

N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern tierischer und pflanzlicher Herkunft – Zeitverlauf und Temperaturabhängigkeit im Brutversuch

Die Ergebnisse – kurzgefasst

Bei 5°C zeigten Vinasse und Maltaflor im Vergleich zu organischen Handelsdüngern (OHD) tierischer Herkunft und Bioagenasol eine deutlich schnellere Netto-N-Mineralisation. Diese schnellere N-Verfügbarkeit war mit steigender Inkubationstemperatur zunehmend geringer ausgeprägt. Der Mineralisationsverlauf von Vinasse zeigte bei 20 und 25°C in der zweiten Hälfte des Inkubationszeitraums eine Wiederabnahme der Netto-N-Mineralisation bis zum Teil auf unter Ausgangsniveau. Der pflanzliche OHD Bioilsa11 wies zu Versuchsende bei allen Temperaturstufen (mit) die höchste Netto-N-Mineralisation auf. Ein Zusammenhang zwischen der Netto-N-Mineralisation der OHD und deren C:N-Verhältnis konnte nicht gezeigt werden. Die N-Nachlieferung aus der org. Bodensubstanz war in enger Übereinstimmung mit einem für Freilandbedingungen gültigen Kalkulationsansatz.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Gegenwärtig befindet sich eine zunehmende Anzahl unterschiedlicher organischer Handelsdünger (OHD) auf dem Markt, welche aus diversen tierischen oder pflanzlichen Ausgangsstoffen hergestellt werden. Dass die Netto-N-Mineralisation organischer Materialien maßgeblich von deren stofflicher Zusammensetzung sowie von der Temperatur abhängt, ist vielfach gezeigt worden. Darüber hinaus ist aber auch von Wechselwirkungen zwischen den stofflichen Eigenschaften und der Temperatur auszugehen. Leguminosenschrote zeigten auch bei geringen Temperaturen eine rasche N-Freisetzung (Li et al. 2009, Müller und von Fragstein und Niemsdorff 2006). Ihnen wird daher eine besondere Eignung für den Einsatz bei kühlen Witterungsbedingungen im Frühjahr zugeschrieben. Ziel des Inkubationsversuches war ein Vergleich ausgewählter OHD tierischer und pflanzlicher Herkunft. Im Mittelpunkt standen der zeitliche Verlauf und die Temperaturabhängigkeit der Netto-N-Mineralisation.

Material und Methoden

Der für den Versuch genutzte Boden wurde dem Ap-Horizont einer Braunerde aus diluvialen Geschiebesand und Geschiebelehm entnommen. Bodenart war lehmiger Sand (IS2) mit Korngrößenanteilen von etwa 8 % Ton, 16 % Schluff und 78 % Sand, einem Humusgehalt von 1,0 % sowie einem pH-Wert von 6,4 %. Der feldfrische Boden wurde vor Versuchsbeginn für vier Wochen zwischengelagert und anschließend zur Homogenisierung und zur Entfernung von Stein- und Streuanteilen (>20 mm) gesiebt. Die Inkubation der Dünger erfolgte in Polypropylenbechern (500 ml), in welche jeweils 573 g Bodentrockenmasse eingefüllt wurden. Angestrebt wurde die Einbringung von 100 mg Dünger-N je kg Bodentrockenmasse, was unter Annahme einer Trockenrohichte (TRD) des Bodens von 1,5 g/cm³ und einer angenommenen Einarbeitungstiefe des Düngers von 10 cm einer Düngermenge von 150 kg N/ha entspricht. Die tatsächlich eingebrachte Düngermenge wurde anhand der bestimmten N_t-Gehalte (Tabelle 1) rückwirkend kalkuliert. Sie variierte zwischen 84,0 und 103,6 mg Dünger-N je kg Bodentrockenmasse. Eine ungedüngte Kontrollvariante diente als Referenz.

