

Mineralisation verschiedener Zwischenfrüchte und N-Verwertung durch Pflanzen

R. Gutser und K. Vilsmeier

Zusammenfassung

In einem Gefäß- und Feldversuch auf einer Lößbraunerde wurde die Düngewirkung unterschiedlich mit Stickstoff ernährter Zwischenfrüchte (Raps, Weidelgras, Phacelia, Erbsen/Wicken) zu Hafer in Abhängigkeit vom Einarbeitungstermin (November bzw. März/April) der Gründüngung sowie der N-Düngung von Hafer (Feldversuch: 0, 30, 60 kg N/ha) geprüft.

Im Gefäßversuch war die N-Wirkung der Zwischenfrüchte in erster Linie vom C/N-Verhältnis und der N-Zufuhr über die Gründüngung, aber nicht vom Einarbeitungstermin abhängig; es zeigte sich auch eine gute Übereinstimmung mit der Nettomineralisation im aeroben und anaeroben Brutversuch.

Im Feldversuch verminderten die Zwischenfrüchte den N_{\min} -Gehalt der Böden bis Ende November. Während der vegetationsfreien Jahreszeit führte die Herbstearbeitung der Gründüngung zu höheren Nitratgehalten im Boden und folglich zu einer stärkeren N-Auswaschung als die Variante Frühjahrseinarbeitung. Das N_{\min} -Angebot der Böden zu Vegetationsbeginn korrelierte insbesondere nach Einarbeitung der Zwischenfrüchte im Frühjahr nur unzulänglich mit dem N-Entzug des Hafers; eine zusätzliche Berücksichtigung des leicht mineralisierbaren Stickstoffs (N_{pot}) verschlechterte die Korrelation. Die Frühjahrseinarbeitung bewirkte allgemein deutlichere Mehrerträge und N-Mehrentzüge gegenüber der Kontrolle als die Herbstearbeitung (Verluste durch N-Auswaschung). Wie im Gefäßversuch war die N-Wirkung der Gründüngung sehr wesentlich vom C/N-Verhältnis bzw. von der N-Zufuhr über die Zwischenfrüchte abhängig. Der kritische C/N-Quotient, von dem eine Nettofreisetzung an N aus dem organischen Material festgestellt wurde, schwankte im Mittel zwischen 16 (Gefäßversuch) und ca. 30 (Feldversuch).

Schlüsselworte:

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

Einleitung

Der Anbau von Zwischenfrüchten wurde bislang in erster Linie zur Futtergewinnung, Verbesserung des Fruchtbarkeitszustandes der Böden, Auflockerung enger Fruchtfolgen oder Verringerung der Bodenerosion betrieben. Mit wachsendem ökologischen Bewußtsein wird zunehmend auch deren positive Auswirkung auf die Verminderung des Nitratreintrages herausgestellt (Furrer und Stauffer 1984, Böttcher und Strebel 1985, Berendonk

1985, *Guiser* 1987 u. a.). In letzterer Hinsicht bringt diese Maßnahme nur dann Fortschritte, wenn es gelingt, den in den Pflanzen enthaltenen Stickstoff in der N-Bilanz der Folgefrüchte zu berücksichtigen, d. h. die mineralische Ergänzungsdüngung an das N-Nachlieferungspotential des jeweiligen Standorts anzupassen.

Es bereitet bekanntlich Schwierigkeiten, die N-Freisetzung aus pflanzlichem Material (Zwischenfrüchte, Ernterückstände wie Rübenblatt, Stroh etc.) sowohl im Hinblick auf die Menge als auch den zeitlichen Ablauf abzuschätzen (*Vilsmeyer* und *Amberger* 1981, *Guiser* und *Vilsmeyer* 1985, *Schulz* 1986, *Vilsmeyer* und *Guiser* 1988 u. a.).

Als Fortsetzung früherer Versuche und in Ergänzung zu den Modellversuchen (*Vilsmeyer* und *Guiser* 1988) prüften wir in Gefäß- und Feldversuchen den N-Umsatz und die Düngewirkung verschiedener Zwischenfrüchte in Abhängigkeit vom Einarbeitungszeitpunkt (November bzw. nach Überwinterung der Zwischenfrüchte im März). Da bekannt ist, daß das C/N-Verhältnis des Pflanzenmaterials sehr wesentlich den N-Umsatz bestimmt (*Hill* 1926, *Vilsmeyer* und *Amberger* 1981, *Schulz* 1986, *Elers* und *Hartmann* 1987, *Vilsmeyer* und *Guiser* 1988), wurden die Zwischenfrüchte unterschiedlich mit N ernährt. Ferner sollte festgestellt werden, ob durch N_{min} - und weitere, das Potential der Böden erfassende Analysen die N-Lieferung des Bodens besser ermittelt und somit die mineralische Ergänzungsdüngung optimiert werden kann.

