

Stickstoffmineralisation von Zwischenfrüchten im Modellversuch

K. Vilmeyer und R. Gutser

Zusammenfassung

Durch unterschiedliche N-Ernährung wurden Grünrapraps mit C/N-Verhältnissen von 29, 17 bzw. 7 Weidelgras mit 31 bzw. 20, Phacelia mit 18 bzw. 12 und ein Erbsen-Wicken-Gemenge mit 16 produziert.

Die gefriergetrockneten Zwischenfrüchte wurden einer Braunerde aus Löß (pH 6,5), auf der die Pflanzen gewachsen waren, einschließlich der Wurzeln zugemischt und die NH_4^+ - und NO_3^- -Bildung unter den simulierten Bodentemperaturen der Krume ausgehend von November bzw. März über maximal 50 Wochen hinweg untersucht.

Nur das Pflanzenmaterial mit engem C/N-Verhältnis (Grünrapraps 17, Phacelia 12 und Erbsen/Wicken 16) zeigte eine wesentliche Nettomineralisation (43 bis 67 % des Gesamt-N). Von Weidelgras (C/N 20) wurden nur 29 % von einem intensiv gedüngten Grünrapraps (C/N 7) hingegen bis zu 121 % des Gesamt-N nitrifiziert. NH_4^+ trat nur bis zu 25 % des zugegebenen N zwischen 6 und 9 Wochen nach Herbst- bzw. 2 Wochen nach Frühjahrsgabe aus den stärker mit N gedüngten Zwischenfrüchten auf. Während nach Märzearbeitung die N-Mineralisation aufgrund steigender Bodentemperaturen bereits nach 5-10 Wochen einsetzte, erfolgte diese nach Novemberearbeitung erst nach ca. 20 Wochen, also ebenfalls im April/Mai. Die absolute Höhe war annähernd gleich, unabhängig von der Ausbringungszeit. Zwischenfrüchte mit weitem C/N-Verhältnis mineralisierten mit max. 11 % vom Gesamt-N deutlich schlechter bzw. überhaupt nicht (z. B. Weidelgras C/N 31); Bodenstickstoff wurde teilweise sogar immobilisiert.

Das unterschiedliche Mineralisationsverhalten korrelierte hoch signifikant mit dem Gesamt-N ($r = 0,96$), dem C/N-Verhältnis ($r = -0,85$), den Ergebnissen der anaeroben Brüterversuche allein ($r = 0,84$) bzw. Pflanzenmaterial und Boden ($r = 0,91$). Deutlich schlechter waren die Korrelationen zu dem durch Heißwasser-, saure KMnO_4 - bzw. KCl -Extraktion.

Schlüsselworte:

Pflanzenernährung - Zwischenfrucht - Gründüngung - N - Mineralisation - C/N-Verhältnis - Analytik

Einleitung

Nach wie vor stellt die Mineralisationsgeschwindigkeit von Zwischenfrüchten und die Freisetzung von pflanzenaufnehmbarem Nitrat ein wesentliches Problem der Pflanzenernährung dar. Der größte Einfluß geht sicherlich vom C/N-Verhältnis des Pflanzenmaterials aus (Hill 1926, Amberger und Aigner 1965, Amberger et al. 1971, Kick und Massen 1976, Debruck

1979, Weeratna 1979, Jung et al. 1980, Vilsmeier und Amberger 1981). Darüber hinaus wird die mineralisierbare N-Menge noch durch Bodentemperatur, feuchte und -biologie wesentlich beeinflusst (Beck 1979, Vilsmeier und Amberger 1981, 1982). Zwischenfrüchte haben nun aber zum einen kein starres C/N-Verhältnis – es ist stark abhängig von der Stickstoffernährung und vom Alter der Pflanzen –, zum anderen besteht ein wesentlicher Unterschied hinsichtlich der Bodentemperatur, wenn der Aufwuchs im Herbst oder im Frühjahr in den Boden eingearbeitet wird.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist, die N-Mineralisation unterschiedlich mit Stickstoff ernährter Zwischenfrüchte nach Herbst- und Frühjahrseinbringung in den Boden im Modellversuch zu prüfen und dieses Mineralisationsverhalten mit chemischen oder biologischen Methoden zu belegen.