N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern tierischer und pflanzlicher Herkunft – Zeitverlauf und Temperaturabhängigkeit im Brutversuch

Tabelle 1: Gesamtstickstoff- (N_t) und -kohlenstoffgehalte (C_t) sowie C:N-Verhältnisse der untersuchten organischen Handelsdünger (OHD)

OHD	N_t (% OS ¹) ²	N_t (% OS ¹)	TS (%)	N_t (% TS ³)	C_t (% TS ³)	C:N
Vinasse	4,5	4,2	59,7	7,0	46,9	6,7
Bioagenasol	5,5	5,7	89,7	6,4	47,9	7,5
Haarmehlpellets	14,0	14,2	93,9	15,1	52,2	3,5
Hornmehlpellets	14,0	12,2	92,5	13,2	47,6	3,6
Bioilsa11	11,0	10,6	93,8	11,3	43,7	3,9
Maltaflor	5,0	4,3	90,8	4,7	41,9	8,8

¹ auf „Originalsubstanz“ (Frischmasse) bezogen

² Herstellerangaben

³ auf Trockensubstanz bezogen

Unmittelbar nach Einbringung der Dünger wurden die Gefäße auf einen gravimetrischen Wassergehalt von 14,9 % (auf Bodentrockenmasse bezogen) aufgewässert. Unter Feldbedingungen entspräche dies 80 % der Feldkapazität (FK), bzw. 71 % der nutzbaren Feldkapazität (nFK) (Annahme: FK 28 Vol.-%, nFK 19 Vol.-%, TRD 1,5 g/cm³; Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005). Die hierzu notwendige Wassermenge je Gefäß variierte in Abhängigkeit des Trockenmassegehalts der Dünger. Um den Bodenwassergehalt weitestgehend konstant zu halten wurden die Becher während der Inkubation mit gelochten Deckeln verschlossen. Der Wassergehalt wurde 31 Tage nach Versuchsbeginn gravimetrisch (durch Wiegen der einzelnen Becher) kontrolliert und die Becher bei Bedarf auf das Ausgangsgewicht aufgewässert. Die Inkubation erfolgte bei 5°C, 13°C, 20°C und 25°C (Sollwerteeinstellung) in Klimakammern, bzw. bei 5°C in einer Kühlzelle. Die zweistündlich mittels Thermologgern (Tinytag Plus 2, Gemini Data Loggers Ltd., Chichester, UK) gemessenen tatsächlichen Temperaturen betragen im Mittel der Inkubationsdauer 5,2°C, 12,2°C, 20,1°C respektive 24,0°C. Nach 3, 9, 18, 31 und 49 Tagen wurden je Temperaturstufe und Variante vier Becher entnommen und zur Bestimmung des N_{min} -Gehalts eine Mischprobe erstellt. Diese wurde bis zur N_{min} -Analyse bei -18°C eingefroren. Die N_{min} -Analyse (NO₃-N und NH₄-N) erfolgte nach VDLUFA-Methode A 6.1.4.1 (Methodenbuch Band I; N_{min} -Extraktion mit 0,0125 M CaCl₂). Die Bestimmung des Gesamtstickstoffgehaltes der Dünger (N_t) erfolgte mittels Verbrennungsverfahren nach Dumas (VDLUFA II 3.5.2.7). Der Gesamtkohlenstoffgehalt wurde entsprechend DIN ISO 10694 (trockene Verbrennung, Elementaranalyse) quantifiziert. Die Netto-N-Mineralisation der Dünger wurde mit Hilfe der ungedüngten Kontrollvariante ermittelt und entspricht dem Unterschied im N_{min} -Gehalt zwischen gedüngtem und ungedüngtem Boden zum jeweiligen Zeitpunkt.

Der zeitliche Verlauf der Netto-N-Mineralisation von organischen, N-haltigen Materialien lässt sich meist gut durch sog. „monomolekularer“ Funktionen (Funktionen erster Ordnung) beschreiben. Wesentliche Voraussetzung hierfür ist, dass die Mineralisation erstens unmittelbar einsetzt und keine anfänglich Verzögerung („lag-Phase“) stattfindet sowie zweitens im Versuchsverlauf nicht systematisch wieder abnimmt. Sofern möglich, wurde der experimentell ermittelte Mineralisationsverlauf mit folgender Funktion beschrieben:

$$NNM(t) = NNM_{max} (1 - e^{-kt})$$

Hierbei stellt $NNM(t)$ die Netto-N-Mineralisation (%) zum Zeitpunkt t (Tage) dar, NNM_{max} gibt die maximale Netto-N-Mineralisation an, an welche die Kurve sich asymptotisch annähert. Die

