

N- und S-Mineralisation von Dungstoffen im Brutversuch über 52 Wochen

Die Ergebnisse – kurzgefasst

Am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden-Pillnitz wurde, beginnend im Herbst 2020, ein Brutversuch mit Ernte- bzw. Zwischenfruchtresten sowie Haarmehlpellets über eine Versuchsdauer von 52 Wochen bei 15 °C durchgeführt.

Bei einem C/N-Verhältnis von 22,6 kam es bei Möhren-Ernterückständen zunächst zu einer N-Immobilisation, die erst nach 8 Wochen überwunden war. Nach 36 Wochen lag die Netto-N-Mineralisation bei 23 % der eingebrachten N-Menge, für den weiteren Verlauf errechnete sich praktisch keine weitere Zunahme. Bei Phaceliaaufwuchs (C/N: 19,3) fiel die Immobilisierungsphase deutlich kürzer aus, hier stieg die N-Freisetzung bis zur 36. Woche auf 28 % der ausgebrachten N-Menge an. Auch hier war die Umsetzung zu diesem Zeitpunkt praktisch abgeschlossen. Bei den Haarmehlpellets (C/N: 3,6) war die N-Freisetzung mit einem Endwert von knapp 57 % bereits nach 14 Wochen ‚endgültig‘ durchlaufen.

Bei Weizenstroh (C/N: 72,1) erreichte die N-Immobilisation nach 14 Wochen ihren Höhepunkt. Hier waren bei einer Ausbringmenge von umgerechnet rund 56 dt Stroh/ha 30 kg N/ha immobilisiert. Im Anschluss ging die immobilisierte N-Menge zurück; nach 52 Wochen war die Reimmobilisierung aber weitestgehend abgeschlossen, umgerechnet ca. 15 kg N/ha blieben immobilisiert.

Die S_{\min} -Nachlieferung des ungedüngten Bodens lag bei 0,3 kg S/ha_{0-30 cm} pro Woche, die S-Freisetzung aus dem Materialen zeigte wiederum kaum eine ‚zeitliche Dynamik‘ und lag über den Beobachtungszeitraum hinweg bei 27 % (Haarmehlpellets) bis 66 % (Möhren-Ernterückstände).

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Viele der in der Literatur beschriebenen Brutversuche mit (Gemüse-)Ernterückständen, Zwischenfrucht-Materialien und organischen Handelsdüngern hatten eine Laufzeit von maximal rund 130 Tage. Der Verlauf der N-Mineralisation, oft mit so genannten Funktionen 1. Ordnung (= monomolekulare Funktionen) beschrieben, zeigte dabei zumeist ein deutliches ‚Abklingen‘ der Umsetzungsprozesse zum Ende hin an. Bei N-Freisetzungen von oft unter 50 % der gedüngten N-Menge stellt sich aber häufig die Frage, was im weiteren Verlauf passieren würde.

FISCHER (2001) bzw. SCHMITZ & FISCHER (2001) inkubierten bei 15 °C verschiedene **organische Handelsdünger** über 52 Wochen sowohl auf einem Sand als auch Lehmboden. Bei Hornmehl, Rizinus- und Ackerbohenschrot waren die Umsetzungen nach spätestens 12 Wochen weitestgehend abgeschlossen, sodass in den folgenden Wochen praktisch keine weitere N-Freisetzung mehr stattfand. Bei Hornspänen (S₂ = 4-7 mm) dauerte die N-Freisetzung rund 44 Wochen an, erst danach deutete sich ein Abklingen an.

N- und S-Mineralisation von Dungstoffen im Brutversuch über 52 Wochen

KELDERER et al. (2012) bebrüteten bei 20 °C einen Dünger auf Basis von „Tierhaaren, Federmehl und pflanzlichem Ölkuchen“ (Bioilsa 11; C/N: 4,1) sowie Luzernepellets über einen Zeitraum von 240 Tagen. Aus den Daten errechnet sich für Bioilsa bereits nach 14 Tagen eine N-Freisetzung von 52 %, die bis zum 120. Tag noch auf 64 % zunahm, dann aber wieder auf 54 % sank. Bei den Luzernepellets (C/N: 20,6) wurde bis zum 28. Tag eine N-Immobilisierung festgestellt. Im weiteren Verlauf stieg die N-Freisetzung auf rund 26 % an (120. Tag), auch für den 240. Tag errechnet sich praktisch der gleiche Wert.

LEVAVASSEUR et al. (2021) fassten sechs (nicht näher zitierte) Versuchsergebnisse zu tierischen Reststoffdüngern („Federmehl etc.“) zusammen, bei denen die Brutversuche offensichtlich zumindest teilweise über 300 Tage liefen; eine angepasste Polynom-Funktion deutete, nach einem anfänglichen ‚Peak‘ um den 40. Tag, auf eine dann weiter leicht ansteigende N-Freisetzung hin, die aber ab etwa dem 220. Tag wieder leicht abnahm.

CHAVES et al. (2014) inkubierten Feder- (C/N: 4,73) sowie Fleisch-/Knochenmehle (4,59-5,41) bei 25 °C in einem Sand- (S), sandigen Lehm- (sL) und Lehmboden (L) bis zu 35 Wochen. Die angepassten Funktionen 1. Ordnung deuten zumeist an, dass die Umsetzungen nach ca. 5 (sL, L) bzw. 10 Wochen (S) weitestgehend abgeschlossen waren; vereinzelt wurden aber auch noch Messwerte gefunden, die auf einen weiteren, leichten Anstieg der N-Freisetzung hindeuten.

Bezüglich **Gemüse-Ernterückständen** führten DE NEVE & HOFMANN (1996) Brutversuche (17 °C) mit vielen verschiedenen Materialien (C/N: 8,4 bis 30,0) über maximal 16 Wochen durch. Bei den meisten Materialien deutete sich ein deutliches Abklingen der Umsetzungsprozesse ab etwa der 6. Woche an, bei Rotkohl- und Wirsingblättern sowie Bohnenblätter und -stängel war dies erst ab etwa der 12. Woche der Fall. Trotz der zum Teil weiten C/N-Verhältnisse trat, auch zwischenzeitlich, keine N-Immobilisierung auf.