Material und Methoden

Material

Pflanzen

Wintergras, Weidelgras und Phacelia wurden in Milchsicherlichgefäßen mit 0,5 g (N₁) bzw. 1,0 g N (N₂) als NH₄NO₃, Erbsen-Wicken-Gemenge mit 0,2 g N kultiviert, der Aufwuchs nach 2 Monaten (Raps *N₂ (späterer Anbau) nach 1 Monat) geerntet, gefriergetrocknet und gemahlen. Die Wurzeln wurden separat geerntet, homogenisiert und den entsprechenden Böden wieder zugemischt.

Boden

ul, pH 6,5, 0,14% Ges. N, 1,4% C

Versuchsanstellung

Je 100 g Boden mit Wurzeln wurden in 300-ml-Polyäthylenglasflaschen mit 20 mg N in Form von Pflanzennmaterial gemischt, auf 60% der vollen Wasserkapazität eingestellt und von November 1985 bis Oktober 1986 bebrütet. In den Versuchen ohne Wurzeln wurde der Boden der Kontrolle (Gefäßversuch ohne Pflanzen) mit 20 mg N als Pflanzennmaterial verwendet. Die Temperatur entsprach dem langjährigen Durchschnitt der Bodentemperatur in Weihenstephan in 2–20 cm Tiefe.

Methodik

Untersuchungen in Pflanzen

Ges.-N: nach Kjeldahl

Ges.-C: durch nasse Veraschung (Springer und Klee 1955)

fällbarer N: Extraktion mit 5% K₂SO₄, Fällung mit Trichloressigsäure (TCE) und Kjeldahlabschluß (nach Schwarz 1954, abgeändert)

hydrolysierbarer N: 4 bzw. 15 h Kochen bei 100°C in 1 M, 0,01 M HCl bzw. H₂O mit Rückflüßkühler und Ges.-N-Bestimmung im abfiltrierten Hydrolysat hydrolysierbarer Aminosäuren-N: 15 h Hydrolyse des abfiltrierten Hydrolysesates von oben mit 6 M HCl, um auch gelöste Peptide in einzelne

Aminosäuren zu spalten und Bestimmung mittels eines Aminosäurenanalyzers (Biotronik LC 6000)

anaerobe Bebrütung: 1 g Pflanzenmaterial + 50 ml H₂O 7 d bei 40°C, Destillation des gebildeten NH₄ mit MgO (Keeney und Bremner 1966)

NO₃: kolorimetrisch mit 2,4-Dimethylphenol bei 436 nm (Balke und Reekers 1960)

Untersuchungen im Boden

Brutversuche

NH₄⁺: mit ionenselektiver Elektrode (Orion 95-10) direkt in der wäßrigen Bodensuspension

NO₃⁻: mit Hochdruckflüssigkeitchromatographie im wäßrigen Extrakt (Vilsmeier 1984)

Chemische und biologische Methoden

Da Brutversuche sehr zeitaufwendig sind, wurden darüber hinaus noch einige chemische Methoden und der anaerobe Brutversuch eingesetzt, um in kurzer Zeit eine Aussage über den potentiell mineralisierbaren N machen zu können. Dabei wird während der Extraktion bzw. Destillation vielfach Ammonium von Aminosäuren und Aminozuckern abgespalten, der Gesamt-N der entsprechenden Fraktion nach Kjeldahlabschluß oder nur der in Aminosäuren enthaltene bestimmt.

NH₃-Destillation in Phoshat/Borat-Puffer, pH 11,2 (Gianello und Bremner 1986)

4 h KCl-Extraktion bei 100°C und Destillation des gebildeten NH₄ mit MgO (Gianello und Bremner 1986)

heißwasserlöslicher N: 4, 8 und 12 h Kochen in H₂O

Destillation von NH₄ ohne und mit Kjeldahlabschluß

heißwasserlöslicher Aminosäuren-N: 15 h Hydrolyse des heißwasserlöslichen Extraktes mit 6 M HCl und Bestimmung wie oben mit Aminosäuren-analysator

anaerobe Bebrütung: wie oben, jedoch mit 10 g Boden

Destillation des nach saurer Kaliumpermanganextraktion gebildeten NH₄ mit NaOH (Stanford und Smith 1978)

Ergebnisse

N- und C-Fractionen im Pflanzenmaterial (Tabelle 1)