N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern tierischer und pflanzlicher Herkunft – Zeitverlauf und Temperaturabhängigkeit im Brutversuch

Ratenkonstante k gilt hierbei als Maß für die Mineralisationsgeschwindigkeit. Die Netto-N-Mineralisation der organischen Bodensubstanz entspricht der Veränderung des N_{\min} -Gehalts der ungedüngten Kontrollvariante zwischen Einarbeitungszeitpunkt ($t=0$) und entsprechendem Beprobungstermin.

Ergebnisse und Diskussion

Bei der ungedüngten **Kontrollvariante** nahm der N_{\min} -Gehalt des Bodens im zeitlichen Verlauf bei allen Temperaturstufen linear zu (Daten nicht dargestellt). Die so ermittelte tägliche **N-Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz** variierte zwischen 0,0037 und 0,0302 mg N/100 g Bodentrockenmasse (Abb. 1). Unter Annahme einer TRD von 1,5 g/cm³ und einer Bodenschichtdicke von 30 cm entspricht dies einer Spanne von 0,17 bis 1,36 kg N/ha/Tag (\emptyset 0,84 kg N/ha/Tag). Die tägliche N-Nachlieferung zeigte hierbei eine enge, positive lineare Abhängigkeit von der Temperatur. Die Nettomineralisation der organischen Bodensubstanz trägt insbesondere bei Gemüsekulturen mit langer Kulturdauer ganz wesentlicher zum N-Angebot für diese bei (Fink und Scharpf 2000) und findet daher bei der Düngebedarfsermittlung nach dem N_{\min} -System Berücksichtigung (Feller et al. 2011). Im Mittel wird hierbei eine N-Nachlieferung von 5 kg N/ha/Woche (0,71 kg N/ha/Tag) angenommen (Feller 2013), was in Übereinstimmung mit der im Inkubationsversuch ermittelten Größenordnung von 0,84 kg N/ha/Tag ist. Aufgrund der Temperaturabhängigkeit von Mineralisationsprozessen schlagen Fink und Scharpf (2000) zur Abschätzung der N-Nachlieferung eine Kosinusfunktion vor, welche dem Jahrestemperaturverlauf Rechnung tragen soll und am 30. Juni mit 0,91 kg N/ha/Tag ihr Maximum besitzt (Abb. 2). Quantifiziert wurde die Funktion mithilfe von knapp 30 gemüsebaulichen N-Steigerungsversuchen, die zwischen 1987 und 1997 in Hannover durchgeführt wurden. Unter Berücksichtigung der langjährigen, durchschnittlichen Tagesmitteltemperatur (1980-2013) des Standortes Hannover und der im Inkubationsversuch ermittelten

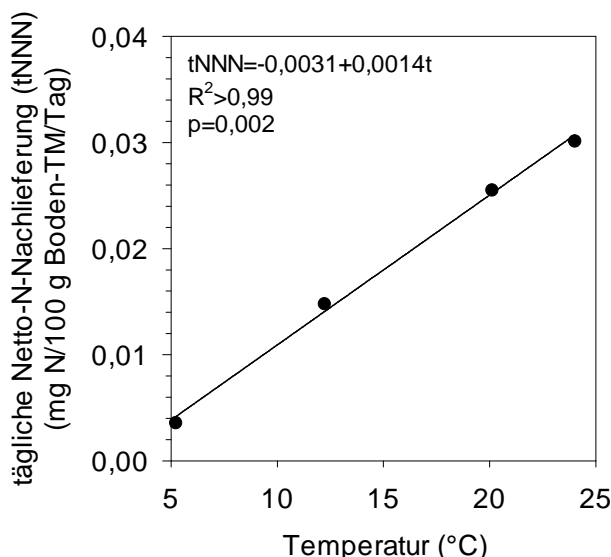


Abb. 1: Netto-N-Mineralisation der organischen Bodensubstanz („N-Nachlieferung“) in Abhängigkeit von der Inkubationstemperatur

