

Zusammenfassung

Am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) in Dresden-Pillnitz wurde im Winter 2012/2013 ein Brutversuch mit verschiedenen organischen Handelsdüngern pflanzlicher und tierischer Herkunft durchgeführt. Die Bebrütung mit Oberbodenmaterial eines stark lehmigen Sandes wurde bei 15°C über 11 Wochen durchgeführt.

Die Netto-N-Mineralisation der Düngemittel lief zumeist 'zügig' an, so dass nach 14 Tagen bereits rund 25 bis 45 % der gedüngten N-Menge mineralisiert waren. Lediglich ein Dünger auf Schafwollbasis sowie sehr grobe Hornspäne zeigten zunächst einen langsameren Mineralisationsverlauf.

Der zeitliche Verlauf der Mineralisation konnte, mit Ausnahme des Schafwolldüngers und der Hornspäne, sehr gut mit einer 'monomolekularen' Funktion beschrieben werden, aus der sich die maximale Netto-N-Mineralisation ableiten ließ. Diese lag, je nach Düngemittel, zwischen 37 und 65 % und korrelierte bei den meisten Düngern relativ eng mit deren C/N-Verhältnis.

Versuchshintergrund u. -frage

In Vorbereitung bzw. in Ergänzung zu einem geplanten Freiland-Düngungsversuch mit Spinat im Frühjahr 2013 wurden im Rahmen eines von Gartenbaustudenten der HTW Dresden-Pillnitz betreuten Versuches verschiedene organische Handelsdünger, darunter einige 'neue' Produkte, in einem Brutversuch bezüglich ihres Mineralisationsverhaltens untersucht.

Material und Methoden

Um den Mineralisationsverlauf bei 'üblicher' Düngerkonzentration zu untersuchen, wurde bei dem Brutversuch eine Düngung von 100 kg Gesamt-N/ha (100 kg N_t/ha) bei 10 cm tiefer Einarbeitung simuliert. Unter derartigen Bedingungen beträgt die Nährstoffmenge in der Einarbeitungsschicht 100 mg N_t/l Boden bzw. 66,7 mg N_t/kg Boden_{trocken}, wenn eine Ausgangsdichte von 1,5 kg/l unterstellt wird.

Das Fassungsvermögen der verwendeten Vierecktöpfe ('Rosentöpfe' aus PP, ca. 12 x 12 x 20 cm) entsprach 1,5 l Boden bei 'natürlicher' Lagerung. In das Bodenmaterial (A_p-Horizont) eines stark lehmigen Sandes (16 % Ton, 38 % Schluff, 45 % Sand; SI4) wurden entsprechend den zuvor analysierten N_t-Gehalten der Dünger (Tab. 1) 1,1 bis 3,3 g Dünger/1,5 l eingemischt. Das feldfeuchte Bodenmaterial war zuvor durch mehrmaliges Umschäufeln homogenisiert worden. Dabei wurden auch die nur in geringen Mengen vorhandenen Streubestandteile sowie Regenwürmer etc. entfernt. An einer Teilprobe wurde durch Trocknung bei 105°C ein Wassergehalt von 11,7 Gew.-% ermittelt, so dass für jeden Topf 2,513 kg [1,5 l x 1,5 kg/l x 1,117] Boden eingewogen werden mussten. Das Bodenmaterial wurde mit der jeweiligen Düngermenge intensiv vermischt und dann in die Töpfe überführt. Für jeden geplanten Untersuchungstermin wurden 2 derartige Töpfe gefüllt (2 Wiederholungen), für die 'Kontrolle' wurde entsprechend ungedüngtes Bodenmaterial eingefüllt.

Anschließend wurden die Töpfe mit entmineralisiertem Wasser bis auf 70 % nFK aufgefüllt. Diese entsprach bei einer aus Vorversuchen bekannten nutzbaren Feldkapazität des Standortes von 15 Vol.-% und einem abgeschätzten Totwassergehalt von 12 % einem Wassergehalt von 22,5 Vol.-% [0,7 × 15 Vol.-% + 12 Vol.-%] bzw. 15,0 Gew.-%, so dass je Topf 74 g Wasser [(1,5 l × 1500 g/l × (15,0 Gew.-% - 11,7 Gew.-%))] zugegeben werden mussten. Auf diese Bodeneinwaage von insgesamt 2,587 kg (zuzüglich Düngereinwaage) wurden die Töpfe in der Folge wöchentlich mit entmineralisiertem Wasser mit Hilfe einer Spritzflasche aufgefüllt. Dabei betrug der auszugleichende Wasserverlust zumeist nicht mehr als 20-40 ml.