Die Gesamt-N-Gehalte schwanken zwischen 1,36% (Weidelgras-N 1) und 5,56% (Raps *N₂); die C/N-Verhältnisse liegen damit zwischen 6,6 und 30,7. Der mit TCE fällbare N erreicht in grünen Pflanzen 33–68% vom Gesamt-N ohne deutlichen Bezug zu den verschiedenen Düngungsstufen. Die sehr unterschiedlichen C/N-Verhältnisse zeigen keinerlei Beziehung zu dem in 1 M, 0,01 M HCl oder in kochendem Wasser hydrolysierbaren N bzw. mit kochendem Wasser gelösten und hydrolysierbaren Aminosäuren. So sind von Grüngras mit einem C/N-Verhältnis von 29 bzw. 6,6 jeweils 90% in 1 M HCl

und nach 15stündigem Kochen im Wasser 45 bzw. 47% vom Gesamt-N hydrolysierbar. Nach diesen Untersuchungen spiegelt sich das unterschiedliche Düngungsniveau nur im Gesamt-N und im C/N-Verhältnis des Pflanzenmaterials wider. Das nach anaerober Bebrütung destillierte Ammonium weist die unterschiedliche N-Versorgung ebenfalls deutlich aus. Die im Ausgangsmaterial bereits enthaltenen und nicht mit dieser Methode analysierten Nitratmengen beeinflussen dieses Ergebnis nur im Falle von Raps *N₂ wesentlich.

Tabelle 1
Charakterisierung des Pflanzenmaterials
(alle Angaben in % TS)

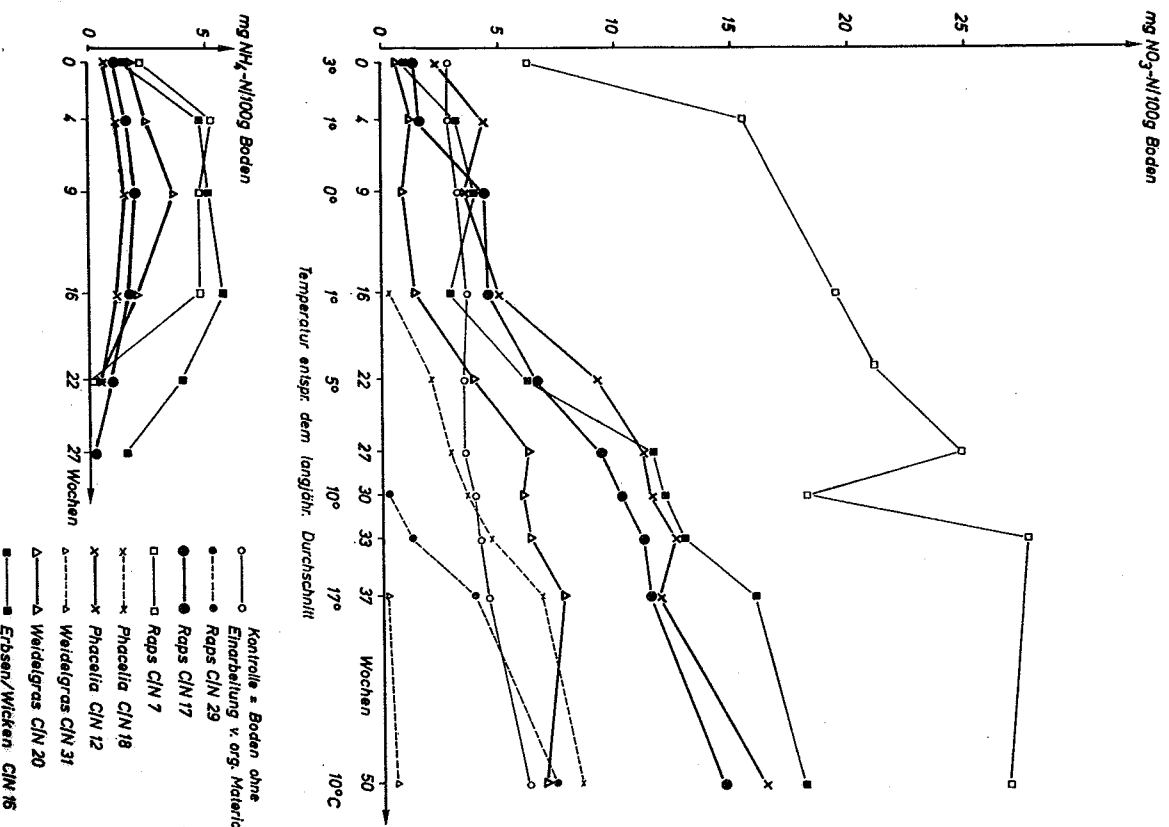
	Raps		Phacelia		Weidelgras		Erbсен/ Wicken
	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂	
Ges. N	1,48	2,57	2,14	3,28	1,36	2,17	2,89
Nitrat-N	0,01	0,16	1,72	0,05	0,03	0,08	0,02
C/N	29,4	16,6	18,2	11,9	30,7	19,9	15,5
TCF fällb. N	0,74	0,84	1,45	1,92	0,87	1,01	1,17
hydrolysierbarer N nach 15 h in 1 M HCl in 0,01 M HCl in H ₂ O	1,32	2,37	4,98	1,77	2,65	1,08	1,90
AS-N nach 15 h**	0,73	1,75	2,84	0,57	1,14	0,50	1,12
NH ₄ -N n. anaerober Bebrütung	0,67	1,65	2,60	0,71	1,10	0,51	1,12
	0,25	0,62	0,38	0,28	0,60	0,30	0,39
	0,03	0,81	1,79	0,11	0,64	0,01	0,11
							0,81

