

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl

Die Ergebnisse – kurzgefasst

Am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) in Dresden-Pillnitz wurde im Winter 2017/2018 ein Brutversuch durchgeführt, bei dem der Einfluss der vorherigen Bodenbewirtschaftung auf das N- und S-Mineralisationsverhalten von Hornmehl untersucht werden sollte. Gleichzeitig wurden zwei pelletierte Düngemittel auf Schafwollbasis sowie ein pelletierter Dünger auf Weißkleebasis getestet.

Die von einem Schlag, aber 0 (= Freiland), 8 bzw. 17 Jahre unter Gewächshaus-Bewirtschaftung gestandenen Böden zeigten deutliche Unterschiede im C_t , N_t und S_t -Gehalt sowie N_{min} -Ausgangs-Gehalt.

Überraschender Weise zeigte der Freilandboden im Brutversuch (15 °C) mit umgerechnet knapp 13 kg N/ha pro Woche eine deutlich höhere N-Nachlieferung als der 8-jährige Gwh-Boden (8,1 kg) bzw. der 17-jährige Gwh-Boden (3,1 kg). Die Netto-N-Mineralisation des verwendeten Hornmehls belief sich beim Freilandboden auf rund 57 %, bei den beiden Gwh-Böden lag sie bei 67 % bzw. 70 %.

Die nur im Freilandboden getesteten pelletierten Düngemittel zeigten, trotz enger C_t/N_t -Verhältnisse, eine ungewöhnlich niedrige Netto-N-Mineralisation.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Bereits bei einigen der ersten in der Literatur beschriebenen Brutversuche mit organischen Handelsdüngern wurde der Frage nachgegangen, ob die vorherige Bewirtschaftung der verwendeten Böden einen Einfluss auf die N-Freisetzung der eingemischten Düngemittel hat.

So testete FISCHER (2000) Hornmehl und -späne in Lehm Böden zweier benachbarter Schläge, davon einer ökologisch bewirtschaftet und schon mehrmals mit Hornprodukten gedüngt, der andere vormals nur rein mineralisch gedüngt. Insbesondere beim Hornmehl zeigten sich bei der 52-wöchigen Bebrütung (15 °C) deutlich Unterschiede bei der N-Freisetzung zugunsten des bereits im Vorfeld mit Hornprodukten gedüngten Bodens (vgl. Tab. 5). Allerdings lag (darauf ging der Autor nicht ein) hier der pH-Wert (bei sonst relativ ähnlichen Bodenparametern) mit 6,1 auch deutlich über dem des nicht mit Horn gedüngten Bodens (pH 5,4). Des Weiteren untersuchte FISCHER auch den Einfluss der Bodenart auf die N-Freisetzung, die bei dem Sandboden (pH 5,3; org. Substanz: 1,9 % i.d. TS) insbesondere bei Hornmehl, Rizinus- und Ackerbohenschrot deutlich geringer ausfiel als beim Lehm-boden (pH 5,4; org. Substanz: 4,2 % i.d. TS). Bei Hornspänen verlief die Umsetzung im Sandboden langsamer, nach 52 Wochen erreichte sie aber eine ähnliche Größenordnung wie beim Lehm-boden.

In einem Gefäßversuch (Deutsches Weidelgras; keine Angaben zur Temperatur) von STADLER (2006) mit vier seit 2 bis 32 Jahren ökologisch bewirtschafteten Gewächshausböden (SI3(-4)/Lu; C_{org} 1,4 - 8,0 %) zeigten sich bezüglich der scheinbaren N-Ausnutzung Dünger- und Bodeneffekte als auch eine Wechselwirkungen zwischen Boden und den getesteten Düngemitteln (ausschließlich pflanzlichen Ursprungs). So zeigte Erbsenschrot (3 % N), je nach Boden, die größte Spanne bei der N-Ausnutzung (29 - 46 %; höhere Werte bei SI3), während sich bei den Düngemitteln mit relativ hohem N-Gehalt meist keine größeren Unterschiede zeigten.

In einem weiteren Gefäßversuch mit 7 ökologisch bewirtschafteten Gewächshaus-/Freilandböden (SI3 bis Ut, C_{org} 1,2 - 8,4; 3 bis 33 Jahre ökologisch bewirtschaftet) und den Düngemitteln Ackerbohenschrot und Maltaflor® zeigten sich wiederum entsprechende Effekte bzw. Wechselwirkungen.

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl

Im Gegensatz zum ersten Versuch konnte aber kein Zusammenhang zwischen Textur und N-Ausnutzung festgestellt werden. Laut Autorin stieg „tendenziell“ bei beiden Düngern die N-Ausnutzung bei höherem C_{org}-Gehalt der Böden, wobei sie aber auch auf die beiden ‚Ausreißer‘ bei Ackerbohenschrot (vgl. Abb. 1) einging. Da diese beiden Böden gleichzeitig eine feine, schluffige Textur aufwiesen, wurde ein Zusammenhang der N-Ausnutzung mit der Umsatzdynamik der organischen Bodensubstanz vermutet. So wurden in den ungedüngten Bodenvarianten während der 84-tägigen Kulturzeit N-Aufnahmen durch das Weidelgras ermittelt, die bei 5 Böden (unabhängig vom C_{org}-Gehalt) bei rund 15 - 20 mg pro g Boden-N_t lagen (= 1,5 - 2 % von N_t). Bei zwei Böden (3,4 bzw. 4,8 % C_{org}) lag die N-Aufnahme bei rund 60 mg pro g Boden-N_t (ca. 6 % von N_t). Diese beiden Böden zeigten aber keine außergewöhnlich hohe N-Ausnutzungen der Düngemittel (Abb. 2). So kommt STADLER zu dem Schluss, dass die ermittelte Umsatzdynamik der organischen Bodensubstanz nicht die bodenbedingten Unterschiede bei der Umsetzung der eingebrachten Düngemittel erklären kann.

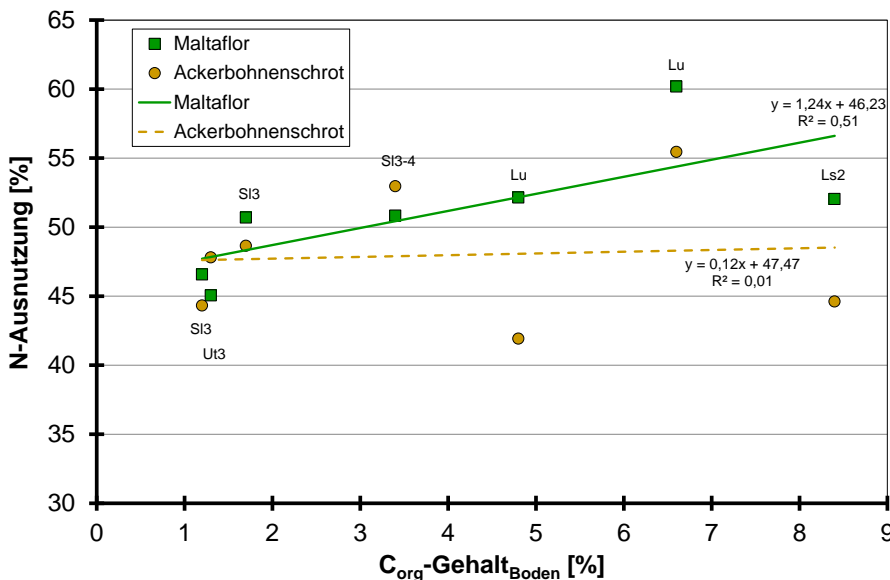


Abb. 1: Scheinbare N-Ausnutzung von Ackerbohenschrot und Maltaflor im Gefäßversuch mit Deut. Weidelgras in Abhängigkeit vom C_{org}-Gehalt der getesteten Böden (Daten nach STADLER 2006; Bodenart nach KA 5)

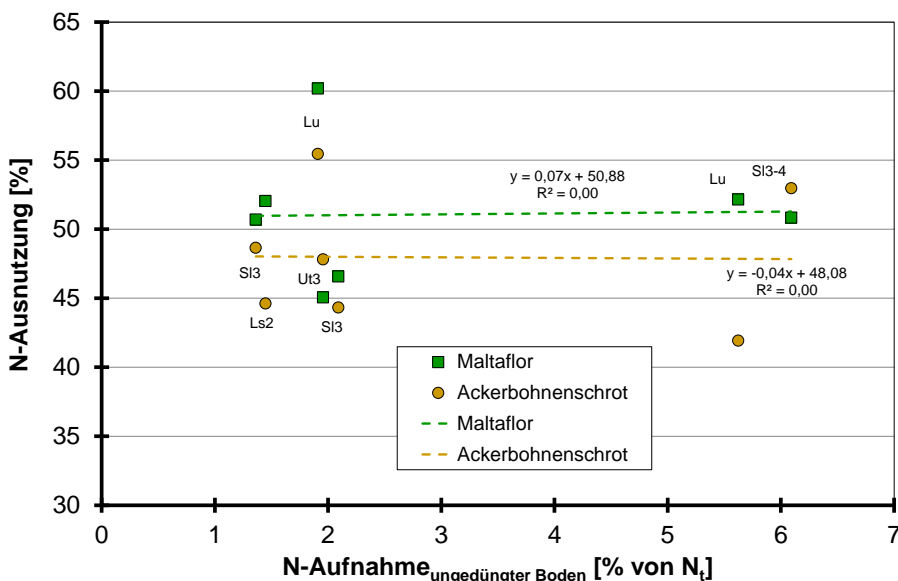


Abb. 2: Scheinbare N-Ausnutzung von Ackerbohenschrot und Maltaflor im Gefäßversuch mit Deut. Weidelgras in Abhängigkeit von der N-Aufnahme des Weidelgrases bei ungedüngtem Boden (Daten nach STADLER 2006; Bodenart nach KA 5)

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl

In einen vorherigen Brutversuch (LABER 2017) wurde u.a. untersucht, ob durch die gleichzeitige Zugabe eines Mistkompostes (\Rightarrow höhere biol. Aktivität des Bodens) die Umsetzung vom Luzerne-Grünmaterial gefördert werden kann. Eine derartige Förderung konnte aber nicht festgestellt werden.

