

Entwicklung eines Simulationsmodells zur Berechnung der Bruttomineralisierung und -immobilisierung von pflanzenbürtigem Stickstoff aus Gründungen im Bebrütungsversuch

Ronald F. Kühne und Xiyuan Hu

Universität Göttingen, Institut für Pflanzenbau und Tierproduktion in den Tropen und
Subtropen, Abteilung Tropenpflanzenbau, Grisebachstraße 6, D-37077 Göttingen

Email: rkuehne@gwdg.de
xiyuan.hu@stud.uni-goettingen.de

Abstract

Bei der Gründung in tropischen Anbausystemen ist die Vorhersage der Freisetzungsdynamik von pflanzenbürtigem Stickstoff ein wichtiges Forschungsziel, um Stickstoffverluste zu vermindern und die N-Ernährung der Kulturpflanzen zu verbessern. Zur Berechnung der N-Bruttomineralisierung und -immobilisierung im Bebrütungsversuch werden analytische Lösungen von Modellgleichungen verwendet, deren Anwendungsmöglichkeit aufgrund der stark vereinfachenden Modellannahmen jedoch eingeschränkt ist. Die Verfügbarkeit von Simulations-Software wie „ModelMaker“ erleichtert die Verwendung von realistischen Modellannahmen und die numerische Lösung der Differentialgleichungen, die zur Berechnung der N-Bruttomineralisierung und -immobilisierung notwendig sind.

Keywords: nitrogen cycling; nitrogen gross mineralization; nitrogen gross immobilization; simulation model; ¹⁵N labeled plant residues