**hydrolysierbarer Aminosäuren-N im Heißwasserextrakt nach 15 h

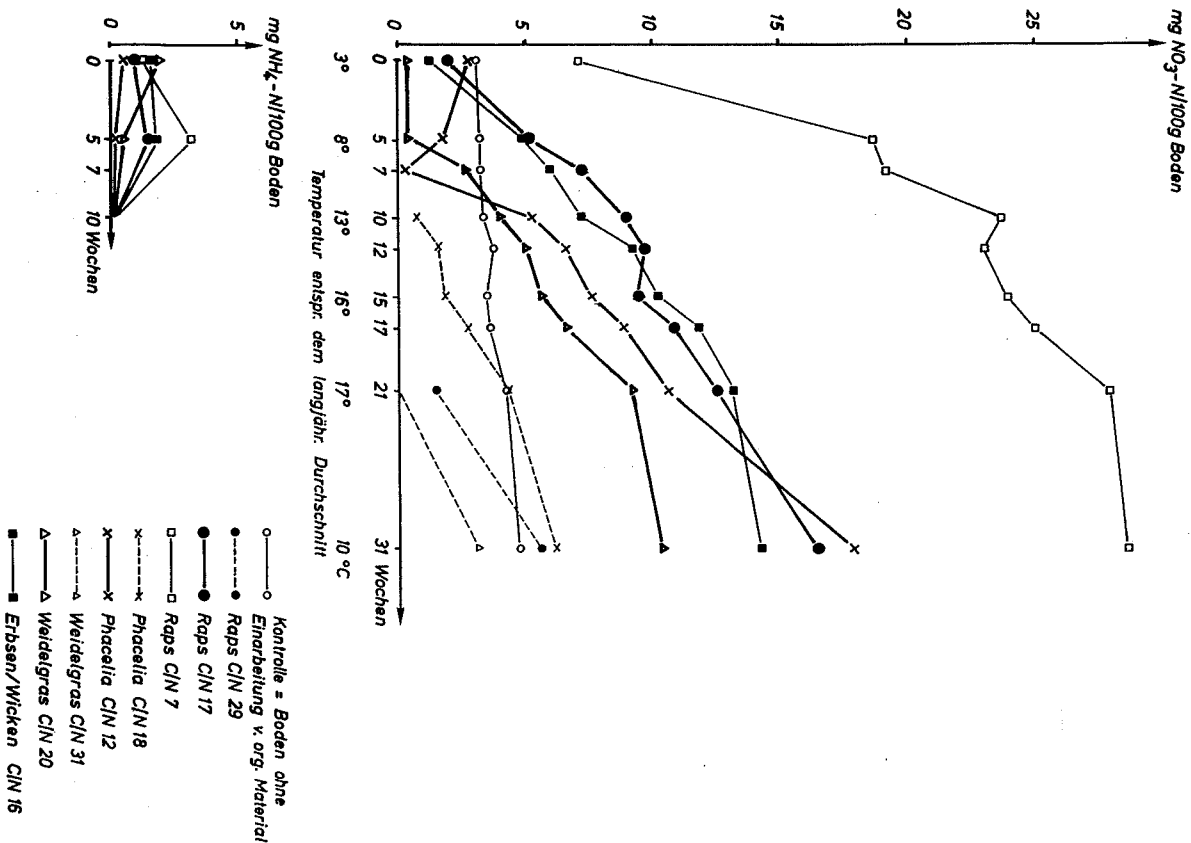
Bebrütungsversuche

Die im November zum Boden gemischten Pflanzenproben der Düngungsstufe N₁ mineralisieren äußerst langsam (Darstellung 1). Erst nach 30 bzw. 40 Wochen zeigt sich eine geringe Nettomineralisation aus Phacelia bzw. Raps. Weidelgras (N₁) erreicht nach 50 Wochen nur 0,5 mg NO₃-N/100 g Boden, während die Kontrolle ohne Zusatz zum gleichen Zeitpunkt bereits über 6 mg NO₃-N/100 g Boden enthält. Besser mit Stickstoff (N₂) ernährte Pflanzen und das Leguminosengemenge weisen mit Ausnahme von Weidelgras eine wesentlich höhere Mineralisation auf. Diese setzt mit dem Anstieg der Bodentemperatur im März ein und erreicht im Oktober nach 50 Wochen mit einer Nettomineralisation von 43-67% die höchsten Werte. Weidelgras hingegen nach 37 Wochen nur 17% der Zugabe. Aus diesem System fällt Raps *N₂ deutlich heraus. Seine Nettomineralisation beträgt über 100% der Zugabe, d. h. in diesem Fall kommt es offenbar auch zu einer Mineralisation von Wurzelmasse und Boden-N. Ursache dafür dürfte das sehr junge Pflanzenmaterial mit engem C/N-Verhältnis und hohem Nitratgehalt sein. Trotz fortwährender aerober Bedingungen treten offenbar unter dem Einfluß tiefer Temperaturen bis zu 25% des zugegebenen N als NH₄ auf.