Im Wintersemester 2017/18 wurde wiederum ein Brutversuch mit Gartenbaustudenten der HTW Dresden-Pillnitz angelegt. Hier sollte schwerpunktmäßig der Einfluss der vorherigen Bewirtschaftung auf das Umsetzungsverhalten eines organischen ‚Standard‘-Düngers (gewählt wurde Hornmehl) untersucht werden. Neben der Testung eines Düngers auf Weißkleebasis (KleePura) wurden kurzfristig auch noch zwei Düngemittel auf Schafwollbasis (floraPell®, fP Lanowool) in den Versuch einbezogen.

Material und Methoden

Für den Versuch wurde freundlicherweise Oberbodenmaterial eines südwestdeutschen, ökologisch bewirtschafteten Gartenbaubetriebes zur Verfügung gestellt, das von einem Schlag stammt, der teilweise seit dem Jahr 2000 („Gwh 17 Jahre“) bzw. 2009 („Gwh 8 Jahre“) unter Gewächshaus-Bewirtschaftung stand.

Leider zeigten sich bei der Texturanalyse der drei verwendeten Böden (Tab. 1) doch Unterschiede insbesondere beim Sandgehalt, der beim Boden mit der längsten Gewächshaus-Bewirtschaftung („Gwh 17 Jahre“) mit 40,1 % deutlich höher als beim Freilandboden (27,9 %) ausfiel. Laut Aussagen eines ortskundigen Beraters wäre, wenn überhaupt, auf dem Gelände eher ein andersartiger Gradient zu erwarten, so dass der „Gwh 17 Jahre“-Boden den geringsten Sandgehalt hätte aufweisen können/müssen.

Das bei allen Böden relativ einheitliche Verhältnis von Ton zu Schluff (2,2 - 2,3) legte den Schluss nahe, dass im Laufe der Gwh-Bewirtschaftung evtl. sandhaltiges Material zugeführt worden ist. Auf Nachfrage teile der Betriebsleiter mit, dass „seines Wissens im ältesten Gewächshausteil teilweise Boden“ aufgeschüttet worden ist.

Im „Gwh 17 Jahre“ wurde 2006 „Rindenmulch“ ausgebracht, zudem erhielt es bis ca. 2012 jährlich Rindermist-Kompost (Mengen nicht bekannt). Auch „Gwh 8 Jahre“ wurde bis 2012 mit Rindermist-Kompost gedüngt. 2014 wurden beide Gwh mit Grüngutkompost (4 l/m²) versorgt. 2015 bzw. 2016 wurde jeweils eines der Gwh mit Kleegrassilage (6 kg/m²) gedüngt.

Die Analysen spiegeln mit steigenden C_t- (Humusgehalt meist mit Faktor 1,724 oder 2,0 aus C_t-Gehalt abgeleitet), N_t- S_t- und Nährstoffgehalten die bis zu 17-jährige Gwh-Bewirtschaftung wider, der Anstieg der P-Gehalte ist als ‚moderat‘ zu bezeichnen und deutet auf eine relativ bedarfsorientierte P-Zufuhr hin. Erfreulicher Weise wiesen alle Böden nahezu den gleichen pH-Wert auf, so dass diesbezüglich keine Beeinflussung des Umsatzverhaltens zu erwarten war.

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl

Tab. 1: Textur sowie Kohlenstoff- und Nährstoffgehalt der verwendeten Böden

| | Freiland | Gwh 8 Jahre | Gwh 17 Jahre |
|---|---------------------------------------|--------------|--------------|
| gS (2,0-0,63 mm) [%] | 8,5 | 9,2 | 11,8 |
| mS (0,63-0,20 mm) [%] | 10,0 | 16,2 | 16,2 |
| fS (0,20-0,063 mm) [%] | 9,4 | 11,5 | 12,1 |
| gU (0,063-0,02 mm) [%] | 26,3 | 22,2 | 20,7 |
| mU (0,02-0,0063 mm) [%] | 17,7 | 15,3 | 13,6 |
| fU (0,0063-0,002 mm) [%] | 5,9 | 6,2 | 7,6 |
| T (<0,002 mm) [%] | 22,1 | 19,4 | 18,0 |
| U (0,002-0,063 mm) [%] | 49,9 | 43,7 | 41,9 |
| S (0,063-2,0 mm) [%] | 27,9 | 36,9 | 40,1 |
| Bodenart (n. KA 5) | Ls2 ¹⁾ → Lu) ²⁾ | Ls2 | Ls2 |
| C_t [% i.d.TS] | 2,42 | 3,29 | 4,12 |
| Humusgehaltsstufe (n. KA 5) | (h3-)-h4 | h4 | h4(-h5) |
| N_t [% i.d.TS] | 0,22 | 0,27 | 0,34 |
| C_t/N_t-Verhältnis | 11,0 | 12,2 | 12,1 |
| S_t [% i.d.TS] | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| N_t/S_t-Verhältnis | 7,3 | 6,8 | 6,8 |
| C_t/S_t-Verhältnis | 81 | 82 | 82 |
| P_{CAL} [mg P/100 g] | 12,6 | 19,5 | 24,5 |
| K_{CAL} [mg K/100 g] | 29,8 | 20,4 | 22,0 |
| Mg_{Schachtschabel} [mg Mg/100 g] | 11,4 | 19,4 | 22,1 |
| pH_{CaCl} | 7,1 | 7,2 | 7,1 |
| Salzgehalt [µS/cm (g KCl/100 g)] ³⁾ | 105,7 (55,8) | 186,0 (98,2) | 155,3 (82,0) |
| Wassergehalt_{aktuell} [Gew.-%] ⁴⁾ | 18,9 | 26,3 | 33,6 |
| Bodeneinwaage_{feucht} [kg/Topf] ⁵⁾ | 0,8920 | 0,9471 | 1,0019 |
| Feldkapazität [Vol.-%] | 34 ⁶⁾ +8,5 ⁷⁾ | 34+11 | 34+12,5 |
| nutzbare Feldkapazität [Vol.-%] | 16 ⁶⁾ +4,0 ⁷⁾ | 16+5 | 16+6,5 |
| Todwasser [Vol.-%] | 18 ⁶⁾ +4,5 ⁸⁾ | 18+6 | 18+6 |
| Wassergehalt bei 80 % nFK [Vol.-%] | 38,5 | 40,8 | 42,0 |
| Wassergehalt bei 80 % nFK [% FK] | 90,6 | 90,7 | 90,3 |
| Bodenmasse bei 80 % nFK [kg/0,5 l] | 0,9425 | 0,9540 | 0,9600 |

1) schwach sandiger Lehm;

2) mit 49,9 % U im Übergangsbereich zu 'schluffiger Lehm';

3) im 1+10 (m+V)-Extrakt (VDLUFA Methodenbuch A 10.1.1);

4) aktuelle Bestimmung bei Versuchsbeginn;

5) = 0,5 l × 1,5 kg/l × (Wassergehalt_{aktuell} [Gew.-%] +100) ÷ 100;

6) Werte laut KA 5 für einen Ls2 bei einer mittleren Lagerungsdichte;

7) Zuschläge laut KA 5 aufgrund der Humusgehaltsstufe (ggf. interpoliert);

8) FK-nFK

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl

Um die Vergleichbarkeit mit vorherigen Brutversuchen zu gewährleisten, wurde bei dem Brutversuch wiederum 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 d_B von 1,5 kg/l unterstellt wird. Bei den beiden kurzfristig in den Versuch aufgenommenen Düngemitteln auf Schafwollbasis lag zu Versuchsbeginn der genaue N-Gehalt noch nicht vor. Mit der hier auf Basis eines geschätzten N-Gehaltes berechneten Düngermenge wurden tatsächlich 71,75 bzw. nur 51,92 mg N_t/kg Boden eingebracht (Tab. 2).