Die gefüllten Töpfe wurden in Kunststoff-Gitterkisten gestellt, innerhalb der Kisten für einen Probenahmetermin waren die Töpfe zufällig verteilt. Die Töpfe bzw. Kisten wurden in eine Kühlzelle mit Heizmöglichkeit bei konstant 15°C im Dunklen aufgestellt. Diese Temperatur entspricht in etwa der am Standort gemessenen mittleren Bodentemperatur in 5 cm Tiefe des Monats Mai.

Um insbesondere bei den oberen Töpfen einen übermäßigen Wasserverlust durch Verdunstung zu verhindern, wurde der Kistenstapel mit einer handelsüblichen 500er-PE-Lochfolie abgedeckt. In den ersten ein bis zwei Wochen liefen in den Töpfen einige Unkräuter auf, die sich aber auf Grund der Dunkelheit nur zu 'weißen Fäden' entwickeln konnten. Diese wurden herausgezogen und auf der Bodenoberfläche abgelegt.

Zu den Probenahmeterminen wurden die jeweiligen Töpfe einzeln in einen Eimer entleert und das Bodenmaterial intensiv durchmischt. Eine Teilprobe von ca. 400 bis 500 g wurde bis zur N_{\min} -Analyse bei -18°C eingefroren.

Die N_{\min} -Analyse ($NO_3-N + NH_4-N$) erfolgte nach der gängigen Methode für Freilandböden (VDLUFA-Methode A 6.1.4.1, Methodenbuch Band I). Zwischen den jeweils 2 Wiederholungen einer Düngungsvariante x Probenahmetermin traten nur geringe Abweichungen auf (Variationskoeffizient im Mittel 3,2 %, Maximalwert 11,2 %), worauf hin die Werte für die folgenden Verrechnungen gemittelt wurden. Die (scheinbare) Netto-N-Mineralisation [$mg N_{\min}/kg Boden_{\text{trocken}}$] zum Zeitpunkt t errechnete sich aus dem gefundenen N_{\min} -Gehalt der Düngervariante [$mg N_{\min}/kg Boden_{\text{trocken}}$] abzüglich des N_{\min} -Gehaltes der ungedüngten Kontrolle zum Zeitpunkt t . Dieser Wert wurde in Relation zur ursprünglich gedüngten N-Menge (66,7 $mg N_t/kg Boden_{\text{trocken}}$ bzw. ggf. davon abweichende Werte, vgl. Tab. 1) gesetzt und als Prozentwert ausgegeben.

Der zeitliche Verlauf der Netto-N-Mineralisation wurde, soweit möglich, mit Hilfe von so genannten 'monomolekularen' Funktionen ('Reaktion erster Ordnung') beschrieben. Als Ausgangswert (N_0) wurde der NH_4-H -Gehalt zugrunde gelegt. Die Anpassung der Funktionen an die Messwerte erfolgte mit dem 'Solver' des Kalkulationsprogramms 'Excel'.

Tab. 1: Herkunft sowie analysierte Stickstoff- und Kohlenstoff-Gehalte der verwendeten organischen Düngemittel

	Haarmehl-Pellets	Horngries gedämpft	Horngries GOLD ¹⁾	Hornspäne S III ²⁾	Phyto-gran ³⁾	Vinasse ⁴⁾	floraPell ⁵⁾
Herkunft	Beckmann & Brehm GmbH, Beckeln						DS ⁶⁾
N_t [%]	14,0	14,2	11,6	14,8 ⁷⁾	4,96	3,60 ⁸⁾	12,0 ⁹⁾
NH_4-N [%]¹⁰⁾	0,51	0,76	0,55	0,09	0,31	0,12	0,13
C_t [%]	48,8	43,4	43,7	57,2	42,0	37,0	44,4
C/N-Verhältnis	3,5	3,1	3,8	3,9	8,5	6,4	3,7

¹⁾: Horngries mit Zusatz von Phytogran; ²⁾: Körnung 7-12 mm; ³⁾: laut Hersteller "durch Fermentation aufgeschlossene Rückstände aus der Getreide-, Kartoffel- und Zuckerrübenverarbeitung; ⁴⁾: ältere Charge;

⁵⁾: pelletierte Schafwolle; ⁶⁾: DS Technologie Entwicklungs- und Betriebsgesellschaft mbH, Lauchhammer;

⁷⁾: der N-Gehalt lag zu Versuchsbeginn nicht vor. Die Düngerbemessung erfolgte auf Basis der N-Gehaltsangabe des Herstellers von 14,0 %, so dass tatsächlich 70,48 $mg N_t/kg Boden_{\text{trocken}}$ gedüngt wurden;

⁸⁾: dito: Hersteller: 4,5 %, tatsächlich gedüngt 53,33 $mg N_t/kg Boden_{\text{trocken}}$;

⁹⁾: durch einen Datenübermittlungsfehler wurde zunächst von einem N-Gehalt von 12,6 % ausgegangen, so dass tatsächlich 63,49 $mg N_t/kg Boden_{\text{trocken}}$ gedüngt wurden;

