

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG,
Kommission V,
Titel der Tagung: Böden verstehen, Böden
nutzen, Böden fit machen
(nicht begutachtete Online-Publikation)

GIS-Modellierung periglazial beeinflusster Verwitterungsdecken in Mittelgebirgen

Michael Bock, Rainer Baritz, Andreas Günther,
Andre Ringeler, Ernst Gehrt, Jürgen Böhner

1. Zusammenfassung

Das vorgestellte GIS Werkzeug ist die Umsetzung eines Landschaftsentwicklungsmodells (LEM). Dieses LEM soll der Vorhersage des Ausgangsmaterials der Bodenbildung in der Fläche dienen. Im Besonderen ist die prozessorientierte Modellierung periglaziärer Lagen (AD HOC AG BODEN 2005), in der deutschsprachigen Literatur auch als Deckschichten bekannt (vgl. ALTERMANN et al 2008), erklärtes Ziel der Entwicklung. Das LEM wurde speziell für die Anwendung im Bereich des eiszeitlich unvergletscherten mitteleuropäischen Berglands (Festgesteinsbereich) entwickelt. Der Begriff Regolith wird hier nach SCOTT&PAIN (2008, S.1) als die Schicht zwischen „frischem Festgestein und frischer Luft verstanden“. Diese enthält somit sowohl in situ verwittertes Material als auch Beimengungen von Fremdmaterial aus Transportgeschehen.

Im Sinne eines deduktiven Modells (BÖHNER 2006) versucht das hier vorgestellte LEM prozessorientiert Regolitheigenschaften zunächst für einen speziellen Naturraum zu modellieren.

Daten zum Regolith sind nur lückenhaft vorhanden: zwischen flächenhaften Daten zu Böden, die meist als analoge oder digitale Bodentypenkarten vorliegen, und flächenhaften Daten zur Geologie der Festgesteine, als Geologische Karten, klafft eine Datenlücke. In dieser Lücke befindet sich der Regolith bzw. befinden sich die Verwitterungsdecken aus autochthonem und allochthonem Lockermaterial.

Universität Hamburg
Institut für Geographie
Bundesstraße 55
20146 Hamburg

Die holozäne Bodenentwicklung allerdings findet jedoch auf genau diesem Material statt und adaptiert somit die Materialeigenschaften des Regoliths: beispielsweise sind Korngrößenzusammensetzung, Lagerungsdichte, Mineralzusammensetzung und Porenvolumen direkt abhängig von den physikalischen Eigenschaften des Ausgangsmaterials. Durch Prozesse der Bodenbildung werden diese Eigenschaften im Lauf der weiteren Entwicklung zwar verändert, jedoch ist das Ausgangsmaterial für die Böden stark prägend und paust sich lange Zeit in den Eigenschaften der Böden durch. Dazu kommt, dass in vielen Fällen der Regolith wesentlich mächtiger als der sich darauf befindende Boden ist.

Zur Umsetzung des LEM wurde ein vorhandenes Landschaftsentwicklungsmodell (GOLEM (Geomorphic/Orogenic Landscape Evolution Model) von TUCKER & SLINGERLAND 1997) mit Genehmigung des Autors in die Umgebung des open-source-GIS SAGA (CONRAD 2007) überführt, in wesentlichen Teilen überarbeitet und erweitert.

Schlüsselworte: Landschaftsmodell, Ausgangssubstrat, Modellierung Verwitterung

2. Hintergrund

Das LEM ist in Form eines Moduls für das freie Open source GIS SAGA (www.sagagis.org) realisiert worden. Bei diesem Modul werden ausgewählte abiotische landschaftsbildende Prozesse dynamisch entlang einer Zeitleiste modelliert.

Das Ziel für das SAGA-Modul LEM soll die lithologisch differenzierte Modellierung von Verwitterung, Abtrag, Transport und Ablagerung einer Lockermaterialdecke über dem anstehenden Festgestein sein. Diese Modellierung kann über frei gewählte Zeiträume in der jüngeren erdgeschichtlichen Vergangenheit erfolgen (sofern Daten zur Klimaentwicklung vorliegen).

Die Verwitterungsdecke aus Lockermaterial ist das Resultat von vielen natürlichen Prozessen, die seit vielen Tausenden von Jahren parallel ablaufen: verschiedene Verwitterungsprozesse, hangabwärtiger Transport, Einmischung von Fremdmaterial meist unter Einfluss von Vegetation. Grundsätzlich verlaufen alle beteiligten Prozesse nach physikalischen bzw. chemischen Gesetzmäßig-

keiten und es wäre wünschenswert, alle diese Zusammenhänge in einem Modell abzubilden. Dies ist jedoch aus mehreren Gründen nicht möglich:

- Es liegen nicht zu allen Prozessen Eingangsdaten der beteiligten Faktoren vor.
- Nicht alle Prozesse können in räumlichen Auflösungen abgebildet werden, die für eine realistische Bearbeitung sinnvoll sind.
- Die physikalische Modellierung mancher Prozesse wäre zu komplex und würde den Rahmen des Modells sprengen.