Material und Methoden

Gefäßversuch

Boden:

schluffiger Lehm (Lößbraunerde)
5,5 kg/Mitscherlichgefäß
pH (CaCl₂) = 6,4 20% Ton, 69% Schluff
C₁ = 1,2%, N₁ = 0,13%

optimale Nährstoffversorgung

Zwischenfrüchte: Saat: 30. 7. 1985

N-Ernährung

N₁ = 0,5 g N als NH₄NO₃/Gefäß
N₂ = 1,0 g N

Ernte: 30. 9. 1985

Einarbeitung: Reihe I November 1985

Reihe II März 1986, über Winter lagen die geernteten Zwischenfrüchte auf der Bodenoberfläche.

Die Gefäße wurden von November bis März mit einer Bodenfeuchte von 70% der maximalen Wasserkapazität im Freien aufgestellt (mit Abdeckung) – also keine N-Auswaschung während des Winters!

Folgefrüchte:

Grünhafer (Pirou) und Weidelgras (Perna) als Nachfrucht für die N-Erschöpfung

Saat und Ernte: Hafer 9. 4.–18. 6. 1986 bzw. Weidelgras 24. 6.–21. 8. 1986

N-Düngung: Hafer 0,4 g N als NH₄NO₃/Gefäß –
K optimal
Weidelgras kein N

Feldversuch

Ort: Freising-Weihenstephan

mittlere jährliche Niederschläge: 810 mm
mittlere jährliche Lufttemperatur: 7,7° C

Boden:

Braunerde aus Löß
pH (CaCl₂) = 6,0 18% Ton, 65% Schluff
C₁ = 1,0%, N₁ = 0,12%

optimale Nährstoffversorgung

Zwischenfrüchte: Saat: 26. 7. 1985

(Vorrucht Wintergerste mit Strohdüngung o. N)

N-Ernährung:

N₁ = 75 kg, N₂ = 150 kg N als Kalkammonsalpeter/ha

Einpflügen:

Reihe I 25. 10. 1985
Reihe II 2. 4. 1986

Folgefrucht:

Hafer (Pirou)

Saat: 2. 4. 1986
Ernte Ende Schossen: 18. 6. 1986
Ernte zur Kornernte: 16. 8. 1986

PK optimal

N-Düngung:

N₀
N₁ = 30 kg N als KAS/ha z. Saat
N₂ = 60

N_{min}-Untersuchung der Böden:

25. 11. 1985/30. 1., 11. 3., 23. 4., 21. 5. 1986

Die C/N-Verhältnisse und N-Gehalte der im Gefäß- und Feldversuch erzeugten und dann eingearbeiteten Zwischenfrüchte sind in **Tabelle 1** wiedergegeben – weitere Ergebnisse s. *Vilsmeyer* und *Guiser* (1988).

Tabelle 1

Chemische Daten der Zwischenfrüchte

	Gefäßversuch		Feldversuch	
	C/N	N % i. TS	C/N	N % i. TS
Raps N ₁	29	1,48	23	1,85
Raps N ₂	17	2,57	23	1,91
Raps* N ₂ ¹	7	5,56	-	-
Weidelgras N ₁	31	1,36	29	1,57
Weidelgras N ₂	20	2,17	23	1,92
Phacelia N ₁	18	2,14	23	1,59
Phacelia N ₂	12	3,28	15	2,45
Leguminosen (Erbsen/Wicken)	16	2,89	17	2,50
		N-Zufuhr ² (mg/Gef.)		N-Zufuhr ² (kg/ha)
Raps N ₁		240		84
Raps N ₂		539		111
Raps* N ₂ ¹		750		-
Weidelgras N ₁		326		47
Weidelgras N ₂		560		90
Phacelia N ₁		338		113
Phacelia N ₂		630		203
Leguminosen (Erbsen/Wicken)		1000		231

¹ Raps*, späterer Anbau, folglich jüngeres Material mit höherem Nitratgehalt (1,7% N i. TS)

² ohne N der Wurzeln

Die C/N-Quotienten schwanken im Freiland nur zwischen 15 und 29; die höhere N-Düngung förderte in erster Linie den Aufwuchs, so daß die N-Gehalte der Pflanzen, verglichen mit dem Gefäßversuch, weniger stark differierten. Die über die Zwischenfrüchte zugeführten N-Mengen streuten aber ebenfalls sehr deutlich.

Witterungsdaten November 1985 bis April 1986

	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April
Niederschlag mm	78	31	74	16	53	77
Lufttemperatur °C	-0,2	2,2	-0,5	-6,8	2,7	7,2

Methoden

Pflanzen: Ges. N n. Kjeldahl

Boden: N_{min} und andere Untersuchungen nach Methoden des VDLUFA. Zur Charakterisierung des potentiell verfügbaren organischen N wurden heißwasserlöslicher N, NH_4 -N mittels KCl-Extraktion und -Destillation sowie mittels Phosphat/Borat-Puffer-Destillation bestimmt (Literatur s. *Vismeyer* und *Gutser* 1988).

Ergebnisse

1. Gefäßversuch

Die zur Ernte der Zwischenfrüchte im November vorliegenden N_{min} -Mengen des Bodens waren mit Ausnahme der Varianten „Phacelia N_2 “ und „Raps- N_2 “ geringer als im Kontrollglied; demnach war auch verfügbarer Bodenstickstoff durch die Zwischenfrucht biologisch festgelegt worden (Tabelle 2).