¹⁰⁾: eine Bestimmung des NO_3-N -Gehaltes war seitens des Labors nicht möglich;

Ergebnisse

In der ungedüngten Kontrolle wurde, umgerechnet auf eine Bodenschicht von 30 cm, eine N-Nachlieferung von durchschnittlich 0,7 kg/ha pro Tag ermittelt (Abb. 1). Dieser Wert entspricht nahezu exakt der 'gängigen Faustzahl' für die N-Nachlieferung im Freiland von 5 kg N/ha pro Woche. Nach der von FINK & SCHARPF (2000) beschriebenen, auf einer Kosinusfunktion basierenden Gleichung ist eine N-Nachlieferung von 0,7 kg/ha pro Tag um den 21. Mai zu erwarten, was mit der hier gewählten Temperatur von 15°C korrespondiert. Die gefundenen NH₄-N-Mengen lagen maximal bei 0,7 kg N/ha (Tag 14).

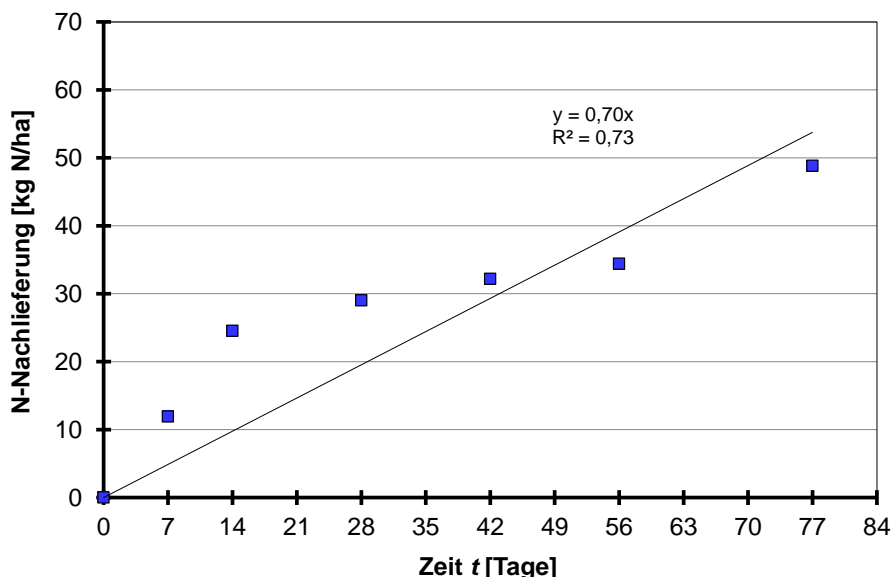


Abb. 1: Verlauf der N-Nachlieferung während der Bebrütungszeit in der ungedüngten Kontrolle (Berechnet auf eine Schichtdicke von 30 cm)

Die Netto-Mineralisation lief, mit Ausnahme der Schafwollpellets und der groben Hornspäne, 'zügig' an, so dass nach 14 Tagen bereits rund 25 bis 45 % der gedüngt N-Menge mineralisiert waren (Abb. 2).