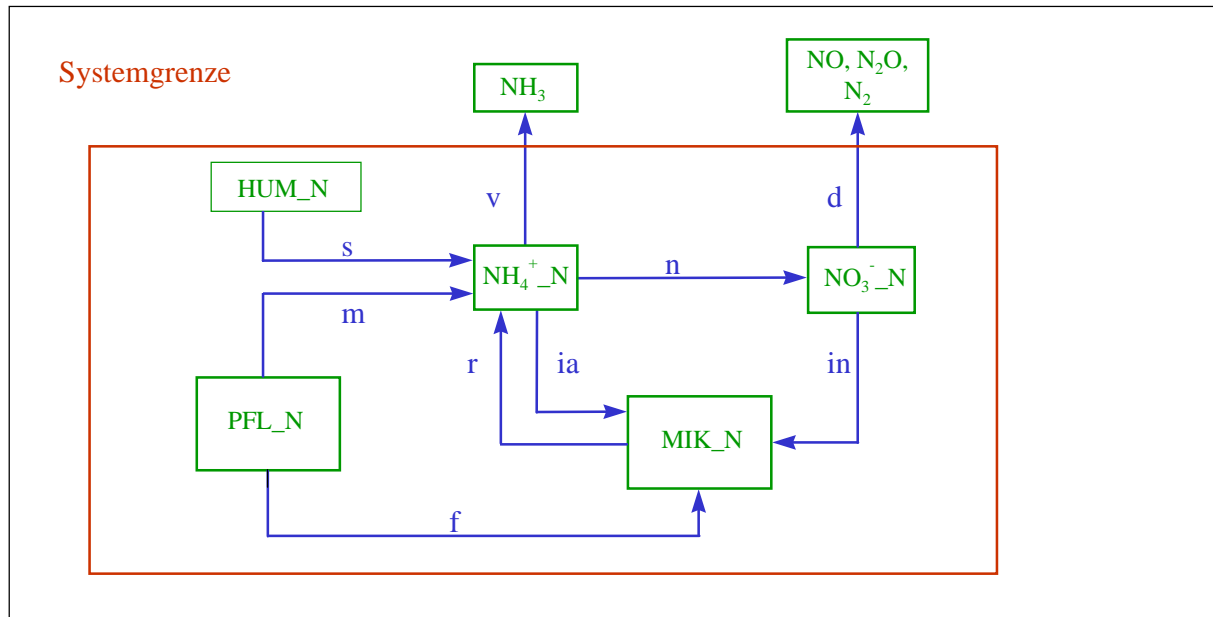
Einleitung und Zielsetzung

Ein besseres Verständnis der Freisetzungsdynamik von pflanzenbürtigem Stickstoff (N) ist notwendig, um N-Verluste zu vermindern und die N-Ernährung der Kulturpflanzen in Gründungssystemen zu verbessern (Mary et al., 1998). Zur Bestimmung der N-Bruttomineralisierung und -immobilisierung werden analytische Lösungen von Modellen verwendet, deren Anwendungsmöglichkeit nur schwer überprüfbar ist. Deshalb haben wir die N-Dynamik bei der Laborinkubation von ¹⁵N-markiertem Pflanzenmaterial mit dem Softwarepaket *ModelMaker V 3.03* (Walker & Crout, 1997) nachsimuliert, um ein besseres Verständnis über die N-Umsetzungen zu gewinnen und die Modellannahmen zu überprüfen.

Material und Methoden

Die N-Dynamik bei der Zersetzung von Pflanzenmaterial im Boden wurde in ModelMaker durch ein Kompartimentmodell (Abb. 1) abgebildet. Es beschreibt mit neun Differentialgleichungen die folgenden Prozesse für ¹⁴N und ¹⁵N: Mineralisierung von Humus-N (s), Mineralisierung von Pflanzen-N (m), Nitrifizierung von NH₄⁺-N (in), Immobilisierung von NO₃⁻-N (in), Immobilisierung von NH₄⁺-N (ia), Verflüchtigung von NH₃ (v), Remineralisierung von Mikroben-N (r), direkte Assimilation von Pflanzen-N durch die Mikroben (f) und Denitrifizierung von NO₃⁻-N (d).

Figure 1: Kompartimentmodell der N-Dynamik im Boden bei der Zersetzung von Pflanzenmaterial



Um die Modellparameter mit der Marquardt-Methode zu schätzen, wurde ein Bebrütungsversuch ausgewertet. ^{15}N -markiertes [5,6-8,5 Atom % ^{15}N] Sproßmaterial von *Cajanus cajan* L., Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) und Mais (*Zea mays* L.) wurde gemahlen und mit Boden (reliktischer Ferralsol) gemischt (3,1 g TS kg^{-1} Boden). Das Substrat wurde in Polyäthylen-Tüten gefüllt und 45 Tage im Brutschrank bei 32 °C und 76 % Wasserkapazität zusammen mit der Kontrolle (nur Boden) aerob inkubiert. Nach 0, 2, 5, 10, 15, 25, 35, und 45 Tagen wurde der mineralische Boden-N mit 2 M KCl (1:5, w/v) extrahiert und die NH_4^+ -N und NO_3^- -N Konzentration per Kjeldahl-Destillation und die ^{15}N -Anreicherung der N-Fractionen dann massenspektrometrisch bestimmt. Zusätzlich wurden Gesamt-N und ^{15}N in der mikrobiellen Biomasse (Chloroformfumigation-Extraktions-Methode) gemessen.

Die Anpassung des Modells an die gemessenen Daten wurde grafisch und mit dem χ^2 -Wert (Eq. 1) überprüft.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(m - o)^2}{e^2} \quad (1)$$

i Index o gemessene Werte, m simulierte Werte, e Standardabweichung der Daten.