Tabelle 2

N-Wirkung verschiedener Zwischenfrüchte zu Grünhafer und nachfolgendem Weidelgras in Abhängigkeit vom Einarbeitungstermin (Nov., März), dargestellt am N-Mehrertrag gegenüber Kontrolle = ΔN (mg/Gef.)

Kenndaten der Gründüngung	N _{min} -Boden		Δ N-Entzug				Δ N-Entzug in %		
	C/N	N-Zufuhr (mg/Gef.)	Nov.	Hafer März	Weidelgras Nov.	Weidelgras März	Nov.	Hafer März	
Weidelgras N ₁	31	326	48	-224	-46	43	40	-69	-14
Raps N ₁	29	240	96	-26	-46	29	30	-11	-19
Weidelgras N ₂	20	560	120	159	90	50	48	28	16
Phacelia N ₁	18	338	84	20	-13	25	22	6	-4
Raps N ₂	17	539	90	294	292	35	42	55	54
Leguminos. N ₁	16	1000	150	535	514	50	49	54	51
Phacelia N ₂	12	630	198	338	318	35	35	54	50
Raps* N ₂	7	750	480	837	757	57	36	112	101
Mittel		158		242	233	41	38	29	29
GID 5%		40		40	40	7	7	-	-
Kontrolle		168		547	573	28	23	-	-

In Abhängigkeit vom C/N-Quotienten (N-Gehalt) des Pflanzenmaterials bzw. der zugeführten N-Menge stieg die N-Wirkung der Gründüngung zur Folgefrucht Hafer deutlich an. Raps (C/N = 29) und insbesondere Weidelgras (31) bewirkten eine schwache N-Blockierung, Phacelia (18) veränderte die N-Aufnahme unwesentlich, während Weidelgras (20) und Raps (17), aber vor allem Phacelia (12) und Leguminosen (16) sowie insbesondere Raps* (7) eine deutliche N-Freisetzung zeigten.

Der Einarbeitungszeitpunkt des Grünmaterials beeinflusste die N-Aufnahme von Hafer nur unwesentlich; lediglich Weidelgras (N₁) bewirkte nach Herbstearbeitung eine merkliche N-Festlegung. Im Mittel sämtlicher Varianten wurde ein Drittel des über die Gründüngung angebotenen Stickstoffs von der Folgefrucht Hafer verwertet; diese rechnerisch ermittelten Ausnutzungswerte schwanken jedoch zwischen -69 und +112% bei Novemberearbeitung bzw. -19 und +104% bei Märzearbeitung und belegen sehr deutlich die Abhängigkeit der N-Freisetzung von der Art und Zusammensetzung des Grünmaterials. Selbst das N-Angebot der gleichen Zwischenfruchtart unterscheidet sich sehr deutlich in Abhängigkeit von deren N-Ernährungszustand (Tabelle 3).

Tabelle 3

N-Entzug aus einer Raps-Zwischenfrucht durch Hafer und Weidelgras (Gefäßversuch)

Δ N = Mehrertrag gegenüber der Kontrolle

Kenndaten der Gründüngung	N % i. TS		Δ N-Entzug	
	C/N	N-Zufuhr/Gefäß	mg/Gefäß	% d. Zufuhr
29	1,48	240	3	1
17	2,57	539	329	61
12	3,70	1943*	412	21
7	5,56	750	894	119

* Versuchsergebnis s. *Gutser* und *Vismeyer* 1985

Die Korrelationskoeffizienten (r) einer linearen Regression zwischen Δ N-Entzug des Halers und einigen Kenndaten der Zwischenfrüchte belegen den engen Zusammenhang zwischen N-Gehalt des Grünmaterials und N-Freisetzung:

$$\begin{aligned} \Delta N\text{-Entzug} \times C/N &= -0,86 \text{ ***} \\ \times N \% &= 0,93 \text{ ***} \quad (n = 16) \\ \times N\text{-Zufuhr} &= 0,83 \text{ ***} \quad (\text{Tab. 2}) \end{aligned}$$

2. Feldversuch

Für die Beurteilung der N-Freisetzung aus verschiedenen Zwischenfrüchten in Abhängigkeit vom Einarbeitungstermin müssen im Freiland zum Unterschied vom Gefäßversuch (geschlossenes System) neben der N-Aufnahme der Folgefrucht auch etwaige Verluste durch N-Auswaschung oder auch Denitrifikation Berücksichtigung finden; zu letzterer kann in diesem Fall keine Aussage gemacht werden.