Ein solches Modell muss sich demnach auf wesentliche, und v.a. auf abbildbare Prozesse beschränken. Dieses Merkmal der Reduktion ist im Fall der Verwitterungsdecken besonders deutlich, da viele Prozesse, etwa der Einfluss der Vegetation auf Verwitterung, Transport und allochthonen Eintrag, zunächst unberücksichtigt bleiben muss.

3. Modellstruktur

Folgende Faktoren werden im LEM berücksichtigt:

3.1 Ausgangssituation

Das Modell muss von einer konkreten räumlichen Verteilung bestimmter Faktoren ausgehend gestartet werden. Zur Ausgangssituation gehören das Relief und die lithologischen Eigenschaften der stratigraphischen Schichten sowie deren Lagerungsverhältnisse (Einfallen, Faltung etc.)

Relief. Zur Abbildung der Reliefsituation im Ausgangszustand eignet sich aufgrund der hohen Informationsdichte am besten ein Digitales Geländemodell (DGM). Hier taucht jedoch ein kaum lösbares Problem der Modellierung auf: das Relief, das das DGM abbildet, ist ein Modell der rezenten Oberfläche und damit eigentlich das vorweggenommene Ergebnis der Modellierung. Dieser Zirkelschluss ist ein Nachteil, der allerdings unausweichlich ist. Es kann zwar eine mögliche Paläoreliefssituation generiert werden, diese stellt jedoch nur eine von unendlich vielen Möglichkeiten dar.

Lithologie. Ein erklärtes Ziel des Modells LEM ist die lithologisch differenzierte Simulation der Prozesse Verwitterung und Transport. Daher ist es grundlegend, dem Modell Informationen zur lithologischen Differenzierung eines Gebietes zu übergeben.

Meist liegen zwar geologische Karten eines Gebietes vor, diese enthalten in der Regel jedoch nur Angaben zur Stratigraphie und sind nicht mit eindeutigen Angaben zu lithologischen Eigenschaften versehen. Den stratigraphischen Einheiten müssen in der Fläche somit Informationen zur Lithologie zugewiesen werden.

Für das LEM wurde die Verwendung eines vereinfachten geologischen Strukturmodells gewählt, was aus Geologischer Karte, Geologischen Schnitten und Tiefbohrungen erstellt wird: dieses Strukturmodell zeigt die vertikale Abfolge der stratigraphischen Einheiten im Raum, berücksichtigt bedeutende Störungszonen und bildet Schichteinfallen ab.

3.2 Modulfunktionen

Wenn die Informationen zur Ausgangssituation dem Modul übergeben sind bzw. die Präprozessierung stattgefunden hat, startet die eigentliche Modellierung. Die wesentlichen Prozesse bei der Bildung der Verwitterungsdecken, die das LEM abbildet, sind Verwitterung, Umlagerung und Allochthoner Eintrag.

Verwitterung. Die Abbildung des Prozesses der Materialaufbereitung ist ein wesentliches Ziel des LEM. Abhängig von den physikalisch-chemischen Eigenschaften des Gesteins und vom Grad der Einwirkung der atmosphärischen Prozesse verwittern Gesteine unterschiedlich. Diese abweichende Resistenz von Gesteinen gegenüber Verwitterungsprozessen muss quantifiziert werden. Allerdings ist der Zusammenhang zwischen bestimmten relevanten Gesteinsmerkmalen (Porenvolumen, Korngröße, Klüftigkeit, Mineralbestand, um die wichtigsten zu nennen) und einer quantitativen Verwitterungsintensität, z.B. in mm/a, immer noch ein offenes Forschungsfeld. Zwar gibt es Verwitterungsformeln in der Literatur (z.B. das berühmte Humped Modell nach COX (1980) für chemische Verwitterung, oder AHNERT (1996) für mechanische Verwitterung) jedoch wird nie die numerische Abbildung eines formulierten semantischen Modells gegeben.

Um trotzdem quantitative Aussagen zur Materialbereitstellung durch die Verwitterung machen zu können, wird auf eine Gewichtung der erwähnten allgemein gültigen Verwitterungsraten zurückgegriffen. Die Ver-

witterungsprozesse werden nun folgendermaßen im LEM abgebildet: die Verwitterungsrate wird als ein frei zu formulierender Formelstring dem Modul vom Benutzer übergeben. Diese Formel enthält mathematische Ausdrücke und zusätzliche Variablen zu Paläoklimaparametern.