Ergebnisse und Diskussion

Überprüfung der Modellstruktur

Die visuelle Überprüfung der relativ komplexen Modellstruktur H0 (Tab. 1) – mit einer Vernachlässigung der Denitrifizierung (d) und direkten Assimilation (f), ergab eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und den simulierten Werten (Fig. 2). Dies wurde mit den χ^2 -Werten in Tab. 2 bestätigt: die Berücksichtigung von d (H6 vs. H0) und f (H7 vs. H0) als Prozesse mit konstanten Raten (0. Ordnung) verringerte die χ^2 -Werte nicht. Je kleiner

der χ^2 -Wert ist, desto besser paßt das Modell zu den gemessenen Daten. Hingegen könnte die Immobilisierung von Nitrat-N (in; H3 vs. H0), aber nur bedingt die Verflüchtigung (v; H5 vs. H0) vernachlässigt werden, um das Modell weiter zu vereinfachen. Auch eine lineare Beschreibung der Kinetik der Mineralisierung (m, H1 vs. H0, siehe auch Fig. 3) und Nitrifizierung (n; H4 vs. H0) verschlechterte die Anpassung nur geringfügig. Deutlich schlechter wurde die Anpassung, wenn die Remineralisierung aus der mikrobiellen Biomasse vernachlässigt wurde (r; H8 vs. H0), oder wenn sie ohne Verzögerung wirksam war (H2 vs. H0).

Tabelle 1: Hypothesen über die Modellstruktur für die Parameterschätzung (Abkürzungen für die berücksichtigten Prozesse siehe Text; jeweils nur Änderung gegenüber H0)

Hypothese	s	m	r	ia	in	n	v	f	d
H0	A0*	A1**	A0(5)***	A0	A0	A1	A1	0	0
H1	–	A0							
H2	–	–	A0						
H3	–	–	–	–	0				
H4	–	–	–	–	–	A0			
H5	–	–	–	–	–	–	0		
H6	–	–	–	–	–	–	–	A0	
H7	–	–	–	–	–	–	–	–	A0
H8	–	–	0	–	–	–	–	–	–

Parameterschätzung mit *A0: Kinetik 0.Ordnung; **A1: Kinetik 1.Ordnung. ***A0 (5): Kinetik 0.Ordnung und Beginn der Remineralisierung ab dem fünften Tag der Inkubation; 0 = ausgeschaltet.

Figure 2. Die gemessenen (Markierung, \pm Standardabweichung) und simulierten Werte (Kurven) der N-Konzentrationen ($\mu\text{g g}^{-1}$) [oben] und ^{15}N (Atom %) [unten] in der mikrobiellen Biomasse (MIK_N), Ammonium (NH₄_N) und Nitrat (NO₃_N) bei der Zersetzung von Cajanusmaterial

