



Das Lebensmittelministerium



Kalkulation der N-Düngung im ökologischen Gemüsebau

Schriftenreihe der
Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft
Heft 6 - 7. Jahrgang 2002

Kalkulation der N-Düngung im ökologischen Gemüsebau

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Problemstellung	1
2	Stand des Wissens	2
2.1	Stickstoffbedarf der Kulturen	2
2.2	Stickstoffangebot	6
2.2.1	N _{min} -Vorrat des Bodens	6
2.2.2	N-Nachlieferung aus der organischen Substanz	6
2.2.3	N-Freisetzung aus Gründüngungen und Ernterückständen	9
2.2.4	N-Freisetzung aus Wirtschaftsdüngern	18
2.2.5	N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern	19
2.3	Wechselwirkungen zwischen N-Angebot und Sorte	23
3	Kalkulationsschema zur Abschätzung des N-Angebots	25
4	Material und Methoden	26
4.1	Versuchsstandort	26
4.2	Versuchsprogramm	27
4.2.1	Versuche mit verschiedenen Kohllarten	27
4.2.2	Spinatversuche	29
4.3	Datenerfassung und Analytik	33
4.4	Verrechnung und statistische Auswertung	34
5	Ergebnisse	35
5.1	Versuche mit verschiedenen Kohllarten	35
5.1.1	Weißkohlversuch 1998	35
5.1.2	Blumenkohlversuch 1999	36
5.1.3	Brokkoliversuch 2000	39
5.1.4	Brokkoliversuch 2001	41
5.1.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	45
5.2	Spinatversuche	46
5.2.1	Versuch 1998	46
5.2.2	Versuch 1999	49
5.2.3	Versuch 2000	52
5.2.4	Versuch 2001	55
5.2.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	62
6	Diskussion	65
6.1	Stickstoffbedarf der Kulturen	65
6.2	Stickstoffangebot	65
6.2.1	N _{min} -Vorrat des Bodens	65
6.2.2	N-Nachlieferung aus der organischen Substanz	66
6.2.3	N-Freisetzung aus Gründüngungen und Ernterückständen	66
6.2.4	N-Freisetzung aus Wirtschaftsdüngern	67
6.2.5	N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern	67
6.3	Wechselwirkungen zwischen N-Angebot und Sorte	68
7	Schlussbetrachtung	68
8	Zusammenfassung	69
	Literatur	69
	Anhang	77

Liste der verwendeten Abkürzungen

a	Regressionskonstante
AB	Ackerbohnschrot
b	Regressionskoeffizient
Bra	Brache (ohne Bewuchs bzw. Bewuchs entfernt)
d_B	Dichte des Bodens, Lagerungsdichte [g/cm ³]
dt	Dezitonne (100 kg)
ER	Ernterückstände
Erb	Sommerwicken-Felderbsen-Ackerbohnen-Gemenge
FM	Frischmasse [kg/m ² ; dt/ha]
FS	Frischsubstanz
G	Rindergülle
ha	Hektar (10.000 m ²)
HMP	Haarmehl-Pellets
Lan	Landsberger Gemenge (Winterwicken + Inkarnatklee + Welsches Weidelgras)
Lup	Lupinenschrot
Mist	Stallmist
n	Anzahl der Beobachtungen (Versuche)
N_{Aufwuchs}	N-Menge im oberirdischen Aufwuchs [kg N/ha]
N_{ges}	Gesamt-Stickstoff
N_{min}	Summe aus NH ₄ - und NO ₃ -N (zum Teil nur NO ₃ -N) [kg /ha]
n.s.	nicht signifikant ($\alpha > 0,05$)
Per	Perserklee
Pha	Phacelia
R ²	Bestimmtheitsmaß
Rizi	Rizinusschrot bzw. Rizinuspellets
TM	Trockenmasse [g/m ² ; dt/ha]
TS	Trockensubstanz
V	Vinasse
VK	Vorkultur
Wick	Winterwicken + Inkarnatklee

1 Einführung und Problemstellung

Neben der Unkrautregulation und den Pflanzenschutzproblemen stellt die ausreichende Stickstoffversorgung der Kulturen eines der spezifischen Probleme des ökologischen Gemüsebaus dar. Anders als im konventionellen Gemüsebau, wo mit der Einführung der Nmin-Methode das Ziel verfolgt wurde, die N-Belastung der Umwelt bei weiterhin optimalem Ertragsniveau zu vermindern (SCHARPF 1991), stellt sich im ökologischen Gemüsebau eher das Problem, bei anspruchsvollen Kulturen ein befriedigendes Ertragsniveau durch eine ausreichende N-Versorgung sicher zu erreichen. Den Öko-Anbauern standen bisher nur wenige Hilfsmittel zur Kalkulation der N-Düngung zur Verfügung. Auch Faustzahlen im herkömmlichen Sinne sind kaum gebräuchlich. So hat jeder Anbauer "seine Erfahrungen" in Bezug auf die N-Düngung, was bei N-bedürftigen Kulturen wie z.B. Blumenkohl des Öfteren dazu führt, dass man den Anbau der entsprechenden Kultur auf Grund von Misserfolgen einstellt bzw. erst gar nicht ins Kalkül zieht.

Ein Grund für die geringe Verbreitung griffiger Faustzahlen zur Düngung im ökologischen Gemüsebau ist sicherlich in der Vielzahl der möglichen N-Quellen und deren Potenzial zu suchen. Im Einzelnen sind dies:

- der Nmin-Vorrat des Bodens,
- die N-Nachlieferung aus dem Humus,
- die N-Freisetzung aus Gründüngungen und Ernterückständen,
- die N-Freisetzung aus Wirtschaftsdüngern und
- die N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern.

Mit Ausnahme der organischen Handelsdünger sind das N-Quellen, die auch bei der Kalkulation der N-Düngung im konventionellen bzw. integrierten Anbau Berücksichtigung finden. Auf Grund ihrer untergeordneten Bedeutung wurde die N-Freisetzung aus Gründüngung und aus Wirtschaftsdüngern aber bisher bei der Düngungskalkulation im konventionellen Gemüsebau nur sehr oberflächlich einbezogen.

Im ökologischen Gemüsebau kommt diesen N-Quellen aber bezüglich der verabreichten N-Mengen eine besondere Bedeutung zu, so dass hier detailliertere Prognosen der N-Freisetzung vonnöten sind. Dieses gilt auch für die organischen Handelsdünger tierischen oder pflanzlichen Ursprungs, die beim Anbau von Kulturen

mit hohen N-Aufnahmeraten unentbehrlich sein dürften. In Anlehnung insbesondere an das KNS-System (LORENZ et al. 1989) wurde der Praxis 1997 ein erstes Kalkulationsschema zur Berechnung des N-Angebotes im ökologischen Gemüsebau zur Verfügung gestellt (LABER 1997).

Im Zuge einer Literaturrecherche zur Wirksamkeit organischer Handelsdünger (Laber 2000) wurde deutlich, dass die zunächst angenommene 80%ige N-Freisetzung aus diesen Düngemitteln (analog der vom KNS-System veranschlagten 80%igen N-Freisetzung aus frischem Pflanzenmaterial) zu hoch angesetzt war und nach unten korrigiert werden musste. Eine weitere "Verfeinerung" des Schemas betraf die N-Menge in Ernterückständen bzw. Gründüngungen; hier erfolgte nach anfänglicher Annahme eines N-Gehaltes von 30 kg N/100 dt FM eine Differenzierung nach Leguminosen (50 kg N/100 dt) und Nichtleguminosen (30 kg N/100 dt). Generell wurde zunächst eine 80%ige N-Freisetzung aus den Pflanzenmaterialien unterstellt.

Zur Evaluierung des Kalkulationsschemas und Bearbeitung spezieller Fragestellungen wurden in den Jahren 1998-2001 Düngungsversuche mit Spinat und verschiedenen Kohlarten angelegt. Das in den verschiedenen Düngungsvarianten zu erwartende N-Angebot wurde mit Hilfe des Kalkulationsschemas berechnet und den realisierten Erträgen, später auch den tatsächlich im Feld wiedergefundenen N-Mengen gegenübergestellt. Entgegen dem für die Praxis konzipierten Kalkulationsschema, das insbesondere bei der N-Menge in Gründüngungen bzw. Ernterückständen auf 'Faustzahlen' zurückgreifen muss, konnte bei der Kalkulation des N-Angebots in den Versuchen aber die tatsächlichen N-Mengen und auch die Qualität des Pflanzenmaterials (C/N-Verhältnis) Berücksichtigung finden.

Bei den angelegten Düngungsversuchen bot es sich an, ein Problem mit zu bearbeiten, das gerade auch im ökologischen Land- und Gartenbau immer wieder diskutiert wird: Die Frage nach etwaigen Wechselwirkungen zwischen N-Angebot und Sorte (vgl. Kapitel 2.3). Hierzu wurden bei den Versuchen mit verschiedenen Kohlarten jeweils vier gezielt ausgewählte Sorten integriert.

Das N-Angebot, mit Hilfe des Kalkulationsschemas prognostiziert, durch (zusätzliche) Düngergaben ggf. korrigiert, soll den N-Bedarf der Kulturen möglichst genau decken. Das setzt voraus, dass der N-Bedarf bekannt ist. Die in

der Praxis stark schwankenden Erträge, aber auch die möglicherweise von konventionellen Gehaltszahlen abweichenden N-Gehalte sind weitere Probleme bei der Kalkulation der N-Düngung im ökologischen Gemüsebau.

2 Stand des Wissens

2.1 Stickstoffbedarf der Kulturen

Zur N-Menge im Aufwuchs "optimal" ernährter Gemüsekulturen (N-Bedarf) liegt für den Bereich des konventionellen Gemüsebaus umfangreiches Datenmaterial vor (FINK et al. 2001). Eine Anpassung der Werte an ein niedrigeres Ertragsniveau kann in erster Näherung durch eine lineare Umrechnung erfolgen. Allerdings dürfen dabei etwaige durch Krankheits- oder Schädlingsbefall, insbesondere am Ende der Kulturzeit verursachte Mindererträge an marktfähiger Ware nicht berücksichtigt werden, da auch diese nicht vermarktungsfähigen Pflanzen entsprechende N-Mengen aufnehmen bzw. aufgenommen haben.

Inwieweit sich der N-Gehalt ökologisch erzeugter Ware von dem konventioneller Ware unterscheidet und damit einer Übertragung der für den konventionellen Anbau vorliegenden Bedarfswerte entgegensteht, kann auf Grund einer unzureichenden Datenbasis nicht beantwortet werden. Bei den wenigen vorliegenden Untersuchungen zeigten sich geringere, im

Falle von Beständen mit geringem Aufwuchs aber auch höhere Gehalte als beim konventionellem Anbau (Tabelle 1). Allerdings dürfte es sich auch allgemein zumeist nicht um "optimal" ernährte Bestände gehandelt haben. Betrachtet man von daher nur die in zwei Düngungssteigerungsversuchen mit Blumenkohl ermittelten N-Gehalte, so deutet sich ein optimaler N-Gehalt des Aufwuchses von knapp 30 kg N/100 dt an (Abbildung 1), der damit nur geringfügig unter dem Vergleichswert (FINK et al. 2001) von 31,4 kg N/100 dt liegt.

Neben dem N-Gehalt der verschiedenen Aufwuchs-Komponenten (Marktware, Ernterückstände) könnte sich auch das Verhältnis dieser zueinander zwischen Öko- und konventionellem Anbau unterscheiden, so dass bei geringerem Anteil an Ernterückständen weniger N zum Erreichen eines bestimmten Marktertrages notwendig wäre.

In Versuchen von WEIER und SCHARPF (1994) mit Kohlrabi zeigten sich allerdings unter N-limitierenden Bedingungen allenfalls nur unbedeutend höhere Harvest-Indizes (Knollenanteil an der Gesamt-Aufwuchsmenge) als bei einem optimalen N-Angebot (Abbildung 2).

Bei einer Praxiserhebung von PAFFRATH (1998) ergab sich bei Öko-Blumenkohl ein deutlich höherer N-Harvest-Index (Verhältnis von N in der Marktware zu N_{Aufwuchs}) als bei konventionellem Anbau (Tabelle 1).

