

## **SIMULATIONSMODELLE VON WALDÖKOSystemEN: WIE WIRD DER TEILPROZEß MINERALSTOFFAUFNAHME GESTEUERT?**

J. PRENZEL

### *Abstract*

Mass-flow is defined as transpiration multiplied by the concentration in the rooting medium. The mass-flow coefficient (MFK) is defined as the ratio of the actual uptake to a hypothetical uptake by pure mass-flow. Data on a beech space, which were collected within an IBP projekt, including transpiration, annual uptake of several elements and concentrations in soil and litter layer solutions, are used in the calculation of MFK-values. Results range from 0.076 for Al to 120 for P. It is concluded that eventual simulation models of the mineral cycling system must include information on the state of the plant system.

Innerhalb eines Waldökosystems kann der Mineralstoffkreislauf als ein Teilsystem angesehen werden. Dieses Teilsystem läßt sich als Kompartimentmodell darstellen, wie z.B. bei Ulrich et al. (1977, in diesem Band: Abb. 1). Ein Simulationsmodell des Mineralstoffkreislaufs muß, wenn es nicht rein deskriptiv sein soll, das Verhalten des Systems quantitativ so gut beschreiben, daß bei Änderungen der äußeren Bedingungen die Reaktion des ganzen Systems, aber auch die der Teilprozesse richtig wiedergegeben wird. Der Versuch, ein Simulationsmodell aufzustellen, führt im Allgemeinen zu der Feststellung, daß über bestimmte Teilprozesse nicht genügend Information vorhanden ist. Der systemare Ansatz führt so auf die Untersuchung der Teilprozesse zurück, allerdings mit einer möglicherweise veränderten oder präzisierten Fragestellung, verglichen mit der isolierten Untersuchung eines Teilprozesses.

Ein solcher Teilprozeß innerhalb des Mineralstoffkreislaufs, über dessen Steuerung wir besonders wenig wissen, ist die Aufnahme des Bestandes. Andererseits geht aus Flüßbilanzen (Ulrich et al. 1977, in diesem Band) hervor, daß dieser Fluß einer der quantitativ bedeutendsten im Mineralstoffkreislauf eines Waldökosystems sein kann. Zur Formulierung dieses Prozesses in einem Simulationsmodell wäre die Frage zu klären, ob die Aufnahme wesentlich nur vom Zustand des Bodens oder wesentlich nur vom Zustand des Bestandes abhängt, oder von beidem.

Eine alte Theorie über die Mineralstoffaufnahme (Sachs 1887, zit. nach Sutcliffe 1976) geht davon aus, daß die Bodenlösung mit dem Transpirationsstrom in die Pflanze hineingesogen wird, ohne sich chemisch zu verändern. Durch das Verdampfen des Wassers in den Blättern würden sich dann die Mineralstoffe anreichern. Es ist längst bewiesen, daß diese Anschauung nicht allgemein richtig sein kann. Dennoch erscheint die Frage sinnvoll, ob ein so passives Verhalten des Bestandes gegenüber einzelnen Mineralstoffen im konkreten Fall beobachtet werden kann und wie stark die Aufnahme eventuell davon abweicht, sich nicht-

passiv verhält. In Bezug auf ein mögliches Simulationsmodell kann das passive Verhalten mit Steuerung der Aufnahme durch den Zustand des Bodens gleichgesetzt werden.

Im Folgenden soll die Frage nach der Passivität der Mineralstoffaufnahme für einen Buchenbestand im Solling mit Hilfe der dort im Rahmen des Solling – Projektes gewonnenen Daten zum Wasserhaushalt (s. Benecke & Van der Ploeg 1977, in diesem Band) und zum Mineralstoffkreislauf (s. Ulrich et al. 1977, in diesem Band) untersucht werden. Die Abb. 1 stellt den Teilprozeß Mineralstoffaufnahme als Kompartimentmodell dar. Die Pfeile zeigen den Netto-Materialfluß eines Mineralstoffes vom Boden in den oberirdischen Bestand. Ein solches Bild ist offensichtlich eine Vereinfachung. Man könnte z.B. innerhalb der Festphase des Bodens (Kompartiment 1) verschiedene Bindungsformen unterscheiden oder die Wurzel (Kompartiment 4) in anatomische und funktionelle Untereinheiten aufteilen. Trotzdem ist dieses Modell noch zu kompliziert, als daß alle seine Variablen messend erfaßt werden könnten – jedenfalls unter Feldbedingungen. Die vorhandenen Daten beziehen sich, was die Mineralstoffe angeht, gerade auf den linken unteren und den rechten oberen Teil der Abb. 1: auf die Konzentrationen in der wurzelfernen Bodenlösung und auf die Netto-Aufnahme in den oberirdischen Bestand. Es ist nicht möglich, die Prozesse in den mittleren Kompartimenten „Wurzel“ und „Rhizosphäre“ von daher mit Sicherheit aufzuklären. Dennoch kann versucht werden, diesen mittleren Teil gewissermaßen von außen zu charakterisieren im Hinblick auf passives Verhalten gegenüber Mineralstoffen in der Bodenlösung.