Aufgrund begrenzter Mengen an Bodenmaterial wurde in die verwendeten handelsüblichen 14er PP-Kunststofftöpfe im Gegensatz zum Vorjahresversuch (0,6 l) nur eine Menge von 0,5 l Boden eingefüllt, was bei einer zugrunde gelegten Lagerungsdichte von 1,5 kg/l einer Masse 0,75 kg Boden_{trocken} entspricht. In das jeweilige Bodenmaterial (A_p-Horizont) wurden entsprechend den zuvor analysierten (bzw. geschätzten) N_t-Gehalten jeweils die erforderliche Menge an Dünger eingemischt (Tab. 2). Dabei wurden die Pellets von KleePura, floraPell und fP Lanowool so weit wie auf Grund der vorgegebenen Einwaagemenge möglich intakt gelassen. Je Topf waren dies nur einige wenige Pellets.

Tab. 2: Stickstoff-, Kohlenstoff- und Schwefel-Gehalte der verwendeten organischen Handelsdünger; berechnete Düngereinwaage

| | Hornmehl | KleePura | floraPell Premium | fP Lanowool ¹⁾ |
|---|-----------------------|----------------------------|--|---------------------------|
| Basis | Klauen u. Horn | Weißklee | Rohschafwolle | ¹⁾ |
| Herkunft | Beckmann & Brehm GmbH | grünerdüngen (HTW-Dresden) | Düngepellet Produkt und Vertriebs GmbH | |
| N_t [% i. O.²⁾ | 13,9 | 3,74 | 11,3 ³⁾ | 7,36 ⁴⁾ |
| NH₄-N [% i. O.] | 0,64 | 0,15 | 0,18 | 0,21 |
| NO₃-N [% i. O.] | 0,04 | 0,07 | 0,04 | 0,02 |
| C_t [% i. O.] | 42,6 | 41,7 | 45,7 | 44,4 |
| C_t/N_t-Verhältnis | 3,1 | 11,1 | 4,0 | 6,0 |
| Zugabe [g FM/0,5 l⁵⁾ | 0,360 | 1,337 | 0,476 | 0,529 |
| N-Menge [mg N_t/kg]⁶⁾ | 66,67 | 66,67 | 71,75 ⁷⁾ | 51,92 ⁷⁾ |
| S_t [% i. O.] | 1,82 | 0,09 | 1,92 | 1,36 |
| C_t/S_t-Verhältnis | 23 | 463 | 24 | 33 |
| S-Menge [mg S_t/kg]⁸⁾ | 8,73 | 1,60 | 12,2 | 9,59 |

- 1) neuartiges Produkt auf Basis von „Kraupen“ (getrocknete und gewaschene Reste aus der Wollwäscherei), benetzt mit Lanolin (woolgrease fatty acid);
- 2) im Original;
- 3) das Analyseergebnis lag zu Versuchsbeginn nicht vor. Die Bemessung der Düngerzugabe erfolgte auf Basis eines angenommenen N-Gehaltes von 10,5 % N_t (Grundlage: Analyse einer Partie durch den Hersteller mit 10,02 % N_t i.d.TS);
- 4) das Analyseergebnis lag zu Versuchsbeginn nicht vor. Die Bemessung der Düngerzugabe erfolgte auf Basis eines angenommenen N-Gehaltes von 9,45 % N_t (90 % des N_t-Gehaltes von floraPell);
- 5) entspricht g FM pro Topf;
- 6) mit den Düngern eingebrachte N_t-Menge pro kg Boden_{trocken} (Soll: 66,67 mg N_t/kg);
- 7) auf Grund des höheren/niedrigeren N_t-Gehaltes (als angenommen) tatsächlich eingebrachte N_t-Menge;
- 8) mit den Düngern eingebrachte S_t-Menge pro kg Boden_{trocken}

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl

Das feuchte Bodenmaterial war mehrere Wochen zuvor durch mehrmaliges Umschaukeln und Sieben (ca. 1 cm Maschenweite) homogenisiert worden. Dabei wurden größere Streubestandteile sowie Regenwürmer etc. entfernt. Bis zu Versuchsbeginn wurde das Bodenmaterial bei ca. 2 °C zwischengelagert. Vor Versuchsbeginn wurde an Teilproben durch Trocknung bei 105 °C ein Wassergehalt von 18,9 - 33,6 Gew.-% ermittelt, so dass für jeden Topf 0,8920 - 1,0019 kg Boden_{feucht} eingewogen werden mussten (Tab. 1).

Das Bodenmaterial wurde mit der jeweiligen Menge an Düngemittel intensiv vermischt und dann in die Töpfe überführt. Um ein Herausrieseln von Bodenmaterial durch die Abzugslöcher der Töpfe zu verhindern, war zuvor der Topfboden mit einem Stück handelsüblichem 21 g PP-Verfrühungsvlies abgedeckt worden. Für jeden geplanten Untersuchungstermin wurden zwei Töpfe gefüllt (zwei Wiederholungen), für die jeweilige 'Kontrolle' wurde entsprechend ungedüngtes Bodenmaterial eingefüllt.

Das Bodenmaterial sollte auf eine nutzbare Feldkapazität (nFK) von 80 % eingestellt werden. Da keine Angaben vom Standort vorlagen, wurden FK, nFK und Todwasser auf Basis der Textur und des Humusgehaltes geschätzt bzw. berechnet (Tab. 1). Bezogen auf FK lag der Soll-Bodenwassergehalt bei rund 90 %.

Die Ausgangsfeuchte des Freilandbodens und Gwh 8 Jahre-Bodens lag unterhalb des Sollwertes, so dass entsprechende Mengen (Bodenmasse bei 80 % nFK - Bodeneinwaage_{feucht}) entmineralisiertes Wasser zugegeben werden mussten. In zwei der für den letzten Beprobungstermin vorgesehenen Töpfe wurde jeweils ein Temperaturlogger (Tinytag Talk 2, Gemini Data Loggers, UK) eingelegt, der auf ein Messintervall von 15 Minuten eingestellt worden war.

Die gefüllten Töpfe wurden in Kunststoff-Gitterkisten gestellt. Innerhalb der Kisten für einen Probenahmeternin waren die Töpfe zufällig verteilt. Auf Grund der Erfahrungen im Vorjahresversuch (teilweise sehr schnelles Austrocknen der Proben) wurden die Töpfe über die gesamte Bebrütungszeit hinweg mit übergestülpten PE-Beuteln (Luftaustausch nicht gänzlich unterbunden) abgedeckt.

Die Töpfe 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. Leider gab es wiederum einige technische Störungen bei der Temperatur- und Feuchteregeung der (neu errichteten) Kühlzelle (vgl. Abb. 3).

In den ersten Wochen liefen in den Töpfen einige 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 20 ml/Topf.

Zu den Probenahmeternin, die beginnend nach 4 Tagen in zunehmend größerem Abstand (7, 10, 14, 21, 28 Tage) erfolgten, wurden die jeweiligen Töpfe einzeln in einen Eimer entleert und das Bodenmaterial intensiv durchmischt. Bei den mit den pelletieren Düngemitteln aufgedüngten Proben wurden zuvor die Pellets, soweit auffindbar, mit den Fingern 'zerbrösel't. Eine Teilprobe von ca. 300 g wurde bis zur N_{min}-/S_{min}-Analyse bei -18 °C eingefroren. Die Analyse (NO₃-N + NH₄-N, SO₄-S) erfolgte nach der gängigen Methode für Freilandböden (VDLUFA-Methode A 6.1.4.1, Methodenbuch Band I).

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl

Die jeweils in den ungedüngten Böden gefundenen N_{\min} -/ S_{\min} -Gehalte [mg N_{\min} bzw. S_{\min} /kg Boden_{trocken}] wurden unter der Annahme einer Schichtdicke 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 jeweils ungedüngten ‚Kontrolle‘ des entsprechenden Bodens zum Zeitpunkt t . Dieser Wert wurde in Relation zur gedüngten N- bzw. S-Menge (vgl. Tab. 2) gesetzt und als Prozentwert ausgegeben.

Der zeitliche Verlauf der Netto-N-Mineralisation wurde, soweit sinnvoll, mit Hilfe von so genannten ‚monomolekularen‘ Funktionen (‚Reaktion erster Ordnung‘) beschrieben (vgl. Abb. 7). Der (leicht) sigmoide Mineralisationsverlauf bei floraPell konnte mit einer einfachen logistischen Funktion beschrieben werden. 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 14,9 °C (Abb. 3). Für den letzten Beprobungstermin (112. Tag) errechnete sich eine Temperatursumme (keine Basis-temperatur) von 1667 °Cd.