Jede lithologische Einheit kann dann mit einer anderen Verwitterungsformel angesprochen werden. Dadurch kann realisiert werden, dass für verschiedene Ausgangsgesteine verschiedene Verwitterungsraten verwendet werden. Der durch die Formel ermittelte Betrag der Verwitterungstätigkeit wird vom z-Wert der RZ abgezogen und bildet einen ersten Wert im neu entstehenden Grid zur Regolithmächtigkeit.

Umlagerung. Ist Material aus dem Gesteinsverband gelöst, kann es sich solifluidal hangabwärts bewegen. Zur Abbildung dieses Prozesses wird im Moment das Transportmodell von GOLEM weiterbenutzt. Näheres dazu unter TUCKER&SLINGERLAND (1997). In einer weiteren Entwicklungsphase des LEM soll dieses Transportmodell analog zur Gesteinsverwitterung lithologisch differenziert mit frei formulierbaren Formeln gesteuert werden.

Allochthoner Eintrag. Eine unsere periglaziären Decken prägende Erscheinung ist der mehr oder weniger große Anteil Fremdmaterial, den sie enthalten. Unter diesem auch als „allochton“ bezeichneten Material soll hier Löß im Sinne von ZEPP (2002) verstanden werden.

In Ermangelung tatsächlicher Messdaten wurde ein einfaches Modell entwickelt, das Akkumulationsraten von Löß pro Jahr im LGM für jede RZ im LEM angibt. Dabei wurde auf Arbeiten von FRECHEN et al (2003) aufgebaut, der solche Raten für ausführlich analysierte Lößprofile in Mitteleuropa abgeleitet hat. Die Literaturwerte für die Lößakkumulation wurden über das Ergebnis einer Indexberechnung (SAGA Luvward/Leeward-Index) flächenhaft verteilt. In einer weiteren Ausbaustufe des LEM könnte mit Paläowindfelddaten aus Modellläufen gearbeitet werden, um die Akkumulationsraten plausibler zu modellieren.

Klima. Das Klima der nördlichen Hemisphäre im Pleistozän ist seit der methodischen Weiterentwicklung der Paläoklimatologie erheblich genauer bekannt. Durch die

Erschließung von Eisbohrkernen als Proxies, also als indirekte Archive der Klimaelemente, ist es möglich geworden, lange Zeitreihen des Verlaufs dieser Klimaelemente zu rekonstruieren. Zum anderen ist die Klimamodellierung inzwischen in der Lage, weltweit konsistente Datensätze in relativ hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zu generieren.

Für das LEM wurde auf 2 Datenquellen zurückgegriffen, um den Verlauf der Klimaelemente Temperatur und Niederschlag abzubilden:

- Eisbohrkern ALLEY (2000). 1631 Werte bilden dabei einen Zeitraum von 50.000 Jahren ab, das ergibt im Mittel alle 30 Jahre einen Temperaturwert.
- Aus dem NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project (KALNAY et al 1996) resultieren frei verfügbare Reanalysedaten mit globaler Abdeckung der letzten 40 Jahre Klimageschichte. Aus diesen Daten wurden Jahrgänge von Temperatur und Niederschlag aus rezenten Periglazialgebieten extrahiert.

Beide Datenquellen, sowohl die GISP2-Daten zum Paläoklima also auch die rezenten periglaziären Jahrgänge aus dem NCEP/NCAR-Reanalyse-Projekt, wurden fest in das LEM integriert.

Zeit. Der Zeitraum, der zur Bildung der Verwitterungsdecken führt, umfasst im Prinzip die gesamte jüngere erdgeschichtliche Vergangenheit. Die Hauptbildungszeit von periglaziären Lagen ist das Pleistozän mit seinem Wechsel von Kalt- und Warmzeiten und vor allem die jüngste Phase, die Weichsel-Kaltzeit. Durch die Verwendung der GISP2-Daten stehen im Moment die letzten 50 ka als Modellierungszeitraum zur Verfügung.

3.3 Ergebnisse

Als Hauptergebnis wird ein Rasterdatensatz (Grid) der Mächtigkeit des Regoliths ausgegeben. Daneben werden auch die Eingabegrids der einzelnen lithologischen Schichten verändert. Dies kann soweit führen, dass eine Schicht mit geringer Verwitterungsresistenz und/oder bei langen Verwitterungszeiträumen komplett „aufgebraucht“ wird. Konkret bedeutet das, dass alle RZ dieser Schicht den Wert Null enthalten.