Tabelle 1: N-Gehalte im Aufwuchs verschiedener Gemüsearten bei ökologischem Anbau

Kultur	Aufwuchs [dt/ha]	N-Gehalt [kg N/100 dt]	N-Harvest-Index [%]	n	Datenquelle	Vergleichswert ¹	
						[kg N/100 dt]	NHI ² [%]
Blumenkohl	711 ³	25	67	1	PAFFRATH 1998	31	39
	-	-	38	7	PRESTELE 1999/23		
	630	28	-	9	PRESTELE 2000		
	360 ³	42	39	1	WEIER 2001/1		
Brokkoli	-	-	-	-		37	26
Weißkohl	816	25	43	1	WEIER 2000/229	24	48
	678 ³	29	47	1	WEIER 2001/1		
Rotkohl	1057	27	48	1	WEIER 2000/229	26	47
	635 ³	35	42	2	WEIER 2001/1		
Wirsing	410 ³	47	31	2	WEIER 2001/1	38	47
Grünkohl	379	39	51	1	WEIER 2000/229	46	58
Knollenfenchel	564 ⁴	22	-	7	PRESTELE 1999/64	24	47
	328 ³	23	43	1	WEIER 2001/1		
Spinat	-	-	-	-		36	75

1: konventioneller Gemüsebau, nach Daten von FINK et al. 2001/2001a

2: N-Harvest-Index;

3: Praxiserhebung;

4: ungedüngte Bestände

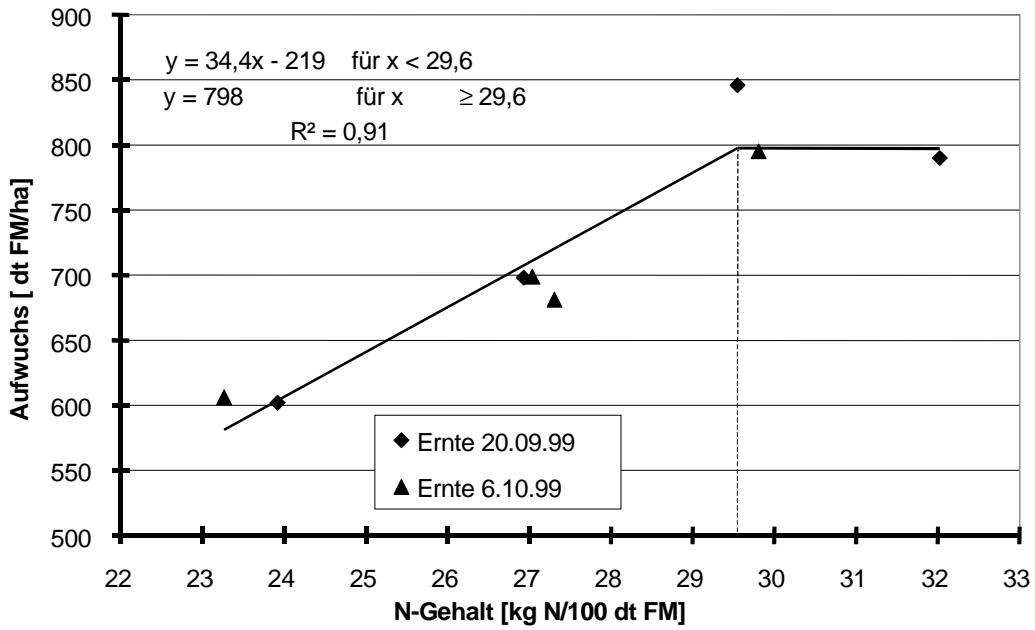


Abbildung 1: Aufwuchs von Blumenkohl in Abhängigkeit vom N-Gehalt des Aufwuchses (Öko-Anbau; Daten nach PRESTELE 2000)

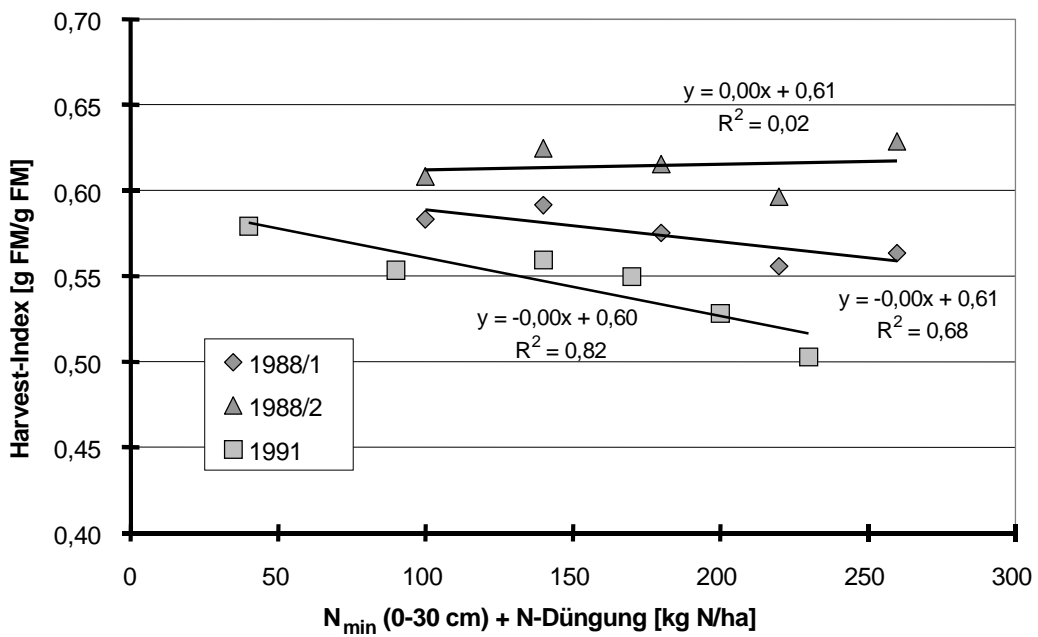


Abbildung 2: Harvest-Index (Knollenanteil an der Gesamt-Aufwuchsmenge) bei Kohlrabi in Abhängigkeit vom N-Angebot (Daten nach WEIER und SCHARPF 1994)

Dagegen deuteten sich bei Versuchsergebnissen von PRESTELE (1999/23) und Praxiserhebungen von WEIER (2001/1) keinerlei Unterschiede zu konventionell angebautem Blumenkohl an. Bei Rotkohl, Knollenfenchel und insbesondere Wirsing zeigten sich zum Teil deutlich niedrigere N-Harvest-Indizes als bei den konventionellen Vergleichszahlen.

N_{min}-Mindestvorrat

Unter dem N_{min}-Mindestvorrat zum Erntezeitpunkt versteht man die N-Menge, die im durchwurzelten Bodenbereich vorhanden sein muss, um die N-Versorgung bis zum Erntetag sicherzustellen (FINK et al. 2001). Während beim "KNS-System" zum Teil noch N_{min}-Reste von 80 kg N/ha (Blumenkohl, Brokkoli) für notwendig erachtet wurden (LORENZ et al. 1989), gehen neuere Zusammenstellungen von N_{min}-

Mindestvorräten im Bereich von 20 bis 50 kg/ha aus. Für verschiedene Wurzelfrüchte, Rosenkohl, Kürbis u. a. wird keine Notwendigkeit für N_{min}-Reste am Ende der Kulturzeit mehr gesehen (FINK et al. 2001).

Theoretisch sind höhere N_{min}-Reste zum Kulturende zur Erreichung eines Maximalertrages nicht notwendig, da nahezu der gesamte im durchwurzelten Bodenraum vorhandene Nitratstickstoff aufgenommen werden kann. Sie stellen vielmehr ein "Puffer" dar (SCHARPF 1996), der insbesondere bei Gemüsearten mit bis zur Ernte hohen N-Aufnahmeraten (vgl. Tabelle 2) die N-Versorgung absichert (FINK et al. 2001).

Könnten diese Aufnahmeraten durch entsprechend hohe Nachlieferungen abgesichert werden, bestünde theoretisch keine Notwendigkeit für größere N_{min}-Reste.

Tabelle 2: Durchschnittliche N-Aufnahmeraten verschiedener Gemüsearten vor der Ernte (konventioneller Anbau)

Kultur	N-Aufnahmerate [kg N/ha pro Tag]	Zeitraum [Tage vor Ernte]	Quelle
Blumenkohl	-4,0*	12	WEIER 1994/31
	8,1	7	WUSTMANN 2000a
Brokkoli	9,5	10	WEIER et al. 1994
	6,2	16	WEIER 1996/51
Kohlrabi	7,7	7	FELLER 1994/94
	4,0	7	FELLER 1995/95
Rosenkohl	-0,5	22	WEIER 2000/234
	0,0 (-2,2 bis 2,7)	32 (28-42)	FINK u. FELLER 2001
Grünkohl	-0,5	20	WEIER 1995/89
	-2,6	13	WEIER 1998/91
Knollenfenchel	8,6	7	FINK et al. 1998
Möhre (Frischmarkt)	-0,6	28	WEIER et al. 1994
Möhre (Industrie)	-0,4	29	FELLER 1994/101
	0,3	30	MOJE 1995
Kopfsalat	5,3	7	WEIER et al. 1994
	2,7	13	WEIER 1996/122
	4,4	7	WEIER 1998/138
	4,9	7	WUSTMANN 2000
Porree	2,2	20	WEIER 1997/173
Knollensellerie	1,1	35	WEIER et al. 1994
	-0,7	20	WEIER 1999/203
Spinat	12,0	6	WEIER 1994/169
	11,0	8	WEIER 1997/221

*: negative Werte ergeben sich in erster Linie aus dem Absterben von (älteren) Blättern

Beim Öko-Anbau sind durch die organischen Düngemittel eher höhere N-Nachlieferungsraten als beim konventionellen Anbau zu erwarten, so dass die vielfach gemessenen sehr geringen N_{\min} -Reste (Tabelle 3) nicht zwangsläufig mit einer N-Unterversorgung der Kulturen einhergehen müssen. Düngungsversuche mit Blumenkohl (Abbildung 3) und Knollenfenchel

(ohne Abbildung, Daten entsprechend Tabelle 3) deuten eher auf geringere N_{\min} -Mindestvorräte als bei konventionellen Anbau hin (FINKE et al. 2001: 40 kg N/ha bei beiden Kulturen). In einem Versuch mit Spinat stieg allerdings das Ertragsniveau mit zunehmenden N_{\min} -Resten an (Abbildung 4).

Tabelle 3: N_{\min} -Reste bei ökologischem Anbau verschiedener Gemüsearten

Kultur	N_{\min} -Rest [kg N/ha]		in Bodenschicht [cm]	n	Quelle
	Spanne	Mittel			
Blumenkohl	0 - 82	16	0 - 60	13	PRESTELE 1997/14/15/35/ 36, 1999/20/21, SLFA 2000/24/25, MAYNC 2000/26, 2001/29/30
Weißkohl	14 - 36	24	0 - 60	1	ECHIM 1999/259
Knollenfenchel	8 - 38	18	0 - 30(60)	7	PRESTELE 1998/86-88, 1999/58/60, MAYNC 2001/56
Rote Bete		5		1	ECHIM 1999/141
Spinat	23 - 68	42	0 - 30	1	ELERS u. FIEDLER 1995

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

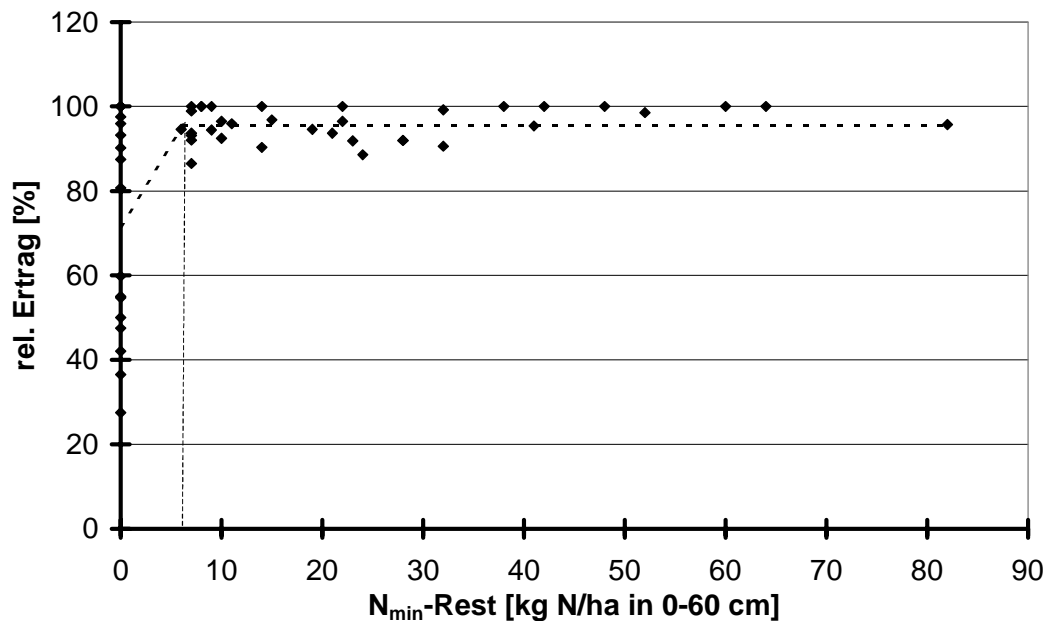


Abbildung 3: Relativer Ertrag von Blumenkohl (jeweilige Düngungsvariante mit Maximalertrag = 100 %) in Abhängigkeit vom N_{\min} -Rest zum Erntetermin (Öko-Anbau; Daten entsprechend Tabelle 3 ohne PRESTELE 1999/21)

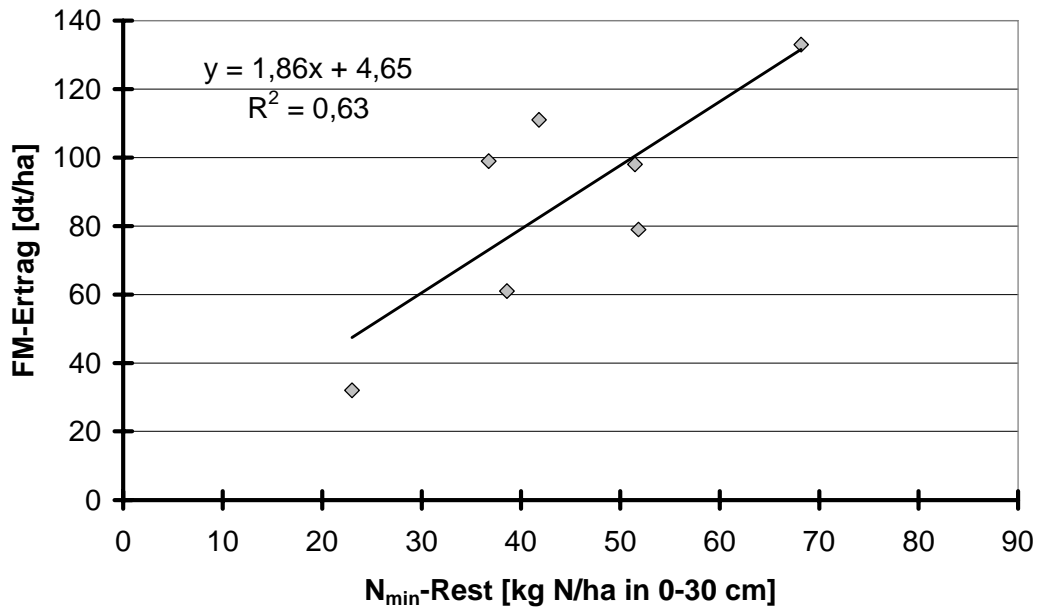


Abbildung 4: Frischmasseertrag von Spinat in Abhängigkeit vom N_{min}-Rest zum Erntetermin (Öko-Anbau; Daten nach ELERS und FIEDLER 1995)