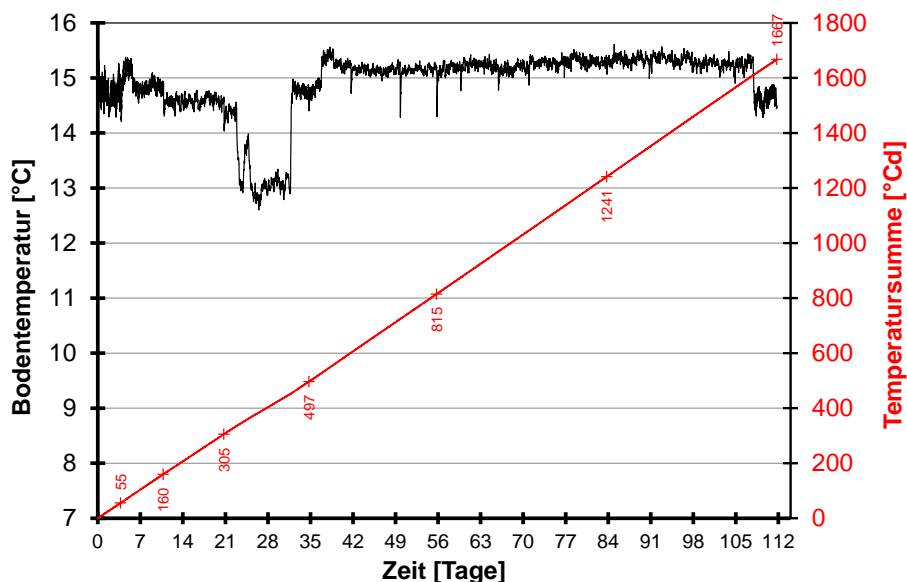


Abb. 3: Temperatur im Boden während der Bebrütungszeit (Mittelwerte über die Daten der beiden Temperaturlogger; die jeweils kurzfristigen Temperaturabsenkungen traten zumeist bei Herausnahme der Proben aus der Kühlzelle im Zuge der Nachbewässerungen auf; die Absenkung der Temperatur auf ca. 13 °C beruht auf einer technischen Störung.)

Der Freilandboden wies zu Versuchsbeginn umgerechnet auf eine Bodenschicht von 30 cm einen N_{\min} -Gehalt von 90 kg N/ha_{0-30 cm} auf (Abb. 4). Deutlich darüber lagen die Gewächshausböden mit 352 (Gwh 8 Jahre) bzw. 418 kg N/ha_{0-30 cm} (Gwh 17 Jahre).

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl

Die **N-Nachlieferung** (in Abb. 4 auf Grund der unterschiedlich hohen Ausgangswerte als absolute N_{min} -Mengen dargestellt), die insbesondere bei den Gewächshausböden anfangs eher negativ verlief, lag beim Freilandboden durchschnittlich bei 1,81 kg N/ha_{0-30 cm} pro Tag bzw. 12,7 kg N/ha_{0-30 cm} pro Woche. Damit wurde ein vergleichsweise hoher Wert gemessen, der deutlich über den Ergebnissen liegt, die bei den bisherigen Brutversuchen mit Böden der Pillnitzer Versuchsfläche ermittelt wurden (0,80 kg N/ha_{0-30 cm} pro Tag; vgl. LABER 2017). Mit 1,16 kg N/ha_{0-30 cm} pro Tag zeigte auch der Gwh 8 Jahre-Boden noch eine relativ hohe N-Nachlieferung, während der Gwh 17 Jahre-Boden mit 0,44 kg N/ha_{0-30 cm} pro Tag deutlich unterdurchschnittlich nachlieferte.

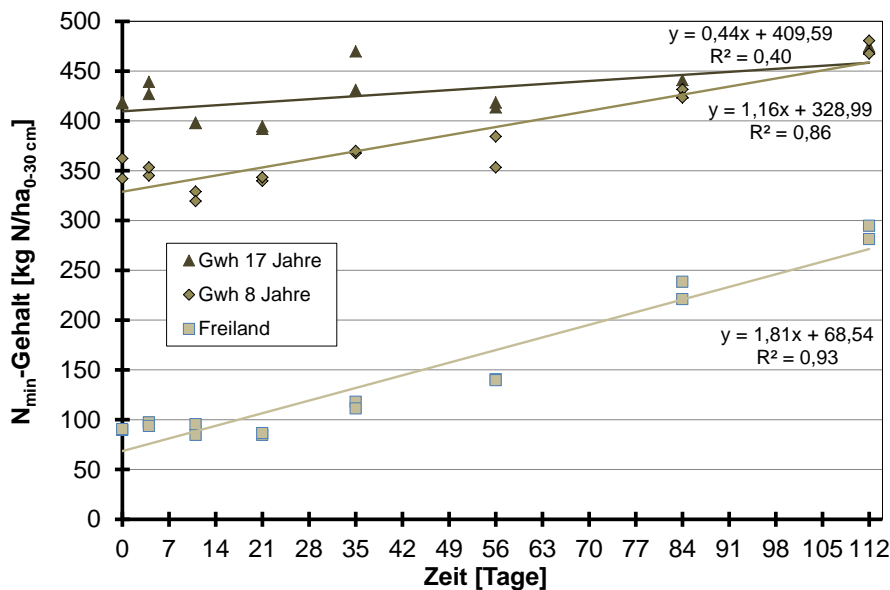


Abb. 4: Verlauf der N_{min} -Gehalte (berechnet auf eine Schichtdicke von 30 cm) während der Bebrütungszeit in den ungedüngten Böden

Bezogen auf die Bodenmasse lag die N-Nachlieferung (über die Zeit) bei 0,0969 - 0,4023 mg N/kg Boden_{trocken} pro Tag (Tab. 3). Damit wurden während der 112-tägigen Bebrütungszeit beim Freilandboden 2,0 % der N_t -Menge mineralisiert, was mit den Ergebnissen von STADLER (2006) mit 1,5 - 2 % innerhalb des 84-tägigen Versuches korrespondiert. Entsprechend der (deutlich) geringeren N-Nachlieferung bei gleichzeitig höherem N_t -Gehalt berechnete sich insbesondere für den Gwh 17 Jahre-Boden ein deutlich geringerer Anteil, so dass hier (in Verbindung mit den sich nur unwesentlich unterscheidenden C_t/N_t -Verhältnissen der Böden) ‚stabilere‘ Humusformen zu vermuten sind. Ob dies mit der ehemaligen Rindenmulchgabe zusammenhängt, bleibt spekulativ.

Tab. 3: N- und S-Nachlieferung der Böden

| | Freiland | | Gwh 8 Jahre | | Gwh 17 Jahre | |
|--|----------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|---------------|
| | N | S | N | S | N | S |
| N- bzw. S-Nachlieferung: pro Tag [mg/kg Boden_{trocken}] in 112 Tagen | 0,4023 45,1 | 0,0239 2,7 | 0,2575 28,8 | -0,0259 -2,9 | 0,0969 10,9 | 0,0195 2,2 |
| Verhältnis N- zu S-Nachlieferung | 16,8 | | -9,9 | | 5,5 | |
| N_t/S_t-Gehalt des Bodens [mg/kg Boden_{trocken}] | 2200 | 300 | 2700 | 400 | 3400 | 500 |
| mineralisierter Anteil [%] | 2,0 | 0,9 | 1,1 | -0,7 | 0,3 | 0,4 |

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl

Bei den S_{min} -Ausgangsgehalten stach der Gwh 8 Jahre-Boden mit einem Wert von 241 kg S/ha_{0-30 cm} deutlich hervor (Abb. 5), Gründe für diesen hohen S_{min} -Gehalt fanden sich nicht. Dieser Boden zeigte im Verlauf der Bebrütung abnehmende S_{min} -Gehalte, während der Gwh 17 Jahre- und der Freilandboden eine **S-Nachlieferung** im Bereich von 0,1 kg S/ha_{0-30 cm} pro Tag aufwiesen, was in der Größenordnung der Vorversuche (0,077; vgl. LABER 2017) liegt.

Bezogen auf den S_t -Gehalt der Böden wurden maximal 0,9 % mineralisiert (Tab. 3). Während beim Freilandboden der S-Nachlieferungs-Anteil geringer als der N-Nachlieferungs-Anteil ausfiel (wie beim vorherigen Versuch etwa die Hälfte als dem N_t/S_t -Verhältnis entsprechen würde), wurden beim Gwh 17 Jahre-Boden etwa gleiche Anteile mineralisiert.