4. Ergebnisse Fallstudie Ebergötzen

Die Modellierung mit dem Modul LEM wird in einem Gebiet im Niedersächsischen Bergland entwickelt. In erster Linie lässt sich das mit den relativ einfachen geologischen Verhältnissen begründen:

- Anstehend sind horizontal geschichtete, nur leicht einfallende, kaum tektonisch beanspruchte Sedimentgesteine der Germanischen Trias
- Sehr deutlich sind Unterschiede in der Lithologie ausgeprägt: Kalk- und Mergelgesteine aus dem Muschelkalk, Ton- Sand- und Schluffsteine aus dem Buntsandstein.

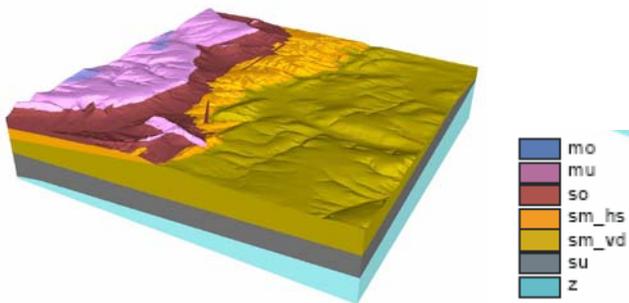


Abb. 1 3D-Darstellung des vereinfachten Geologischen Strukturmodells des Testgebietes Ebergötzen

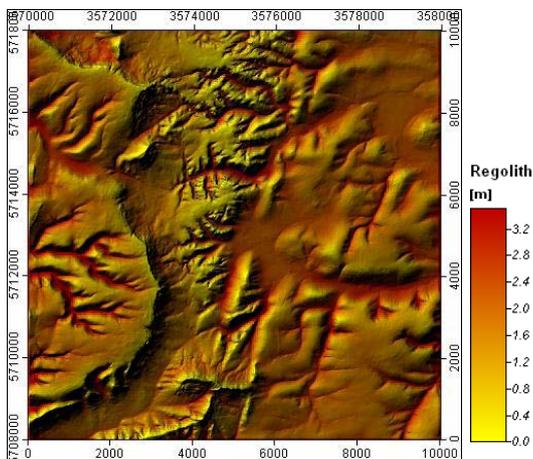


Abb. 2 Ergebnis der LEM-Modellierung in Ebergötzen: Mächtigkeit der Regolithschicht

Die Abbildung 2 zeigt die ersten Ergebnisse einer Simulation der pleistozänen Verwitterungs-, Abtrags- und Transportprozesse. Ein auf den ersten Blick plausibles Ergebnis muss jetzt einer genauen Validierung zugeführt werden.

5. Ausblick

Trotz der Reduktion auf wenige, abbildbare Prozess sind in Zukunft noch viele Arbeiten am Modell nötig:

Transportprozess:

Erweiterung/Ersatz des jetzigen, aus GOLEM stammenden Transportmodells, Einbau der saisonalen Verteilung des Niederschlags in das Transportgeschehen, lithologische Differenzierung des Transportmodells.

Dynamische Texturentwicklung:

Ausgabe von Skelettanteil und Korngrößenspektrum der Verwitterungsresiduen der lithologischen Einheiten, Dynamische Weiterentwicklung des Korngrößenspektrums der Lockermaterialdecken einzelner Gesteine über die Zeit unter Berücksichtigung des allochthonen Eintrags

Materialherkunft:

Herkunft des Materials, das eine Schicht aufbaut, Unterscheidung zwischen autochthonem und allochthonem Anteil, sowie zwischen äolischem Ferntransport und solifluidalem Nahtransport

6. Literatur

AD HOC AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover

Ahnert, F. (1996): Einführung in die Geomorphologie. Darmstadt

Alley, R. (2000): The Younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland. In: Quaternary Science Reviews 19, 213-226.

Altermann, M., Jäger, K.-D., Kopp, D., Kowalkowski, A., Kühn, D., Schwanecke, W. (2008): Zur Kennzeichnung und Gliederung von periglazial bedingten Differenzierungen in der Pedosphäre. In: Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz 6, 5 – 42.

Boehner, J. (2006): Modelle und Modellierungen. In: Gebhard et al (Hrsg): Geographie: 533-538, Heidelberg

Conrad, O. (2007): SAGA - Entwurf, Funktionsumfang und Anwendung eines Systems für Automatisierte Geowissenschaftliche Analysen, Göttingen

Cox, N.J. (1980): On the relationship between bedrock lowering and regolith thickness. In: Earth Surface Processes and Landforms 5, 271–274.

Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R. & Joseph, D. (1996): The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. In: Bulletin of the American Meteorological Society 77 (3), 437-471.

Scott, K.M.&Pain, C.F. (Hrsg.) (2008): Regolith Science. Collingwood Victoria.

Tucker, G.E. & Slingerland, R. (1997): Drainage basin responses to climate change. In: Water Resources Research 33 (8), 2031-2047.