Auch bei bisherigen eigenen Brutversuchen (15 °C) mit Gemüse-Ernterückständen wurde nur über maximal 131 Tage inkubiert (LABER 2015, 2016). Bei Möhren- (C/N: 22,8 bzw. 17,4), Zwiebeln- (21,1) und Dicke Bohnen-Ernterückstände (17,0) trat hier allerdings eine anfängliche N-Immobilisierung auf. Im Versuch 2015/16 (LABER 2016) verlief die N-Freisetzung (bzw. zunächst die Überwindung der N-Immobilisierung) nahezu linear bis zum Ende des Versuches, sodass hier der weitere Verlauf der N-Freisetzung nicht abzuschätzen war.

CHEN et al. (2014) sahen auf der Basis von vier betrachteten Literaturergebnissen potentiell drei mögliche Mineralisations- bzw. Immobilisationsverläufe: Bei einem C/N-Verhältnis zwischen 9,4 und 22,7 einen (ausschließlichen) Mineralisationsprozess [Anmerkung: Materialien mit einem C/N-Verhältnisse < 9,4 waren nicht Gegenstand der zitierten Versuche], bei höheren C/N-Verhältnissen einen Immobilisierungs-Mineralisierungs- oder auch ‚reinen‘ Immobilisierungs-Prozess (Abb. 1).

N- und S-Mineralisation von Dungstoffen im Brutversuch über 52 Wochen

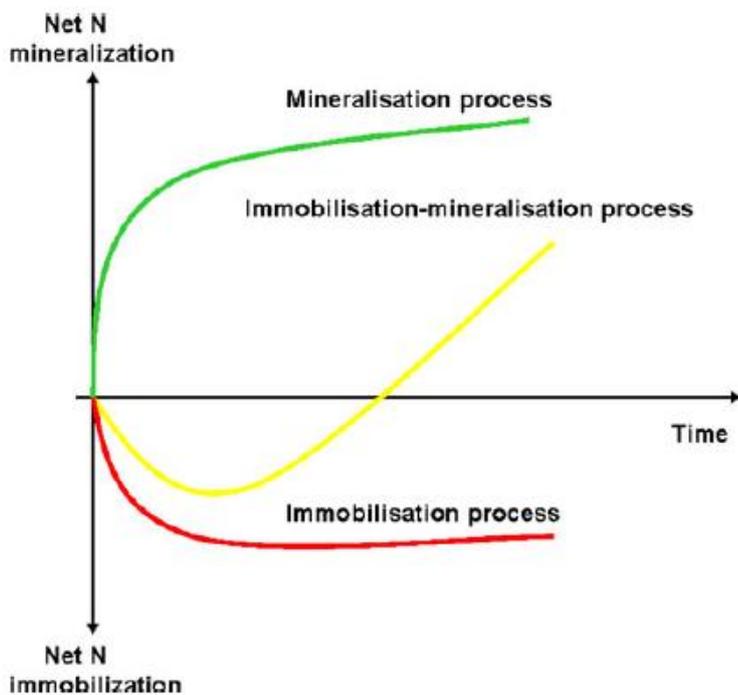


Abb. 1: Potentieller Verlauf (schematisch) **des N-Umsatzes von pflanzlichen Materialien im Versuchsverlauf** (CHEN et al. 2014)

In einem Brutversuch (16 °C) von DE NEVE et al. (2004) mit Porree-Blattrückständen (C/N: 15,5) über 27 Wochen war bereits nach 52 Tagen ein Maximum der N-Freisetzung erreicht. Im weiteren Verlauf verlief die N-Umsetzung ‚unruhig‘ mit einem höheren aber auch mehreren niedrigeren Werten. Bei einer zusätzlichen Zugabe einer relativ großen **Stroh**menge (C/N: 40,0) kam es schnell zu einer N-Immobilisierung, die dann aber (bei gewissem ‚auf und ab‘) wieder nachließ.

MITMANN et al. (1994) arbeiteten ca. Mitte Mai unter anderem Stroh (100 dt/ha; C/N: 80) auf brach gehaltene Freilandparzellen ein. Bis zum Herbst wurde eine N-Immobilisierung von ca. 40 kg N/ha_{0-30 cm} beobachtet. Im folgenden Mai/Juni fanden sich bei allen Düngemitteln in etwa die gleiche N_{min}-Mengen wie in der ungedüngten Kontrolle, auch bis Versuchsende (E. August) änderte sich daran zumeist nichts (⇒ keine N-Freisetzung im 2. Jahr nach Anwendung). Lediglich bei der Strohvariante setzte eine sehr starke N-Freisetzung ein, die rechnerisch der ehemals immobilisierten N-Menge (40 kg N/ha_{0-30 cm}) plus der N-Menge im ausgebrachten Stroh (50 kg N/ha), mithin 90 kg N/ha_{0-30 cm}, entsprach.

Nicht zuletzt dieses Ergebnis gab Anlass, die N-Freisetzung von Ernterückständen in einem Brutversuch über den Zeitraum von einem Jahr näher zu untersuchen.

N- und S-Mineralisation von Dungstoffen im Brutversuch über 52 Wochen

Versuchshinweise

Um den Mineralisationsverlauf unter ‚praxisnahen‘ Bedingungen zu untersuchen, wurde bei dem Brutversuch wiederum eine N-Einarbeitung bzw. N-Düngung von 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 d_B von 1,5 kg/l unterstellt wird. Beim Stroh wurden allerdings nur 30 kg N_t/ha entsprechend 30 mg N_t/l Boden bzw. 20 mg N_t/kg Boden_{trocken} eingemischt. Die Strohmenge entsprach mit 55,9 dt/ha einer Menge, wie sie auch bei einem mittleren Weizenertrag von rund 70 dt/ha anfallen könnte (Stroh = 80 % des Korn-ertrages).