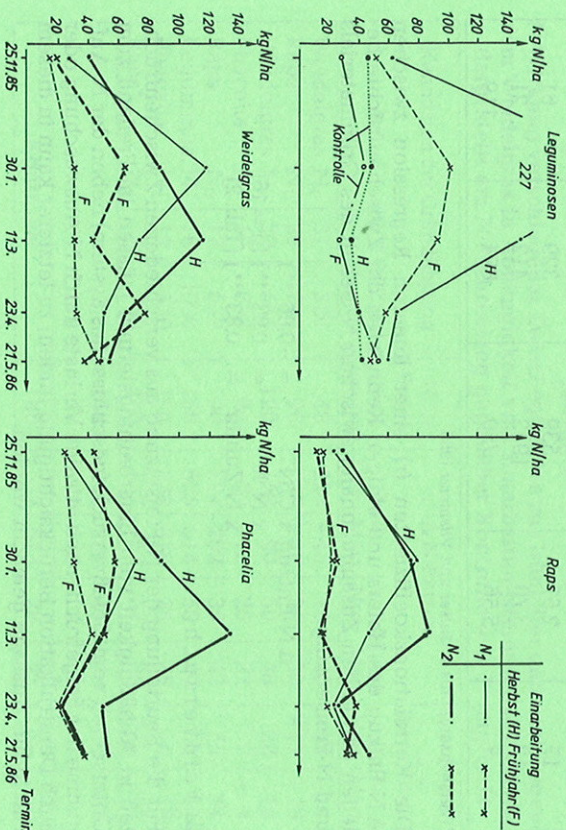
Veränderungen der N_{min} -Mengen im Boden
Abgesehen von der intensiver gedüngten (150 kg N/ha) Phacelia und dem Leguminosengemenge führten sämtliche Zwischenfrüchte bis November zu einer mehr oder weniger starken Entleerung des Bodens an leichtlöslichem mineralischen Stickstoff (N_{min} – Tabelle 4). Sowohl Dünger-N als auch freigesetzter Bodenstickstoff wurden von den Gründüngungspflanzen produktiv verwertet.

Tabelle 4
 N_{min} -Mengen des Bodens in Abhängigkeit von der Zwischenfrucht
(kg N/ha bei 90 cm Tiefe) – November

Versuchsglieder	Kontrolle	Raps N ₁ N ₂	Weidelgras N ₁ N ₂	Phacelia N ₁ N ₂	Leguminosen N ₁
N_{min} im Boden	30	17 13	16 18	26 44	53

Während der vegetationsfreien Zeit wiesen die Böden nach Herbstm- arbeitung der Zwischenfrucht nahezu durchwegs deutlich höhere NO_3^- - Gehalte auf als die Vergleichsglieder mit Überwinterung der Zwischen- frucht und Einarbeitung im Frühjahr (Darstellung 1); den schnellsten und größten Anstieg zeigten das Leguminosengemenge vor Phacelia (N_2) sowie Weidelgras und Raps.

Darstellung 1
Veränderung der N_{min} -Mengen in Abhängigkeit verschiedener Gründüngung und Einarbeitungsstermne



Als Folge einer NO_3^- -Einwaschung (Schneeschmelze, 130 mm Niederschlag im März und April) lagen die N_{min} -Mengen Ende April (der N-Entzug des Hafers war zu diesem Zeitpunkt noch zu vernachlässigen) in beiden Ver- suchsreihen auf gleichem Niveau.

Erträge und N-Entzüge von Hafer

Die 1986 relativ spät durchgeführte Frühjahrsfurche auf den Parzellen mit überwinternder Zwischenfrucht wirkte sich unabhängig von den Grün- düngungsvarianten gegenüber der Herbstfurche ungünstig auf Ertrag und N-Entzug der Pflanzen aus (mangelder Bodenschluß, z.T. Strukturpro- bleme auf diesem schluffigen Lehm – Tabelle 5). Eine zur Saat des Hafers verabreichte N-Düngung von 60 kg N/ha brachte eine weitgehende An- gleichung der Erträge und N-Entzüge. N stellte den wesentlichen ertrags- bestimmenden Faktor dar, so daß die unterschiedlichen Ergebnisse der Zwischenfruchtvarianten in erster Linie auf einer N-Wirkung beruhen dürf- ten und entsprechend den Mehrerträgen und -entzügen gegenüber der Kontrolle bewertet werden können.

Tabelle 5
Kornträge und N-Entzüge von Hafer
in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Einarbeitung und der N-Düngung
Kontrolle ohne Gründüngung

Einarbeitung	Ertrag (dt/ha – 86% TS)			Entzug kg N/ha (Körner + Stroh)		
	N ₀	N ₃₀	N ₆₀	N ₀	N ₃₀	N ₆₀
27. Oktober	31	41	57	59	73	101
2. April	25	32	56	50	59	106
GID 5 %	3			6		

Im Oktober eingearbeitete Gründüngung liefert bis Mitte Juni (Ernte zum Schossen) in der Regel geringfügig höhere N-Mengen an die Folgefrucht als die Vergleichsvariante mit Frühjahrseinarbeitung (Tabelle 6); das organische Material ist bereits stärker mineralisiert.

Die höheren Entzüge zur Kornreife nach Frühjahrseinarbeitung belegen das größere N-Potential dieser Varianten als Folge des geringen Abbaus der oben aufliegenden Pflanzen und der geringeren NO_3^- -Auswaschung während des Winters (z. B. Erbsen/Wicken-Gemenge). Die mittlere N-Ausnutzung des Gründüngungsstickstoffs beträgt nach konventioneller Berechnung 31% nach Herbstfurche und 39% nach Einarbeitung im Früh- jahr.