Zu diesem Zweck wird der von Barber (1962) eingeführte Massenfluß berechnet und mit der Aufnahme des Bestandes verglichen. Der Massenfluß wird nach Gl. (1) (Tab. 1) definiert als Produkt aus der Konzentration in der Bodenlösung mit der Transpiration. Der Vergleich mit der Aufnahme des Bestandes geschieht mit Hilfe des Massenflußkoeffizienten (MFK), der nach Gl. (2) so definiert ist, daß man den Massenfluß mit diesem Wert multiplizieren muß, um die tatsächliche Aufnahme zu erhalten. Ein MFK von 1 weist darauf hin, daß

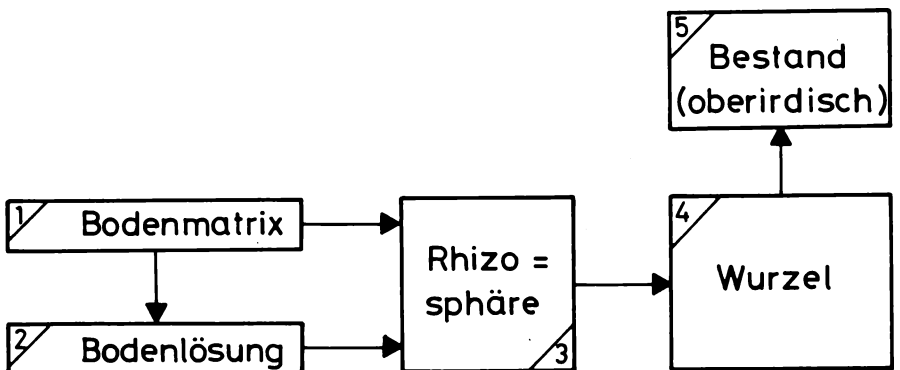


Abb. 1. Darstellung des Teilprozesses Mineralstoffaufnahme als Kompartimentmodell.

sich der Bestand gegenüber dem betreffenden Mineralstoff passiv verhält. Werte unter 1 deuten auf Diskriminierung, solche über 1 auf selektive Aufnahme hin. Die MFK werden nach Gl. (1) und (2) berechnet, indem für C, T und J die entsprechenden Daten eingesetzt werden. Die Ermittlung der Transpiration (T) als Funktion der Tiefe und der Zeit wird von Van der Ploeg et al. (1977, in diesem Band) dargestellt. Über die jährliche Aufnahme der einzelnen Mineralstoffe (J) berichten Ulrich et al. (1977, in diesem Band). Für die Konzentrationen in der Bodenlösung (C) als Funktion der Tiefe und der Zeit wurden verschiedene Messungen herangezogen: In einer Ebene unterhalb der Wurzelzone waren Plattenlysimeter installiert, die Werte für die Konzentrationen als Funktion der Zeit lieferten. In den darüber liegenden Tiefenstufen des Mineralbodens wurden diese Werte modifiziert durch von der Tiefe abhängige Korrekturfaktoren, die aus Analysen der Gleichgewichtsbodenlösung ermittelt worden waren. Im Auflagehumus wurde die Konzentration dargestellt als Funktion zum einen der Mineralstoffgehalte in der Kronentraufe und zum anderen derjenigen in der Lösung nach Perkolation durch den Auflagehumus, die beide als Funktion der Zeit gemessen worden sind. Diese Informationen wurden in ein Programm eingegeben, das als

*Tabelle 1.* Verwendete Gleichungen.

$$M(t) : = \sum_s C(s,t) \cdot T(s,t) \quad (1)$$

$$MFK : = J / \int_0^{1 \text{ Jahr}} M(t) dt \quad (2)$$

[t = Zeit, s = Tiefe, C = Konzentration, T = Transpiration, M = Massenfluß, J = jährliche Aufnahme]

*Tabelle 2* Tabelle der berechneten Massenflusskoeffizienten

S	0,77	Mn	2,2	Na	0,34
Fe	1,5	Ca	2,9	Cl	0,082
Mg	1,7	K	8,3	Al	0,076
		N	11		
		P	120		

Modell des Teilprozesses Mineralstoffaufnahme bezeichnet werden kann (Prenzel 1976). Das Ergebnis sind die MFK für die einzelnen Elemente (Tab. 2).