Darstellung 1
Stickstoffmineralisation von Zwischenfrüchten (mit Wurzeln)
Einarbeitung November



Darstellung 2
 Stickstoffmineralisation von Zwischenfrüchten (mit Wurzeln)
 Einarbeitung März



Wird das gleiche Pflanzenmaterial im März zum Boden gemischt und damit eine Frühjahrseinarbeitung simuliert, so ergeben sich keine wesentlichen Unterschiede zur Novembereinarbeitung (Darstellung 2). Aufgrund der ansteigenden Temperaturen verläuft die Mineralisation der mit 1 g N gedüngten Zwischenfrüchte und des Erbsen-Wicken-Gemisches ohne wesentliche Verzögerung. Aus Pflanzen mit weitem C/N-Verhältnis wie Raps, Phacelia und Weidelgras (alle N₁) wird kaum bzw. kein Nitrat freigesetzt. NH₄ tritt gegenüber der Novembereinarbeitung in weit geringerem Ausmaß auf.

In den bisher vorgestellten Brutversuchen wurde immer die N-Mineralisation der bereits im Boden enthaltenen Wurzeln mit erfasst. In weiteren Untersuchungen gaben wir deshalb das Pflanzenmaterial in den gleichen Boden, der keine Wurzeln enthielt (Tabelle 2). Aus Raps und Phacelia (N₁) wird zu beiden Terminen, aus Weidelgras (N₂) nur nach Märzapplikation deutlich mehr Nitrat gebildet als mit Wurzeln. Alle stärker mit N gedüngten Pflanzen und das Leguminosengemenge mineralisieren hingegen teilweise nur 50% der oben aufgezeigten Mengen.