Die N-Wirkung der Gründüngung (Ertrag, N-Entzug) nahm mit steigender mineralischer N-Düngung des Hafers erwartungsgemäß ab (Tabelle 7); in den beiden niederen N-Stufen (N₀, N₃₀) führte die Frühjahrseinarbei- tung zu einer gesichert besseren Verwertung der Gründüngung als die Herbstm- arbeitung; nach höherer mineralischer Frühjahrsdüngung be- standen kaum Ertragsunterschiede (z. T. Lager auf den Parzellen mit Leguminosen).

Tabelle 6
Wirkung der Zwischenfrüchte auf den N-Entzug von Hafer in Abhängigkeit vom Einarbeitungsstermin (Oktober, April)
 $\Delta N =$ Mehrentzug gegenüber Kontrolle; ϕ Reihe N_0

Art	Gründungung		ΔN -Entzug (kg N/ha)				% der Zufuhr	
	C/N	N-Zufuhr (kg N/ha)	Ernte z. Schossen	Ernte zur Körnerreife	Oktober	April	Oktober	April
Weidelgras N_1	29	47	-2	8	13	22	28	47
Raps N_1	23	84	15	-5	16	32	19	38
Raps N_2	23	111	33	18	38	43	34	39
Weidelgras N_2	23	90	19	26	33	46	37	51
Phacelia N_1	23	113	28	22	44	35	39	31
Leguminos. N_1	17	231	62	53	63	81	27	35
Phacelia N_2	15	203	32	26	62	61	31	30
Mittel			27	21	38	46	31	39
GD 5%			8		5	7	4	6

Tabelle 7

Wirkung einer N-Steigerung auf Ertrag und N-Entzug von Hafer in Abhängigkeit vom Einarbeitungsstermin der Zwischenfrucht
 ϕ Varianten mit Gründungung; Kontrolle (s. Tab. 5) = 100

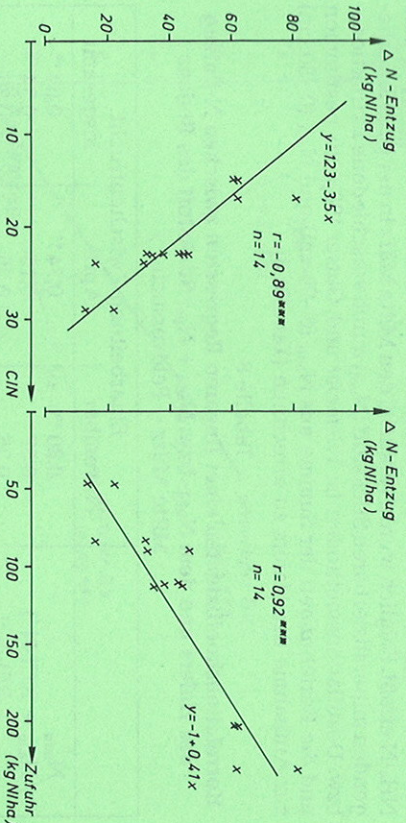
Einarbeitung Zwischenfrucht	N-Stufe		GD 5%	
	N_0	N_{30}	N_{30}	N_{60}
27. Oktober	173	143	115	7
2. April	193	175	112	8
N-Entzug				
27. Oktober	164	155	126	12
2. April	192	183	108	18

Wie im Gefäßversuch bestand eine enge Beziehung zwischen C/N-Quotienten ($r = 0,89^{***}$) bzw. N-Zufuhr ($r = 0,92^{***}$) der Gründungung und dem Mehrentzug des Hafers gegenüber der Kontrolle ($n = 14$: 7 Zwischenfrüchte x 2 Einarbeitungsstermine) (Darstellung 2).

Der kritische C/N-Quotient, von dem ab mit keinerlei N-Lieferung aus der Gründungung für die Folgefucht zu rechnen ist, liegt entsprechend der Regressionsgleichung um 30.

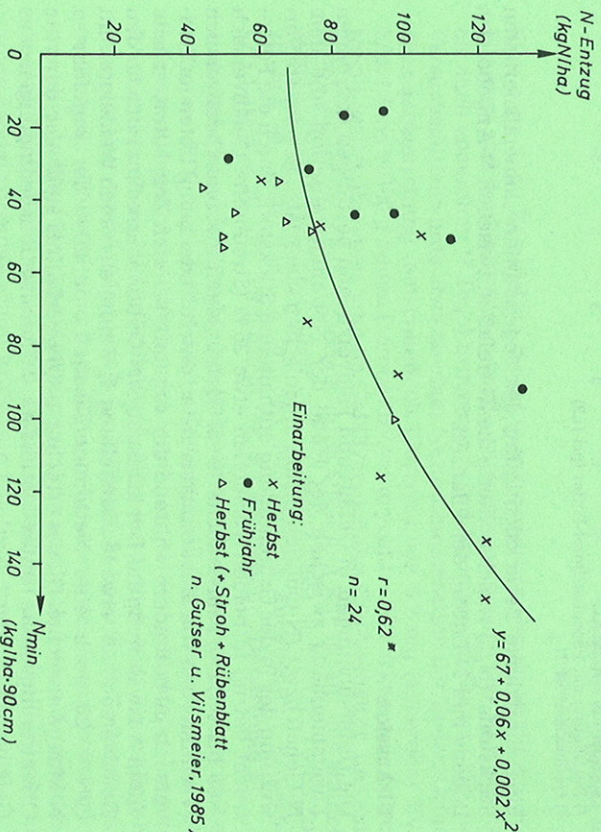
Das N_{min} -Angebot der Böden zu Vegetationsbeginn korrelierte nur unzulänglich mit dem N-Entzug des Hafers; die beste Beziehung zeigten noch die N_{min} -Mengen im März (Darstellung 3). Das Bestimmtheitsmaß erreichte aber nur 38%. In die Regression gingen auch Ergebnisse von ähnlich aufgebauten Versuchen auf dem gleichen Standort mit ein (Gutser und Vilsmeyer 1985).