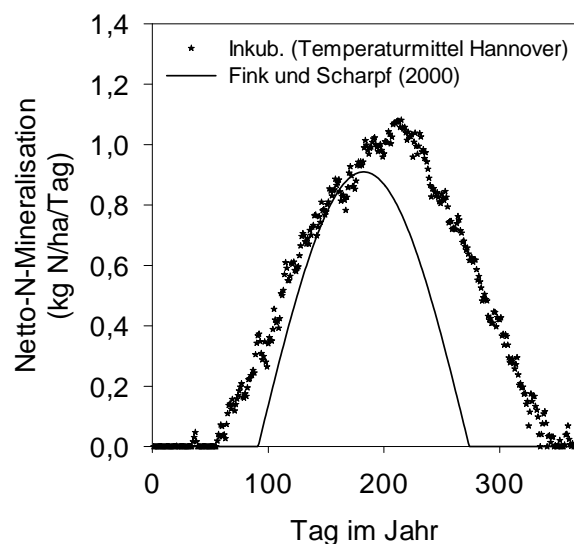


Abb. 2: Netto-N-Mineralisation der organischen Bodensubstanz („N-Nachlieferung“) im Jahresverlauf

N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern tierischer und pflanzlicher Herkunft – Zeitverlauf und Temperaturabhängigkeit im Brutversuch

Temperaturabhängigkeit der N-Nachlieferung ergibt sich ein sehr ähnlicher Jahresverlauf, welcher Ende Juli mit knapp über 1,0 kg N/ha/Tag sein Jahresmaximum aufweist (Abb. 2).

Die ermittelten, auf die Originalsubstanz (Frischmasse) bezogenen **N_t-Gehalte** (% OS) der Dünger stimmten im Wesentlichen gut mit den Herstellerangaben überein. Die größten Abweichungen fanden sich bei Hornmehlpellets und Maltaflor. Der N_t-Gehalt (% OS) der OHD aus tierischer Herkunft variierte zwischen 10,6 und 14,2 % (ø 12,3 %) und war im Vergleich zu den pflanzlichen OHD damit deutlich höher (Tabelle 1). Dieser variiert zwischen 4,2 und 5,7 % (ø 4,7 %). Dementsprechend war das **C:N-Verhältnis der OHD** tierischer Herkunft deutlich geringer (ø 3,7) als das der pflanzlichen OHD (ø 7,7).

In den meisten Fällen ließ sich der Zeitverlauf der **Netto-N-Mineralisation der Dünger** mittels monomolekularer Funktion beschreiben und somit die Ratenkonstante als Maß für die Mineralisationsgeschwindigkeit und NNM_{max} als Maß für die potentielle Netto-N-Mineralisation quantifizieren (Tabelle 2). Bei 5°C war dies bei den tierischen OHD Bioilsa und Hornmehlpellets aufgrund einer anfänglichen Verzögerung der Netto-N-Mineralisation nicht möglich was im Vergleich zu den drei pflanzlichen OHD auf eine starke Temperaturabhängigkeit hindeutet. Auch die Ratenkonstante von Haarmehlpellets (0,047) war bei dieser Temperaturstufe mit Ausnahme von Bioagenasol geringer als die der pflanzlichen OHD (Vinsasse: 0,124; Maltaflor: 0,060). Bei 5°C war noch am vierten Beprobungstermin, 30 Tage nach Inkubationsbeginn, die Netto-N-Mineralisation der pflanzlichen OHD größer (Vinsasse, Maltaflor) oder gleich (Bioagenasol) der tierischen OHD (Abb. 3).

Bei 13°C war die Netto-N-Mineralisation von Vinsasse und Maltaflor bereits nach 18 Tagen mit der von Bioilsa auf einem Niveau von etwa 30 %. Bei 20 und 25°C waren entsprechende Effekte lediglich am ersten Beprobungstermin, 3 Tagen nach Inkubationsbeginn, sichtbar. Die schnellere N-Verfügbarkeit von Vinsasse und Maltaflor war somit mit steigender Inkubationstemperatur zunehmend geringer ausgeprägt. Die 49 Tage nach Inkubationsbeginn (Versuchsende) bestimmte Netto-N-Mineralisation von **Vinsasse** nahm mit steigender Temperatur ab (5°C: 33,8 %; 13°C: 29,6 %; 20°C: 10,1 %; 25°C: -7,1 %; Abb. 3).