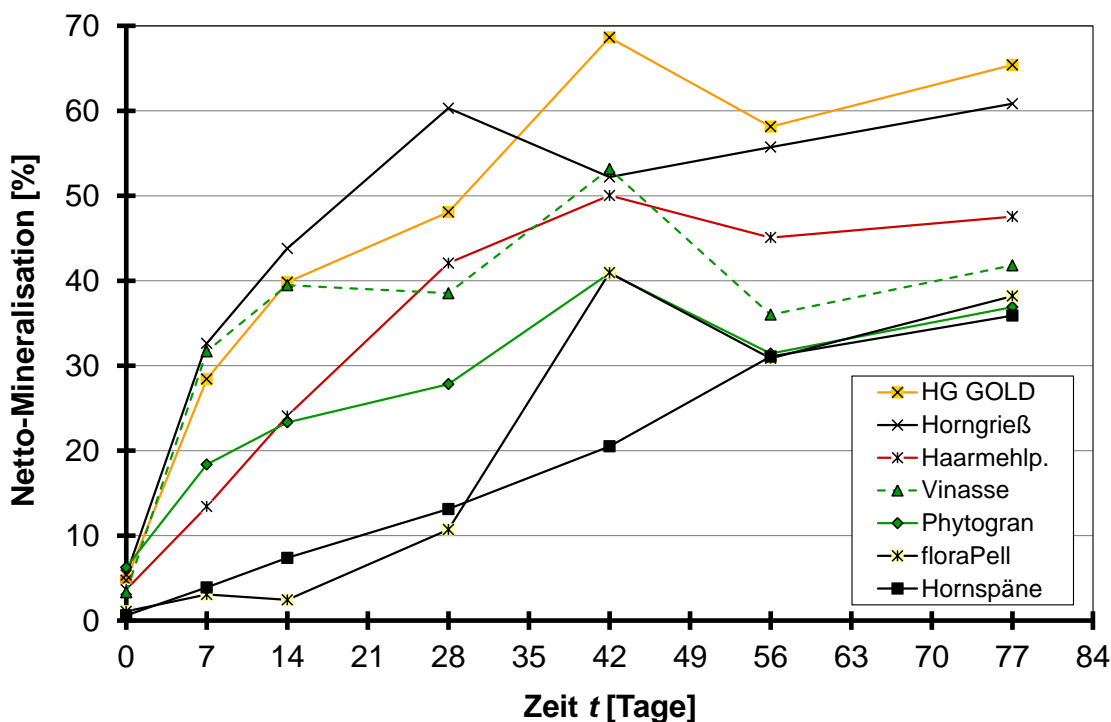


Abb. 2: Verlauf der Netto-Mineralisation bei den getesteten Düngemitteln (Bruttemperatur 15°C)

Bei den groben **Hornspänen** zeigte sich ein nahezu linearer Verlauf der Mineralisation. Dieser deckt sich mit Ergebnissen von FISCHER (2000), der ebenfalls einen Lehmboden bei einer Temperatur von 15°C bebrütete (Abb. 3). Allerdings testete FISCHER mit S II (5-7 mm) ein etwas feineres Hornprodukt. Nach etwa 12 Wochen nahm aber auch hier die Mineralisationsrate ab, so dass sich in dem insgesamt über ein Jahr laufenden Versuch eine maximale Netto-Mineralisation (N_{max} , s. u.) von 50 % zeigte. Bei einem ebenfalls getesteten Sandboden verlief die Umsetzung langsamer und bis zur 52. Woche nahezu linear, wobei hier allerdings auch ein geringerer Bodenfeuchtegehalt eingestellt worden war.

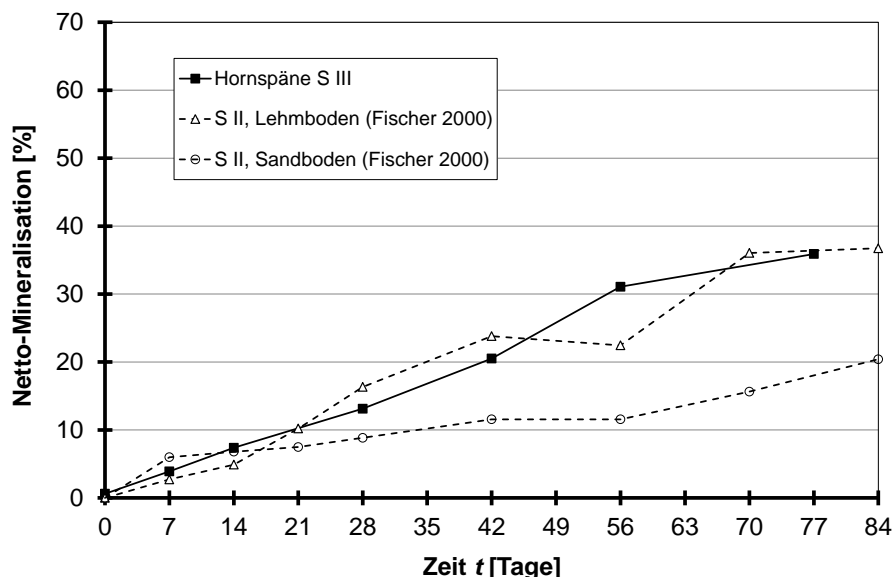


Abb. 3: Verlauf der Netto-Mineralisation bei Hornspänen

Der Verlauf der N-Mineralisation ließ sich, mit Ausnahme bei den Schafwollpellets und den Hornspänen, jeweils nahezu exakt mit einer 'monomolekularen Funktion' beschreiben (Abb. 4, exemplarisch am Beispiel 'Horngrieß GOLD', Tab. 2). Mit 58 bzw. 65 % zeigten danach die Horngrieß-Produkte die höchste, Phytogran mit knapp 37 % die geringste maximale Netto-N-Mineralisation (N_{max}).