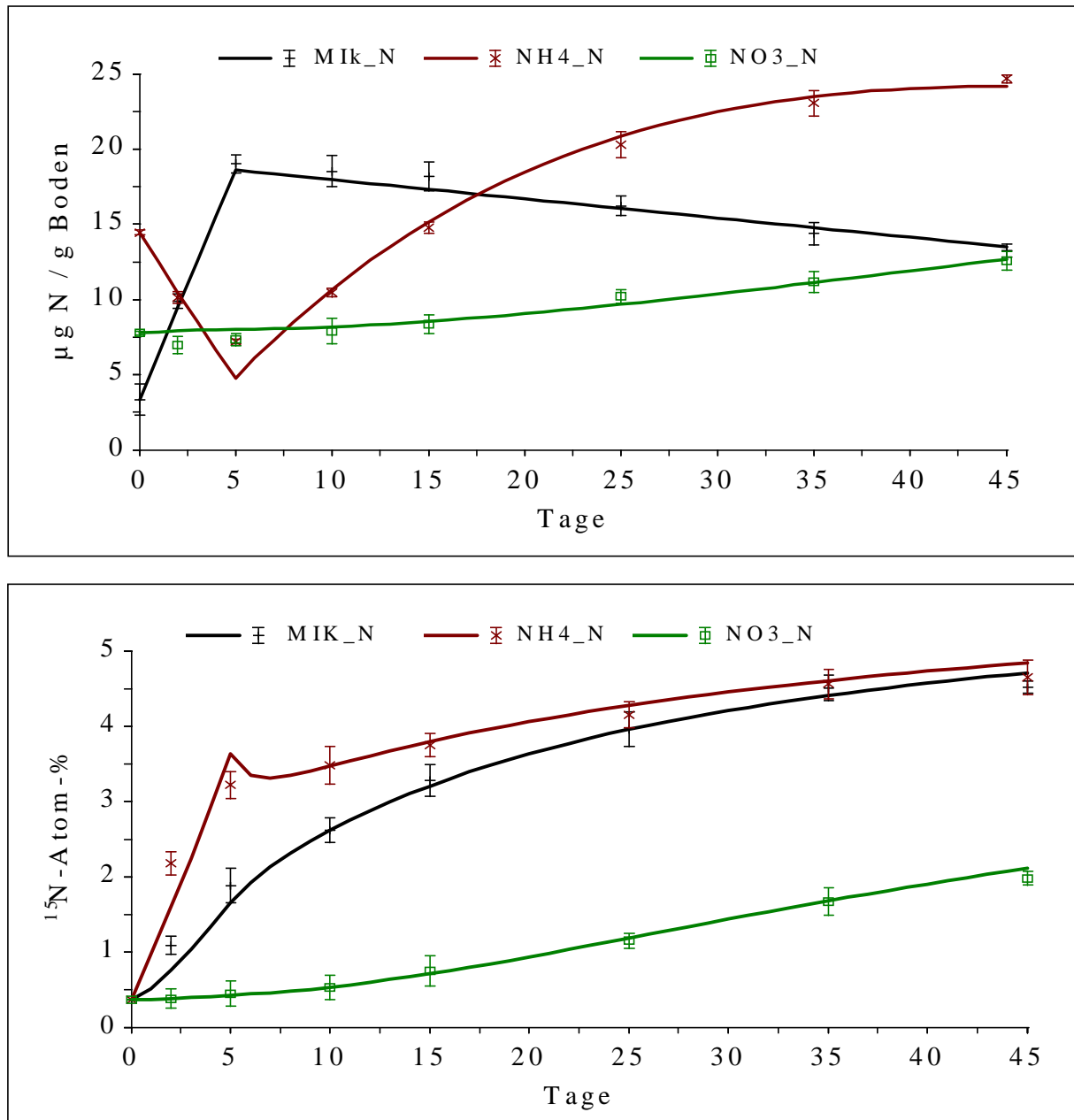


Tabelle 2. χ^2 -Werte und die bestimmten Raten ($\mu\text{g N g}^{-1}$ Boden Tag^{-1}) für die verschiedenen Hypothesen bei der Zersetzung von Cajanusmaterial

Hypothese	χ^2 -Werte	$m(t=5)^*$	$m(t=45)$	i
H0	11,1	1,32	0,62	3,1
H1	16,8	1,54	1,54	3,0
H2	697,0	0,73	0,49	13,7
H3	11,4	1,35	0,61	3,1
H4	12,8	1,39	0,62	3,0
H5	46,4	0,80	0,51	2,8
H6	11,1	1,32	0,62	3,0
H7	11,1	1,32	0,62	3,1
H8	700,2	0,63	0,45	0,4

* $m(t=5)$ und $m(t=45)$ sind die Raten der Bruttomineralisierung am 5. und 45. Tag; i ist die Rate der Bruttoimmobilisierung

Brutto-Mineralisierung/Immobilisierung

Mit der Modellstruktur H0 wurde die Bruttomineralisierung (Fig. 3) und Bruttoimmobilisierung (Fig. 4) für die verschiedenen Pflanzenmaterialien ermittelt. Wie erwartet, war die Ressourcenqualität der beiden Leguminosen deutlich besser als bei Mais. So wurden aus Cajanus und Cowpea ca. $45 \mu\text{g N g}^{-1}$ Boden bis zum 45. Tag mineralisiert, bei Mais dagegen nur ca. $5 \mu\text{g N g}^{-1}$ Boden.