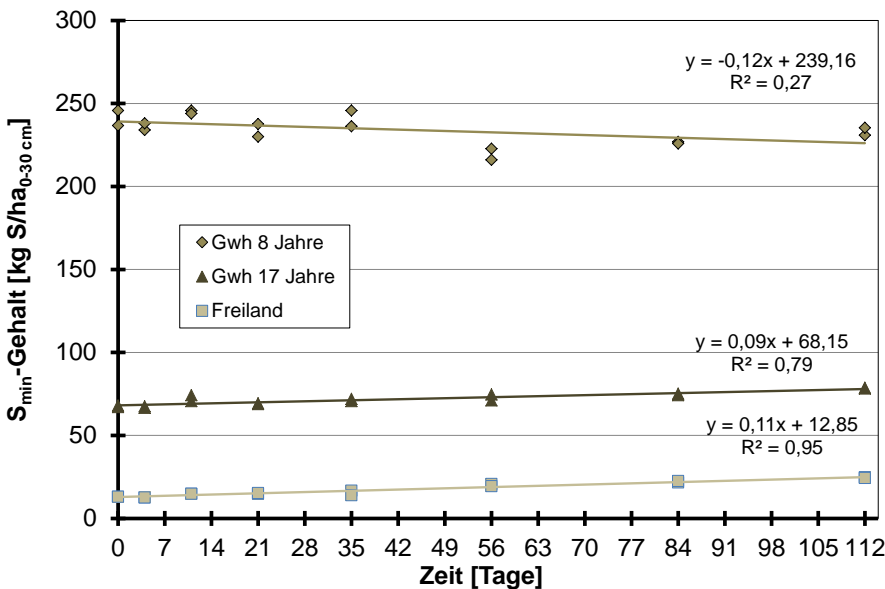


Abb. 5: Verlauf der S_{min} -Gehalte (berechnet auf eine Schichtdicke von 30 cm) während der Bebrütungszeit in den ungedüngten Böden

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl

Die **N-Mineralisation** des Hornmehls verlief auf allen drei Böden überwiegend ‚harmonisch‘, nur beim letzten Probenahmetermin zeigte die Gwh 17 Jahre-Variante mit ca. 90 % eine ungewöhnlich hohe N-Freisetzung, die Gwh 8 Jahre-Variante eine größere Streuung (Abb. 6). Mittels monomolekularer Funktion wurde ein N_{max} von 56,6 - 70,3 % berechnet (Tab. 4), bei einer Varianzanalyse ‚über die Zeit‘ zeigten sich tendenziell ($p = 0,056$) unabhängige Bodeneffekte. Entsprechend der signifikanten Wechselwirkung ‚Boden \times Termin‘ konnten bei Einzelauswertung am 4. und 11. Tag Unterschiede zwischen den Böden abgesichert werden, wobei die Freilandvariante (wie auch noch tendenziell am 21. Tag) den geringsten Wert zeigte.

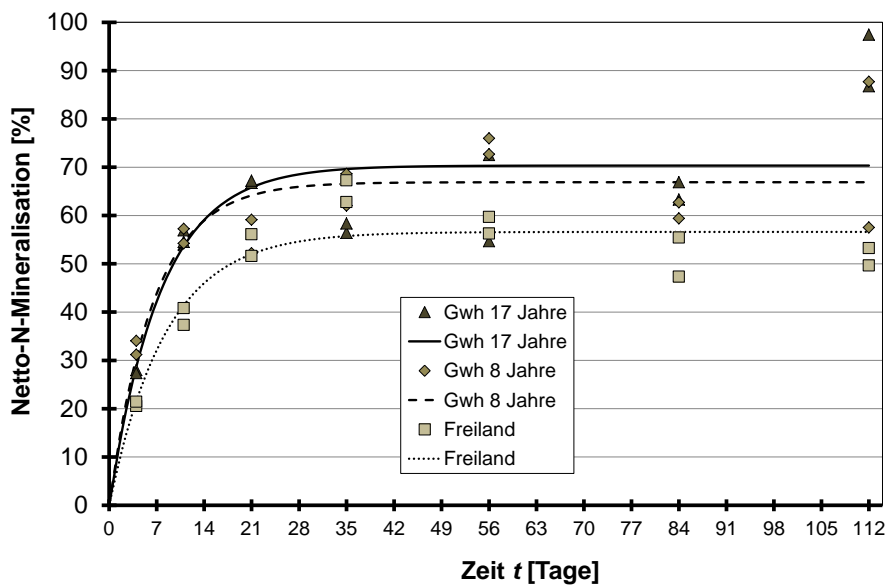


Abb. 6: Verlauf der Netto-N-Mineralisation von Hornmehl bei den verschiedenen Böden (Parameter der angepassten Funktionen s. Tab. 4)

Tab. 4: Netto-N-Mineralisation aus Hornmehl bei den verschiedenen Böden (Mittelwerte über die beiden Wiederholungen)

| | Freiland | Gwh 8 Jahre | Gwh 17 Jahre | $GD_{\alpha < 0,05}$ |
|---|----------|-------------|--------------|----------------------|
| N-Freisetzung [%]¹⁾: 4. Tag | 21,0 c | 32,6 a | 27,7 b | 4,0 |
| 11. Tag | 39,1 b | 55,7 a | 55,7 a | 6,7 |
| 21. Tag | 53,9 | 55,7 | 67,0 | n.s. ¹⁾ |
| 35. Tag | 65,0 | 65,3 | 57,4 | n.s. |
| 56. Tag | 58,0 | 74,3 | 63,6 | n.s. |
| 84. Tag | 51,4 | 61,1 | 65,1 | n.s. |
| 112. Tag | 51,5 | 72,6 | 92,1 | n.s. |
| N_{max} [%] | 56,6 | 66,9 | 70,3 | |
| k | 0,1196 | 0,1522 | 0,1308 | |
| R² | 0,85 | 0,68 | 0,64 | |

1) $p = 0,055$

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl

Verglichen mit Literaturdaten sind die gefundenen N_{max} -Werte beim Freilandboden als ‚durchschnittlich‘, bei den Gwh-Böden als ‚überdurchschnittlich‘ einzuordnen (Tab. 5). Damit zeigt sich, analog den Ergebnissen von STADLER (2006) (vgl. Abb. 1), eine positive Korrelation zwischen dem C_t -Gehalt der Böden und N_{max} ($N_{max} = 8,11 \cdot C_t + 38,0$; $R^2 = 0,93$; ohne Abb.). Entsprechend der geringeren N-Nachlieferung der Gwh-Böden nahm N_{max} mit zunehmend höherer N-Nachlieferung [kg N/ha_{0-30 cm} pro Tag] ab ($N_{max} = -9,93 \cdot N\text{-Nachlieferung} + 75,9$; $R^2 = 0,91$; ohne Abb.), während STADLER (2006) hier keinerlei Zusammenhang fand (vgl. Abb. 2).

Tab. 5: Parameter des mittels monomolekularer Funktion beschriebenen Verlaufs der Netto-N-Mineralisation von Hornmehl bei verschiedenen Brutversuchen (Literaturdaten)

| | Boden | | | Bruttemperatur | Zeitraum [Tage] | N _t [%] bzw. C _t /N _t | eigene Berechnung | | |
|---|--|----------------------|----------------------|----------------|-----------------|--|----------------------|----------------------|--------------------|
| | org. Substanz [%] | pH-Wert | N _{max} [%] | | | | k [d ⁻¹] | R ² | |
| BRAUN 1999 | lehmiger Schluff | – | 7,0 | 25 °C | 49 | 16,3 ¹⁾ | 65,0 | 0,0743 | 0,97 |
| SCHMITZ et al. 2000 | Sand (Sl2) ²⁾ | 3,3 | 6,9 | 10 °C | 112 | 13,3 ¹⁾ | (35) ³⁾ | | |
| | Lehm (Lu) ²⁾ | 6,0 | 7,5 | 10 °C | 112 | 13,3 ¹⁾ | 45,1 | 0,0486 | 0,99 |
| | Sand (Sl2) ²⁾ | 3,3 | 6,9 | 25 °C | 91 | 13,3 ¹⁾ | 43,8 ⁴⁾ | 0,1329 ⁴⁾ | 0,98 ⁴⁾ |
| | Lehm (Lu) ²⁾ | 6,0 | 7,5 | 25 °C | 91 | 13,3 ¹⁾ | 62,8 | 0,0975 | 0,96 |
| FISCHER 2000 | Sand (St2) ²⁾ | 1,9 | 5,3 | 15 °C | 364 | 12,2 ¹⁾ | 35,2 | 0,1833 | 0,87 |
| | Lehm (Lu) ²⁾ , o.H. ⁵⁾ | 4,2 | 5,4 | 15 °C | 364 | 12,2 ¹⁾ | 64,3 | 0,0603 | 0,97 |
| | Lehm (Lu) ²⁾ , m.H. ⁶⁾ | 4,0 | 6,1 | 15 °C | 364 | 12,2 ¹⁾ | 75,5 | 0,0525 | 0,96 |
| KOLLER et al. 2001 | sand. Lehm (Sl4) ²⁾ | 2,3 | – | 25 °C | 77 | 14,5 ¹⁾ | 61,9 | 0,0991 | 0,98 |
| MÜLLER & VON FRAGSTEIN U. NIEMSD. 2006 | schluffiger Lehm | C _t : 1,1 | 7,1 | 5 °C | 64 | 3,3 | 44,8 | 0,0495 | 0,89 |
| | | | | 15 °C | 64 | 3,3 | 54,0 | 0,0936 | 0,98 |
| SCHLEGEL et al. 2007 | schluffig-toniger Lehm | – | – | 5 °C | 56 | 3,1 | (46) ³⁾ | | |
| | | | | 20 °C | 56 | 3,1 | 57,8 | 0,1269 | 0,99 |
| SCHEFFLER & SCHMIDTKE 2016 | lehmiger Sand | – | – | 20 °C | 112 | 3,1 ⁷⁾ | 46,4 | 0,1616 | 0,85 |
| | | | | 20 °C | 112 | 3,1 ⁸⁾ | 58,7 | 0,0594 | 0,92 |
| SCHMITZ & FISCHER '01 | Torfsubstrat | – | – | 15 °C | 84 | – | 62,5 | 0,0791 | 0,99 |
| EMMEL 2006 | Torfsubstrat | – | 6,1 ⁹⁾ | 25 °C | 84 | – | 42,2 | 0,0992 | 0,94 |