Tabelle 2
 Nettomineralisation aus verschiedenen Zwischenfrüchten ohne Wurzeln
 (NO₃-N in % der Zugabe)

November-einarbeitung nach Wochen	Raps		Phacelia		Weidelgras		Erbsen/Wicken
	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂	
4	0	0	0	7	0	0	12
19	0	15	0	11	0	0	27
30	0	34	4	23	0	0	33
40	11	37	22	34	0	22	28
50	17	25	19	27	0	19	30
März-einarbeitung nach Wochen							
14	0	15	4	16	0	28	39
20	4	23	5	30	17	33	38
30	24	26	17	29	26	42	27

Charakterisierung des Mineralisationsverhaltens

Ein zweites Ziel dieser Arbeit ist es, zu versuchen, das Mineralisationsverhalten der Zwischenfrucht mittels chemischer Methoden bzw. anaerober Beirötung vorherzusagen.

Die mittels der verschiedenen Methoden ermittelten absoluten Werte schwanken über einen weiten Bereich von 1 bis ca. 25 mg N/100 g Boden und weisen somit auf die Erfassung sehr unterschiedlicher N-Fractionen hin (Tabelle 3). Eine deutliche Abstufung zwischen den verschiedenen Düngungsstufen zeigt sich nur im anaeroben Brutversuch.

Tabelle 3

Mittels biologischer u. chemischer Methoden nachgewiesener Stickstoff
(mg N/100 g Boden)

	Raps		*N ₂	Phacelia		Weidelgras		Erbse/ Wicken	Kontrolle
	N ₁	N ₂		N ₁	N ₂	N ₁	N ₂		
anaerobe Bebrütung	3,0	8,9	12,8	3,8	6,0	2,1	6,2	10,1	3,5
saure KMnO ₄ - Extraktion	9,6	11,9	—	9,9	—	10,1	13,5	12,8	10,1
Phosphat/ Borat-Puffer- Destillation	1,2	2,8	2,6	1,3	2,3	1,2	2,4	2,4	1,0
KCl- Extraktion u. Destillation	2,3	5,1	3,8	2,4	2,8	2,5	4,2	3,9	2,3
heißwasser- lösli. N	13,4	16,2	16,8	13,0	17,0	11,8	19,7	19,5	7,7
nach 4 h	19,1	23,0	21,5	14,2	20,6	16,0	21,8	—	12,1
nach 8 h	19,7	25,1	24,6	17,0	20,9	17,9	22,5	22,7	15,5
hydrolysiert. Aminosäuren-N im Heißwasser- extrakt	10,1	12,3	8,2	8,0	8,5	11,3	9,2	11,4	6,1
nach 4 h	11,3	16,4	11,5	9,8	10,5	12,0	14,7	13,5	7,4
nach 12 h									

In **Tabelle 4** sind die berechneten Korrelationskoeffizienten zwischen den verschiedenen aufgeführten Methoden und der Nettomineralisation der beiden letzten Analysentermine nach November- und Märzearbeitung dargestellt.

Gute Beziehungen bestehen im wesentlichen nur zwischen dem verwendeten Pflanzmaterial und der Nitratbildung aus dem aeroben Brutversuch mit Wurzeln. Alle anderen Ergebnisse weisen deutlich schlechtere Korrelationen auf.

In Untersuchungen am Ausgangsboden mit den jeweils dazugehörigen Gründüngungspflanzen gibt nur der anaerobe Brutversuch eine gute Aussage über die N-Lieferung.

Diskussion

Die unterschiedliche N-Düngung (0,2 g bzw. 0,5 g und 1,0 g/Gefäß und Wachstumsperiode) führte in verschiedenen C/N-Verhältnissen von 7 bis 31 zu großen Auswirkungen auf die mineralisierte N-Menge.

Tabelle 4

Korrelationskoeffizienten für die Beziehung zwischen
den Ergebnissen der chemischen bzw. biologischen Methoden*
und dem aeroben Brutversuch

Methoden	Nettomineralisation des aeroben Brutversuches + Wurzeln n = 32	- Wurzeln n = 32
1. Gesamt-N	0,96***	0,65***
2. C/N-Verhältnis	-0,85***	-0,63***
3. anaerobe Bebrütung	0,84***	0,57**
4. hydrolysiert. Aminosäuren-N im Heißwasserextrakt nach 15 h	-0,52**	0,18
5. hydrolysiert. N im Heißwasserextrakt nach 15 h	0,27	0,36
6. anaerobe Bebrütung	0,91***	0,63***
7. saure KMnO ₄ -Extraktion u. Destillation	0,65***	0,68***
8. Phosphat/Borat-Puffer-Destillation	0,72***	0,71***
9. KCl-Destillation	0,48*	0,55*
10. heißwasserlösli. N nach 4 h	0,48**	0,69***
nach 12 h	0,73***	0,60***
11. hydrolysiert. Aminosäuren-N im Heißwasserextrakt nach 4 h	-0,22	0,04
nach 12 h	0,07	0,36