Das Fassungsvermögen der verwendeten Becher (handelsübliche 1-l-Gefrierdosen) entsprach 0,9 kg Boden_{trocken}. Dem Bodenmaterial (schwach sandigen Lehm, A_p-Horizont, Versuchsfläche des LfULG) wurden entsprechend den zuvor analysierten N_t-Gehalten jeweils die erforderliche Menge an Dünger eingemischt (Tab. 1).

Das feuchte Bodenmaterial war 3 Wochen zuvor (13. Okt.) durch mehrmaliges Umschäufeln und Sieben (ca. 1 cm Maschenweite) homogenisiert worden. Dabei wurden größere Streubestandteile sowie Regenwürmer etc. entfernt. Bis zu Versuchsbeginn (2. Nov.) wurde das Bodenmaterial bei ca. 2 °C zwischengelagert. Vor Versuchsbeginn wurde an einer Teilprobe durch Trocknung bei 105 °C ein Wassergehalt von 13,1 Gew.-% ermittelt, sodass für jeden Becher 1,0181 kg Boden_{feucht} einzuwiegen waren.

Tab. 1: Stickstoff-, Kohlenstoff- und Schwefel-Gehalte der verwendeten Materialien sowie deren Einwaage

	Phacelia ¹⁾	Möhren-ER ²⁾	Weizenstroh	Haarmehlpellets ³⁾
TS-Gehalt [%]	10,3	19,7	85,2	—
N _t [% i.d.TS ⁴⁾	2,09	1,65	0,63	13,6 ⁵⁾
NO ₃ ⁻ -N [% i.d.TS]	0,16	0,02	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar
NH ₄ ⁺ -N [% i.d.TS]	—	—	—	0,14 ⁵⁾
Zugabe [g FM/Dose]	27,88	18,46	3,352	0,441
N-Menge [mg N _t /kg] ⁶⁾	66,7	66,7	20,0	66,7
C _t [% i.d.TS]	40,4	37,3	45,4	48,3 ⁵⁾
C _t /N _t -Verhältnis	19,3	22,6	72,1	3,3
S _t [% i.d.TS]	0,25	0,36	0,17	1,47 ⁵⁾
C _t /S _t -Verhältnis	162	104	267	32,9
S-Menge [mg S _t /kg] ⁶⁾	8,0	14,5	5,4	7,2

1) gesamter oberirdischer Aufwuchs zur Blüte (6. Okt.);

2) Ernterrückstände = gesamter Laubapparat inklusive absterbender/abgestorbener Blätter (6. Okt.);

3) Beckmann & Brehm GmbH, Beckeln; 4) in der Trockensubstanz; 5) im Original;

6) mit den Düngern eingebrachte N_t- bzw. S_t-Menge pro kg Boden_{trocken}

Das pflanzliche Material war im Vorfeld mit einem handelsüblichen Gartenhäcksler geschreddert und damit auch homogenisiert worden. Bis zum Ansatz des Brutversuches wurde es bei -18 °C eingefroren. An einer Teilprobe von jeweils rund 500 g wurde der Trockensubstanzgehalt durch Trocknung bei 80 °C ermittelt. Das getrocknete Material wurde vermahlen und auf dessen N_t-, NO₃-N-, NH₄-N-, S_t- und C_t-Gehalt hin untersucht. Bei den Haarmehlpellets erfolgte keine Trocknung, die Analysen erfolgten hier ‚im Original‘.

N- und S-Mineralisation von Dungstoffen im Brutversuch über 52 Wochen

Die eingefrorenen pflanzlichen Materialien wurden vor dem Einmischen in den Boden nur leicht angetaut aber nicht weiter zerkleinert. Die insgesamt benötigte Menge an Haarmehlpellets (HMP) wurden auf einem Schneidebrett mit einem Hammer zerdrückt und das entstandene ‚Pulver‘ durchmischt/homogenisiert.

Das Bodenmaterial wurde mit der jeweiligen Menge an Düngemittel intensiv vermischt und dann in die Dosen überführt. Für jeden der 10 geplanten Untersuchungstermine wurden zwei Dosen gefüllt (zwei Wiederholungen), für die jeweilige „Kontrolle“ wurde entsprechend ungedüngtes Bodenmaterial eingefüllt.

Das Bodenmaterial sollte auf eine nutzbare Feldkapazität (nFK) von 80 % eingestellt werden. Diese entsprach bei einer aus Bewässerungsversuchen bekannten Feldkapazität des Standortes von 27,2 Vol.-% und einem abgeschätzten Totwassergehalt von 14,4 % einem Wassergehalt von 24,6 Vol.-% $[0,8 \times (27,2 \text{ Vol.-%} - 14,4 \text{ Vol.-%}) + 14,4 \text{ Vol.-%}]$ bzw. 16,4 Gew.-%. Tatsächlich wies das (unter relativ trockenen Bedingungen gewonnene) Bodenmaterial bei Versuchsansatz mit 13,1 Gew.-% einen unter dem Sollwert liegenden Wassergehalt auf, sodass knapp 30 ml/Dose nachgewässert werden musste. Die Wassergehalte bzw. -mengen in der Phacelia-Aufwuchs bzw. in den Möhren-Ernterückständen (ER) wurden nicht angerechnet. Da anzunehmen war, dass das trockene Stroh dem Boden Wasser entzieht, erhielten die Dosen der Strohvariante zusätzlich knapp 10 ml Wasser, was rechnerisch einer Aufwässerung des Strohs auf 30 % TS entspricht. Auf Grund der im Vergleich zum Stroh geringen Einwaage bei den HMP erfolgte hier keine zusätzliche Wassergabe.

In zwei der für den letzten Beprobungstermin vorgesehenen Dosen wurde jeweils ein Temperaturlogger (Tinytag Talk 2, Gemini Data Loggers, UK) eingelegt, der auf ein Messintervall von 40 Minuten eingestellt worden war.