Tabelle 2: Regressionsanalytisch [$NNM(t) = NNM_{max} (1 - e^{-kt})$] ermittelte maximale Netto-N-Mineralisation NNM_{max} (%) und dazugehörige Ratenkonstante k (1/d, in Klammern) der untersuchten organischen Handelsdünger (OHD) bei unterschiedlicher Temperatur

OHD	5°C	13°C	20°C	25°C
Vinsasse	34,9 (0,124)	22,5 (0,657)	¹	¹
Bioagenasol	24,7 (0,039)	34,1 (0,035)	24,2 (0,139)	41,1 (0,031)
Haarmehlpellets	13,6 (0,047)	30,1 (0,036)	25,2 (0,048)	13,2 (0,043)
Hornmehlpellets	²	35,2 (0,024)	32,9 (0,035)	45,2 (0,029)
Bioilsa11	^{2,3}	³	51,6 (0,124)	58,6 (0,074)
Maltaflor	31,3 (0,060)	29,7 (0,128)	51,1 (0,044)	37,6 (0,070)

¹ Mineralisationsverlauf mittels Funktion erster Ordnung nicht beschreibbar: Wiederabnahme der Netto-N-Mineralisation im Verlauf der zweiten Hälfte des Inkubationszeitraums z.T. bis auf (unter) Ausgangsniveau

² Mineralisationsverlauf mittels Funktion erster Ordnung nicht beschreibbar: Anfänglich Verzögerung („lag-Phase“) der Netto-N-Mineralisation

³ Mineralisationsverlauf mittels Funktion erster Ordnung nicht beschreibbar: Lineare Zunahme der Netto-N-Mineralisation im Verlauf des gesamten Inkubationszeitraums

N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern tierischer und pflanzlicher Herkunft – Zeitverlauf und Temperaturabhängigkeit im Brutversuch

Der Mineralisationsverlauf zeigte bei 20 und 25°C in der zweiten Hälfte des Inkubationszeitraums eine Wiederabnahme der Netto-N-Mineralisation bis zum Teil unter Ausgangsniveau. Beides deutet insbesondere bei Vinasse auf gasförmige N-Verluste durch Denitrifikation hin. Trotz realistisch gewählter und präzise eingestellter Bodenfeuchte, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die schnelle N-Freisetzung und die vermutlich ebenso schnelle Zunahme an mikrobieller Aktivität insbesondere bei hohen Temperaturen zu zeitweilig anaeroben Bedingungen in den Bechern geführt haben. Die Wiederabnahme der Netto-N-Mineralisation bis auf negative Werte ist zusätzlich dadurch erklärbar, dass die Mineralisation des im Dünger enthaltenen N u. U. zeitlich getrennt von dessen C-Mineralisation stattfindet (vgl. Müller und von Fragstein und Niemsdorff 2006). Da die mikrobielle Verfügbarkeit von C zu N-Immobilisierung führt, kann eine verzögerte C-Mineralisation somit sowohl der Grund für eine schnelle Netto-N-Mineralisation als auch für deren nachfolgende Wiederabnahme darstellen. Geht während der Denitrifikationsphase bereits mineralisierter Dünger-N in bedeutendem Umfang gasförmig verloren, so ist davon auszugehen, dass eine im Anschluss stattfindende C-Mineralisation des Düngers zu einer N-Immobilisierung von Boden-N_{min} und damit rechnerisch zu einer negativen Netto-N-Mineralisation des Düngers führt. Mit Denitrifikationsverlusten lässt sich auch die geringe NNM_{max} von Haarmehlpellets