*Methoden: 1-5 Untersuchungen in Pflanzen
6-13 Untersuchungen in Pflanzen + Boden

Insgesamt werden sehr unterschiedliche N-Mengen - 0 bis 120 % der Zugabe - aus den verschiedenen Zwischenfrüchten von November bzw. März bis Oktober unter simulierten Bodentemperaturen nitrifiziert.

Nach Untersuchungen von *Vilmeier* und *Amberger* (1981), *Frankenberger* und *Abdelmagid* (1985), *Güter* und *Vilmeier* (1985), *Schulz* (1986) werden bis zu 76 % des in Form von Gründüngungspflanzen zum Boden gegebenen N im Brutversuch mineralisiert. Die in unseren Versuchen mit Raps* N₂ ermittelten 120 % sind bedingt durch das sehr junge, N-reiche Material inklusive der in der Berechnung nicht berücksichtigten Wurzelmasse.

Werden nur die oberirdischen Pflanzenteile zum Boden gemischt, so mineralisieren im Gegensatz zur Bebrütung von Sproß und Wurzel die Proben mit weitem C/N-Verhältnis stärker als diejenigen mit engem. Ursache hierfür dürfte wohl die Wirkung unterschiedlicher Wurzelmassen auf Mineralisations- und Immobilisationsvorgänge sein, wobei auch die C/N-Verhältnisse in Abhängigkeit vom N-Angebot und Alter der Pflanzen schwanken dürfen.

Herbst- bzw. Frühjahrseinarbeitung bewirken im Brutversuch keinen wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Nitratabbildung, wenn man von der zeitlichen Verschiebung absieht. Die niedrigen Temperaturen, vor allem nach Novemberapplikation, benachteiligen die Nitrifikation deutlich gegenüber der Ammonifikation; als Folge werden während des Winters bis zu 25 % der Zugabe als $\text{NH}_4\text{-N}$ nachgewiesen.

Der Versuch, die Nettomineralisation aus den Zwischenfrüchten mit chemischen Methoden bzw. dem anaeroben Brutversuch zu charakterisieren, erbringt hoch signifikante Korrelationen nur zum Gesamt-N/C/N-Verhältnis bzw. zum anaeroben Brutversuch. Die von Gassner und Kalembara (1976) erzielten signifikanten Beziehungen zum helfwasserslöslichen N bzw. von Gianello und Bremner (1986) zum 2 M KCl bzw. Phosphat/Borat destillierbaren N konnten in dieser Arbeit nicht bestätigt werden. Unterschiedliche Nettomineralisation trotz ähnlicher C/N-Verhältnisse werden offenbar auch durch verschiedene Kohlenstoffquellen des zugegebenen Pflanzenmaterials verursacht. Nach Ahmad et al. (1969) war die N-Immobilisation bzw. Remineralisation nach Glucosezugabe zum Boden schneller und höher als mit Cellulose. Darin und im unterschiedlichen Beitrag der Wurzeln zur Nitratabbildung wird auch die uneinheitliche N-Mineralisation aus Raps (C/N 17), Weidelgras (C/N 20) und Phacelia (C/N 18) begründet sein. Aus all diesen Untersuchungen geht hervor, daß eine Aussage über die Höhe der Nettomineralisation aufgrund von chemischen Untersuchungen der Pflanzen bzw. des Bodens nach wie vor äußerst schwierig ist.