Die gefüllten Dosen wurden in Kunststoff-Gitterkisten gestellt. Innerhalb der Kisten für einen Probenahmetermin waren die Dosen zufällig verteilt. Auf Grund der Erfahrungen aus Vorversuchen (teilweise sehr schnelles Austrocknen der Proben) wurden die Dosen über die gesamte Bebrütungszeit hinweg mit den Deckeln der Gefrierdosen locker (Deckel nur an einer Seite festgedrückt) abgedeckt, sodass der Luftaustausch nicht unterbunden war.

Die Dosen bzw. Kisten wurden in eine Kühlzelle mit Heizmöglichkeit bei einer Soll-Lufttemperatur von 15 °C (Vergleichbarkeit mit vorherigen Brutversuchen) und einer Soll-Luftfeuchte von 90 % rel. LF im Dunkeln aufgestellt.

In den ersten Wochen liefen in den Töpfen einige wenige Unkräuter auf, die sich aber auf Grund der Dunkelheit nur zu ‚weißen Fäden‘ entwickeln konnten und dann abstarben.

Die Töpfe wurden während der Bebrütungszeit wöchentlich mit entmineralisiertem Wasser mit Hilfe einer Spritzflasche auf den Sollwert von 80 % nFK aufgewässert. Dabei betrug der auszugleichende Wasserverlust zumeist nicht mehr als 10 ml/Dose, nur vereinzelt waren größere Wassermengen notwendig.

N- und S-Mineralisation von Dungstoffen im Brutversuch über 52 Wochen

Zu den Probenahmeterminen (1, 2, 4, 8, 14, 20, 28, 36, 44 und 52 Wochen nach Versuchsbeginn) wurden die jeweiligen Dosen einzeln in einen Eimer entleert und das Bodenmaterial intensiv durchmischt. Eine Teilprobe von ca. 300 g wurde bis zur N_{\min}/S_{\min} -Analyse an den folgenden Tagen bei ca. 4 °C gelagert, ggf. bei -18 °C eingefroren. Die Analyse (NO_3^- -N + NH_4^+ -N, SO_4^{2-} -S) erfolgte nach der gängigen Methode für Freilandböden (VDLUFA-Methode A 6.1.4.1, Methodenbuch Band I).

Die N- bzw. S-Nachlieferung ‚aus dem Humus‘ bis zum Zeitpunkt t errechnete sich aus dem gefundenen N_{\min}/S_{\min} -Gehalt der Kontrolle [mg N_{\min} bzw. S_{\min} /kg Boden_{trocken}] abzüglich des gemittelten N_{\min}/S_{\min} -Ausgangsgehaltes (t_0) von 17,4 mg N_{\min} /kg Boden_{trocken} bzw. 4,54 mg S_{\min} /kg. Die Werte wurden unter der Annahme einer Horizontmächtigkeit von 30 cm und einer Lagerungsdichte d_B von 1,5 kg/l in flächenbezogene Angaben [kg/ha_{0-30 cm}] umgerechnet (\Rightarrow Faktor 4,5).

Die (scheinbare) Netto-Mineralisation zum Zeitpunkt t errechnete sich aus dem gefundenen N_{\min}/S_{\min} -Gehalt der gedüngten Variante [mg N_{\min} bzw. S_{\min} /kg Boden_{trocken}] abzüglich des über die beiden Wiederholungen gemittelten Gehaltes der ungedüngten Kontrolle zum Zeitpunkt t . Dieser Wert wurde in Relation zur gedüngten N- (66,7 mg N_t /kg Boden_{trocken}, bei Stroh 20,0 mg N_t /kg Boden_{trocken}) bzw. S-Menge (vgl. Tab. 1) gesetzt und als Prozentwert ausgegeben.

Der zeitliche Verlauf der Netto-N-Mineralisation konnte nur bei den HMP mit der ‚monomolekularen‘ Funktion (‚Reaktion erster Ordnung‘)

$$Nmin_t = Nmin_{max} \cdot (1 - e^{-k \cdot t})$$

Beschrieben werden. $Nmin_t$ stellt dabei die Netto-Mineralisation [%] zum Zeitpunkt t dar. $Nmin_{max}$ ist die theoretisch maximal erreichbare Netto-Mineralisation, der Anpassungsparameter k beschreibt die Schnelligkeit des Umsatzes bzw. den Verlauf der Funktion.

Bei den Materialien die anfangs eine N-Immobilisierung zeigten konnte die Remineralisierung ebenfalls mit einer Funktion 1. Ordnung beschrieben werden, die allerdings um den theoretischen Ausgangswert $Nmin_{min}$ zum Zeitpunkt $t = 0$ erweitert werden musste:

$$Nmin_t = Nmin_{max} - (Nmin_{max} - Nmin_{min}) \cdot e^{-k \cdot t}$$

Die Anpassung der Funktionen an die Messwerte erfolgte mit dem ‚Solver‘ des Kalkulationsprogramms ‚Excel‘.

Ergebnisse im Detail

Die mittels Temperaturlogger im Boden gemessene Temperatur lag im Mittel bei 14,3 °C (Abb. 1). Für den letzten Beprobungstermin (364. Tag) errechnete sich eine Temperatursumme (keine Basistemperatur) von 5221 °Cd.