Darstellung 2
Korrelation zwischen Mehrentzug (ΔN) von Hafer gegenüber der Kontrolle und C/N-Verhältnis bzw. N-Zufuhr durch die Gründungung - Feldversuch



Darstellung 3

Korrelation zwischen N-Entzug von Hafer (Reihe N_0) und N_{min} -Menge des Bodens im März



Diese ungenügende Aussagekraft der N_{min} -Methode war verständlicherweise überwiegend auf die Varianten mit Frühjahrseinarbeitung zurückzuführen; dagegen wurde das N-Potential der Parzellen mit Herbstfurche recht gut wiedergegeben.

Durch die N_{min} -Methode wird bekanntlich nur der leichtlösliche NO_3^- und NH_4-N erfasst. Folglich wurde versucht, den Mitte März in der Krume vorliegenden mineralisierbaren Stickstoff (N_{pot}) durch verschiedene Extraktions- bzw. Destillationsmethoden (s. *Vismeyer* und *Guiser* 1988) zu bestimmen und die Beziehungen der Summe aus N_{min} (0–90 cm) und N_{pot} (0–30 cm) zur Aufnahme des Hafers zu errechnen (Tabelle 8).

Tabelle 8

Korrelationskoeffizienten einer linearen Regression zwischen N-Entzug des Hafers und dem N_{min} bzw. $N_{min} + N_{pot}$ -Stickstoff des Bodens Mitte März – Feldversuch

	Einarbeitung Zwischenfrucht		
	November	April	insgesamt
N_{min}	0,80 **	0,74 **	0,64 **
$N_{min} + KCl-N^1)$	0,57	0,15	0,34
$N_{min} + P/B-N^2)$	0,35	0,36	0,36
$+ heißw. N^3)$	0,37	0,41	0,39
n	8	8	16

** signifikant für $P = 0,1\%$

¹⁾ Destillation mit 2M KCl

²⁾ Destillation mit Phosphat/Borat-Puffer (pH 11,2)

³⁾ Heißwassertösl. N

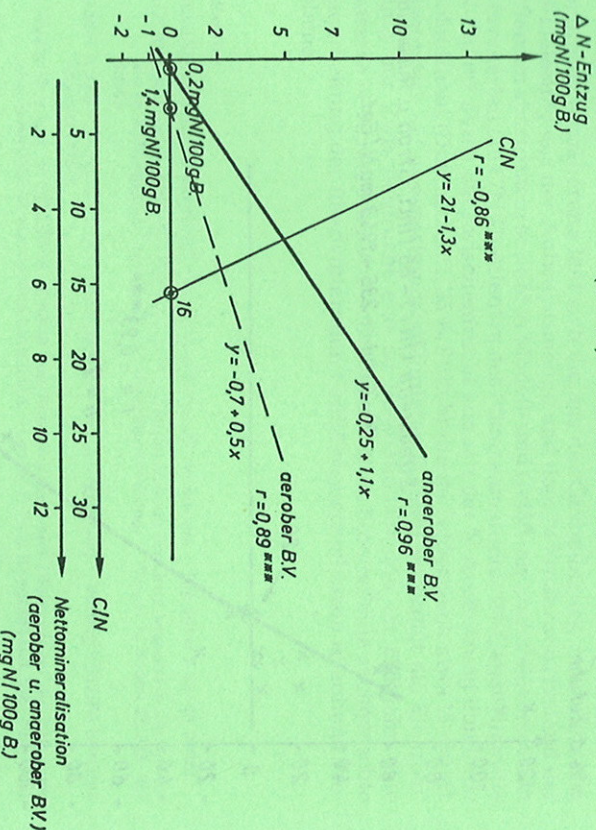
Eine zusätzliche Berücksichtigung des sogenannten „mineralisierbaren Stickstoffs“ (N_{pot}) verschlechterte die Korrelation zwischen N-Angebot des Bodens und N-Entzug der Pflanzen.