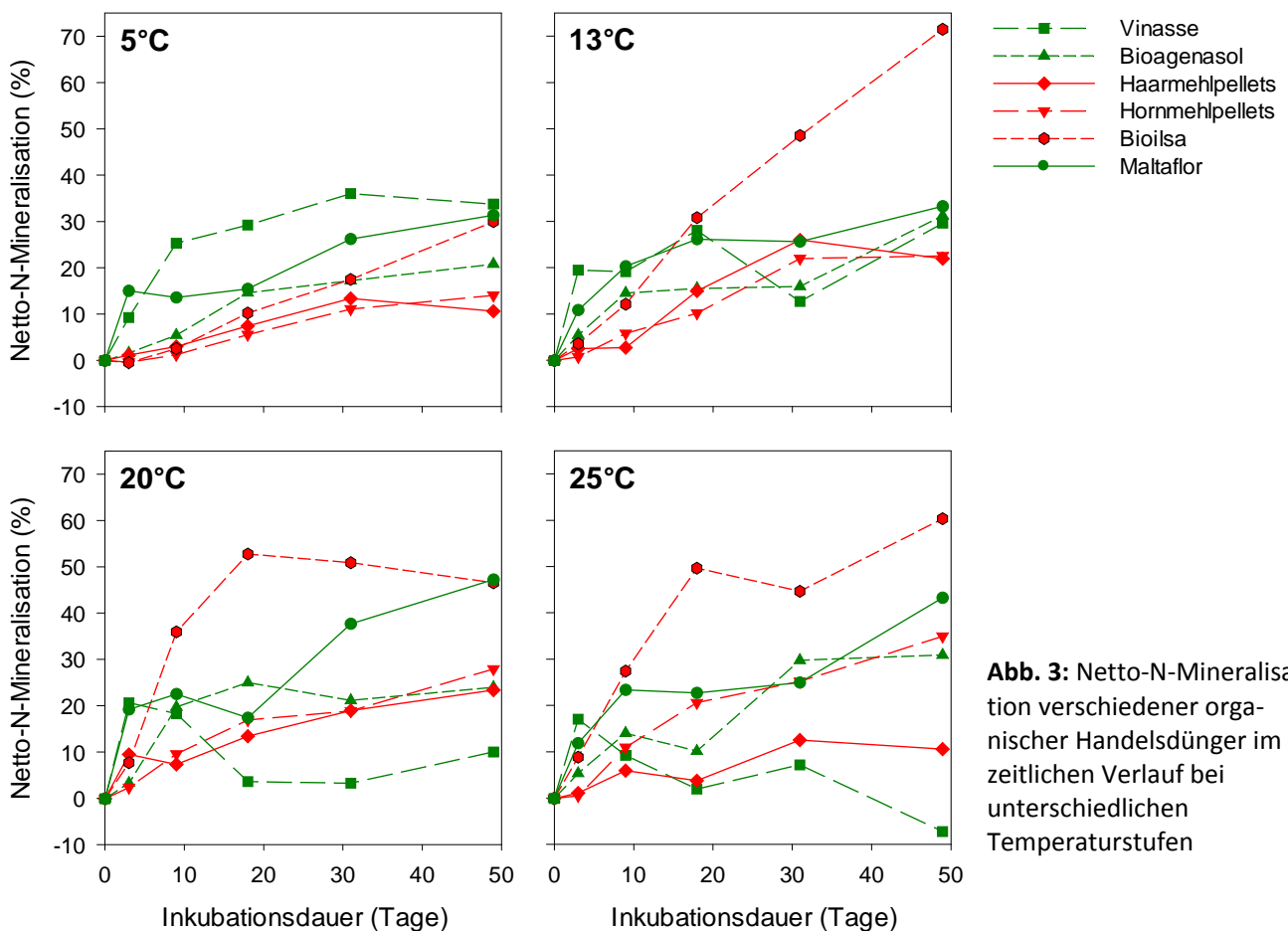


Abb. 3: Netto-N-Mineralisation verschiedener organischer Handelsdünger im zeitlichen Verlauf bei unterschiedlichen Temperaturstufen

N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern tierischer und pflanzlicher Herkunft – Zeitverlauf und Temperaturabhängigkeit im Brutversuch

insbesondere bei 25°C erklären. Hornmehlpellets erwiesen sich hierbei als vergleichsweise weniger anfällig.