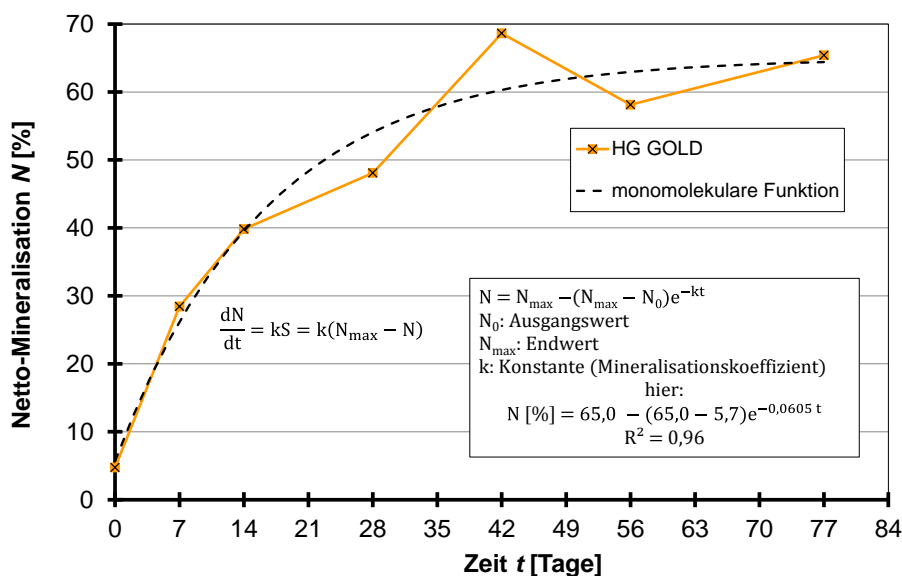


Abb. 4: Verlauf der Netto-Mineralisation bei 'Horngrieß GOLD' sowie angepasste monomolekulare Funktion

Tab. 2: Parameter der monomolekularen Anpassungsfunktionen

	Haarmehl-P.	Horngries	HG GOLD	floraPell	Phytogran	Vinasse
N_0	1,4	5,2	5,7		6,7	3,4
N_{max}	50,4	57,8	65,0	38,5 ¹⁾	36,6	42,5
k	0,0521	0,1042	0,0605		0,0609	0,1813
R^2	0,97	0,97	0,96		0,91	0,88

¹⁾: berechnet mit Hilfe einer FELDMANN-Funktion, vgl. Abb. 8

Die **Vinasse** wies zwar den höchsten Mineralisationskoeffizienten (k) auf, lieferte aber auf Grund eines nur 'mäßig' hohen N_{max} von 42,5 % zu Beginn nicht mehr N als die Horngrieß-Produkte (vgl. Abb. 2). Aus den Daten von SCHLEGEL et al. (2007), die allerdings bei 20°C bebrüteten, errechnet sich mit 41 % eine vergleichbare Netto-N-Mineralisation (Abb. 5). Nach den Brutversuchsergebnissen von SCHMITZ & FISCHER (2001) mit einem Torfsubstrat bei ebenfalls 15°C ergibt sich mit 61,3 % ein deutlich höheres N_{max} . Im Versuch von EMMEL (2006) wurde dagegen (trotz 25°C) nur eine Netto-N-Mineralisation von 28 % erreicht.

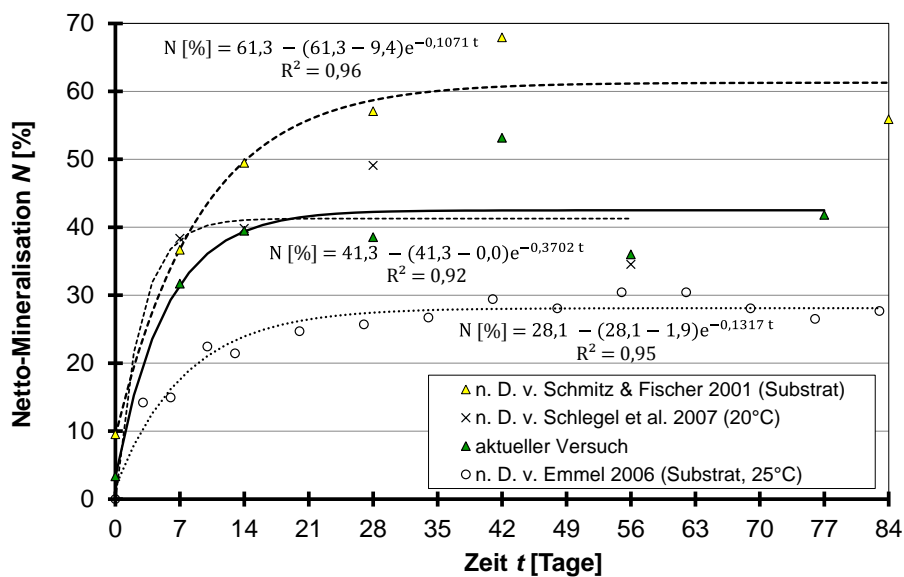


Abb. 5: Verlauf der Netto-Mineralisation bei Vinasse im Vergleich zu Literaturdaten (Regressionsgleichung für den aktuellen Versuch [durchgezeichnete Linie] sowie Bestimmtheitsmaß s. Tab. 2)

Zu **Haarmehl-Pellets** liegen ebenfalls Ergebnisse von SCHMITZ & FISCHER (2001) vor, die sich mit den hier gefundenen Werten decken (Abb. 6). Darüber hinaus wurde dieser Dünger am Standort unter nahezu identischen Bedingungen auch schon 1998 im Rahmen einer Diplomarbeit (KALAUCH 1998) untersucht. Auch hier errechnet sich mit einem N_{max} von 47 % ein vergleichbarer Wert, allerdings lief damals die Mineralisation etwas langsamer an.