2.2 Stickstoffangebot

2.2.1 N_{min}-Vorrat des Bodens

Der N_{min}-Vorrat im durchwurzelbaren Bodenbereich wird von den Pflanzen genutzt und ist von daher voll bei der Düngung zu berücksichtigen (SCHARPF 1991). LINDNER beurteilte 1994 die Aussagekraft der N_{min}-Analyse für den ökologischen Gemüseanbau als wenig aussagekräftig, da diese nicht auf die (folgende) Mineralisation schließen lasse. Der BIOLAND-VERBAND (2001) empfiehlt dagegen regelmäßige N_{min}-Untersuchungen zur Kontrolle der Stickstoffdynamik. N_{min}-Vorräte wären beim ökologischen Anbau dann zu vernachlässigen, wenn sich diese generell auf einem sehr niedrigen Niveau bewegen würden. Daten verschiedener Versuchsansteller zeigen jedoch, dass in rund 50 % der Fälle N_{min}-Vorräte von über 50 kg N/ha angetroffen werden können. In 10 % der Fälle lag der N_{min}-Vorrat bei über 100 kg N/ha (Abbildung 5).

2.2.2 N-Nachlieferung aus der organischen Substanz

Die durch Mineralisation der organischen Substanz des Bodens (Humus) nachgelieferte N-Menge wird im Bereich des konventionellen Gemüsebaus für Böden mit 2 bis 4 % Humus im Sommerhalbjahr mit 5 kg N/ha pro Woche

beifiziert (SCHARPF 1996). Modellrechnungen von FINK und SCHARPF (2000) auf Basis umfangreicher Düngungsversuche an allerdings nur einem Standort bestätigen bei relativ großer Streuung mit einer mittleren N-Nachlieferung von 0,72 kg/ha pro Tag während der Vegetationsperiode diesen Wert.

LORENZ et al. (1989) kalkulierten für Böden mit 2 bzw. 5 % Humus mit Werten von 4 bzw. 8 kg N/ha pro Woche. Für Böden mit 15 % Humus gaben sie 15 kg N/ha pro Woche an. Ähnlich empfahlen GYSI et al. (1994) eine Reduktion der N-Düngung (gegenüber Böden mit 0 bis 5 % Humus) um 30 (5 bis 12 % Humus) bzw. 50 kg N/ha (> 12 % Humus) bei Kulturen mit bis zu 8-wöchiger Kulturzeit. Bei Kulturen mit längerer Kulturzeit wurde eine Reduktion um 50 bzw. 80 kg N/ha vorgeschlagen. Später (GYSI et al. 1999a) wurde, wie ähnlich auch schon bei LICHTENHAHN et al. (1998), die Mineralisation zusätzlich auf Bodenbearbeitungs- und Hackvorgänge bezogen und mit einer N-Nachlieferung von 15, 20 bzw. 25 kg N/ha (< 5, 5 bis 12, > 12 % Humus) pro Arbeitsgang kalkuliert. MOJE (1997) konnte in umfangreichen Erhebungen auf norddeutschen konventionell und ökologisch bewirtschafteten Möhrenstandorten (n = 59, Humusgehalt 0,7 bis 11,7 %) keinen Zusammenhang zwischen dem Humusgehalt und der auf Bracheparzellen gemessenen Netto-Mineralisationsrate feststellen (R² = 0,04).

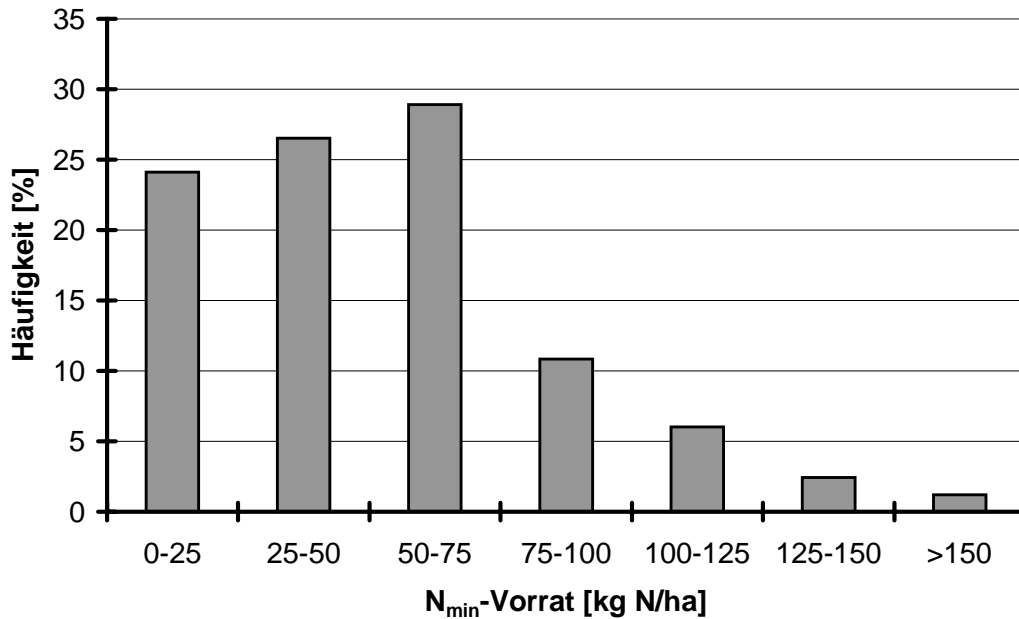


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der N_{min}-Vorräte zu Kulturbeginn beim ökologischen Anbau verschiedener Gemüsearten; Daten nach MOJE 1997 (Praxiserhebungen auf 36 Möhrenschnitten, 0-90 cm) sowie den im Literaturverzeichnis mit "#" markierten Quellen (n = 45, 0-30 bzw. 0-60 cm)

Bei einer Differenzierung nach Bodenarten zeigte sich für die Sand- und lehmigen Sandböden ein höherer, aber dennoch unbefriedigender Zusammenhang ($R^2 = 0,24$ bzw. $0,14$). Im Mittel aller Standorte wurde eine durchschnittliche Mineralisation von $5,9 \text{ kg N/ha pro Woche}$ * während der Kulturzeit der Möhren beobachtet, wobei zwischen konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung kein signifikanter Unterschied bezüglich der Mittelwerte bestand (Tabelle 4).

Allerdings zeigten sich bei der Häufigkeitsverteilung abzusichernde Unterschiede: Bei beiden Anbauformen ergab sich zwar ein Schwerpunkt der Mineralisationsraten im Bereich 4 bis $6 \text{ kg N/ha pro Woche}$ (ca. 40% der Schläge), auf 20% der Öko-Schläge wurden aber Mineralisa-

tionsraten von 12 bis $14 \text{ kg N/ha pro Woche}$ beobachtet, während nur 4% der konventionellen Flächen durchschnittlich maximal 10 bis $12 \text{ kg N/ha pro Woche}$ nachlieferten. Mit einer Ausnahme traten derartig hohe Mineralisationsraten nur auf Flächen viehhaltender Betriebe auf, die zwar nicht zu Möhren, aber sonst regelmäßig mit Stallmist gedüngt wurden.

Insgesamt deuten die allerdings nur für landwirtschaftlich genutzten Böden vorliegenden Untersuchungen nicht eindeutig darauf hin, dass bei einer ökologischen Bewirtschaftung von einer höheren N-Nachlieferung aus der organischen Substanz des Bodens als bei konventioneller Bewirtschaftung ausgegangen werden kann (Tabelle 4).

Der Anbau von Gemüsekulturen erfolgt (im Frühjahr) im Allgemeinen nach einer Grundbodenbearbeitung mit Pflug oder auch Spatenmaschine. Ob nach einer Winter- oder Frühjahrsfurche in der nachfolgenden Vegetationsperiode unterschiedliche N-Mengen nachgeliefert werden, ist nicht bekannt.

Der Einfluss der Saatbettbereitung auf die N-Mineralisierung wurde von SPIESS et al. (2000) auf einem brachgehaltenen Lehm Boden anhand von Bodenwasserproben aus 55 cm Tiefe untersucht.

* Einige der von MOJE untersuchten Flächen wurden zuvor mit Wirtschaftsdüngern versorgt bzw. enthielten größere Mengen an Ernterückständen der Vorkulturen, so dass die gemessenen Mineralisationsraten nicht ausschließlich auf den Abbau von Humus zurückzuführen sind. So lag die Mineralisationsrate auf mit Stallmist versorgten Flächen (n = 7) $1,7 \text{ kg}$ über den der nicht mit Wirtschaftsdüngern versehenen ($5,7 \text{ kg N/ha pro Woche}$, n = 53). Da diese Fälle aber verhältnismäßig selten angetroffen wurden, dürften die gemessenen Mineralisationsraten in erster Linie auf einem Abbau 'älterer' organischer Substanz zurückzuführen sein.

Tabelle 4: Mineralisationsraten ökologisch und konventionell bewirtschafteter Flächen

Kultur/Verfahren	Mineralisationsrate [kg N/ha pro Woche]				Zeitraum	Quelle
	öko.	n	konv.	n		
Winterweizen (<i>in situ</i>) ¹	3,7	1	5,1	1	M. Febr. – A. Juli	BRUNNER 1998
Möhren ²	6,7	20	5,6	48	Apr. – Okt.	MOJE 1997
<i>in situ</i> (n. RUNGE) ³	2,2	1	1,8	2	Sept. – Aug.	FRIEDEL et al. 1996
Brutversuch ³	199 % ⁴	1	100 %	1	3 Wochen	FRIEDEL et al. 1997
Brutversuch ¹	96 % ⁴	1	100 %	1	6 Wochen	
Gefäßversuch mit Weidelgras	127 % ⁴	1	100 %	1	6 Schnitte des Weidelgrases	LANGMEIER et al. 2000

- 1: Versuchsanlage mit langjährigem Vergleich von ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung; Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
 2: die Ermittlung der Mineralisationsraten wurde auf Bracheflächen durchgeführt;
 3: konventionelle und ökologisch bewirtschaftete Flächen lagen in unmittelbarer Nachbarschaft;
 4: relativ zu der N-Mineralisation der konventionellen Bodenprobe

Nach einer Sommerpflugfurche führte eine Bearbeitung mit dem Zinkenrotor in etwa zu einer Verdoppelung des NO₃-Gehaltes im erfassten Bodenwasser, während sich beim Einsatz fast alle anderen gezogenen bzw. zapfwellengetriebenen Geräte kaum Unterschiede zur ausschließlich gepflügten Variante zeigten. Ein Zusammenhang zur Intensität der Bearbeitung bestand nicht. Nach einer späten Winterfurche führten alle Bearbeitungsmaßnahmen zumindest zu einer Verdoppelung des NO₃-Gehaltes. Wiederrum zeigte der Zinkenrotor mit die stärkste Mineralisationsanregung. Rückschlüsse auf die freigesetzten N-Mengen lassen die Ergebnisse nicht zu.

SEWELL und GAINNEY (1932) fanden nach Stoppelbearbeitungsmaßnahmen (keine vorherige Grundbodenbearbeitung) leicht erhöhte, in einer Versuchsserie aber auch leicht verminderte N-Gehalte im Vergleich zur unbearbeiteten, aber ebenfalls unkrautfrei gehaltenen nicht

bearbeiteten Kontrolle (Tabelle 5). Nach einer Zusammenfassung auch weiterer Untersuchungen aus den 20er und 30er Jahren auf unbewachsenen Flächen lagen die Nitratkonzentrationen mechanisch bearbeiteter Böden am Ende der Vegetationsperiode 25 bis 45 % über denen unbearbeiteter Flächen (VAN DER WERF et al. 1991).

Durch einen Dammaufbau konnte in einem Versuch mit Blumenkohl eine deutliche Erhöhung der N_{min}-Gehalte gegenüber der Kontrolle (kein Damm) erreicht werden (IMHOF und SCHWANINGER 1999).

Allerdings wurden durch den Dammaufbau (vermutlich) auch der oberflächlich eingearbeitete organische Handelsdünger im Damm konzentriert und die Beprobung nur in den Kulturreihen durchgeführt, so dass die höheren N_{min}-Gehalte nicht ausschließlich auf eine stärkere Mineralisation im Damm zurückgeführt werden können.