Diskussion

Die Untersuchungen in Gefäß- und Feldversuchen bestätigen den engen Zusammenhang zwischen der Höhe der Nettomineralisation und dem N-Gehalt bzw. C/N-Quotienten des organischen Materials. Die mittlere Wertung des in der Gründüngung enthaltenen Stickstoffs durch die Folgefrucht betrug in beiden Versuchen etwa 35% (Streuweite Gefäßversuch – 69 bis + 112%, Feldversuche 19–51%). Im Gegensatz zum Gefäßversuch (Verhinderung von Sickerungsverlusten durch Abdeckung) traten im Feldversuch insbesondere während der vegetationsfreien Zeit Nitratverluste durch Auswaschung auf. Der kritische C/N-Quotient errechnet sich für den Gefäßversuch mit etwa 16 (Darstellung 4), wenngleich auch Weidelgras mit $C/N = 20$ noch eine Nettomineralisation von 20% der zugeführten N-Menge erreichte. Dieses errechnete C/N-Verhältnis stellt also nur eine Orientierungsgröße unter optimalen Mineralisationsbedingungen des Gefäßversuches dar.

Darstellung 4

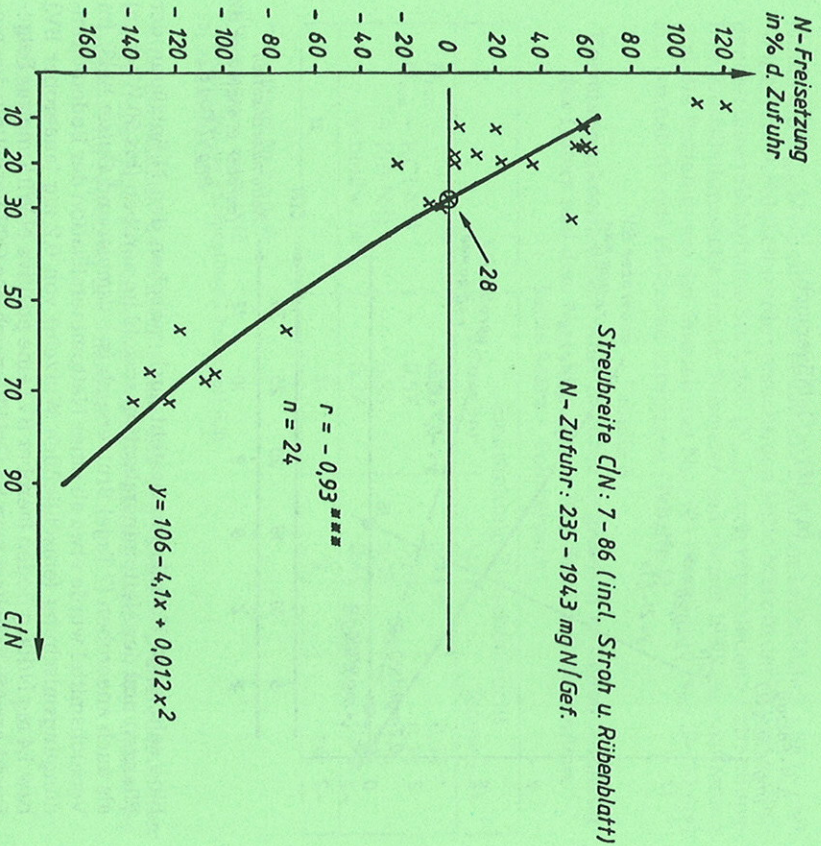
Korrelation zwischen N-Mehrertrag (ΔN) von Hafer gegenüber der Kontrolle und C/N-Verhältnis der Gründüngung bzw. N-Freisetzung im aeroben und anaeroben Brutversuch (n = 16) – Gefäßversuch



Eine sehr enge Korrelation besteht auch zwischen den N-Entzügen der Pflanzen und der Nettomineralisation sowohl im aeroben (bis 50 Wochen) als auch anaeroben (7 Tage) Brutversuch (s. *Vismeyer* und *Guiser* 1988). Im Versuchsmittel wurde etwa ab einer Nettomineralisation der Boden/Gründüngungsmischung (einschließlich Wurzeln) von 0,2 mg (anaerober BV) bzw. 1,4 mg N/100 g Boden (aerober BV) eine positive N-Wirkung zur Folgefrucht erzielt. Erweitert man im Gefäßversuch das C/N-Verhältnis des eingesetzten organischen Materials durch Stroh und Ritenblatt aus ähnlich aufgetauten Versuchen (*Guiser* und *Vismeyer* 1985), so bestätigt sich mit 28 der in Darstellung 2 für den Feldversuch angegebene kritische C/N-Quotient für die Folgefrucht (ca. 30) weitgehend (Darstellung 5).

Auffallend ist, daß im Freiland gegenüber dem Gefäßversuch auch noch bei höheren C/N-Quotienten eine Nettomineralisation ermittelt werden konnte (langsamerer Wachstum, geringere N-Aufnahmerate, längere Wachstumszeit als im Gefäßversuch). Sehr wesentlich wird dieses Ergebnis auch von der Wachstumszeit der Folgefrucht beeinflusst. So erreichen Weidelgras ($C/N = 29$) und Raps (23) zum Schossen des Hafers keine oder nur eine geringe Nettofreisetzung, zur Körnerreife aber eine Ausnutzung von 20 bis 50% (Mineralisation, Remineralisation). *Schulz* (1986) gibt für seine Modellversuche einen kritischen Quotienten von 21 an.