- 1) N_t-Gehalt;
- 2) eigene Eingruppierung nach KA 5 auf Basis angegebener Ton- und Schluffgehalte;
- 3) Endwert bei quasi linearem Mineralisationsverlauf;
- 4) bei Wertung zweier zwischenzeitlicher relativ niedriger Ergebnisse als ‚Ausreißer‘;
- 5) im Vorfeld keine Düngung mit Hornprodukten;
- 6) im Vorfeld Düngung mit Hornprodukten;
- 7) Vermahlung < 0,2 mm;
- 8) Vermahlung < 2 mm
- 9) im Laufe des Brutversuches abfallend auf 4,9

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl

Die N-Mineralisation von KleePura fiel mit einem N_{max} von 18,5 % ungewöhnlich gering aus (Abb. 7). Entsprechend des relativ engen C_t/N_t -Verhältnisses von 11,1 wäre auf Basis der bisherigen Ergebnisse der eigenen Brutversuche mit pflanzlichen Materialien eine N-Freisetzung von gut 45 % zu erwarten gewesen (vgl. LABER 2017). Eine Auswertung von Literaturdaten zu Brutversuchen mit pflanzlichen Materialien führte zu einer C_t/N_t -Verhältnis-N-Freisetzungs-Beziehung, aus der sich für ein C_t/N_t -Verhältnis von 11,1 eine N-Freisetzung von gut 41 % errechnet (vgl. LABER 2016).

MÖLLER & SCHULTHEIB (2014) werteten Literaturdaten zu Feld-, Gefäß- und Inkubationsversuchen mit einer Vielzahl verschiedener pflanzlicher/tierischer Düngemittel aus. Mittels der von ihnen angepassten logarithmischen C_t/N_t -Verhältnis-N-Freisetzungs-Beziehung ($-30,8 \cdot \ln(C_t/N_t) + 101$) errechnet sich für ein C_t/N_t -Verhältnis von 11,1 eine N-Freisetzung von knapp 27 %.

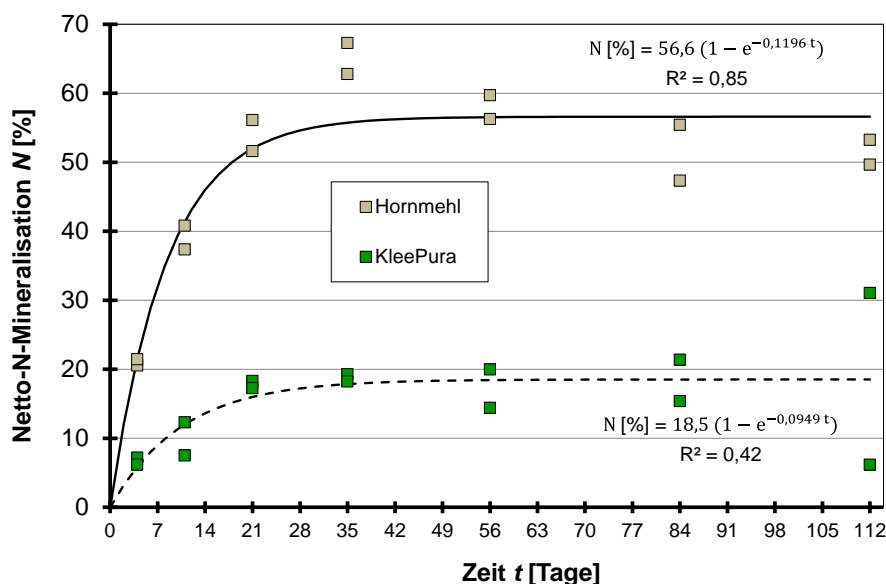


Abb. 7: Verlauf der Netto-N-Mineralisation bei KleePura im Vergleich zu Hornmehl (Freilandboden)

Speziell zu Weißklee liegen nur wenige Brutversuchsergebnisse vor. KIRCHMANN & BERGQVIST (1989) ermittelten bei unterschiedlich altem Weißklee-Aufwuchs im Brutversuch (25 °C, 119 Tage) eine „mineralisierbare N-Fraktion“ (= N_{max}) von 31,2 - 42,1 % (Tab. 6).

SCHEFFLER & SCHMIDTKE (2016) führten im Zuge der Entwicklung von KleePura Brutversuche mit Weißklee durch. Bei C_t/N_t -Verhältnissen von 8,8 bis 12,5 errechnen sich aus den Daten N_{max} -Werte von 35,0 bis 49,2 %. In einem weiteren Brutversuch verglichen sie vermahlene Weißkleematerial (C_t/N_t : 9,1) mit anschließend pelletiertem Material (4 bzw. 6 mm). 14 Tage nach Brutbeginn zeigten sich signifikante Unterschiede zugunsten des unpelletierten Materials, im weiteren Verlauf waren aber keine Unterschiede mehr abzusichern. Generell fielen die N_{max} -Werte bei diesem Brutversuch höher als bei den vorherigen Versuchen aus, das pelletierte Material zeigte dabei höhere Werte als der unpelletierte Weißklee.

Mit Ausnahme der Brutversuche von IRITANI & ARNOLD (1960; vgl. LABER 2016) mit Kohlernterückständen liegen damit keine Brutversuchsergebnisse vor, bei dem pflanzliches Material mit einem C_t/N_t -Verhältnis kleiner 12 eine N-Freisetzung von unter 20 % zeigte.

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl

Tab. 6: Parameter des mittels monomolekularer Funktion beschriebenen Verlaufs der Netto-N-Mineralisation von Weißklee-Aufwuchs bei verschiedenen Brutversuchen (Literaturdaten)

| | Temperatur | Zeit [Tage] | Weißkleematerial | | C _t /N _t | Angaben der Autoren | | |
|----------------------------|------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------|
| | | | Schnittzeitpunkt | Vermahlung | | N _{max} [%] | k [d ⁻¹] | R ² |
| KIRCHMANN & BERGQVIST 1989 | 25 °C | 119 | 66 Tage ¹⁾ | < 2 mm | 13,6 | 42,1 | 0,057 | 0,99 |
| | | | 101 Tage ¹⁾ | < 2 mm | 12,7 | 33,8 | 0,056 | 0,97 |
| | | | 137 Tage ¹⁾ | < 2 mm | 13,4 | 31,2 | 0,060 | 0,96 |
| | | | | | | eigene Berechnung | | |
| SCHEFFLER & SCHMIDTKE 2016 | 20 °C | 112 | 2. Schnitt | < 2 mm | 11,1 | 37,0 | 0,0860 | 0,78 |
| | | | 3. Schnitt | < 2 mm | 12,5 | 35,6 | 0,0356 | 0,98 |
| | | | 7. Schnitt | < 2 mm | 8,8 | 48,1 | 0,0518 | 0,98 |
| | | | | < 0,2 mm | 8,8 | 36,0 | 0,1017 | 0,82 |
| | | | | < 2 mm | 8,8 | 37,8 | 0,1358 | 0,69 |
| | | | | < 6 mm | 8,8 | 49,2 | 0,0518 | 0,94 |
| | | | 1.-3. Schnitt | < 2 mm | 9,1 | 60,6 ²⁾ | 0,0669 ²⁾ | — ³⁾ |
| | | | 1.-3. Schnitt | 4 mm Pellets ²⁾ | 9,1 ⁵⁾ | 68,8 ²⁾ | 0,0326 ²⁾ | 0,99 |
| | | | 1.-3. Schnitt | 6 mm Pellets ²⁾ | 9,1 ⁶⁾ | 73,3 ²⁾ | 0,0334 ²⁾ | 0,99 |
| | 5. Schnitt | 6 mm Pellets ²⁾ | 10,3 ⁷⁾ | 63,7 ²⁾ | 0,0168 ²⁾ | 0,99 | | |

1) Tage nach vorherigem Schnitt; 2) vorherige Vermahlung auf < 2 mm; 3) nur 2 Messpunkte
 2) berechnet ohne Berücksichtigung sehr hoher Werte am 14. (nur ,< 2 mm') und 28. Tag; 3) nur 2 Messpunkte

Auch floraPell zeigte, bei wiederum sigmoiden Mineralisationsverlauf, mit 20 % eine ungewöhnlich geringe N-Freisetzung, fP Lanowool führte sogar zu einer leichten N-Immobilisierung, was bei einem C_t/N_t-Verhältnis von 6,0 'überrascht' (Abb. 8). Der offensichtlich geringe Abbau von floraPell zeigte sich auch daran, dass bis zum letzten Probenahmetermin die eingemischten Pellets gut zu erkennen waren (Abb. 9). Auch bei KleePura und fP Lanowool blieben die eingemischten Pellets längere Zeit stabil (und konnten so bei der Bodenprobeentnahme 'zerbröseln' und eingemischt werden), bei der letzten Beprobung waren hier allerdings keine Pellets mehr auffindbar.