Tabelle 5: Mineralisationsgewinn bearbeiteter Varianten gegenüber den unbearbeiteten Kontrollen (Versuche auf Bracheflächen, unkrautfrei)

Vorkultur, Bodenbearbeitung	Maßnahme (Bearbeitungstiefe)	N-Gewinn [kg N/ha]	Datengrundlage	Quelle
Weizen (Stroh abgefahren), keine Grundbodenbearbeitung	Bearbeitung (15 cm)	13 ¹ (0-90 cm)	3-jähriger Versuch	Daten nach SEWELL und GAINNEY 1932
	Bearbeitung (7,5 cm)	26 ¹ (0-90 cm)		
	Bearbeitung (7,5 cm)	15 ¹ (0-60 cm)	3-jähriger V.	
	Bearbeitung (7,5 cm)	-22 % ² (0-90)	5-jähriger V.	
Phacelia, Frühjahrsfurche	3 × Hacken (3 cm)	5 (0-30 cm)	1 Versuch	LABER 1999
	3 × Hacken (6 cm)	3 (0-30 cm)		

- 1: möglicherweise handelt es sich bei den Angaben nur um Nitrat, so dass der hier angegebene Wert mit dem Faktor 0,23 angepasst werden muss; Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
 2: bezogen auf die Nitratkonzentration in der unbearbeiteten Kontrolle (eine Umrechnung in die absolute Menge konnte auf Grund fehlender Angaben nicht erfolgen)

Der Einfluss einer oberflächlichen Bodenlockerung z. B. im Zuge der mechanischen Unkrautregulation auf die Anregung der N-Mineralisation wird zum Teil größere Bedeutung beimessen. Sprichwörter wie "Dreimal hacken ist wie einmal düngen" oder "Den Zucker in die Rüben hacken" drücken dieses aus. So kalkulierten auch LICHTENHAHN et al. (1998) mit einer (zusätzlichen) Mineralisierung von 15 bis 25 kg N/ha pro Hackdurchgang und verglichen die Wirkung mit der einer Kopfdüngung. Untersuchungen, die diese Aussagen untermauern, liegen nicht vor (vgl. Tabelle 5).

BECKER und BÖHRNSEN (1994) stellten 18 Tage nach dem Striegeln bzw. Hacken von Weizen mit um 3 bzw. 9 kg/ha höheren NO₃-N-Gehalten in 0 bis 30 cm keine signifikanten Unterschiede gegenüber der Kontrolle fest. Nach Anhäufeln konnten in drei Blumenkohlversuchen im Reihenbereich (Häufelbereich) höhere N_{min}-Gehalte als in der nicht angehäufelten Kontrolle festgestellt werden. Dabei nahm mit zunehmender Häufelintensität der N_{min}-Gehalt zu. Zwischen den Reihen lag bei den gehäufelten Varianten der N_{min}-Gehalt in einem Versuch auf dem Niveau der Kontrolle, bei den beiden anderen Versuchen zum Teil auch deutlich darunter. Mit zunehmender Häufelintensität nahm der N_{min}-Gehalt im Zwischenreihenbereich ab (IMHOF und BAUMANN 1999). Inwieweit die Mineralisation bezogen auf die Gesamtfläche durch das Anhäufeln gefördert wurde, kann aus den Ergebnissen nicht abgeleitet werden.

Auch Ertragserhebungen gehackter bzw. unbearbeiteter unkrautfreier Bestände bei ökologischem bzw. ungedüngtem Anbau und damit

vermutlich N-limitierenden Bedingungen deuten im Allgemeinen nicht auf einen größeren N-Gewinn durch die Hackmaßnahmen hin, wenngleich die Ertragszahlen natürlich immer auch die durch etwaige Pflanzenschäden verursachten Ertragsverluste widerspiegeln (Tabelle 6). Beim Anhäufeln von ungedüngten Möhren wurden auf je einem Sand- und Lößstandort signifikante Mehrerträge erzielt, die Ursachen hierfür blieben allerdings unklar (LABER 1999).

2.2.3 N-Freisetzung aus Gründüngungen und Ernterückständen

Die symbiotische N₂-Fixierung durch Mikroorganismen beim Anbau von Leguminosen in Form von Feldfutterbeständen oder Gründüngungen ist die originäre N-Quelle ökologischer Anbausysteme. Die N-Aufnahme herbsthlicher Gründüngungsbestände bewahrt N vor der Auswaschung im humiden Winterhalbjahr. Für den nachfolgenden Anbau von Gemüsearten ist es aber von besonderer Bedeutung, wie der in den Gründüngungen und Pflanzenrückständen gespeicherte N mineralisiert und so den Kulturen relativ kurzfristig wieder zur Verfügung steht.

Gründüngungen in Form einer herbsthlichen Zwischenfrucht (Tabelle 7), überwinternden Zwischenfrüchten (Tabelle 8) oder kurzfristigen Frühjahrs-/Sommerbegrünungen (Tabelle 9) enthalten in oberirdischen Pflanzenteilen häufig N-Mengen im Bereich von 100 bis 150 kg N/ha. Die N-Gehalte liegen bei Nichtleguminosen im Mittel bei 32 (Spanne: 20 bis 49), bei Leguminosen bei 48 (22 bis 79) und bei Gemengen bei 36 kg N/100 dt FS (20 bis 54).

Tabelle 6: Relative Erträge mehrmals gehackter, zum Teil angehäufelter unkrautfreier Bestände (unbearbeitet = 100 %) bei ökologischem Anbau bzw. ohne N-Düngung

Kultur	relativer Ertrag		n	Quelle
	Spanne	Mittel		
Blumenkohl		94 ¹	1	LINDNER 1992/22
Spinat		112 ¹	1	LINDNER 1993/203
Möhren ^{2, 3}	97 - 111	104	5	Daten nach LABER 1999
Möhren	94 - 107	100	4	LABER 1999
Möhren ²	93/99	96	2	
Säzwiebeln ⁴	82 - 107	95	5	
Säzwiebeln ²		95	1	
Futtermöhren		133 ¹	1	HELLER 1998

1: ob eine vollständige Unkrautfreiheit vorgelegen hat, wurde nicht angegeben

2: konventionelle Flächen, aber ohne N-Düngung zur Kultur;

3: zusätzlich mittels Häufelkörper bei letzten Bearbeitungsgang angehäufelt (nur gehackt = 100 %);

4: bei einem der Versuche wurden die Zwiebeln mittels Rollhacke auch stärker angehäufelt

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 7: Oberirdischer Aufwuchs, N-Gehalte und N-Mengen verschiedener Gründungsarten bis Vegetationsende (Aussaaten Juli bis Mitte August, Daten nach ELERS und HARTMANN 1987, LEHMANN et al. 1991, Hagendorf et al. 1994/3-6, MÖLLER und REENTS 1999 sowie SCHLIEPHAKE 2001)

Art	Aufwuchs ¹ [dt/ha]		N-Gehalt ¹ [% der]		N _{Aufwuchs} [kg N/ha]		n
	FM	TM	FS	TS	Spanne	Mittel	
Nichtleguminosen:							
Phacelia	319	36	0,33	3,01	58-193	109	5
Buchweizen	200	35	0,38	2,20	69-82	74	4
Sorgum	288	35	0,31	2,59	51-90	76	3
Raps		34		2,36	60-101	81	3
Rübsen	522	29	0,24	2,70	64-145	97	1
Ölrettich	540	38	0,24	2,70	50-164	104	11
Gelbsenf	496	44	0,22	2,56	69-146	108	5
verschiedene Getreidearten	344	58	0,32	2,22	75-148	104	4
verschiedene Weidelgräser	257	40	0,34	2,15	71-113	87	3
diverse andere Nichtleguminosen	391	43	0,31	2,67	66-192	98	11
Leguminosen:							
Ackerbohne	218	25	0,42	3,11	33-92	68	3
Ackerbohne/Sommerwicke/Erbse	329	56	0,50	2,91		163	1
Erbsen	277	38	0,48	3,19	102-133	119	3
Lupinen	307	41	0,43	2,79	78-156	114	5
Sommerwicke	320	30	0,51	4,11	74-164	112	4
Winterwicke	235	42	0,57	3,20	134-135	134	2
Winterwicke/Inkarnatkle	430	55	0,45	3,48		193	1
Alexandrinerklee	268	48	0,42	2,32		112	1
Inkarnatkle	422	67	0,34	2,15		144	1
Perserklee	342	31	0,35	2,93	66-121	89	3
diverse andere Leguminosen	233	34	0,44	2,94	60-126	92	16
Gemenge:							
Landsberger Gemenge	383	50	0,38	2,90		146	1
Weidelgras/Inkarnatkle	295	35	0,35	2,95		102	1
Winterroggen/Winterwicke	335		0,29			98	1
Winterweizen/Winterwicke	135		0,47			64	1
Perserklee/Ölrettich		29		2,57		76	1
Sommerwicke/Ölrettich		39		3,49		136	1
diverse andere Gemenge	370	49	0,36	2,51	89-163	121	12

1: Mittelwerte;

2: Die angegebene Anzahl der Beobachtungen bezieht sich nur auf N_{Aufwuchs}

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 8: Frischmasseaufwuchs, N-Gehalte und N-Mengen in der oberirdischen Frischsubstanz verschiedener überwinternder Gründungsarten im Frühjahr des Folgejahres (Daten nach HAGENDORF et al. 1995/8 und SCHLIEPHAKE 2001)

Art	Aus- saat	Ernte	Aufwuchs [dt/ha]		N-Gehalt [% der]		N _{Aufwuchs} [kg N/ha]
			FM	TM	FS	TS	
Nichtleguminosen:							
Raps	7.8.	3.4.		43		3,22	138
Rübsen	7.8.	3.4.		23		3,77	87
Winterroggen	1.9.	2.5.	345		0,32		112
Winterweizen	1.9.	2.5.	340		0,44		150
Wintergerste	1.9.	2.5.	360		0,37		133
Welsches Weidelgras	1.9.	2.5.	380		0,32		121
Leguminosen:							
Inkarnatklee	1.9.	2.5.	470		0,31		144
Winterwicke/Inkarnatklee	1.9.	2.5.	440		0,30		134
Gemenge:							
Landsberger Gemenge	1.9.	2.5.	295		0,32		95
Winterroggen/Winterwicke	1.9.	2.5.	375		0,29		108
Winterweizen/Winterwicke	1.9.	2.5.	295		0,42		124

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 9: Frischmasseaufwuchs, N-Gehalte und N-Mengen in der oberirdischen Frischsubstanz und den Wurzeln + Stoppeln [W+S] (bis 20 cm Bodentiefe) verschiedener Leguminosenarten (Daten nach HEINZMANN 1981)

Art	Aufwuchs [dt FM/ha]	N-Gehalt [% der FS]	N _{Aufwuchs} (o. Stoppeln) [kg N/ha]		N in W+S [kg N/ha]
Körnerleguminosen (Aussaart 26.4.):			27.6.	19.7	27.7.
Ackerbohne	224	0,52	116	189	54
Futtererbse	311	0,38	119	261	49
Platterbse	172	0,59	102	226	43
Lupine, weiß	311	0,40	124	292	66
Lupine, gelb	251	0,42	105	200	86
Lupine, blau	268	0,45	120	348	71
Sommerwicke	224	0,58	129	205	38
Futterleguminosen (Aussaart 8.5.):			5.7.		16.7.
Rotklee	174	0,61	106		118
Weißklee	144	0,60	86		-
Schwedenklee	162	0,58	94		-
Inkarnatklee	175	0,52	90		-
Perserklee	242	0,51	123		123
Alexandrinerklee	207	0,59	123		125
Serradella	222	0,50	112		77
Gelbklee	77	0,75	58		-
Luzerne	128	0,74	96		-

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Zur N-Menge in den Wurzeln liegen nur wenige Daten vor. HEINZMANN (1981) beprobte Körner- und Futterleguminosenbestände bis zu einer Bodentiefe von 20 cm, wobei er Wurzeln und Stoppelrückstände (W+S) gemeinsam erfasste. Bei den Körnerleguminosen zeigte sich, dass die N-Menge der W+S mit durchschnittlich 56 kg N/ha im Mittel rund 25 % von N_{Aufwuchs} (ohne Stoppeln) entsprach (Tabelle 9).

Bei den Futterleguminosen wurden im Durchschnitt etwa gleiche N-Mengen im Aufwuchs und in den W+S gefunden. Nach einer Literaturübersicht von KLIMANEK (1987) liegt die Wurzelmasse einjähriger Futter- bzw. Gründungsarten meist im Bereich von 20 dt TM/ha (Tabelle 10). Bei durchschnittlichen N-Gehalten von 2 % (Tabelle 10) ergeben sich daraus N-Mengen von rund 40 kg N/ha. Deutlich höhere Wurzelmen gen von zum Teil über 100 dt TM/ha

zeigten sich bei mehrjährigen Beständen, so dass hier rechnerisch N-Mengen von über 200 kg N/ha auftreten könnten.

Die oben überschlagsweise errechneten Wurzel-N-Mengen einjähriger Arten werden von GERLING (1983), BECKER (1984) und HAUSER (1987, alle zit. KAGE 1992) für Ackerbohnenwurzeln mit ermittelten N-Mengen von 20 bis 40 kg N/ha bestätigt. LEHMANN et al. (1991) fanden 80 Tage nach der Aussaat verschiedener Futter- und Gründungsarten bzw. -gemengen zumeist weniger als 10 bis 20 kg Wurzel-N/ha (0 bis 30 cm), wobei sie allerdings zum Teil "erhebliche" Verluste bei der Bestimmung der Wurzelmasse konstatierten. LOGES und TAUBE (1999) ermittelten in Wurzeln von zuvor mehrmals geschnittenen Klee-/Luzerne-/Grasreinsaat en bzw. Gemengen durchschnittlich 70 kg N/ha.