Literatur

- AHMAD, Z., H. KAI und T. HARADA: Factors affecting immobilisation and release of nitrogen in soil and chemical characteristics of the nitrogen newly immobilized. II. Effect of carbon source on immobilization and release of nitrogen in soil. - Soil. Sci. Plant Nutr. 15, 252-258 (1969).
- AMBERGER, A. und H. AIGNER: Ergebnisse eines achtjährigen Feldversuches mit Strohdüngung. - Z. Acker- u. Pflanzenbau 130, 251-303 (1965).
- AMBERGER, A., A. WÄGNER und F. RASSADJ: Über die Festlegung des Stickstoffs bei der Verrottung von Maisstroh. - Bayer. Landwirtsch. Jb. 40, 190-205 (1971).
- BALKS, R. und J. REEKERS: Nitratbestimmung in Pflanzensubstanz mit 1, 2, 4-Xylenol. - Landwirtsch. Forsch. 13, 134-136 (1960).
- BECK, TH.: Die Nitrifikation in Böden. - Z. Pflanzenern. u. Bodenkd. 142, 344-364 (1979).
- DEBRÜCK, J.: Rübenblatt, so wertvoll wie eine Stallmistgäbe. - DLG-Mitteilungen 94 (8), 1030-1032 (1979).
- FRANKENBERGER, Jr. W. T. und H. M. ABDELMAGID: Kinetic parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporated into soil. - Plant and Soil 87, 257-271 (1985).
- GASSNER, J. K. R. und S. J. KALIMBASA: The effects of leys and organic manures on the available N in clay and sandy soils. - J. Soil Sci. 27, 237-249 (1976).
- GIANELLO, C. und J. M. BRENNER: Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil. - Commun. Soil Sci. Plant Anal. 17, 215-236 (1986).
- GUTSER, R. und K. VILSMAYER: N-Umsatz von verschiedenem Pflanzenmaterial im Boden in Gefäß- und Feldversuchen. - Z. Pflanzenern. u. Bodenkd. 148, 595-606 (1985).
- HILL, H. H.: Decomposition of organic matter in soil. - J. Agric. Res. 33, 77-99 (1926).
- JUNG, J., J. DRESSSEL und G. HENJES: Untersuchungen zur Stickstoffmineralisierung aus Rübenblatt in verschiedenen Böden im Gefäßversuch. - Z. Acker- u. Pflanzenbau 149, 183-190 (1980).
- KENEY, D. R. und J. M. BRENNER: Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. - Agron. J. 58, 498-503 (1966).
- KICK, H. und G. MÄSSEN: Stickstofffestlegung und Stickstoffverfügbarkeit bei Maisstrohdüngung. - Landwirtsch. Forsch. 29, 131-140 (1976).
- SCHULZ, E.: Untersuchungen zum N-Mineralisationsverhalten verschiedener Pflanzen im Boden unter Anwendung der ^{15}N -Tracertechnik. - Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., Berlin 30, 565-572 (1986).
- SCHWARZE, P.: Beziehungen zwischen Peroxidaseaktivität, Eiweiß-Spiegel und Chlorophyllbildung. - Planta 44, 491-502 (1954).
- SPRINGER, U. und J. KLEE: Feststellung der optimalen Reaktionsverhältnisse beim reduktometrischen Chromschwefelsäureverfahren zur Schnellbestimmung von Kohlenstoff und Vorschlag einer verbesserten Arbeitsweise. - Z. Pflanzenern. u. Bodenkd. 71, 193-208 (1985).
- STANFORD, G. und S. J. SMITH: Oxidative release of potentially mineralizable soil nitrogen by acid permanganate extraction. - Soil Sci. 126, 210-218 (1978).
- VILSMAYER, K. und A. AMBERGER: Modellversuche zur Mineralisation verschiedenen Pflanzenmaterials in Abhängigkeit von der Temperatur. - Landw. Forsch. 34, 234-241 (1981).
- VILSMAYER, K. und A. AMBERGER: Mineralisierung von ^{15}N -Düngerstickstoff aus Wurzelrückständen und Boden. - Landw. Forsch. 35, 146-150 (1982).
- VILSMAYER, K.: Bestimmung von Dicyandiamid, Nitrit und Nitrat in Bodenextraktion mit Hochdruckflüssigkeitschromatographie. Kurzmittteilung. - Z. Pflanzenern. u. Bodenkd. 147, 264-268 (1984).
- WEERARATNA, C. S.: Pattern of nitrogen release during decomposition of some green manures in a tropical alluvial soil. - Plant and Soil, 53, 287-294 (1979).

Anschrift der Verfasser: Dr. Klaus Vilsmeier und Dr. Reinhold Gutser, Inst. f. Pflanzenernährung der TU München-Weihenstephan, D-8050 Freising-Weihenstephan.