N-und S-Mineralisation von Dungstoffen im Brutversuch über 52 Wochen

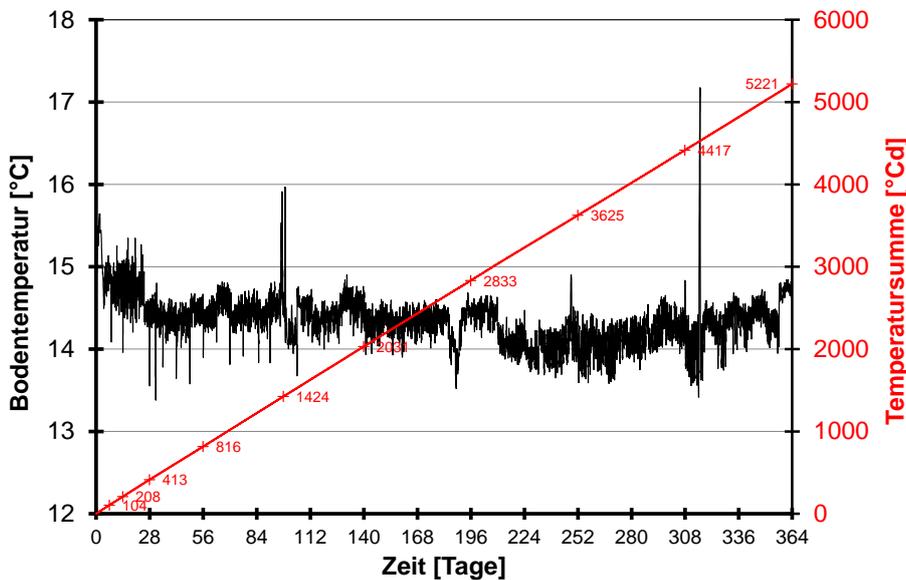


Abb. 1: Temperatur im Boden während der Bebrütungszeit (Mittelwerte über die Daten der beiden Temperaturlogger)

Der Boden wies zu Versuchsbeginn umgerechnet auf eine Bodenschicht von 30 cm einen N_{\min} -Gehalt von 78 kg N/ha_{0-30 cm} auf. Die NH_4^+ -N-Gehalte waren zumeist vernachlässigbar gering, als Maximum wurden (am 196. Tag) im Mittel 0,35 mg/kg Boden_{trocken} vorgefunden, was 1,6 kg NH_4^+ -N/ha_{0-30 cm} und einem NH_4^+ -N-Anteil am Gesamt- N_{\min} von 0,8 % entspricht.

Die in der Kontrolle ermittelte **N-Nachlieferung** lag bei durchschnittlich 0,55 kg N/ha_{0-30 cm} pro Tag bzw. 3,8 kg N/ha_{0-30 cm} pro Woche (Abb. 2). Am Ende der Bebrütungszeit betrug der Gehalt der Kontrolle somit im Mittel umgerechnet 291 kg N_{\min} /ha_{0-30 cm}.

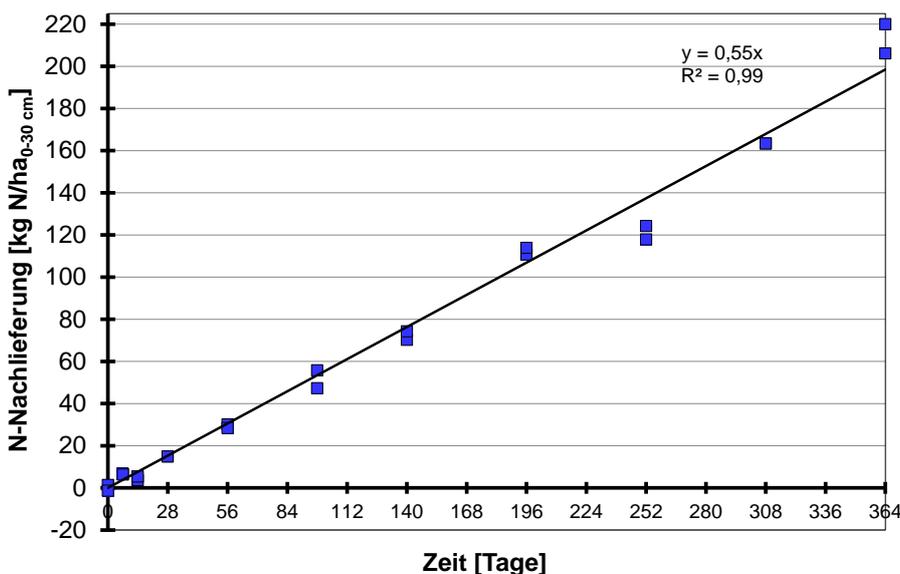


Abb. 2: Verlauf der N-Nachlieferung (berechnet auf eine Schichtdicke von 30 cm) während der Bebrütungszeit in der ungedüngten Kontrolle (an verschiedenen Terminen nur ein Symbol sichtbar, da beide Wiederholungen mit [nahezu] identischem Messwert)

N- und S-Mineralisation von Dungstoffen im Brutversuch über 52 Wochen

Der S_{\min} -Ausgangsgehalt des Bodens lag bei umgerechnet 20,5 kg S/ha_{0-30 cm}. Mit Ausnahme eines unerklärlichen Ausreißers am 56. Tag verlief die S-Nachlieferung mit durchschnittlich 0,04 kg S/ha_{0-30 cm} pro Tag bzw. 0,3 kg S/ha_{0-30 cm} pro Woche recht gleichmäßig (Abb. 3). Zu Versuchsende wurden im Mittel 34 kg S/ha_{0-30 cm} vorgefunden.

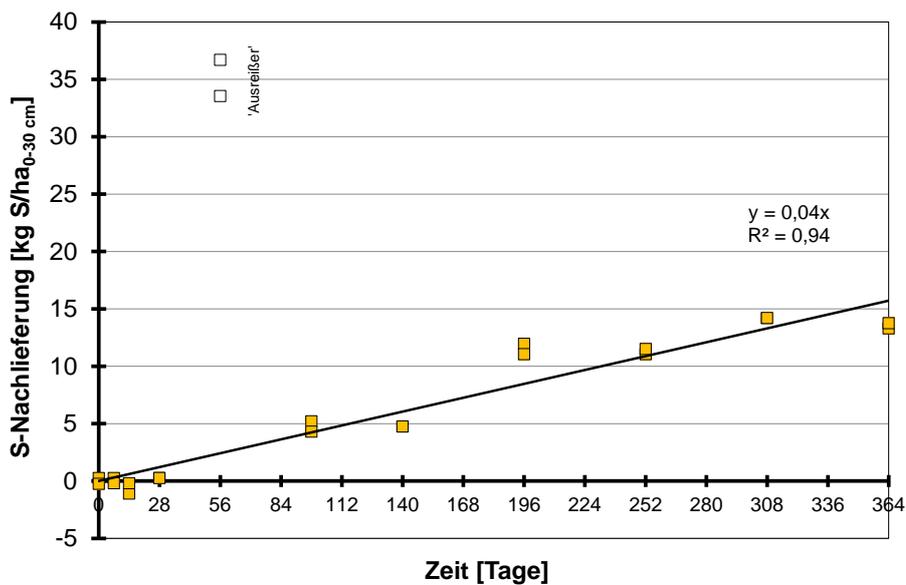


Abb. 3: Verlauf der S-Nachlieferung (berechnet auf eine Schichtdicke von 30 cm) **während der Bebrütungszeit in der ungedüngten Kontrolle** (Ausreißer bei Berechnung der Regressionsgeraden nicht berücksichtigt; bezüglich einzelner Symbole s. Text zu Abb. 2)