Tabelle 10: Wurzeltrockenmasse (nach einer Literaturübersicht von KLIMANEK 1987 bzw. Ergebnissen von KLIMANEK 1988) sowie N-Gehalt und C/N-Verhältnis der Wurzeln verschiedener Futter- und Gründungsbestände (KLIMANEK 1988)

Kultur	Wurzeln-TM [d/ha]	n	N-Gehalt [% der TS]	C/N-Verhältnis
Luzerne	60,65	9	1,74 - 2,25 ¹	19,3 - 25,6 ¹
Luzerne (bis 80 cm Tiefe)	50 - 66 ²	3		
Rotklee	42,30	10	2,35-2,43 ³	16,9 - 18,6 ³
Serradella			1,03	37,2
div. Kleeuntersaaten	12,56	8		
Weißklee, als Untersaat			2,00	23,5
Ackerbohne	26,47	3	1,27 - 3,76 ⁴	11,5 - 41,2 ⁴
Ackerbohne, Schotenansatz/Reife	15,3/15,8 ²	2		
Erbse	8,86	11		
Erbse, Schotenbildung	3,87 ²	1		
Erbse, Reife	1,77 ²	1	2,78 ⁵	15,9 ⁵
Lupine	14,12	5	2,51 - 2,77 ⁶	13,3 - 17,0 ⁶
Lupine, als Stoppelfrucht			2,63	13,9
Wicke	18,81	3		
Grünroggen	12,47	6	1,05	21,5
Wickroggen	23,60	7		
Landsberger Gemenge	22,70	5		
Ölrettich	7,90	2	2,56	16,2
Senf	5,63	3		
Phacelia	8,62	3	2,38	14,8
Luzerne-Gras-Gemenge, 2. Jahr	40 - 177	5		
Klee-Gras-Gemenge, 1. Jahr	25 - 36	2		
Klee-Gras-Gemenge 2. Jahr	30 - 165	7		
div. Gräser, 1. Jahr	20 - 54	8		
div. Gräser, 2. Jahr	33 - 200	30		
Knautgras (als Untersaat)			1,60	27,1
Weidelgras, als Stoppelfrucht			1,30	20,1

- 1: je nach Nutzungsjahr und Schnittzeitpunkt;
 2: nach Ergebnissen von KLIMANEK 1988;
 3: je nach Schnittzeitpunkt; 4: je nach Vegetationsstadium;
 5: zur Teigreife; 6: Milch- bzw. Teigreife

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Zur Ertragswirksamkeit verschiedener Gründungsbestände auf nachfolgend angebaute Gemüsearten liegen eine Reihe von **Feldversuchen** vor (LINDNER 1993/171, 1995/156, 1998/169/170, SØRENSEN und THORUP-KRISTENSEN 1993, PETER 1999d, MAYNC 2001/57), bei denen aber zumeist keine Parameter wie N_{Aufwuchs} der Gründungen, N_{min} -Vorrat u. a. ermittelt wurden, so dass keine quantitativen Ableitungen aus den Ergebnissen gezogen werden können. Entsprechende Parameter wurden von ELERS und HARTMANN (1987) erhoben, die Spinat und Kopfsalat nach verschiedenen im Sommer bzw. Herbst des Vorjahres angesäten Gründungsbeständen anbauten. Die Ergebnisse deuten auf eine sehr enge Beziehung zwischen der N_{Aufwuchs} -Menge der verschiedenen Gründungen im Herbst des Vorjahres (N_{Aufwuchs} im Frühjahr wurde nicht ermittelt) und den realisierten Spinat- (Abbildung 6) und Salaterträgen (ohne Abb.; $R^2 = 0,70$) hin.

Die N_{min} -Reste im Herbst waren bei gut entwickelten Beständen entsprechend gering, die N_{min} -Vorräte im Frühjahr zeigten (wohl auch auf Grund des Anbaus abfrierender als auch überwinternder Arten) nur einen geringen negativen Zusammenhang zur herbstlichen N_{Aufwuchs} -Menge. Eine engere Beziehung zwischen dem N_{min} -Vorrat im Frühjahr und den Spinat- und Salaterträgen bestand nicht ($R^2 = 0,17$ bzw. $0,24$), tendenziell nahmen die Erträge mit zu-

nehmendem N_{min} -Vorrat (vermutlich auf Grund der dann geringeren N-Mengen in den Gründungsresten) sogar ab.

Auch WILLUMSEN und THORUP-KRISTENSEN (2001) erfassten bei ihren 2-jährigen Gründungsversuchen mit nachfolgend angebauten Weißkohl bzw. Zwiebeln entsprechende Parameter. Dabei deuten die Daten des ersten (relativ feuchten) Versuchsjahres insbesondere bei Zwiebeln auf eine enge Beziehung zwischen der herbstlichen N_{Aufwuchs} -Menge der Gründungen und dem realisierten Ertrag ($R^2 = 0,84$; Weißkohl: $R^2 = 0,57$). Im zweiten (eher trockenen) Versuchsjahr bestand diese Beziehung nicht ($R^2 = 0,32$ bzw. $0,23$), tendenziell nahmen die Zwiebelerträge mit zunehmender N_{Aufwuchs} -Menge sogar ab. Zwischen der N_{Aufwuchs} -Menge im Frühjahr und dem Ertrag bestand generell keine Beziehung ($R^2 < 0,10$).

ÖGREN et al. (1998) bauten im Frühjahr Eissalat und Porree nach Perser-, Weiß- bzw. Bokharaklee an, der ein Jahr zuvor angesät wurde. Obgleich sich die Kleebestände bis zum Vegetationsende um bis zu $43 \text{ kg } N_{\text{Aufwuchs}}/\text{ha}$ unterschieden, waren keine Ertragsunterschiede bei den nachgebauten Kulturen zu verzeichnen. Allerdings traten signifikante Mehrerträge gegenüber der Kontrolle (Haferaufwuchs abgefahren) auf, die bei beiden Kulturen im Mittel 21% betrug.

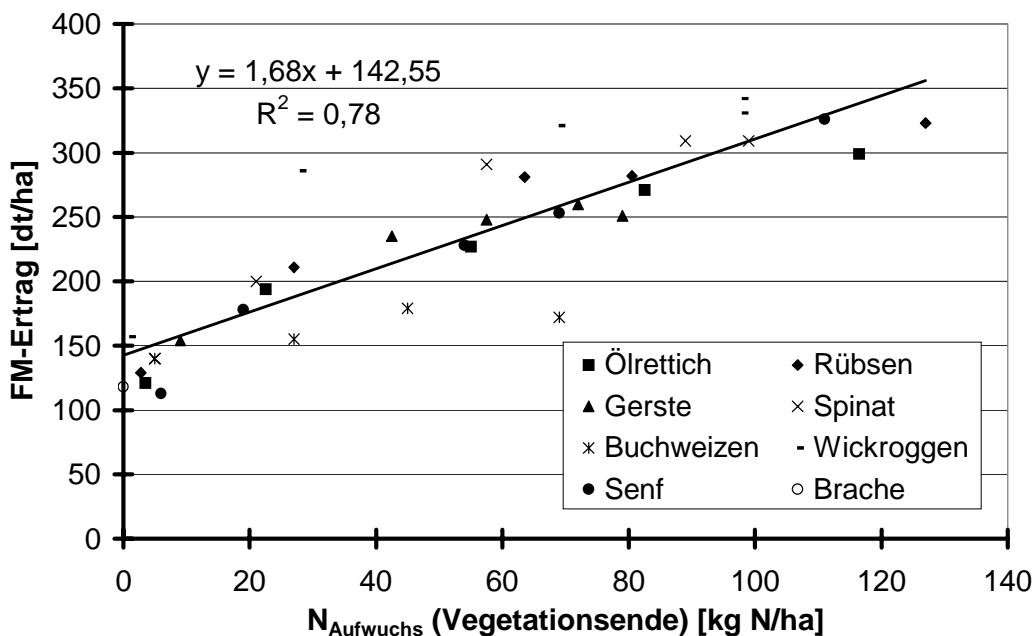


Abbildung 6: Ertrag von Frühjahrsspinat in Abhängigkeit von der N-Menge im Aufwuchs verschiedener Gründungen im Herbst des Vorjahres (Daten nach ELERS und HARTMANN 1987)

Die N-Freisetzung* aus Ernterückständen (ER) unter optimalen Bedingungen wurde von SCHRAGE und SCHARPF (1988) auf 80 % der eingearbeiteten N-Menge innerhalb von 8 Wochen beziffert. LORENZ et al. (1989) übernahmen diesen Wert, differenzierten allerdings den Umsetzungszeitraum je nach Ausgangsmaterial auf vier (z. B. Salat-ER) bis zu 15 Wochen (Rosenkohl-ER inkl. Strünke bei Feldernte). Versuchsergebnisse, die diese unterschiedlichen Umsetzungszeiträume belegen, liegen allerdings nicht vor. So stellten SCHARPF und SCHRAGE (1988) zwar fünf Wochen nach der Einarbeitung Unterschiede bei der N-Freisetzung aus verschiedenen Gemüse-ER fest (bei einer gewissen Abhängigkeit vom C/N-Verhältnis, vgl. Abbildung 8), Kopfsalat hatte nach dieser Zeit allerdings weniger N geliefert als Kohlrabi und Porree, für die ein 8-wöchiger Umsetzungszeitraum angenommen wird.

FINK et al. (2001a) übernahmen die von LORENZ et al. (1989) vorgeschlagene Differenzierung der Mineralisierungsdauer weitgehend, wobei, wie auch schon bei SCHARPF (1991, 1996), nunmehr mit einer 70%igen Netto-Mineralisation kalkuliert wird. Mit entsprechenden Werten rechnet auch das Expertenprogramm 'N-Expert II' (FINK et al. 2000).

Wie Tabelle 11 zeigt, konnten derartige hohe Netto-Mineralisationen (trotz vermutlich enger C/N-Verhältnisse der Materialien) nicht immer festgestellt werden. Auch die in weiteren Brut- und Gefäßversuchen ermittelten Freisetzungen blieben zumeist unter 50 % der eingebrachten N-Menge (vgl. Abbildung 8). ELERS und HARTMANN (1988) ermittelten bei einem Brutversuch (15 bis 30 °C) innerhalb 10 Wochen eine durchschnittliche N-Freisetzung aus verschiedenen Zwischenfrüchten von 46 %. Nach 15 Wochen waren 70 % der zugeführten N-Menge mineralisiert. Die Menge der eingebrachten Ernterückstände bzw. Gründüngungen zeigte in Versuchen von HEINZMANN (1981) und WEIER (2000/230) keinen negativen Einfluss auf die prozentuale N-Freisetzung. Tendenziell nahm diese bei hohen Einarbeitungsmengen sogar leicht zu (Abbildung 7).

* Wenn im Folgenden von N-Freisetzungen aus einem organischen Düngemittel bzw. einer entsprechend freigesetzten N-Menge die Rede ist, so ist darunter nicht zu verstehen, dass der vorgefundene Stickstoff tatsächlich diesem Düngemittel vollständig entstammt. Vielmehr ist damit die N-Menge bzw. der Anteil der aufgetragenen N_{ges} -Menge gemeint, der nach Einbringen des Düngemittels zusätzlich im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle (im Falle einer N-Immobilisierung: nicht mehr) pflanzenverfügbar wurde.

Dagegen interpretierte FINK (1996) die mit zunehmender Einbringung von Salat-ER aufgetretenen Bilanzverluste einer Kohlrabikultur mit einer abnehmenden N-Freisetzung aus den ER.

Einfluss des C/N-Verhältnisses auf die N-Freisetzung aus Pflanzenrückständen

Der Umfang der N-Freisetzung aus eingearbeiteter Pflanzenmasse ist stark vom eingearbeiteten Material bzw. dessen Qualität abhängig. Als ein brauchbarer Parameter für die Umsetzbarkeit stellte sich in vielen Inkubations- und Gefäßversuchen das C/N-Verhältnis heraus (Abbildung 8). Nach diesen Ergebnissen ist ab einem C/N-Verhältnis oberhalb 20 nicht mehr mit einer nennenswerten (kurzfristigen) Netto-Mineralisation zu rechnen.

Einfluss des Einarbeitungszeitpunktes auf die N-Freisetzung

Der Zeitpunkt der Einarbeitung (vor/nach dem Winter, Zwischenfrüchte lagen über Winter auf der Bodenoberfläche) von verschiedenen Zwischenfrüchten hatte in einem Gefäßversuch von GUTSER und VILSMEIER (1988) bei Unterbindung einer N-Auswaschung keinen Einfluss auf die N-Aufnahme des nachfolgend angebauten Hafers und Weidelgrases. Auch bei einem parallel durchgeführten Brutversuch mit simuliertem Temperatur-Jahresgang zeigten sich bis zum simulierten Oktober-Termin keine wesentlichen Unterschiede zwischen einer November- (50 Wochen Bebrütungszeit) und März-Einarbeitung (30 Wochen) (VILSMEIER und GUTSER 1988). Bei Versuchen von SØRENSEN und THORUP-KRISTENSEN (1993) zeigten sich Mitte April keine Unterschiede bei den N_{min} -gehalten zwischen Varianten, bei denen Phacelia, Sonnenblumen bzw. Weidelgras bereits im November des Vorjahres eingearbeitet wurden und solchen, bei denen keine Einarbeitung stattfand. ÖGREN et al. (1998) bauten nach verschiedenen Kleearten, die entweder im Herbst bzw. Frühjahr umgebrochen wurden, Eissalat und Porree an. Ertragsunterschiede zwischen der Herbst- und Frühjahrseinarbeitung waren dabei nicht zu verzeichnen.