Figure 3: Kumulative Bruttomineralisierung ($\mu\text{g N g}^{-1}$ Boden) bei der Zersetzung von Cajanus-, Cowpea- und Maismaterial

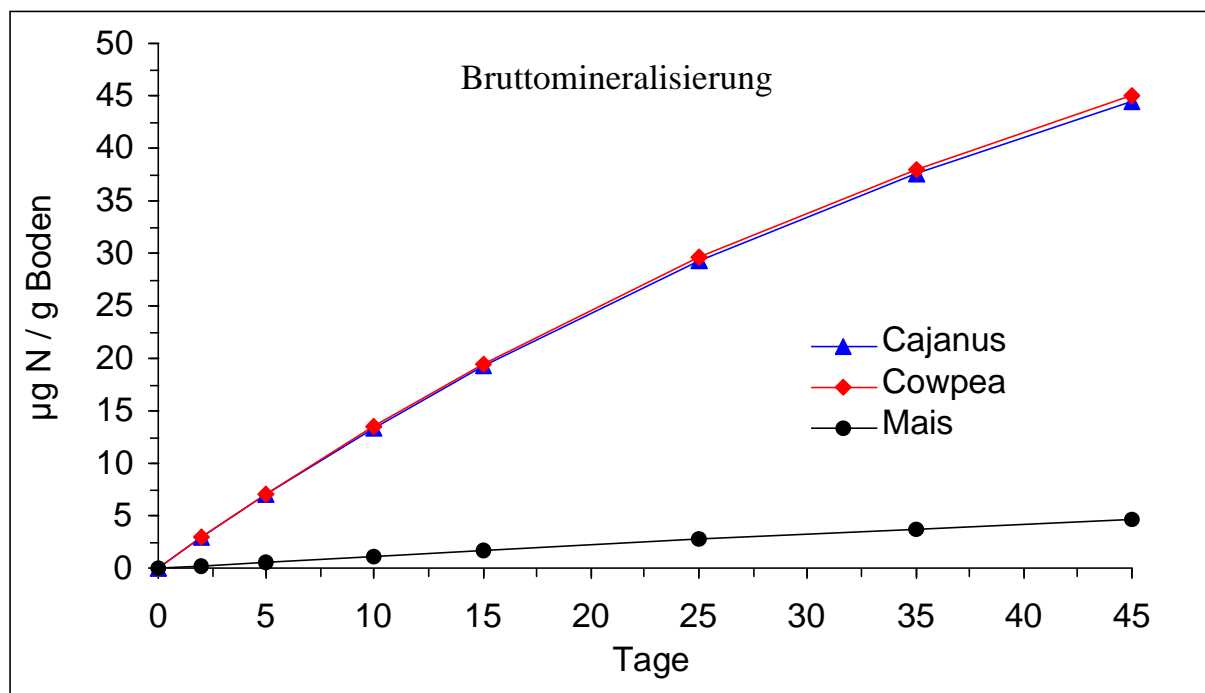
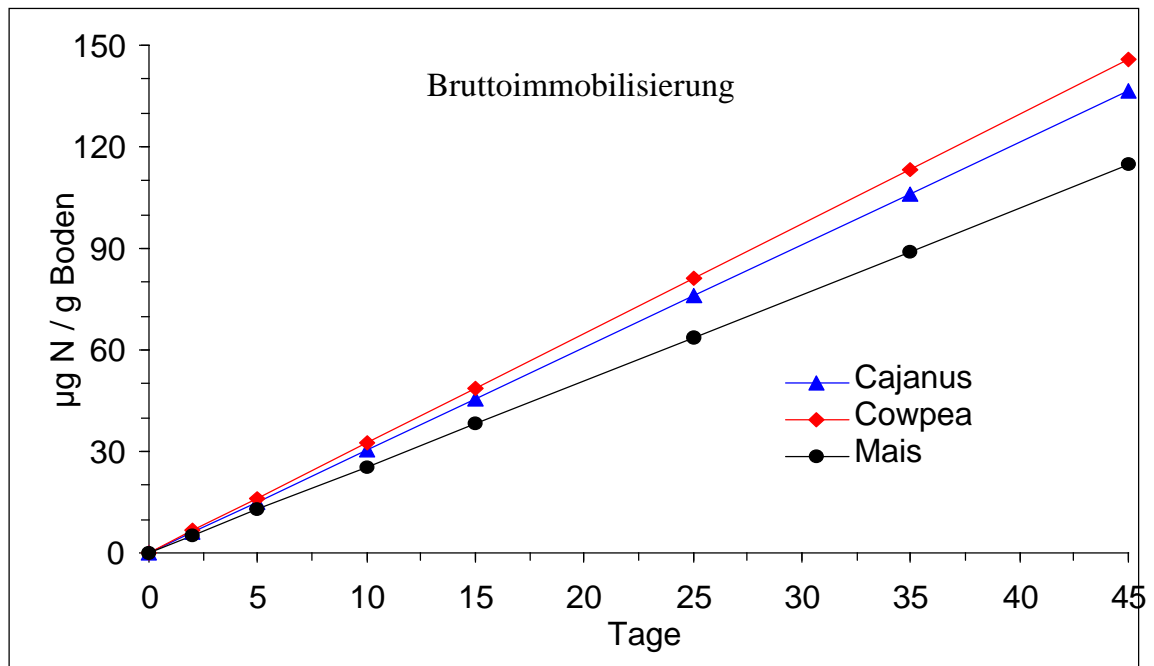