Die **N-Mineralisation** setzte bei den **HMP** ‚wie gewohnt‘ zügig ein, nach rund 14 Wochen war die Umsetzung praktisch abgeschlossen (Abb. 4). Die angepasste Funktion konnte den Mineralisationsverlauf zumeist recht gut beschreiben, am 28. und 56. Tag überschätzte sie allerdings die N-Freisetzung leicht. $N_{\min_{\max}}$ belief sich auf 56,8 %. In den Brutversuchen 2012/13 bzw. 2013/14 lag die N-Freisetzung bei 50,4 bzw. 54,5 % (LABER 2013, 2014).

Bei dem **Phacelia**-Material und den **Möhren-ER** zeigte sich bei der 1. Beprobung nach 7 Tagen eine deutliche N-Immobilisierung. Die danach zu beobachtende Reimmobilisierung/N-Freisetzung konnte sehr gut mit entsprechend erweiterten Funktionen 1. Ordnung beschrieben werden. Bei Phacelia war die Immobilisierung nach rund 28 Tagen, bei den Möhren-ER nach rund 56 Tagen überwunden. Erst ab etwa dem 252. Tag deutete sich ein Ende der N-Umsetzungen an. $N_{\min_{\max}}$ lag bei 28,5 (Phacelia) bzw. 20,8 % Möhren-ER (Tab. 2).

Im Brutversuch 2013/14 hielt die N-Immobilisierung von Phacelia-Material (C/N: 27,0) unverändert bis zu Versuchsende (102. Tag) an (LABER 2014). 2014/15 wurde bei einem C/N-Verhältnis von 19,6 keine (auch nicht zwischenzeitliche) N-Immobilisierung beobachtet (LABER 2015). Im gleichen Versuch zeigten dagegen Möhren-ER (C/N: 22,8) eine bis zum 56. Tag anhaltende N-Immobilisierung.

Im Versuch 2015/16 war die N-Immobilisierung bei Möhren-ER (C/N: 17,4) bereits nach rund 35 Tagen überwunden (LABER 2016).

N- und S-Mineralisation von Dungstoffen im Brutversuch über 52 Wochen

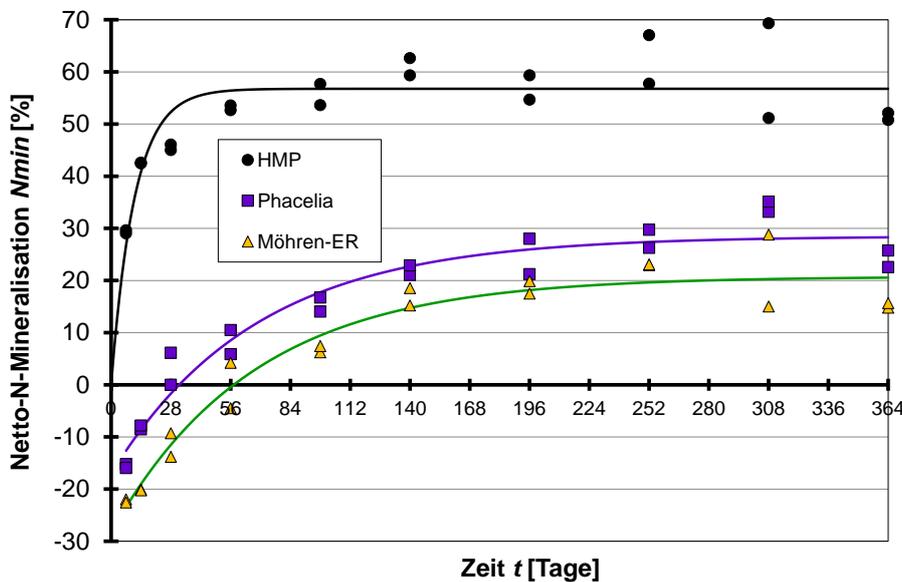


Abb. 4: Verlauf der Netto-N-Mineralisation bei Haarmehlpellets, Phacelia und Möhren-Ernterückständen (Parameter der angepassten Funktionen s. Tab. 2)

Tab. 2: Parameter der in Abb. 4 und 5 angepassten Funktionen 1. Ordnung

	Haarmehlpellets	Phacelia	Möhren-ER	Weizenstroh	Weizenstroh ¹⁾	
$N_{min_{min}}$ [%]	—	-17,1	-28,3	-204,4	N_I	-95,6
$N_{min_{max}}$ [%]	56,8	28,5	20,8	-50,4	a	0,0616
k	0,0910	0,0147	0,0150	0,0113	b	0,0117
R^2	0,74	0,95	0,95	0,83	0,33	

1) „gedämpfte Sinusfunktion“ nach DE NEVE et al. 2004 ($N_t = N_I \cdot (\sin at \cdot e^{-bt})$); N_I = max. N-Immobilisierung, a und b Anpassungsparameter

Das **Weizenstroh** immobilisierte praktisch die gleiche N-Menge wie mit dem Stroh eingebracht wurde (Abb. 5). Da z.B. am 98. Tag im Mittel noch 8,6 mg N_{min}/kg Boden_{trocken} ($\hat{=}$ 12,9 kg $N_{min}/ha_{0-10\text{ cm}}$) in der Stroh-Variante vorgefunden wurden, ist davon auszugehen, dass die N-Immobilisierungskapazität ausgeschöpft gewesen ist; die dann einsetzende Reimmobilisierung untermauert diese These.