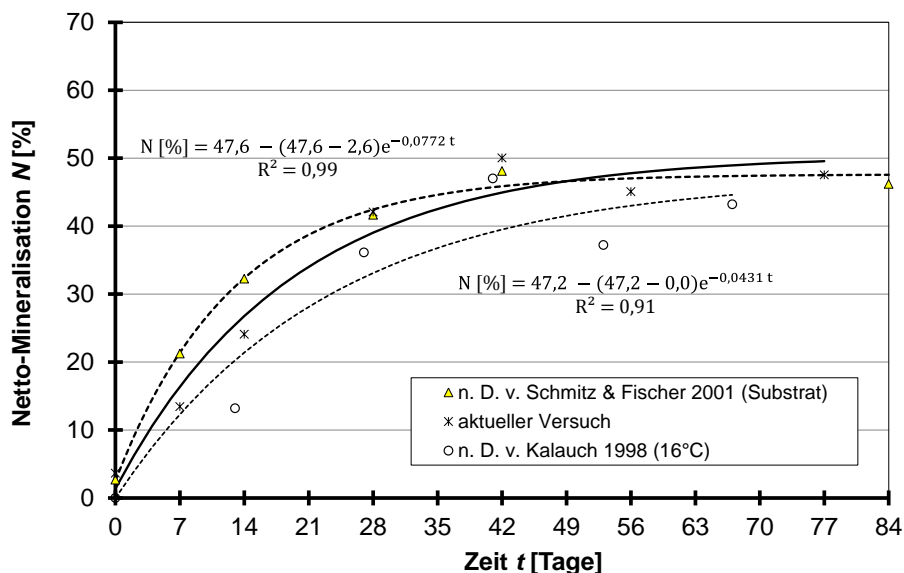


Abb. 6: Verlauf der Netto-Mineralisation bei Haarmehl-Pellets im Vergleich zu Literaturdaten (Regressionsgleichung für den aktuellen Versuch [durchgezeichnete Linie] sowie Bestimmtheitsmaß s. Tab. 2)

Zu **Horngrieß** liegt nur eine Untersuchung von STADLER et al. (2003) vor, die bei 20°C einen etwas langsameren Mineralisationsverlauf beobachteten (Abb. 7). Relativ ähnlich wie Horngrieß im aktuellen Versuch verlief auch die Mineralisation des etwas feiner vermahlene Hornmehls in den Versuchen von FISCHER (2000) und MÜLLER & VON FRAGSTEIN u. N. (2006).

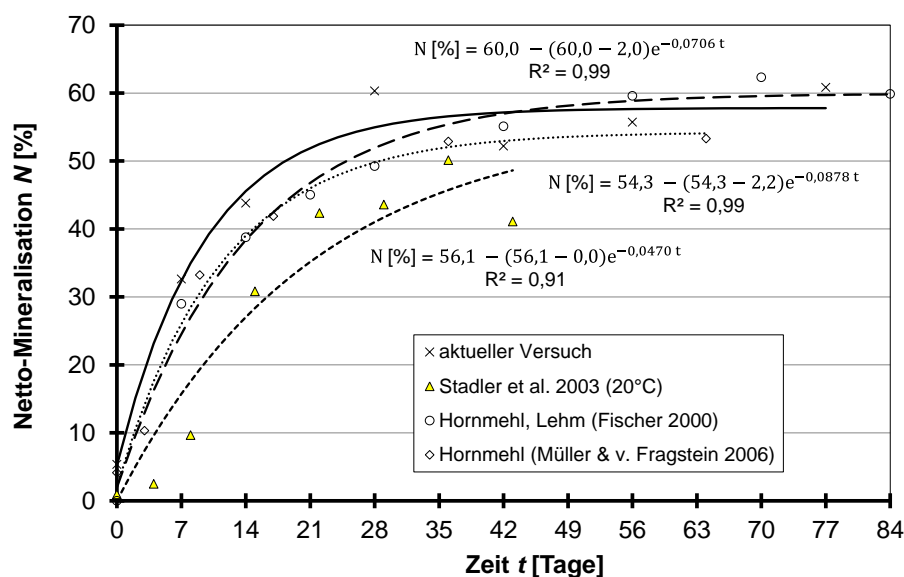


Abb. 7: Verlauf der Netto-Mineralisation bei Horngrieß im Vergleich zu Literaturdaten (Regressionsgleichung für den aktuellen Versuch [durchgezogene Linie] sowie Bestimmtheitsmaß s. Tab. 2)

Der gefundene sigmoide Verlauf der N-Mineralisation bei dem Schafwolldünger **floraPell** ist in dieser Ausprägung ungewöhnlich für einen organischen Handelsdünger. Der Verlauf konnte mit einer logistischen Funktion nach FELDMANN beschrieben werden, aus der sich ein N_{max} von 38,5 % ergibt (Abb. 8).