WEIER (1997/12) verglich Varianten, bei denen Gemüse-ER im September bzw. Dezember eingearbeitet wurden (Abbildung 9). Bei September-Einarbeitung zeigten sich bis zum Winter im Durchschnitt ca. 110 kg/ha höhere N_{min} -Gehalte als in den Kontrollvarianten (ER abgefahren). Im folgenden Frühjahr mineralisierten weitere 36 kg N/ha (Kontrolle 28 kg N/ha). Bei Dezember-Einarbeitung waren es mit 49 kg N/ha nur unwesentlich größere Mengen,

so dass in dieser Variante im Mai deutlich geringe N_{\min} -Gehalte vorgefunden wurden. Auch die Stickstoffaufnahme durch die Nachfolgekultur Ökrettich deutete auf keine stärkere Mineralisation bei der Dezember-Variante hin. Einschränkung muss allerdings angeführt werden,

dass sich die Qualität der eingearbeiteten ER (z. B. das C/N-Verhältnis) in der Zeit von September bis Dezember geändert haben könnte, was ebenfalls eine geringere N-Freisetzung zur Folge gehabt hätte.

Tabelle 11: N-Freisetzung aus Ernterückständen (ER) und Gründüngung in Feld- und Brutversuchen

Material	Versuchsbedingungen	Zeitraum [Wochen]	N-Freisetzung [%]		Quelle
			Spanne	Mittel	
Gemüse-ER/ Luzerne	300 dt FM/ha (Ökrettich) ¹	5	51 - 78	64	SCHARPF und SCHRAGE 1988
		9	87 - 100	96	
Blumenkohl-ER	134/121 kg N/ha (Brutvers. 15 °C)	8	53/71	62	LINDENHOVEN 1990/15
	240 kg N/ha (Brache)	9	-	80 ²	DAUM 1998
Salat-ER	53-179 kg N/ha (Kohlrabi) ¹		-11 - 100	43	FINK 1996
	43-129 kg N/ha (Ökrettich/WG) ¹	10 11 Monate	19 - 26 23 - 38	23 31	WEIER 2000/230 bzw. WEIER 2001/2
Gemüseerbsen-ER	ca. 140 kg N/ha (Spinat) ¹	ca. 7	27 - 34	31	FINK 2000

1: N-Freisetzung errechnet durch Bestandesanalyse der entsprechenden Kultur (WG = Wintergerste);

2: bei gleichmäßigem Verteilen der ER in 0 - 35 cm Bodentiefe

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

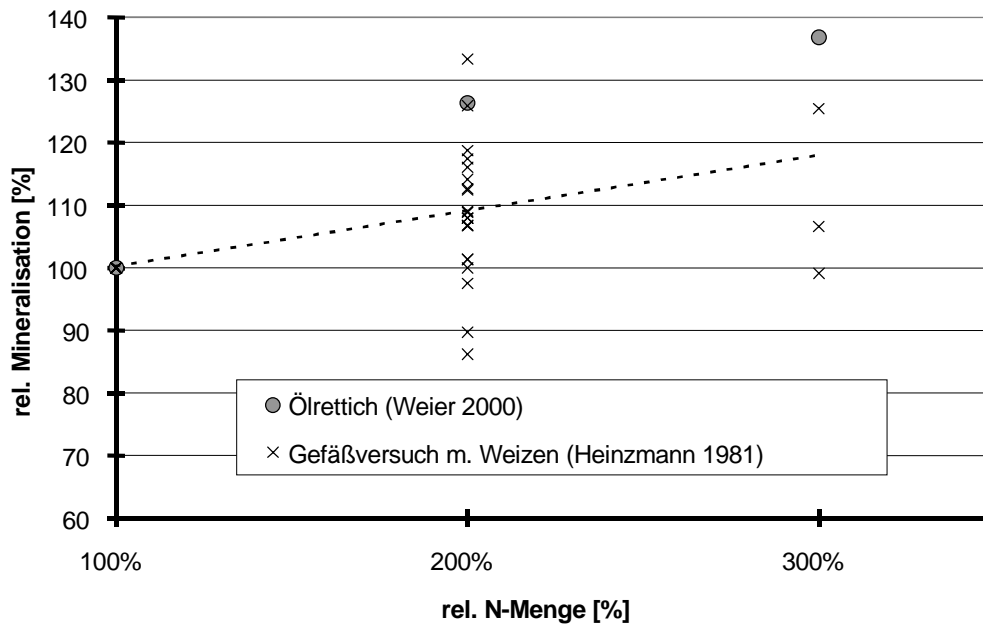


Abbildung 7: Relative Mineralisation (prozentuelle Freisetzung bei einfacher N-Menge = 100 %) bei erhöhter eingebrachter N-Menge in Form von Leguminosen (Daten nach HEINZMANN 1981) bzw. Kopfsalat-ER (Daten nach WEIER 2000/230)

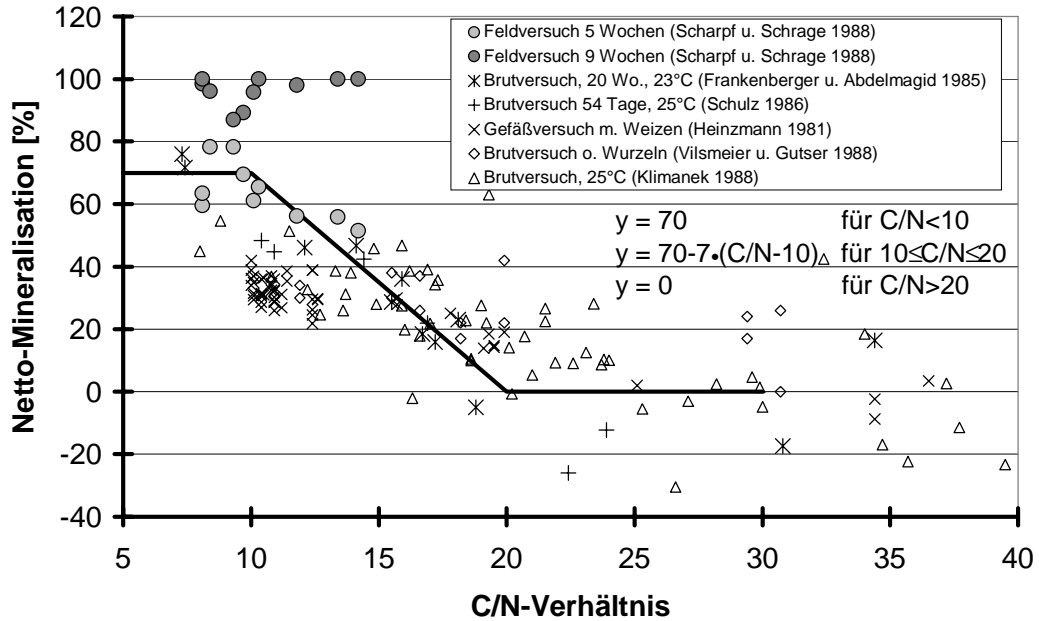


Abbildung 8: N-Freisetzung verschiedener Pflanzenmaterialien in Feld-, Gefäß- und Brutversuchen in Abhängigkeit vom C/N-Verhältnis des eingearbeiteten Pflanzenmaterials (die eingezeichnete Funktion gibt die im Kalkulationsmodell angenommene Beziehung zwischen dem C/N-Verhältnis und der Mineralisation wieder; vgl. Tabelle 13)

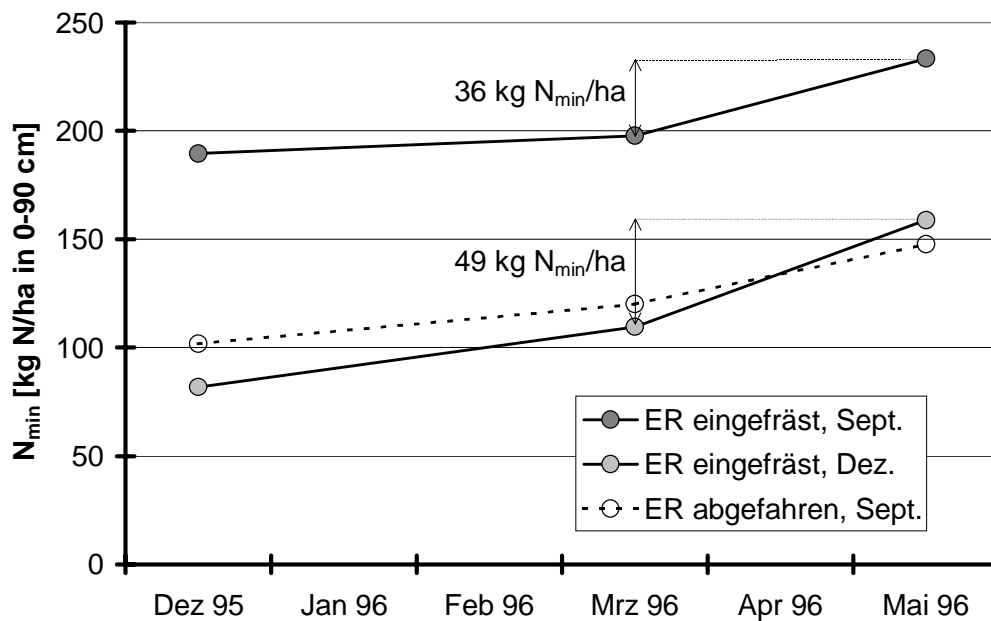


Abbildung 9: N_{min} -Gehalte des Bodens nach Einarbeitung von Gemüse-Ernterückständen (ER) zu unterschiedlichen Zeitpunkten (Daten nach WEIER 1997/12, Mittelwerte über die verschiedenen Ernterückstände)

Einfluss der Einarbeitungsart auf die N-Freisetzung

Nach KAHNT (1980) sollten größere Gründüngungsmassen nie unzerkleinert oder frisch in den Boden eingearbeitet werden. Grundsatz sollte das Anwelken, Häckseln und Mischen sein, wobei die Gründüngung um so tiefer eingearbeitet werden kann bzw. sollte, je leichter und trockener der Standort ist.

Nach HAMPL (1996) stellt die Einarbeitung größerer Mengen frischen Pflanzenmaterials in den Boden einen unnatürlichen Vorgang dar; "das Bodenleben kann mit dem frischen Pflanzenmaterial nichts anfangen". Auch er empfahl die Grünmasse abzuschneiden und ein bis eineinhalb Wochen zum Abtrocknen liegen zu lassen. Erst danach sollte sie in die obersten 3 bis 4 cm des Bodens eingemischt werden.

Nur sehr niedrige Bestände (10 bis 15 cm) könnten auch ohne vorheriges Antrocknen eingebracht werden. KOLLER et al. (2000) empfahlen, die abgemulchte Gründüngung zunächst zwei Tage anwelken zu lassen, sie dann flach einzuarbeiten und erst eine Woche nach dem Mulchen tiefer in den Boden einzuarbeiten.

Frühestens drei Wochen nach dem Einmischen der Gründüngung sollte der Boden bestellt werden, damit sich die Frischmasse "zu pflanzenverträglichen Abbauprodukten" umsetzen kann. Analog empfahl auch KAHNT (1980) bereits 2 bis 3 Wochen vor dem Pflügen (leichterer bis mittlerer Böden) die Gründüngung abzuschlegeln und einzumischen. Versuchsergebnisse, die die Vorteile eine "Anwelkphase" belegen, liegen nicht vor.

In Untersuchungen von SCHARPF und SCHRAGE (1988) und DAUM und SCHENK (1998) wurden 300 bzw. 600 dt Blumenkohl-ER/ha (vermutlich) ohne vorheriges Anwelken in den Boden eingearbeitet. Dabei zeigte sich, dass mit Zunahme der Schichtdicke in der die Materialien eingearbeitet wurden, die Netto-Mineralisation im Untersuchungszeitraum zunahm (Abbildung 10). Auch bei Untersuchungen von WEIER (1997/12) wurden nach dem Einfräsen von Gemüse-ER höhere N_{min} -Gehalte im Boden als nach einem Mulchen festgestellt.

Analog zu diesen Ergebnissen bemerkte BÄUMER (1992), dass ein gleichmäßiges Verteilen der Pflanzenrückstände über die gesamte Ackerkrume der schnellen Rotte dient.