Die Reimmobilisierung konnte auch hier gut mit einer erweiterten Funktion 1. Ordnung beschrieben werden, rechnerisch blieb sie bei -50,4 % der eingebrachten N-Menge und damit bei -15 kg N/ha ‚hängen‘.

(Eine von DE NEVE et al. (2004) vorgeschlagene „gedämpfte Sinusfunktion“ konnte den Immobilisierungsverlauf recht gut beschreiben, die Reimmobilisierung wurde anfangs aber unter-, später überschätzt (vgl. Abb. 5). Zudem irritiert die sich ergebene ‚Schwingung‘ des Funktionsverlaufs in der Phase der stärksten N-Immobilisierung.)

N- und S-Mineralisation von Dungstoffen im Brutversuch über 52 Wochen

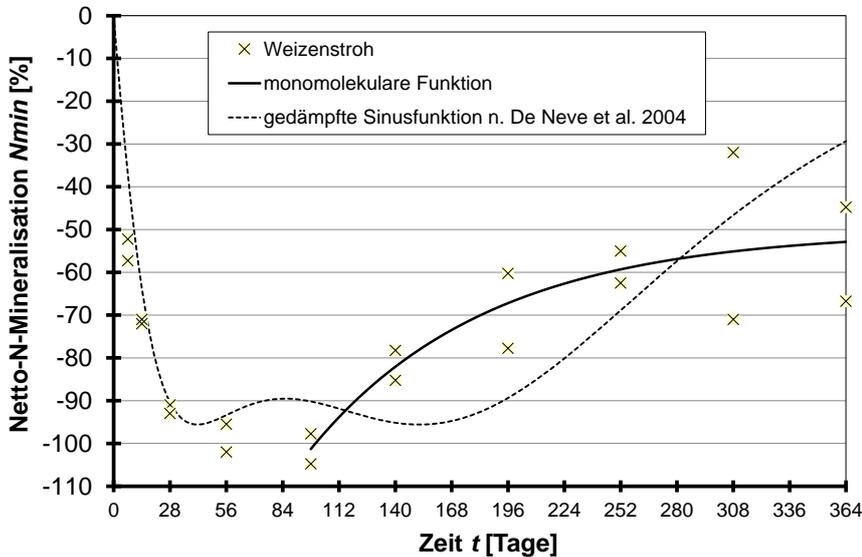


Abb. 5: Verlauf der Netto-N-Mineralisation beim Weizenstroh (Parameter der angepassten Funktionen s. Tab. 2)

Die mittels der Funktionen berechnete maximale N-Freisetzung (bzw. minimale N-Immobilisation) $N_{min_{max}}$ (vgl. Tab. 2) zeigte eine deutliche, lineare Abhängigkeit zum C_t/N_t -Verhältnis der Materialien (Abb. 6).

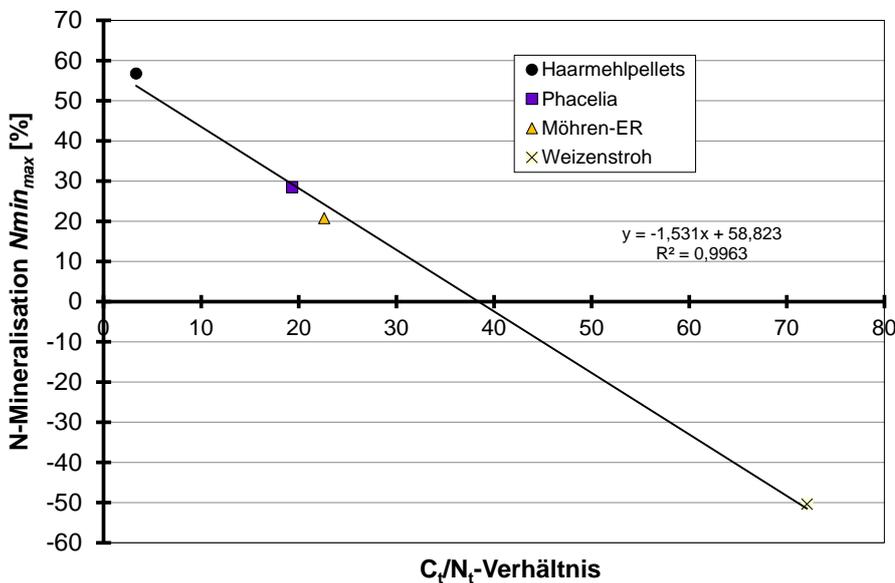


Abb. 6: Maximale Netto-N-Mineralisation $N_{min_{max}}$ in Abhängigkeit vom C_t/N_t -Verhältnis der Materialien

N- und S-Mineralisation von Dungstoffen im Brutversuch über 52 Wochen

Den höchsten S_t -Gehalt wiesen wie zu erwarten die Haarmehlpellets auf (hoher Cystein- bzw. Cystin-Gehalt in Keratinen), mit den Möhren-ER wurde (auf Grund des engen N_t/S_t -Verhältnisses) mit 21,8 mg/kg Boden_{trocken} die höchste S_t -Menge eingebracht (Tab. 1).

Bei ungeklärten Ausreißern am 56. und am 364. Tag (hier nur bei HMP und mit Abstrichen auch Phacelia) konnte bei allen zugesetzten Materialien bereits bei der ersten Beprobung am 7. Tag eine **Netto-S-Mineralisation** beobachtet werden, wie sie auch im weiteren Verlauf zu beobachten war (Abb. 9). Die Möhren zeigten mit im Mittel (ohne Ausreißer) 66 % die höchste prozentuale S-Freisetzung. Insgesamt fand sich eine ‚gewisse‘ negative Korrelation ($R^2 = 0,76^{n.s.}$) der S-Freisetzung mit dem N_t/S_t -Verhältnis, eine Beziehung zum eher nachvollziehbarem C_t/S_t -Verhältnis bestand praktisch nicht ($R^2 = 0,24$).