Die Werte für S, Fe und Mg sind nicht so deutlich von 1 verschieden, daß eine passive Aufnahme mit dem Transpirationsstrom ausgeschlossen werden kann. In den anderen Fällen sind die MFK ein Hinweis darauf, daß der Bestand physiologische Leistungen erbringt, um sich Elemente entweder anzueignen (P, N, K, Ca, Mn) oder zu verhindern, daß sie entsprechend ihrer Konzentration in der Bodenlösung in den Sproß gelangen (Al, Cl, Na). Eine Liste der MFK-Werte wie in Tab. 2 kann als kennzeichnend für die Reaktion des Bestandes auf seine bodenchemische Umwelt und damit auch für diese Umwelt angesehen werden. Als optimales Wurzelmedium kann ein solches vermutet werden, das für alle Elemente MFK-Werte von 1 zuläßt. Im einzelnen sei folgendes angemerkt: Die Makronährstoffe N, P und K zeigen die höchsten MFK-Werte. Es erscheint ausgeschlossen, daß hier der Massenfluß zur Ernährung des Bestandes ausreicht. Der niedrigste Wert findet sich bei Al. Es ist einleuchtend, daß sich die Buchen vor diesem toxischen Element schützen, das in dem sauren Boden in hohen Konzentrationen in der Bodenlösung vorliegt. Bei S könnte eine passive Aufnahme durch ein reichliches Angebot der Bodenlösung verursacht sein. Es wurde beobachtet (Dijkshorn et al. 1960), daß Pflanzen Sulfat-Schwefel anreichern, wenn ihnen viel S angeboten wird. Erstaunlich ist vielleicht, daß Cl fast so stark diskriminiert wird wie Al und daß Mn anscheinend auch aus diesem sauren Boden selektiv aufgenommen wird. Der extrem hohe Wert für P erklärt sich aus den sehr niedrigen P-Konzentrationen in der Bodenlösung.

Für ein Simulationsmodell des Mineralstoffkreislaufs in diesem Ökosystem ergibt sich, daß nur in wenigen Fällen die Aufnahme als Massenfluß formuliert werden kann. Es scheint, daß der Bestand im allgemeinen eine starke Kontrolle über den Teilprozeß Mineralstoffaufnahme ausübt. Deshalb ist es wahrscheinlich nicht sinnvoll, ein Simulationsmodell des isolierten Teilsystems Mineralstoffkreislauf aufzustellen. Zumindest müssen über die Entwicklung und den Zustand des Bestandes Annahmen gemacht werden. Anzustreben ist ein Modell, das die gegenseitige Beeinflussung von Mineralstoffkreislauf und Bestandsentwicklung widerspiegelt.

## Zusammenfassung

Massenfluß wird definiert als Produkt der Wasseraufnahme eines Bestandes mit der Konzentration im Wurzelmedium. Der Massenflußkoeffizient (MFK) wird definiert als Verhältnis von tatsächlicher Aufnahme eines Mineralstoffes zur hypothetischen Aufnahme durch reinen Massenfluß. Die vorhandenen Informationen über einen Buchenbestand im Solling (Transpiration, jährliche Aufnahme und Konzentrationen in der Bodenlösung) werden zur Berechnung der MFK benutzt. Die Werte reichen von 0.076 für Al bis 120. für P. Es wird geschlossen, daß ein Simulationsmodell des Mineralstoffkreislaufs ohne Berücksichtigung des Zustandes des Pflanzenbestandes nicht aufgestellt werden kann.

## LITERATUR

- Barber, S.A. (1962): A diffusion and mass-flow concept for soil nutrient availability. *Soil Sci.* 93: 39–49.
- Benecke, P. & R.R. Van der Ploeg (1977): Der Wasserhaushalt von Buchen- und Fichtenbeständen. In diesem Band.
- Dijkshorn, W., J.E.M. Lampe & P.F.J. Van Burg (1960): A method of diagnosing the sulfur nutrition status of herbage. *Plant and Soil* 13: 227–241.
- Prenzel, J. (1976): Die Bedeutung des Massenflusses für die Mineralstoffernährung eines Buchenbestandes. Veröffentlichung in Vorbereitung.
- Sutcliffe, J.F. (1976): Regulation in the whole plant. In: U. Lüttge & G. Pitman (ed.): *Transport in Plants. II. Part B. Tissues and Organs. Encyclopedia of Plant Physiology. New Series. Vol. 2.* Berlin – Heidelberg – New York: Springer.
- Ulrich, B., R. Mayer, P.K. Khanna, G. Seekamp & H.W. Fassbender (1977): Input, Output und interner Umsatz von chemischen Elementen bei einem Buchen- und einem Fichtenbestand. In diesem Band.
- Van der Ploeg, R.R., F. Beese & P. Benecke (1977): Simulation von Waldökosystemen: Wasser. In diesem Band.

Anschrift des Verfassers:

J. Prenzel, Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität  
Göttingen, Büsingenweg 2, 34 Göttingen.