinstratifizierung
- die Verwendung einer mittels „Strukturgenerator“ simulierten 3D-räumlichen Korngrößenverteilung (Maurer *et al.* 2011), durch die die initiale Substrateterogenität und technogene Internstruktur besser berücksichtigt werden können.

Dank

Diese Arbeit ist Teil des Sonderforschungsbereich 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 Höhen- und Luftbildbefliegungen. Vielen Dank an Detlef Biemelt und Rossen Nenov (Moni-

toringprojekt Z1, SFB/TRR 38, BTU Cottbus) und an Tom Coulthard (University of Hull) für hilfreiche Hinweise zur Verwendung von CAESAR!

Literatur

- Biemelt, D. und Nenov, R., 2009. Meteorology. In: Schaaf, W., Biemelt, D. und Hüttl, R.F. (Hrsg): Initial development of the artificial catchment 'Chicken Creek' – monitoring program and survey 2005 – 2008, S. 9-19.
- Coulthard, T.J., Macklin, M.G. und Kirkby, M.J., 2002. A cellular model of Holocene upland river basin and alluvial fan evolution. *Earth Surface Processes and Landforms* 27(3), S. 269 – 288.
- Gerwin, W., Schaaf, W., Biemelt, D., Fischer, A., Winter, S. und Hüttl, R.F., 2009. The artificial catchment "Chicken Creek" (Lusatia, Germany) - A landscape laboratory for interdisciplinary studies of initial ecosystem development. *Ecological Engineering* 35(12). S. 1786-1796.
- Maurer, T., Schneider, A. und Gerke, H.H., 2011. A structure generator for modeling the initial sediment distribution of an artificial hydrologic catchment. *Hydrological Earth Syst. Sci. Discuss.* 8, S. 4641-4699.
- Schneider, A., Gerke, H.H. und Maurer, T., 2011. 3D initial sediment distribution and quantification of mass balances of an artificially-created hydrological catchment based on DEMs from aerial photographs using GOCAD. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 36(1-4), S. 87-100.
- Schneider, A., Gerke, H.H., Maurer, T., Seifert, S., Nenov, R. und Hüttl, R.F., 2011. Evaluation of remotely-sensed DEMs and modification based on plausibility rules and initial sediment budgets of an artificially-created catchment. submitted to *Earth Surface Processes and Landforms*.