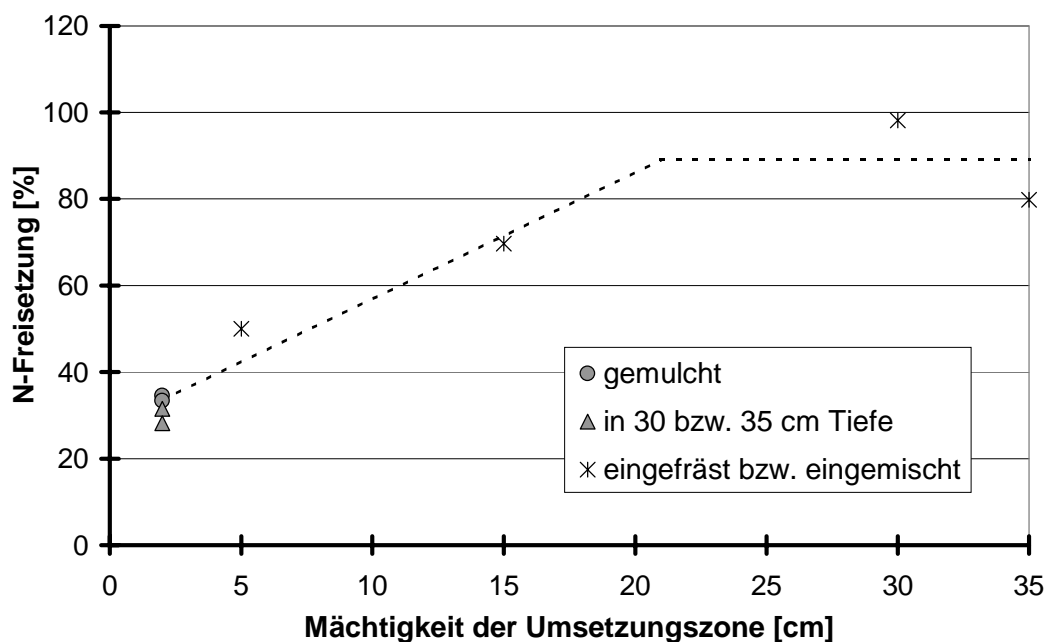


Abbildung 10: N-Freisetzung aus Blumenkohlblättern bzw. -ernterückständen in Abhängigkeit von der Einarbeitungsart (Daten nach SCHARPF und SCHRAGE 1988 und DAUM und SCHENK 1998; beim Mulchen bzw. beim Einbringen in 30/35 cm Tiefe wurde eine Mächtigkeit von 2 cm angenommen)

Die Bodendichte der Umsetzungszone hatte in den Untersuchungen von SCHARPF und SCHRAGE (1988) einen deutlichen Einfluss auf die N-Freisetzung aus den (vermutlich) ca. 15 cm tief eingefrästen Gemüse-ER. Während im ständig gelockerten Boden ($d_B = 1,12 \text{ g/cm}^3$ in 0 bis 15 cm) innerhalb von sieben Wochen 60 % der eingearbeiteten N-Menge mineralisiert wurde, waren es bei dem 'normalen' Boden ($1,35 \text{ g/cm}^3$) 40 %, beim verdichteten Boden ($1,53 \text{ g/cm}^3$) nur 30 %.

In einem zusätzlich durchgeführten Brutversuch zeigte eine 15%ige Bodenverdichtung nur unter feuchteren Bodenbedingungen negative Effekte, vermutlich trat hier auch eine Denitrifikation auf. In den Versuchen von DAUM und SCHENK (1998) hatte die Art der Einarbeitung der Blumenkohl-ER (in 35 cm Bodentiefe, 0 bis 35 cm, gemulcht) bei 15 °C Bodentemperatur keinen Einfluss auf die Höhe der gasförmigen N-Verluste (N_2O , N_2), die hier generell bei ca. 50 kg N/ha bzw. rund 20 % der eingearbeiteten N-Menge lagen

2.2.4 N-Freisetzung aus Wirtschaftsdüngern

Ergebnisse von Dauerversuchen mit landwirtschaftlichen Kulturen belegen eine N_{ges} -Ausnutzung aus Rinderstallmist im Bereich von 25 bis 40 %, bei langer Vegetationszeit bis annähernd 50 % der ausgebrachten N-Menge (Zusammenfassung bei STURM et al. 1994). Bei einmaliger Anwendung von Stapel- bzw. Laufstallmist kann nach FAL/RAC (2001) im Ackerbau nur mit einer 15- bzw. 20%igen N-Freisetzung im Anwendungsjahr gerechnet werden.

Wird regelmäßig (alle zwei bis drei Jahre) Stallmist ausgebracht, so wird auch hier eine N-Freisetzung im Bereich von rund 25 bis 40 % von N_{ges} angenommen. Diese ergibt sich aus der N-Verfügbarkeit im Anwendungsjahr und durch die Nachwirkung vorheriger Stallmistgaben. Das Düngungs-Expertensystem "N-Expert II" (FINK et al. 2000) kalkuliert kurzfristig nur mit dem mineralischen N-Anteil des Mistes, der wie Mineraldünger-N angerechnet wird. Die langfristige Wirkung des Stallmistes wird beim Mineralisierungspotential des Bodens berücksichtigt.

Pferdemist (150 kg N_{ges} /ha, C/N = 15) setzte bei einem Versuch von MITTMANN et al. (1994) innerhalb einer Vegetationsperiode nur unbedeutende N-Mengen frei. Auch im Folgejahr wurde praktisch kein N freigesetzt. Ebenso fanden auch BLOOM et al. (2001) in Brutversuchen nur unbedeutende N-Nachlieferungen aus Pferdemist (C/N = 14).

Bei Rindergülle kann auf Grund des hohen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteils am N_{ges} mit einer deutlich höheren N-Verfügbarkeit gerechnet werden. So sind bei verlustarmer Ausbringung und langjähriger Gülledüngung nach LAURENZ (1992, zit. in FRÜCHTENICHT et al. 1993) bei Hackfrüchten Mineraldüngeräquivalente von 80 % des N_{ges} -Gehaltes kalkulierbar. Bei einer angenommenen 80- bis 90%igen langfristigen Ausnutzung von Mineraldünger-N entsprechen diese einer N-Ausnutzung von 64 bis 72 %.

ZERULLA und HÜTHER (1992, zit. in STURM et al. 1994) kamen bei der Zusammenfassung mehrjähriger Versuche zu dem Schluss, dass die Gesamtausnutzung meist unter 50 % liegt. Allerdings handelte es sich bei den Versuchen zumeist nicht um solche Flächen, bei denen durch "langjährige Gülledüngung die Zufuhr und der Abbau des organisch gebundenen N im Gleichgewicht lag", so dass die Ausnutzung um einige Punkte höher ausfallen könne (STURM et al. 1994). Nach FAL/RAC (2001) kann im Ackerbau mit einer N-Verfügbarkeit von 45 % im Anwendungsjahr gerechnet werden. Bei regelmäßiger Anwendung (alle zwei bis drei Jahre) liegt die Ausnutzung bei 50 bis 60 %. "N-Expert II" (FINK et al. 2000) kalkuliert kurzfristig wiederum nur mit dem mineralischen N-Anteil des Düngers.

In einem Gefäßversuch mit Weidelgras (insgesamt sechs Schnitte) wurde bei mit ^{15}N -markierter Rindergülle eine N-Wiederfindung von 41 % ermittelt. Die vorherige Bewirtschaftung (rein mineralisch bzw. ökologisch mit Rindermist) hatte keinen Einfluss auf die N-Wiederfindung (LANGMEIER et al. 2000).

Gemüse-Feldversuche zur Ertragswirksamkeit von im ökologischen Landbau zugelassenen Wirtschaftsdüngern liegen nur in geringer Zahl vor. WEIER (1989/135) erzielte bei Spinat mit Gaben von abgelagertem Pferdemist in Höhe von 120 bzw. 170 kg N_{ges} /ha Ertragssteigerungen von 38 bzw. 46 %.

Auf einer Dauerversuchsanlage mit jährlichen Stallmistgaben in Höhe von 0/300/600 dt/ha zeigten sich bei Möhren (RÜHLMANN und GEYER 1991/111), Einlegegurken (RÜHLMANN 1992/79) und Knollensellerie (RÜHLMANN und GEYER 1993/191) Ertragszuwächse von rund 40 % (300 dt Stallmist/ha) bzw. 60 bis 100 % (600 dt/ha). Allerdings ist bei diesem Ergebnis zu berücksichtigen, dass in der ungedüngten Kontrollvariante durch die in diesem Versuch durchgeführte ständige Abfuhr der Ernterückstände (mündl. Auskunft RÜHLMANN 2001) nur geringe Erträge realisiert wurden.

In einer Kastenparzellenanlage mit Sand-, Lößlehm- und Auenlehm Boden konnten durch Stallmistgaben von 300 bzw. 600 dt/ha (Herbstausbringung, zweimal innerhalb der 5-jährigen Fruchtfolge) nur Ertragszuwächse von durchschnittlich 6 % gegenüber der ungedüngten Variante beobachtet werden, während Mineraldüngergaben Ertragssteigerungen von 120, 70 bzw. 50 % bewirkten (GEYER et al. 1998).

2.2.5 N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern

Zur N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern liegen bisher in erster Linie nur Ergebnisse aus Brut- und Gefäßversuchen vor. Die dabei ermittelte Netto-Mineralisation lag zu meist deutlich unter 60 % der eingearbeiteten N_{ges} -Menge (Abbildung 11). Rizinus und Hornprodukte zeigten mit knapp 50 % ähnlich hohe N-Freisetzungen, die ebenfalls mehrfach untersuchten Ackerbohnen- und Erbsenschrote mineralisierten mit rund 35 % von N_{ges} nur rund 70 % der N-Menge der 'Standarddünger'.

Auch FISCHER (2000), der die Bebrütung (15 °C) auf ein Jahr ausdehnte, stellte im Mittel nur eine 55%ige N-Freisetzung fest. Bei zum Teil ähnlichem Mineralisierungsverlauf waren die Umsetzungen bei Hornmehl, Rizinus- und Ackerbohenschrot bereits nach 8 bis 12 Wochen weitgehend abgeschlossen.

KOLLER et al. (2001) stellten bei Ackerbohnen- und Erbsenschrot eine langsamere Umsetzung als bei Hornmehl sowie Kartoffel- und Maisprotein fest, Lupinenschrot und auch Rizinus-Pellets nahmen eine Mittelstellung ein. Bei 25 °C Bebrütungstemperatur waren aber nach acht bis zehn Wochen bei allen Düngern die Umsetzungsprozesse offensichtlich weitgehend abgeschlossen. Bei Brutversuchen (25 bzw. 8 °C) von BRAUN (1999) sowie KALAUCH und LABER (1999) war nach fünf bzw. acht Wochen das Maximum der N-Freisetzung erreicht. Aber auch bei BRAUN (1999) zeigte Erbsenschrot mit rund fünf Wochen Mineralisationszeit eine langsamere Umsetzung als Hornmehl sowie Ackerbohnen- und Rizinusschrot, bei denen bereits nach drei Wochen die maximale N-Freisetzung festgestellt wurde.

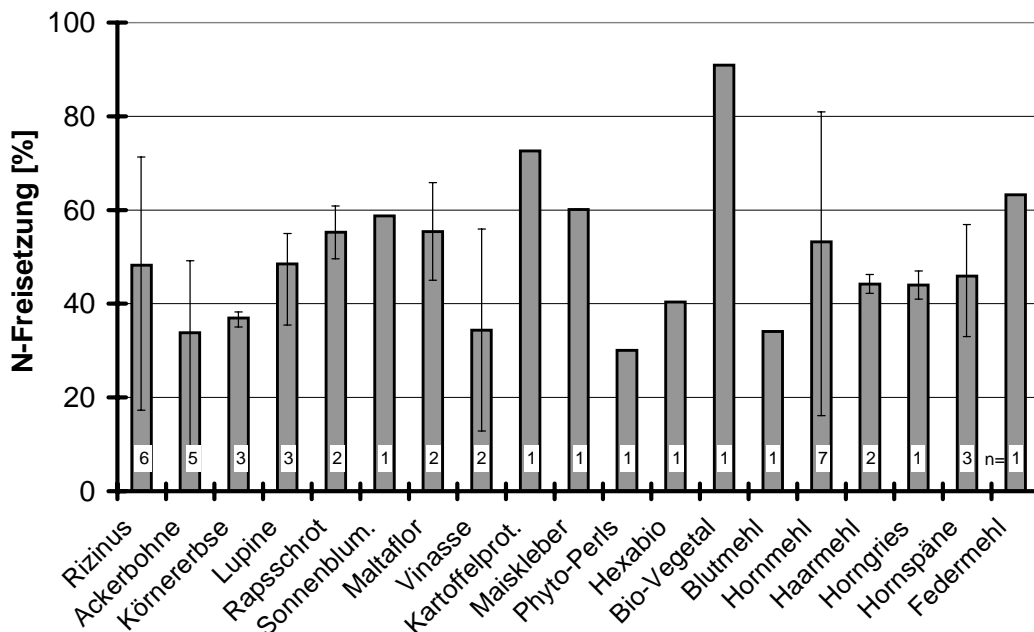


Abbildung 11: Durchschnittliche N-Freisetzung (I = Spannweite) aus verschiedener organischen Handelsdüngern in Brut- und Gefäßversuchen (Daten nach BRAUN 1999, KALAUCH und LABER 1999, SCHMITZ et al. 2000, FISCHER 2000, SCHMITZ und FISCHER 2001, SCHMIDT et al. 2001 sowie KOLLER et al. 2001)

Bei SCHMITZ und FISCHER (2001), die einen Brutversuch (15 °C) mit Bio-Pressstopferde durchführten, verliefen die Umsetzungen sowohl von Horn- und Haarmehl, Phyto-Perls sowie Vinsasse, als auch Raps-, Lupinen- und Erbsenschrot relativ ähnlich und waren nach rund sechs Wochen abgeschlossen. Nur bei Bio-Vegetal und Guano zeigte sich bereits nach einer Woche ein Großteil der N-Freisetzung. Die in der Praxis häufig geäußerte Vermutung einer schnellen Anfangswirkung von Vinsasse deutete sich damit nicht an. Auch Brutversuchsergebnisse (25 °C) von SCHMIDT et al. (2001) sprechen nicht für diese Vermutung.