Figure 4. Kumulative Bruttoimmobilisierung ($\mu\text{g N g}^{-1}$ Boden) bei der Zersetzung von Cajanus-, Cowpea- und Maismaterial



Dennoch war die kumulative Bruttoimmobilisierung bei der Behandlung mit Cajanus und mit Cowpea von 137 bzw. 148 $\mu\text{g N g}^{-1}$ Boden deutlich höher als bei Mais (107 $\mu\text{g N g}^{-1}$ Boden). Da die Immobilisierung bei den Leguminosenbehandlungen fast 3mal so hoch war wie die Mineralisierung aus dem Pflanzenmaterial, mußten die heterotrophen Mikroben ihren N-Bedarf aus dem mineralischen N-Pool des Bodens decken. So zeigt der Vergleich mit den Konzentrationsverläufen von NH_4^+ -N im Boden und den Nettoveränderungen an N_{min} , daß erst nach 15 Tagen eine Zunahme der N_{min} -Werte gemessen werden konnte. Nach 45 Tagen wurde eine Nettomineralisierung von 15 $\mu\text{g N g}^{-1}$ Boden für Cajanus erreicht (Fig. 2). Die Immobilisierung war unter den Versuchsbedingungen vorherrschend und sollte bei der Beurteilung der Verfügbarkeit für die Ernährung von Kulturpflanzen berücksichtigt werden.

Schlußfolgerungen

- Mit einem vergleichsweise einfachen Simulationsmodell (keine Berücksichtigung unterschiedlicher Verfügbarkeit der Boden- und Pflanzen-N-Pools) wurde eine gute Übereinstimmung zwischen den simulierten Werten und den gemessenen Daten erzielt.
- Werkzeuge wie das Softwarepaket ModelMaker erlauben auch dem Nichtspezialisten eine bessere Auswertung und Interpretation von komplexen Problemen wie der N-Dynamik.
- Mit der Simulation der Auswirkung verschiedener Annahmen über das Prozeßgeschehen konnten diese überprüft werden.
- Simulationswerkzeuge in Kombination mit ^{15}N markiertem organischen Material verbessern die Methodik zur Ermittlung der Bruttomineralisierung über eine längere Bebrütungsdauer, da die Remineralisierung explizit berücksichtigt werden kann.

Literatur

- Mary B., Recous S., Robin D., (1998). A model for calculation nitrogen fluxes in soil using ¹⁵N tracing. *Soil Biology & Biochemistry* 30, pp. 1963-1979.
- Walker, A., Crout, N., (1997). *ModelMaker User Manual Version 3.03*. Oxford, U.K., Cherwell Scientific.