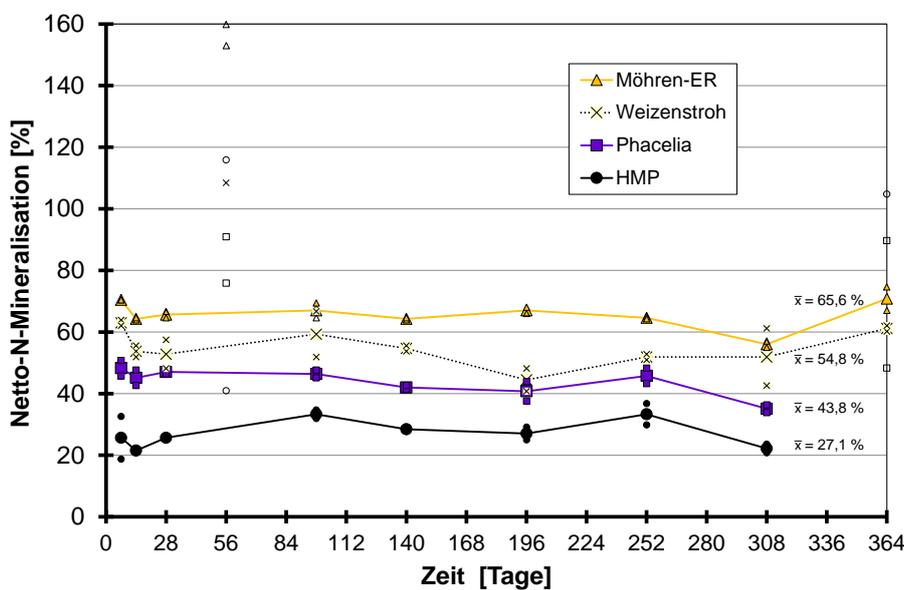


Abb. 9: Verlauf der Netto-S-Mineralisation bei den verschiedenen Düngemitteln (Mittelwert über die Wiederholungen; kleine Symbole = Einzelwerte; Ausreißer [leere Symbole] von 190 % [Weizenstroh, 56. Tag] und 227 % [HMP, 364. Tag] nicht dargestellt)

Im Versuch 2015/16 lag die S-Freisetzung aus Möhren-Ernterückständen vom 3. bis 33. Tag im Mittel bei 67 %, danach bis zum 131. Tag im Mittel bei 83 % (LABER 2016). Für den Versuch 2014/15 liegen nur für die beiden letzten Beprobungen (95. und 130. Tag) plausible Daten vor; hier lag die S-Freisetzung von Möhren-ER im Mittel ebenfalls bei knapp 65 %. Phacelia-Material setzte hier 24,5 % der eingebrachten S-Menge frei (LABER 2015).

N- und S-Mineralisation von Dungstoffen im Brutversuch über 52 Wochen

Literatur

- CHAVES, C., F. POMARES, R. ALBIACH und R. CANET 2014: Rates of nitrogen mineralization of meat and bone meals in mediterranean soils. *Communications in soil science and plant analysis*, **45** (17), S. 2258-2267
- CHEN, B., E. LIU, E., Q. TIAN, C. YAN und Y. ZHANG 2014: Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. *Agronomy for sustainable development*, **34** (2), S.429-442
- DE NEVE, S. und G. HOFMAN 1996: Modelling N mineralization of vegetable crop residues during laboratory incubations. *Soil Biology and Biochemistry*, **28** (10), S. 1451-1457
- DE NEVE, S., S.G. SÁEZ, B.C. DAGUILAR, S. SLEUTEL und G. HOFMAN 2004: Manipulating N mineralization from high N crop residues using on-and off-farm organic materials. *Soil Biology and Biochemistry*, **36** (1), S. 127-134
- FISCHER, P. 2000: N-Freisetzung verschiedener organischer N-Dünger in Mineralböden. *SÖL-Berater-Rundbrief* 4, S. 3-7
- KELDERER, M., A. TOPP, A. MATTEAZZI und D. GRAMM 2012: Langfristige Beobachtungen zur Stickstoffmineralisierung verschiedener organischer Handels- und Wirtschaftsdünger unter konstanten Bedingungen. *Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg* (I)
- LABER, H. 2016: N- und S-Mineralisation von Gemüse-Ernterückständen variierte deutlich. *Versuche im deutschen Gartenbau 2016, Gemüsebau*, www.hortigate.de
- LABER, H. 2015: N- und S-Mineralisation korrelierte eng mit dem C/N- bzw. C/S-Verhältnis. *Versuche im deutschen Gartenbau 2016, Gemüsebau*, www.hortigate.de
- LABER, H. 2014: N-Mineralisation beim Brutversuch korrelierte eng mit dem C/N-Verhältnis. *Versuche im deutschen Gartenbau 2014, Gemüsebau*, www.hortigate.de und www.orgprints.org/27731
- LABER, H. 2013: Zügiger Umsatz bei vielen der im Brutversuch getesteten organischen Handelsdünger. *Versuche im deutschen Gartenbau 2013, Gemüsebau*, [www.hortigate](http://www.hortigate.de) und www.orgprints.org/22436
- LEVAVASSEUR, F., G. LASHERMES, B. MARY, T. MORVAN, B. NICOLARDOT, V. PARNAUDEAU, L. THURIÈS und S. HOUOT 2021: Quantifying and simulating carbon and nitrogen mineralization from diverse exogenous organic matters. *Soil Use and Management*
- MITTMANN, U., U. WEIER und H.-C. SCHARPF 1994: Die Stickstofffreisetzung aus organischen Düngern. *Gemüse* **30** (2), S. 104-105
- SCHMITZ, J.-J. und P. FISCHER 2001: N-Freisetzung pflanzlicher Dünger in Mineralböden. *Deutscher Gartenbau* **55** (6), S. 32-34