Neben Vinasse zeigte auch **Bioilsa** einen von den anderen Düngern abweichenden Mineralisationsverlauf. Bei 5 und 13°C nahm die Netto-N-Mineralisation während des gesamten Inkubationszeitraums linear zu. Im Vergleich zu den anderen OHD wies Bioilsa zu Versuchsende nach 49 Tagen bei allen Temperaturstufen (mit) die höchste Netto-N-Mineralisation auf. Im Vergleich zu Haar- und Hornmehlpellets, welche ein vergleichbares C:N-Verhältnis besaßen, war die Netto-N-Mineralisation zu diesem Zeitpunkt stets deutlich größer. Bioilsa wird vorwiegend aus tierischen Ausgangsstoffen (Tierhaare, Federmehl, pflanzlicher Ölkuchen) hergestellt, was sich bei niedriger Temperatur in einer mit Haar- und Hornmehlpellets vergleichbaren Mineralisationsgeschwindigkeit widerspiegelte.

Das **C:N-Verhältnis** (bzw. der N_t-Gehalt) eines organischen Düngers gibt zwar keine Auskunft über die Geschwindigkeit der N-Freisetzung, es ist aber i.d.R. ein guter Indikator für seine potentielle (maximale) Netto-N-Mineralisation (vgl. Katroschan et al. 2012, Stadler et al. 2006). Die C:N-Verhältnisse der untersuchten OHD lassen eine deutliche Differenzierung zwischen den Düngern tierischer und jenen pflanzlicher Herkunft hinsichtlich ihrer maximalen Netto-N-Mineralisation erwarten. Dies zeigte sich in den Ergebnissen jedoch nur sehr bedingt: Die maximale Netto-N-Mineralisation (NNM_{max}) betrug im Mittel der drei OHD tierischer Herkunft und sämtlicher Temperaturstufen 37,8 % während der entsprechende Mittelwert für die pflanzlichen OHD mit 32,4 % nur leicht geringer war (Tabelle 2). Vor dem Hintergrund der großen Variabilität innerhalb der beiden Gruppen ist dieser geringe Unterschied zu vernachlässigen. Die Netto-N-Mineralisation der sechs OHD war weder 9 noch 49 Tage nach Inkubationsbeginn und bei keiner Temperaturstufe mit deren C:N-Verhältnis korreliert (Daten nicht dargestellt). Innerhalb der Düngerauswahl und unter den gegebenen Versuchsbedingungen waren somit andere Dünereigenschaften als das C:N-Verhältnis ausschlaggebend.

Literatur

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005) Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten (Hrsg.). 5. Auflage. Hannover, ISBN 3-510-95920-5
- Feller, C. (2013) Stickstoffdüngung nach dem N_{min}-System – N_{min}-Sollwerte für Freilandgemüse. http://www.igzev.de/publikationen/IGZ_N-Sollwerte_Gemuese.pdf (23.09.2014)
- Feller, C.; Fink, M.; Rather, K.; Laber, H.; Strohmeyer, K.; Ziegler, J. (2011) Düngung im Freilandgemüsebau. In: Fink, M. (Hrsg.): Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), Heft 4, 3. Auflage. Großbeeren 2013, ISBN 1437-3394
- Fink, M.; Scharpf, H.C. (2000) Apparent nitrogen mineralization and recovery of nitrogen supply in field trials with vegetable crops. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 75(6): 723-726
- Katroschan, K.-U.; Teixeira, G.; Kahlen, K.; Stützel, H. (2012) Decomposition of lupine seeds and seedlings as N fertilizer in organic vegetable production. *Plant and Soil* 357: 59-71
- Li, Z.; Schulz, R.; Müller, T. (2009) Short-term nitrogen availability from lupine seed meal as an organic fertilizer is affected by seed quality at low temperatures. *Biological Agriculture and Horticulture* 26(4): 337-352
- Müller, T.; von Fragstein und Niemsdorff, P. (2006) Organic fertilizers derived from plant materials. Part I: Turnover in soil at low and moderate temperatures. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169(2): 255-264
- Stadler, C.; von Tucher, S.; Schmidhalter, U.; Gutser, R.; Heuwinkel, H. (2006) Nitrogen release from plant-derived and industrially processed organic fertilizers used in organic horticulture. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169: 549–556