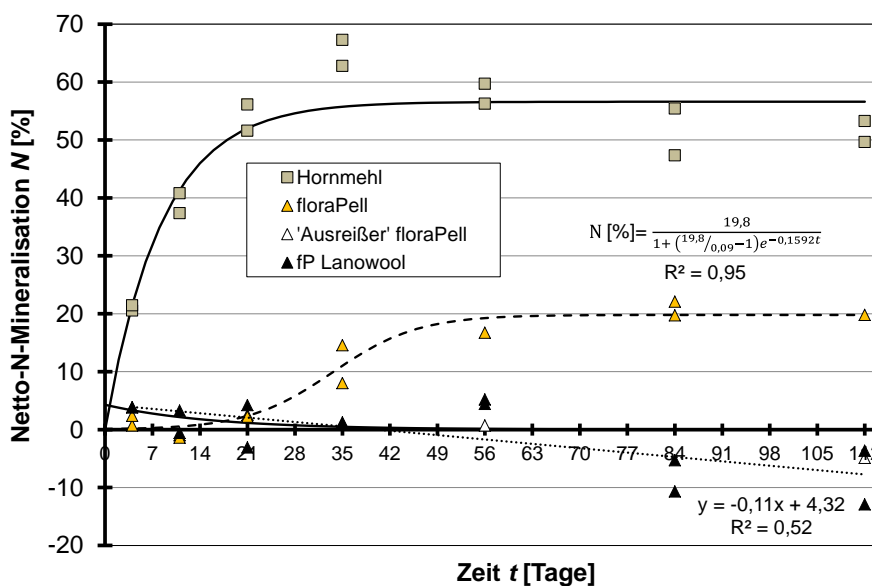


Abb. 8: Verlauf der Netto-N-Mineralisation bei floraPell und fP Lanowool im Vergleich zu Hornmehl (Freilandboden)

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl



Abb. 9: Freigelegtes floraPell-Pellet
(112 Tage nach Beginn des Brutversuches)

Bei vorherigen Versuchen mit floraPell wurde ein N_{max} von 38,5 (LABER 2013) bzw. 44,1 % (LABER 2014) ermittelt. Allerdings wurden bei diesen Versuchen die Pellets beim Abwiegen bzw. vor dem Einmischen 'zerbröseln' (in den Versuchsberichten nicht erwähnt), während sie im aktuellen Versuch so weit wie (entsprechend der Soll-Einwaage) möglich, intakt blieben.

SEIBOLD et al. (2015) ermittelten im Brutversuch mit einem Torf-Kompost-Substrat (25 °C, 63 Tage) bei „zerfaserter“ Schafwolle, bei ebenfalls sigmoiden Mineralisationsverlauf, eine N-Freisetzung von 44 %. In einem Kulturversuch mit Petersilie zeigten sich keine Unterschiede (Aufwuchs, Blattfarbe, $N_{Aufwuchs}$) zwischen zerfaserter und pelletierter Schafwolle.

KOCH et al. (2017) testeten in einem Brutversuch mit einem Torf-Kokos-Kompost-Substrat (25 °C, 63 Tage) u.a. Schafwollpellets (Firma Rötberghof). Bei wiederum sigmoiden Mineralisationsverlauf betrug hier N_{max} 55,4 %, allerdings wurden auch hier die Pellets vor dem Einmischen „zerkleinert“ (schriftl. Auskunft EMMEL, 26.3.2018)

JÜTTNER et al. (2018) ermittelten bei Rohwolle in einem Torfsubstrat bei 25 °C innerhalb von 7 Wochen eine N-Freisetzung von rund 66 % (sigmoide Mineralisationsverlauf). Eine Entfettung der Wolle hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Mineralisationsverlauf, dagegen führte eine Hitzebehandlung (150 - 180 °C) zu einer signifikanten Verzögerung der N-Mineralisation.

Die große Diskrepanz zwischen der N-Freisetzung aus dem Hornmehl und den pelletierten Düngern legt, in Verbindung mit der hohen N-Mineralisation bei gleichmäßigem Einmischen der Wolle, die Vermutung nahe, dass die geringe N-Freisetzung (inkl. der von KleePura) ursächlich mit dem Einmischen in Form von Pellets in Zusammenhang stehen könnte, wenngleich die Ergebnisse von SCHEFFLER & SCHMIDTKE (2016) mit KleePura (s.o.) dieser These widersprechen.

Über die Arbeit von SCHEFFLER & SCHMIDTKE (2016) hinaus liegen auch im Bereich pelletierter pflanzlicher Düngemittel nur wenige, allesamt aber keine vergleichenden Untersuchungen (pelletiert/unpelletiert) vor. AGEHARA & WARNCKE (2005) verwendeten zwar Luzerne-Pellets (C_t/N_t 11,13 %), die sich aus der geringen Bodeneinwaage (20 g Boden_{trocken}) ergebende Düngergabe von 55,6 mg entspricht aber (nach einem eigenen Test an KleePura) nur einem Pelletabschnitt von 2-3 mm Länge,

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl

so dass hier die N-Freisetzung (N_{max} je nach Bodenwassergehalt 37,5 - 49,4 %) kaum von ‚Pelletierungseffekten‘ beeinflusst gewesen worden sein dürfte.

KELDERER et al. (2012) ermittelten bei Luzerne-Pellets (C_t/N_t 20,6; offensichtlich intakte Pellets) eine (bezüglich des C_t/N_t -Verhältnisses vergleichsweise hohe) N-Freisetzung nach 120 Tagen (20 °C) von rund 25 %, nach 240 Tagen von rund 26 %, einen Vergleich mit unpelletiertem Material gab es aber auch hier nicht.

Die **Netto-S-Mineralisation** des Hornmehls belief sich beim Freilandboden auf 41 %, bei Gwh 17 Jahre-Böden waren es knapp 56 % (Abb. 10, Tab. 7). Bei dem Gwh 8 Jahre-Boden (der ja selbst eine Abnahme der S-Gehalte zeigte) wurde ein deutlich höheres S_{max} von 115 % ermittelt (signifikante Bodenwirkung bei eine Varianzanalyse ‚über die Zeit‘).

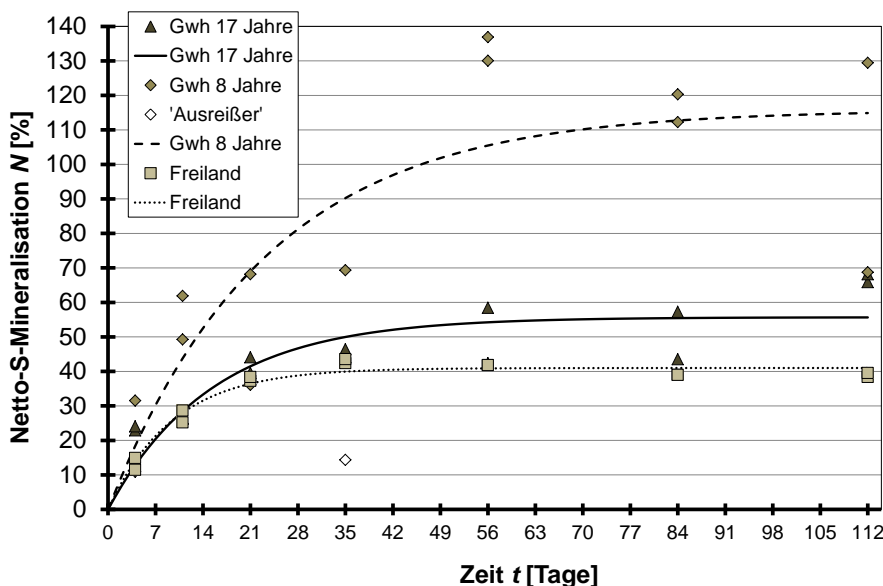


Abb. 10: Verlauf der Netto-S-Mineralisation von Hornmehl bei den verschiedenen Böden (Parameter der angepassten Funktionen s. Tab. 7)

Tab. 7: Netto-S-Mineralisation aus Hornmehl bei den verschiedenen Böden

| | Freiland | Gwh 8 Jahre | Gwh 17 Jahre | $GD_{\alpha < 0,05}$ |
|--|----------|--------------------|--------------|----------------------|
| S-Freisetzung [%]¹⁾: | | | | |
| 4. Tag | 13,2 | 21,2 | 23,5 | n.s. |
| 11. Tag | 26,9 b | 55,6 a | 26,3 b | 17,0 |
| 21. Tag | 37,8 | 52,1 | 41,8 | n.s. |
| 35. Tag | 43,0 | 69,3 ¹⁾ | 45,3 | – |
| 56. Tag | 41,8 b | 133,5 a | 50,4 b | 22,7 |
| 84. Tag | 39,0 | 116,3 | 50,4 | 20,7 |
| 112. Tag | 39,0 | 99,1 | 67,0 | n.s. |
| S_{max} [%] | 41,0 | 115,8 | 55,7 | |
| k | 0,1046 | 0,0431 | 0,651 | |
| R² | 0,96 | 0,72 | 0,71 | |

1) ohne ‚Ausreißer‘ (14,4 %)

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl

Die beiden Wolldünger zeigten eine relativ ähnliche S-Freisetzung im Bereich von 20 - 30 %, dagegen führte KleePura schon bald zu einer S-Immobilisierung (Abb. 11).

