

# Einfluss der Heterogenität der Bodentextur auf Stoffflüsse in Agrarlandschaften

Jens Dreyhaupt, Uwe Franko

## 1 Problemstellung

Mit dem Modell CANDY werden wichtige Umsatz – und Transportprozesse der ungesättigten Zone des Bodens nachgebildet, wobei jedoch auch hier ein Widerspruch zwischen Modell und Wirklichkeit besteht: die Simulationsobjekte werden aus Gründen der Vereinfachung durch homogene Eigenschaften beschrieben, während reale Objekte diese Homogenität meist nicht besitzen.

Als Resultat der Rechnungen erhält man Modellgrößen, die durch feste Zahlenwerte beschrieben werden. Die entsprechenden Größen in den realen Systemen weisen jedoch eine bestimmte Variationsbreite auf, was zu Problemen bei der Interpretation der Simulationsergebnisse führt:

Wie gut beschreiben diese mit dem Modell berechneten festen Zahlen die entsprechenden Zustandsgrößen des realen Systems? Kann mit dem Rechenergebnis überhaupt eine auf das Verhalten des nachgebildeten Systems zutreffende Aussage gemacht werden?

Es soll eine Methode entwickelt werden, welche eine Bewertung von Modellgrößen erlaubt, wobei die Heterogenität der Bodenphysik der zu simulierenden Objekte zu berücksichtigen ist.

## 2 Lösungsansatz

Grundlage der Modellierung der Bodenheterogenität ist die Monte–Carlo-Methode. Dazu wurde für das Modell CANDY ein Simulationstool entwickelt (Profilgenerator), mit welchem die Modellparameter Trockenrohdichte (TRD), Trockensubstanzdichte (TSD), Permanentwelkepunkt (PWP), Feldkapazität (FKAP), Feinanteilgehalt (FAT) und ein Versickerungsparameter (Lambda) für jeden Bodenhorizont mit Hilfe von Pedotransferfunktionen generiert werden. Für die Anwendung des Profilgenerators sind folgende Angaben erforderlich:

- Tongehalt sowie Summe aus Fein- und Mittelschluff für die Horizonte des Bodenprofils,
- mathematische Verteilungen für Ton und Schluff,
- Jahresniederschlag, Jahreslufttemperatur und Niveau des reproduktionswirksamen Kohlenstoffs für den Standort.

Die Generierung der Modellparameter geschieht für die einzelnen Horizonte folgendermaßen: Feldkapazität und Permanentwelkepunkt werden in Abhängigkeit von Tongehalt (T) und abschlämbaren Teilchen ( $A = \text{Summe aus Ton, Fein- und Mittelschluff}$ ) bestimmt (Lieberoth 1982):  $FKAP = 3,4 + 0,85 * T$  falls  $A < 22\%$ ,  $FKAP = 11,0 + 0,52 * A$  falls  $22\% \leq A \leq 60\%$ ,  $PWP = 1,23 + 0,74 * T$ . Aus dem organischen Kohlenstoff (CORG) (Franko et al. 1995) und dem Tongehalt wird die TSD berechnet (Rühlmann 1998):

$$TSD = \frac{1}{\frac{1 - OBSM}{DMIN} + \frac{OBSM}{0,488 + 0,7359 * CORG}} \quad \text{mit } DMIN = 2,659 + 0,003 * T \text{ und}$$

$$OBSM = CORG / (0,488 + 0,2 * CORG).$$

Die Trockenrohdichte wird mit Hilfe einer Exponentialfunktion ermittelt (Rühlmann 1998):

$$TRD = a * \exp(K1 * CORG) + b * \exp(K2 * CORG) + c * TSD$$

mit  $a = 0,4981$ ,  $b = 0,2471$ ,  $c = 0,3787$ ,  $K1 = -0,5389$  und  $K2 = -0,0234$ .

Die Berechnung des FAT erfolgt aus Ton (T) und Schluff (U) (CANDY-Anwenderdokumentation):

$$FAT = 1,22 + 0,104 * U + 0,952 * T, \quad \text{Lambda wird aus FAT abgeleitet (CANDY-Anwenderdokumentation):}$$

$$Lambda = 1,6 - 0,187 * FAT + 0,00905 * FAT^2 - 0,000213 * FAT^3 + 0,00000187 * FAT^4$$

Die Profile werden dann aus den Horizonten mit unterschiedlichen bodenphysikalischen Eigenschaften zusammengesetzt. Die damit durchgeführten Rechnungen führen bei ein- und demselben Szenario zu Unterschieden in den Zustandsgrößen – bedingt durch die Bodenphysik.