Darstellung 5
 Korrelation zwischen N-Ausnutzung durch die
 Folgefrüchte und C/N-Verhältnis des organischen Materials
 Gefäßversuch



Probleme für die optimale Düngung der Folgekulturen bedeutet das richtige Einschätzen der N-Nachlieferungsrate aus der Zwischenfrucht. Je nach Winterwitterung läßt sich zu Vegetationsbeginn von dem im Herbst eingearbeiteten Gründüngungs-Stickstoff bereits ein mehr oder weniger großer Teil als N_{min} -Stickstoff nachweisen und die ergänzende Mineraldüngung entsprechend ausrichten (Gutser und Teichner 1980). Nach Überwinterung der Zwischenfrucht und Einarbeitung erst zu Vegetationsbeginn – eine Maßnahme, die insbesondere im Hinblick auf die Nitratauswaschung während des Winters als sehr positiv zu beurteilen ist und eine gute N-Konserverung gewährleistet – liegt im Frühjahr nur ein unwesentlicher Teil des Stickstoffs als NH_4 oder NO_3^- vor. Die Kenntnis über die Höhe des leicht mineralisierbaren N-Potentials (N_{pot}) wäre für eine gezielte N-Düngung erforderlich, die analytische Erfassbarkeit dieser Fraktion ist aber schwierig:

In unseren Versuchen brachten verschiedene Methoden wie Extraktion bzw. Destillation in Heißwasser, Phosphat-Borat-Puffer oder KCl (s. Vilsmeier und Gutser 1988) keinen Informationsgewinn. Möglicherweise ergeben sich mit der Elektro-Ultrafiltrations-Methode als Ergänzung zur N_{min} -Methode Fortschritte (Nemeih und Wiklicky 1982).

In grober Annäherung läßt sich die aus der Gründüngung zu erwartende N-Lieferung aus der Aufwuchsmenge und dem N-Ernährungszustand der Pflanzen abschätzen; sowohl in Modell- und Gefäß- als auch Feldversuchen korrelierten die C/N-Quotienten des Pflanzennmaterials (N-Gehalt) bzw. die N-Zufuhr durch die Zwischenfrucht eng mit der N-Ausnutzung durch die Folgefrucht (Durchschnitt: 35 %, Streubreite im Feldversuch etwa 15–50 %). Besonders auf auswaschunggefährdeten Standorten bringt die Einarbeitung der Zwischenfrucht erst zu Vegetationsbeginn im Frühjahr eine bessere N-Verwertung. Auf schwereren Böden bereitet eine sachgerechte Einarbeitung der überwinterten Gründüngungspflanzen allerdings Probleme.

Literatur

- BERENDONK, C.: Winterrüben binden den Stickstoff am besten. – Top agrar 7, 42–45 (1985).
- BÖTTCHER, J. und O. STREBEL: Die mittlere Nitratkonzentration des Grundwassers in Sandgebieten in Abhängigkeit von der Bodennutzungsverteilung. – Wasser u. Boden 37, 383–387 (1985).
- ELERS, B. und H. D. HARTMANN: Mineralisation von Gründüngung. – Vortrag VDLUFA Kongress Koblenz (1987).
- FURRER, O. J. und W. STAUFFER: Einfluß von Bodennutzung und Düngung auf die Nitratauswaschung im Schweizerischen Mittelland. – Landw. Forsch. Kongreßband, 398–409 (1984).
- GUTSER, R.: Pflanzenbautechnische Maßnahmen zur Verringerung des Stickstoffanstieges. – Vortrag Dtsch. Verband Wasserwirtsch. u. Kulturbau am 27. 2. 1987 in Hildesheim (1987).
- GUTSER, R. UND K. TEICHNER: Bedeutung verschiedener standortlicher und pflanzenbaulicher Faktoren für die Düngungsempfehlung zu Winterweizen auf Basis von N_{min} -Untersuchungen. – Landw. Forsch. 33, 95–107 (1980).
- GUTSER, R., und K. VILSMEIER: N-Umsatz von verschiedenem Pflanzennmaterial im Boden in Gefäß- und Feldversuchen. – Z. Pflanzenerr. u. Bodenkd. 148, 595–606 (1985).
- HILL, H. H.: Decomposition of organic matter in soil. – J. Agric. Res. 33, 77–99 (1926).
- NEMEITH, K. und L. WIKLICKY: Bestimmung pflanzenverfügbaren Stickstoff-Fraktionen im Boden und Beurteilung des Stickstoff-Düngerbedarfs für die Zuckerrübe mit EUF – Zuckerrind. 107, 958–962 (1982).
- SCHULZ, E.: Untersuchungen zum N-Mineralisierungsverhalten verschiedener Pflanzen im Boden unter Anwendung der ^{15}N -Tracertechnik. – Arch. Acker-Pflbau, Bodenkd., Berlin 30, 565–572 (1986).
- VILSMEIER, K. und A. AMBERGER: Modellversuche zur Mineralisation verschiedenen Pflanzennmaterials in Abhängigkeit von der Temperatur. – Landw. Forsch. 34, 224–241 (1981).
- VILSMEIER, K. und R. GUTSER: Stickstoffmineralisation von Zwischenfrüchten im Modellversuch. – Kall-Briefe (Büntehof) 19 (3), 213–223 (1988).

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