Die S-Immobilisierung von KleePura entsprach, entsprechend dem hohen C_t/S_t -Verhältnis, dem Erwartungswert auf Basis der bisherigen Versuchsergebnisse mit pflanzlichen Materialien (vgl. LABER 2016). Die keratinhaltigen Düngemittel Hornmehl, floraPell und fP Lanowool zeigten trotz relativ engem C_t/S_t -Verhältnis vergleichsweise geringe S-Freisetzungen (Abb. 12).

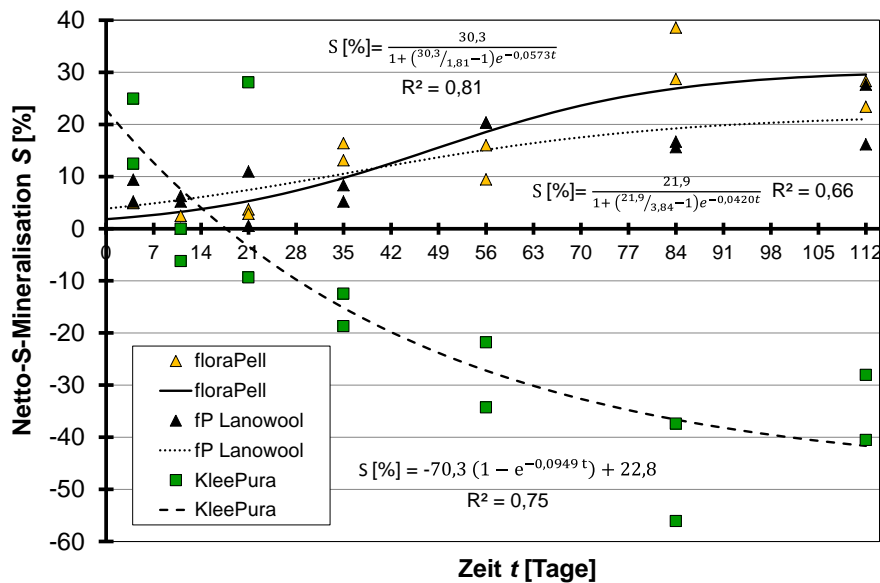


Abb. 11: Verlauf der Netto-S-Mineralisation von floraPell, fP Lanowool und KleePura (Freilandboden)

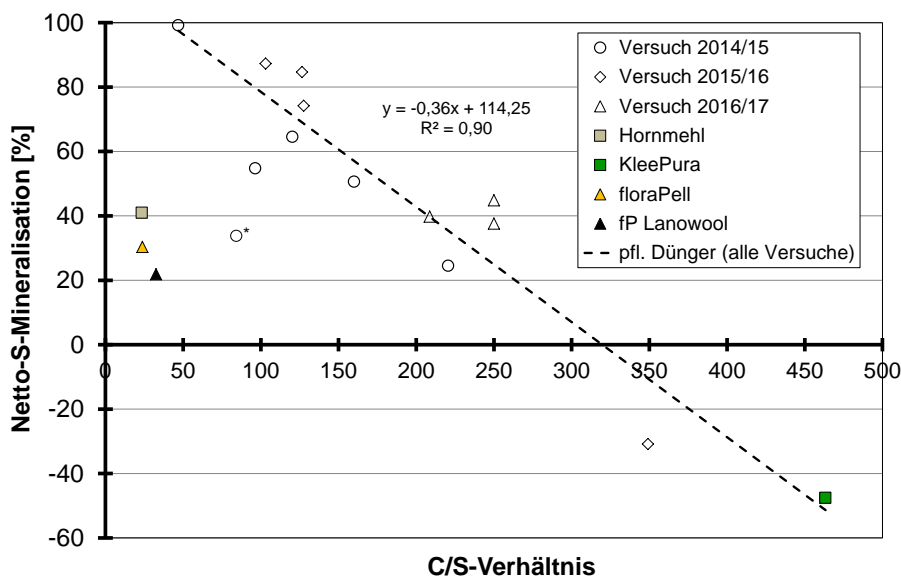


Abb. 12: Netto-S-Mineralisation pflanzlicher Materialien (Versuch 2014/15 und 2015/16: Mittelwerte der letzten beiden Beprobungen; Versuch 2016/17: Mittelwerte über die gesamte Bebrütungszeit; aktueller Versuch: S_{max}) sowie keratinhaltiger Dünger (aktueller Versuch) in Abhängigkeit vom C_t/S_t -Verhältnis (Regression berechnet ohne Zwiebel-Ernterückstände [*] und keratinhaltige Dünger)

Bodenbedingte Unterschiede bei der N- und S-Mineralisation von Hornmehl**Literatur:**

- AGEHARA, S. und D.D. WARNCKE 2005: Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen sources. *Soil Science Society of America Journal* **69** (6), S. 1844-1855.
- BRAUN, A. 1999: Stickstoffversorgung im Ökologischen Frühgemüseanbau und Eignung von Körnerleguminosenschroten als organische N-Dünger. Diplomarbeit, Universität Gesamthochschule Kassel-Witzenhausen
- EMMEL, M. 2006: Unterschiedliches Stickstoff-Freisetzungsverhalten bei verschiedenen organischen Düngern. Verband der Landwirtschaftskammern [Hrsg.]: *Versuche im Deutschen Gartenbau / Zierpflanzenbau*
- FISCHER, P. 2000: N-Freisetzung verschiedener organischer N-Dünger in Mineralböden. *SÖL-Berater-Rundbrief* 4/00, S. 3-7
- JÜTTNER, I., S. PFEIL und E. MEINKEN 2018: Auswirkung von Entfettung und Hitzebehandlung auf das N-Freisetzungsverhalten von Schafwolle. Poster DGG-Tagung 2018 (www.hswt.de/fileadmin/Dateien/Forschung/Forschungs-News/2018/20180302_DGG-Tagung/Poster_Juettner.pdf; Abruf 21.03.2018)
- KA 5: Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.], Schweizerbart, Stuttgart, 2005
- 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, Sachbereich Ökologischer Anbau
- KIRCHMANN, H. und R. BERGQVIST 1989: Carbon and nitrogen mineralization of white clover plants (*Trifolium repens*) of different age during aerobic incubation with soil. *Z. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde* **152**, S. 283-288
- KOCH, R., M. EMMEL, D. LOHR, A. FRANKENBERG, B. DEGEN, E. MEINKEN, H.-P. HAAS und S. FISCHINGER 2017: Organische Dünger in Topfkulturen auf dem Prüfstand - wie steht es mit der Stickstofffreisetzung? 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Freising-Weihenstephan (www.orgprints.org/31877)
- KOLLER, M., Th. ALFÖLDI, A. BERNER und M. LICHTENHAHN 2002: Alternativen zu Fleisch-, Blut- und Horndüngern im biologischen Gemüse- und Zierpflanzenbau. Bericht, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick (CH)
- LABER, H. 2017: N- und S-Mineralisation von Luzerne(silage), Mistkompost und Champost. *Versuche im deutschen Gartenbau 2017, Gemüsebau*, www.hortigate.de
- LABER, H. 2016: N- und S-Mineralisation von Gemüse-Ernterückständen variierte deutlich. *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.de und www.orgprints.org/22436
- MÖLLER, K. und U. SCHULTHEIß 2014: Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau. *KTBL-Schrift* 499, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt
- 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. *Plant Nutr. Soil Sci.* **169**, S. 255-264
- SCHIEFFLER, S. und K. SCHMIDTKE 2016: Entwicklung und Erprobung eines neuartigen, aus dem ökologischen Landbau stammenden stickstoffreichen Düngemittels für den ökologischen Gemüsebau. Abschlussbericht, Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (www.orgprints.org/31177)
- SCHLEGEL, I., Z. LI, M. VON SCHENCK ZU SCHWEINSBERG-MICKAN, R. SCHULZ und T. MÜLLER 2007: Purchasable and on farm produced plant based organic fertilisers: I. N-turnover and net N-mineralisation in incubation experiments. *VDLUFA-Schriftenreihe* **62**, Kongressband Freiburg, 2006, S. 409-420
- SCHMITZ, H.-J., P. FISCHER und E. MEINKEN 2000: Stickstoff-Freisetzung aus Horndüngern. *Deut. Gartenbau* **54** (19), S. 26-29
- SCHMITZ, H.-J. und P. FISCHER 2001: Vegetabile Dünger - eine gute Alternative. *Das Taspo Magazin* **2** (8), S. 48-51
- SEIBOLD, G., D. LOHR und E. MEINKEN 2015: Waste sheep wool - an alternative nitrogen source for organically grown potted herbs? *DGG-Proceedings* **5**, S. 1-5
- STADLER, C. 2006: Nitrogen release and nitrogen use efficiency of plant derived nitrogen fertilisers in organic horticultural soils under glasshouse conditions. Diss. Technische Universität München