### 3 Ergebnisse

Eine beispielhafte Anwendung des Profilgenerators erfolgte auf die Bodenform Gekappte Decksandlöss – Braunerde. Basis für die Parametererzeugung waren Standortuntersuchungen (Keese et al. 1997). Für T, U wurden mit Hilfe diskreter Zufallsgrößen Normalverteilungen approximiert (Tab. 1).

**Tab. 1.** Statistische Kennzahlen der Verteilungen für Ton und Schluff der einzelnen Horizonte (in Masse-Prozent)

Horizont	Ton				Schluff			
	Mittelwert	Streuung	Minimum	Maximum	Mittelwert	Streuung	Minimum	Maximum
Ap	8	2	6	10	30	3	27	33
C1	2	1	1	3	2	1	1	3
C2	4	1	3	5	3	1	1	3

Für FKAP wurden daraus Normalverteilungen erzeugt. Die nutzbare Feldkapazität (NFK) ist nur für den ersten Horizont Ap normalverteilt mit Mittelwert 16,3 und Streuung 0,62, sonst treten dreigipflige Verteilungen auf. Das Porenvolumen (PV) kann als zweigipflig angesehen werden (Tab. 2).

**Tab. 2.** Statistische Kennzahlen für FKAP, NFK und PV der Horizonte Ap, C 1 und C 2

Horizont	FKAP				NFK			PV		
	Mittelwert	Streuung	Min.	Max.	Gipfel	Min.	Max.	Gipfel	Min.	Max.
Ap	22,95	1,69	19,74	26,21	-	14,59	18,05	37,3; 37,5	36,43	38,2
C1	6,23	0,56	4,81	7,65	2,9; 3,6; 4,2	2,27	4,38	35,2	34,47	35,61
C2	8,08	0,48	6,8	9,35	3,4; 3,8; 4,4	3,35	4,42	32,13	31,88	32,13

Für jeden der 3 Horizonte wurden alle Tonwerte mit sämtlichen Schluffwerten kombiniert, jedes dieser Paare (T, U) liefert eine Realisierung der Textur des entsprechenden Horizonts. Gerechnet wurde ein Bewirtschaftungsszenario vom 01. 01. 1981 bis 31. 12. 1992 (Keese und Knappe 1996).

Die Auswirkungen der Bodenheterogenität werden beispielhaft für die Grundwasserneubildung (GWB) demonstriert: im Vergleich zum mittleren Messwert weisen das Ausgangsprofil eine um 2,8 % und die summierten Mittelwerte aller gerechneten Profile eine um 9,2 % höhere GWB am Ende des Zeitraumes auf, die Differenz zwischen Maximum und Minimum aller gerechneten Profile beträgt 549 mm. Der zeitliche Verlauf zeigt deutliche Unterschiede zwischen dem Ausgangsprofil und den Mittelwerten aller gerechneten Profile. Die drei Wiederholungen der Messungen der GWB auf der Ursprungsfläche vermitteln einen Eindruck der natürlichen Variabilität: die entsprechende Differenz zwischen größtem und kleinsten Messwert beträgt hier 388 mm am Ende des Szenarios.

Durch die Anwendung der Monte-Carlo-Methode erhält man für die Zustandsgrößen zu jedem Zeitpunkt keine feste Zahl, sondern eine Verteilung. Beispielsweise ist die Summe der GWB im Januar 1990 annähernd dreigipflig verteilt mit Dichtemitteln bei 16,1, 17,3 und 18,5 mm. Das Minimum beträgt 14,6 mm, das Maximum 19,4 mm.

### Literatur

- Franko, U., Oelschlägel, B., Schenk, S. (1995) Modellierung von Bodenprozessen in Agrarlandschaften zur Untersuchung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen. UFZ-Bericht Nr. 3. Leipzig 1995, 10f, 64f
- Keese, U., Knappe, S. (1996) Problemstellung und allgemeine Angaben zu vergleichenden Untersuchungen zwischen Lysimetern und ihren Herkunftsflächen am Beispiel von 3 typischen Böden Mitteldeutschlands unter landwirtschaftlicher Nutzung. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde Nr. 6/1996, 409-429
- Keese, U., Nitsche, C., Knappe, S., Waldschmidt, U. (1997) Vergleichende bodenphysikalische Untersuchungen zwischen Lysimetern und ihren Herkunftsflächen am Beispiel von drei typischen Böden Mitteldeutschlands unter landwirtschaftlicher Nutzung. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde Nr. /1997, 209-231
- Lieberoth, I. (1982) Bodenkunde, 3. Auflage Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag
- Rühlmann, J. (1998) Pedotransferfunktionen zur Ableitung von Trockenrohddichte und Trockensubstanzdichte aus Textur und Humusgehalt (unveröffentlicht)