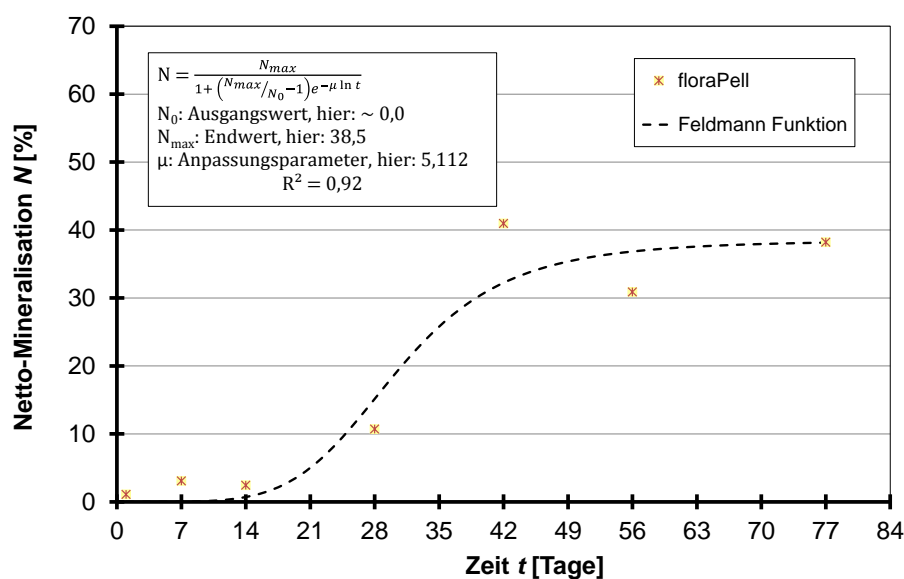


Abb. 8: Verlauf der Netto-Mineralisation bei floraPell sowie angepasste logistische Funktion nach FELDMANN (der Ausgangs- = NH_4 -N-Gehalt wurde als Wert für Tag 1 gesetzt, da die Funktion erst ab $t \geq 1$ sinnvolle Ergebnisse liefert. Für $N_0 = 0$ ist die Funktion nicht definiert, hier wurde bei der Anpassung der Funktion als Nebenbedingung $N_0 \geq 10^{-6}$ gesetzt)

In der vorliegenden Literatur zeigt sich ein sigmoider Mineralisationsverlauf lediglich bei Erbsenschrot im bereits zitierten Versuch von SCHMITZ & FISCHER (2001) und auch (andeutungsweise) in einem Brutversuch (25°C) von KOLLER et al. (2002). Auch SCHARPF & SCHRAGE (1988) fanden bei einem Brutversuch mit Blumenkohl-Ernterückständen einen derartigen Mineralisationsverlauf, wenn die Bebrütungstemperatur 18°C, 14°C oder (dann andeutungsweise) 10°C betrug. Auch bei 22°C deutete sich noch eine leichte anfängliche Verzögerung der Umsetzung an, während bei 26°C der Mineralisationsverlauf 'perfekt' einer monomolekularen Funktion folgte. Alle weiteren vorliegenden Brutversuche mit Ernterückständen bzw. Gründungspflanzen wurden im höheren Temperaturbereich (23-35°C) durchgeführt, wobei sich immer 'Reaktionsverläufe erster Ordnung' zeigten.

SCHLEGEL et al. (2007) bebrüteten verschiedenste organische Handelsdünger auch bei einer Temperatur von nur 5°C; auch hier zeigt sich zumeist ein 'typischer', mit einer monomolekularen Funktion beschreibbarer Umsetzungsverlauf, nur bei Hornmehl und -spänen verlief die Mineralisation in den 8 Wochen Bebrütungszeit nahezu linear.

Die maximale Netto-N-Mineralisation N_{max} korrelierte nur wenig mit dem **C/N-Verhältnis** der Düngemittel, da insbesondere die Schafwollpelletes trotz eines C/N-Verhältnisses von 3,7 nur ein N_{max} von 38,5 % zeigten (Abb. 9). Ohne diesen Dünger errechnete sich eine relativ enge Korrelation zwischen C/N-Verhältnis und N_{max} mit einem R^2 von 0,74. Die Korrelation zwischen dem N-Gehalt der Düngemittel und N_{max} fiel mit einem R^2 von 0,58 (ohne Schafwollpellets) bzw. 0,34 deutlich geringer aus.

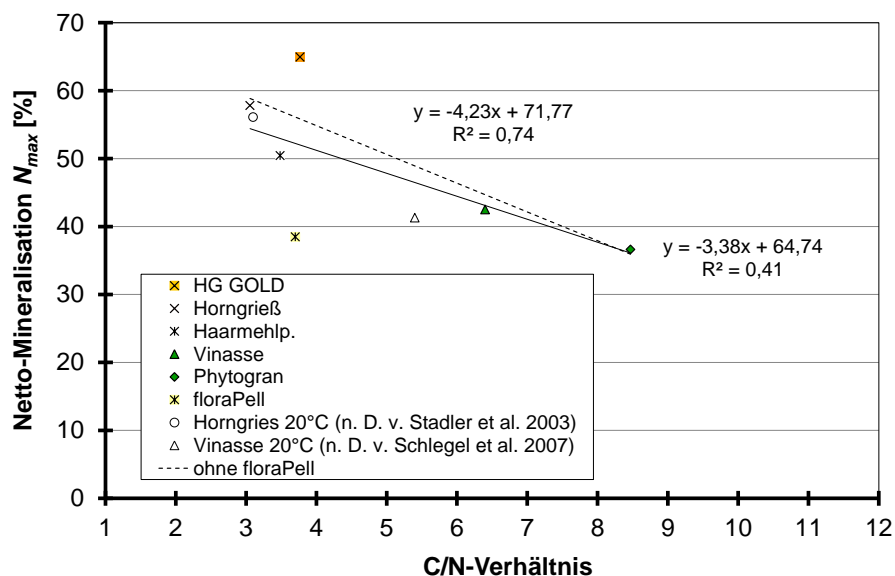


Abb. 9: Maximale Netto-Mineralisation N_{max} in Abhängigkeit vom C/N-Verhältnis der Düngemittel (Literaturdaten nicht in die Regessionsberechnungen einbezogen; N_{max} hier entsprechend Funktionsgleichungen in Abb. 5 bzw. 7)

Literatur:

- BRAUN, A. 1999: Stickstoffversorgung im Ökologischen Frühgemüseanbau und Eignung von Körnerleguminosenschroten als organische N-Dünger. Diplomarbeit, Univ. Gesamthochschule Kassel, Fachgebiet Ökologischer Landbau
- EMMEL, M. 2006: Unterschiedliches Stickstoff-Freisetzungsverhalten bei verschiedenen organischen Düngern. Versuche im Deutschen Gartenbau, www.hortigate.de
- FINK, M. und H.-C. SCHARPF 2000: Apparent nitrogen mineralization and recovery of nitrogen supply in field trials with vegetable crops. Journal of Horticultural Science & Biotechnology **75** (6), S. 723-726
- FISCHER, P. 2000: N-Freisetzung verschiedener organischer N-Dünger in Mineralböden. SÖL-Berater-Rundbrief 4, S. 3-7
- KALAUCH, S. 1998: Verlauf der N-Freisetzung aus organischen Düngemitteln im Brutversuch. Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH), Fachbereich Pillnitz, Studiengang Gartenbau
- KOLLER, M., TH. ALFÖLDI, A. BERNER und M. LICHTENHAHN 2002: Alternativen zu Fleisch-, Blut- und Horndüngern im biologischen Gemüse- und Zierpflanzenbau. Bericht zum gemeinsamen Projekt von Coop und FiBL, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick (CH)
- MÜLLER, T. und P. VON FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF 2006: Organic fertilizer derived from plant materials Part I: Turnover in soil at low and moderate temperatures. J. Plant Nutr. Soil Sci. **169**, S. 255-264
- SCHARPF, H.-C. und R. SCHRAGE: 1988: Größenordnung und Einflussfaktoren der Freisetzung von Stickstoff aus Ernterückständen im Gemüsebau. VDLUFA-Schriftenreihe 28, Teil II, S. 81-95
- SCHLEGEL, I., Z. LI, M. V. SCHENCK ZU SCHWEINSBERG-MICKAN, R. SCHULZ und T. MÜLLER 2007: Purchasable and on farm produced plant based organic fertilisers: I. N-turnover and net Nmineralisation in incubation experiments. VDLUFA-Schriftenreihe **62**, S. 409-420
- SCHMITZ, H.-J. und P. FISCHER 2001: Vegetabile Dünger für die Anzucht von Salat-Jungpflanzen. ÖKOmenischer Gärtner-Rundbrief, September, Oktober & November 2001
- STADLER, C., S. VON TUCHER, H. HEUWINKEL, R. GUTSER, M. SCHEU-HELGERT, B. RASCHER, W. SCHUBERT und U. SCHMIDHALTER 2003: N-Mineralisation pflanzlicher Dünger im Inkubationsversuch. Posterausdruck, überreicht auf Bamberger Öko-Gemüsebautag 2003