KALAUCH et al. (2001) ermittelten die N-Freisetzung aus Leguminosen- und Rizinus-schrot durch Bestandsanalyse in einem Feldversuch mit Spinat. Während der Kulturzeit von 63 Tagen wurden aus Ackerbohnschrot rund 32 %, aus Lupinenschrot (weiß/gelb) 37 % und aus Rizinusschrot 64 % der eingearbeiteten Menge (140 bzw. 210 kg N_{ges}/ha) freigesetzt.

SCHMITZ et al. (2000) und FISCHER (2000) untersuchten bei ihren Brut- und Gefäßversuchen auch den **Einfluss der Bodenart** auf die Mineralisierung von Hornprodukten sowie Rizinus- und Ackerbohnschrot. Dabei zeigten Lehmböden eine um durchschnittlich 11 %-Punkte (- 8 bis 26 %) höhere Mineralisation als Sandböden. FISCHER (2000) testete darüber hinaus auch den Einfluss der vorherigen Bewirtschaftung auf die N-Freisetzung aus Hornmehl und -spänen. So wurde bei einem Lehmboden, der bereits mehrmals mit Hornprodukten gedüngt worden war (Ökoanbau), eine um 17 bzw. 8 %-Punkte höhere N-Freisetzung als bei einem bisher rein mineralisch gedüngten Boden vom benachbarten Standort festgestellt.

Mit zunehmender **Vermahlung** der Produkte ist eine schnellere Umsetzung zu erwarten. So zeigte Hornmehl in den Brutversuchen (25 bzw. 10 °C, 15 °C) von SCHMITZ et al. (2000) und FISCHER (2000) eine schnellere, zumeist auch höhere N-Freisetzung als Hornspäne (Ø 5 %-Punkte). Während die Umsetzung bei Hornmehl nach 8 bis 12 Wochen weitgehend abgeschlossen waren, war beim Versuch von FISCHER (2000) das Maximum der N-Freisetzungen aus Hornspänen zum Teil auch noch nach 30 Wochen nicht ganz erreicht.

Auch in einem Gefäßversuch mit Weidelgras nahm die N-Ausnutzung mit zunehmender Vermahlung von Hornspänen (5 bis 7 mm) über Horngries (0,7 bis 5 mm) nach Hornmehl (< 0,7 bzw. < 0,01 mm) zu. Sehr grobe Hornspäne (7 bis 12 mm) führten aber wiederum zu ähnlichen

Ergebnissen wie Horngries (SCHMITZ et al. 2000). Bei Versuchen von LINDNER (1992/94, 1993/213), WEßLING et al. (1994/62) sowie WONNEBERGER und MELZER (1994/63) mit verschiedenen Gemüsearten ergaben sich keine eindeutigen Ertragsunterschiede zwischen Hornmehl und Horngries. In einem Brutversuch (25 °C) mit Körnerleguminosenschroten zeigten feinvermahlene Lupinen höhere Mineralisationsraten als grobvermahlene. Bei Ackerbohnen und Erbsen trat dieser Unterschied nur tendenziell bzw. nicht auf (BRAUN 1999).

Der Einfluss einer **Wärmebehandlung** von Hornspänen auf die N-Freisetzung wurde von SCHMITZ und FISCHER (1994) untersucht; Unterschiede zwischen gedämpften und unge-dämpften Horndünger wurden in dem Gefäßversuch nicht festgestellt. Auch in einem Brutversuch (8 °C) konnte keine schnellere N-Freisetzung bei geröstetem (1 h bei 80 °C) im Vergleich zu unbehandeltem Ackerbohnschrot festgestellt werden (KALAUCH und LABER 1999). Ein Toasten (Heißdampfbehandlung, siehe PRESTELE und MAYNC 2000) von Ackerbohnen- und Erbsenschrot führte auch bei Feldversuchen mit Knollenfenchel nicht zu Ertragsvorteilen gegenüber den unbehandelten Kontrollvarianten (PRESTELE 1998/86-88, 1999/60).

Hinsichtlich der **Düngerformulierung** stellte PETER (1999c) bei einem pelletierten Dünger auf Fleischmehlbasis eine langsamere Mineralisation als bei der unpelletierten Mehlfest. In einem Versuch mit Blumenkohl war der Ertrag bei einer Pelletierung tendenziell geringer (PETER 1999a). Dagegen stellte PRESTELE (1997/14/15, 1998/87/88, 1999/60) in Versuchen mit Blumenkohl und Knollenfenchel keine wesentlichen Unterschiede zwischen 2/4 mm groß pelletiertem bzw. unpelletiertem Rizinus und grobem/feinem Granulat von Maltaflor fest.

Feldversuche, die die Ertragswirksamkeit der verschiedenen organischen Handelsdünger miteinander vergleichen, liegen in großer Zahl vor (Abbildung 12). Während die Horn- und Haarprodukte im Mittel (bei relativ geringer Streubreite) das gleiche Ertragsniveau wie die "Standardvariante" Rizinus zeigten, lagen Ackerbohnen-, Erbsen und Lupinenschrot sowie Rapsextraktionsschrot und Hexabio im Mittel leicht darunter. Hier zeigten sich im Einzelfall Mindererträge gegenüber den Rizinusvarianten von zum Teil über 40 %.

Versuche zur Wirkung von Wirtschaftsdüngern im Vergleich zu organischen Handelsdüngern liegen praktisch kaum vor bzw. sind auf Grund

nicht bekannter Mengen an ausgebrachtem Wirtschaftsdünger-N nicht systematisch verwertbar. In insgesamt acht Versuchen (WEßLING et al. 1994/62, ALPERS 2000, BRAIG 2001, LEVSEN 2001 und EL KHAFIF 2001) kam kein Rizinusdünger zum Einsatz. Hier wurden aber Hornmehl bzw. Haarmehl-Pellets einbezogen, so dass man diese als Standard (= 100 %) setzen kann. Allgemein ergaben sich hierbei keine wesentlichen Abweichungen von den in Abbildung 12 aufgezeigten Ergebnissen. Lupinenschrot zeigte allerdings im Mittel von fünf Versuchen mit 116 % (95 bis 111 bzw. 174 %) ein deutlich besseres Ergebnis. Lässt man den "Ausreißer" von 174 % außer Acht (LEVSEN 2001), so liegt das durchschnittliche Ertragsniveau bei 102 % der Horn- bzw. Haarmehlvarianten. Vinasse zeigte im Mittel von zwei Versuchen 97 % des Ertrages von Horndüngern. Bei einem Porreeversuch von LINDNER (1999/131) konnte der Ertrag der Vergleichsvariante Maltaflor nicht erreicht werden.

LINDNER (1995/29, 1996/152, 1998/193, 1999/205, 2000/156) untersuchte den Einfluss einer **Düngerplatzierung** auf den Ertrag von Blumenkohl, Porree und Sellerie. Im Mittel aller Banddüngungsvarianten (Dünger zur Hälfte bzw. vollständig platziert) wurde ein Mehrertrag von knapp 4 % gegenüber einer breitwürfigen Ausbringung des Rizinus-, Raps- und Acker-

bohnen Schrotes bzw. der Haarmehl-Pellets erzielt. Signifikante Ertragsunterschiede zwischen breit- und platzierter Düngung traten in keinem Fall auf. Auch in einem weiteren Versuch mit Blumenkohl (SLFA 2000/25) zeigten sich keine Ertragsvorteile einer Reihendüngung.

Der Einfluss der **Düngereinarbeitung** auf den Ertrag wurde von MAYNC (2001/55) an Knollenfenchel untersucht. Ertragsunterschiede zwischen einer Variante, bei der die Haarmehl-Pellets nur aufgestreut bzw. eingefräst wurden, ergaben sich nicht. Allerdings zeigte die Düngung generell in dem Versuch keine Ertragswirkung.

Eine **Aufteilung der Düngung** in Grund- (60 %) und Kopfdüngung (40 %, ca. sieben Wochen nach der Pflanzung) wurde von SCHNEIDER (1995) bei Porree und Sellerie untersucht. Bei beiden Kulturen zeigte die Düngung in Teilgaben zumeist deutlich höhere Erträge als die alleinige Ausbringung zur Pflanzung.

Mögliche Ursachen für diesen Effekt wurden nicht diskutiert. In einem Versuch von MAYNC (2001/29) mit Blumenkohl führte eine Aufteilung (ca. 30 % zur Pflanzung, 70 % zur Kopfdüngung) zu einer geringfügigen Ertragseinbuße.

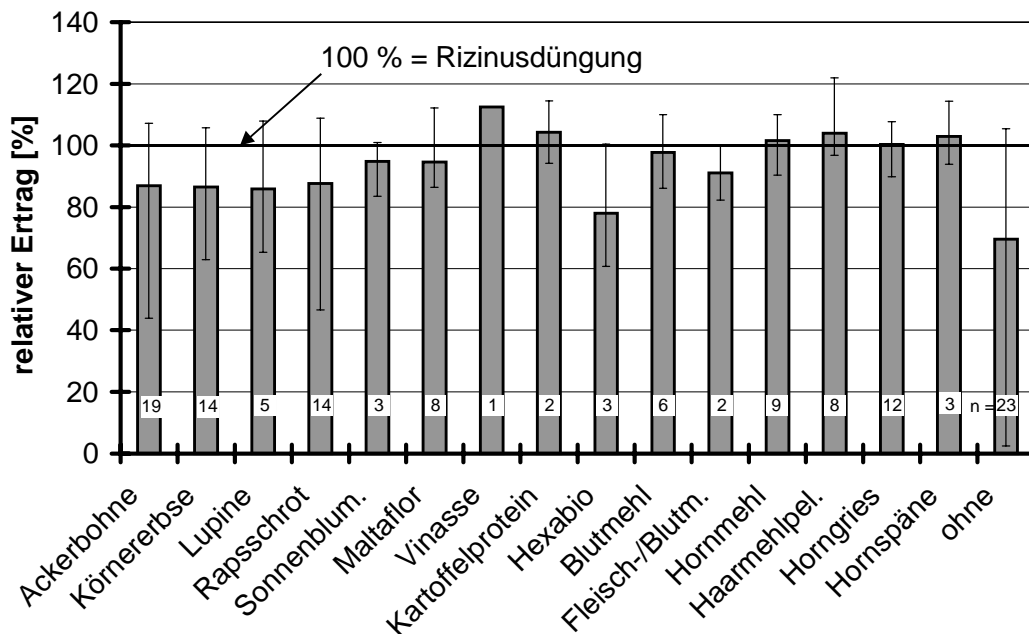


Abbildung 12: Relative Erträge (Rizinusvarianten = 100 %) bei Anwendung verschiedener organischer Düngemittel im Gemüsebau (I = Spannweite, Daten nach den im Literaturverzeichnis mit "\$" markierten Quellen)

Wie aus Abbildung 12 ersichtlich, wurde durch eine Düngung mit Rizinusschrot nicht immer ein Mehrertrag gegenüber der Variante "ohne" Düngung erzielt. Auch in der Gesamtheit der

vorliegenden Düngersteigerungsversuche wurde die Düngung relativ häufig nicht im zu erwartenden Maße ertragswirksam (Abbildung 13, Abbildung 14 und Abbildung 15).

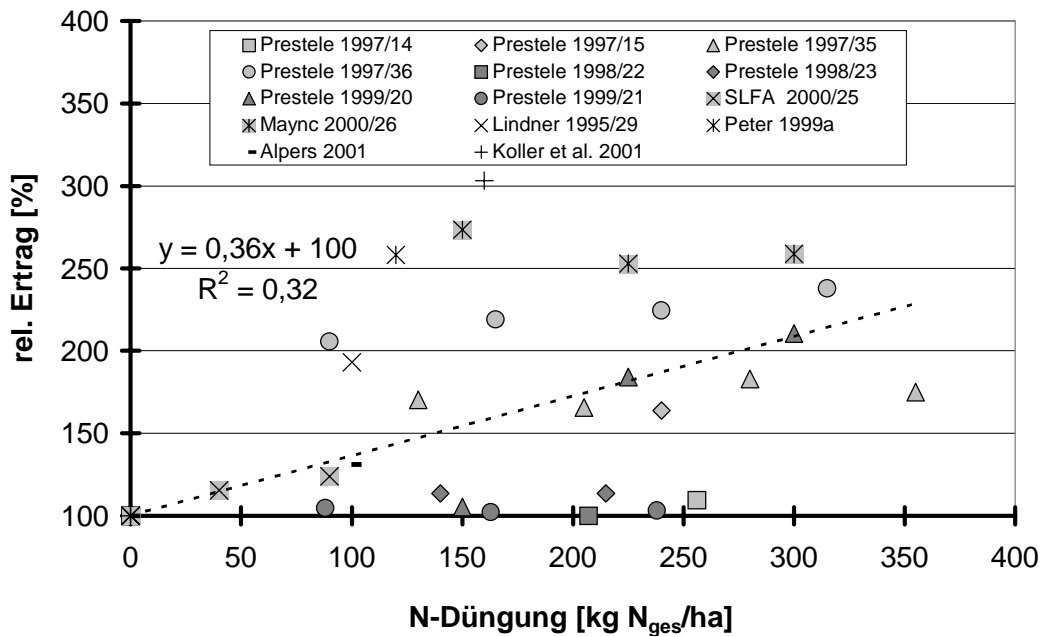


Abbildung 13: Relative Erträge von Blumenkohl (ohne Düngung = 100 %) in Abhängigkeit von der N-Düngung in Form von Rizinus, Hornmehl oder Haarmehl-Pellets

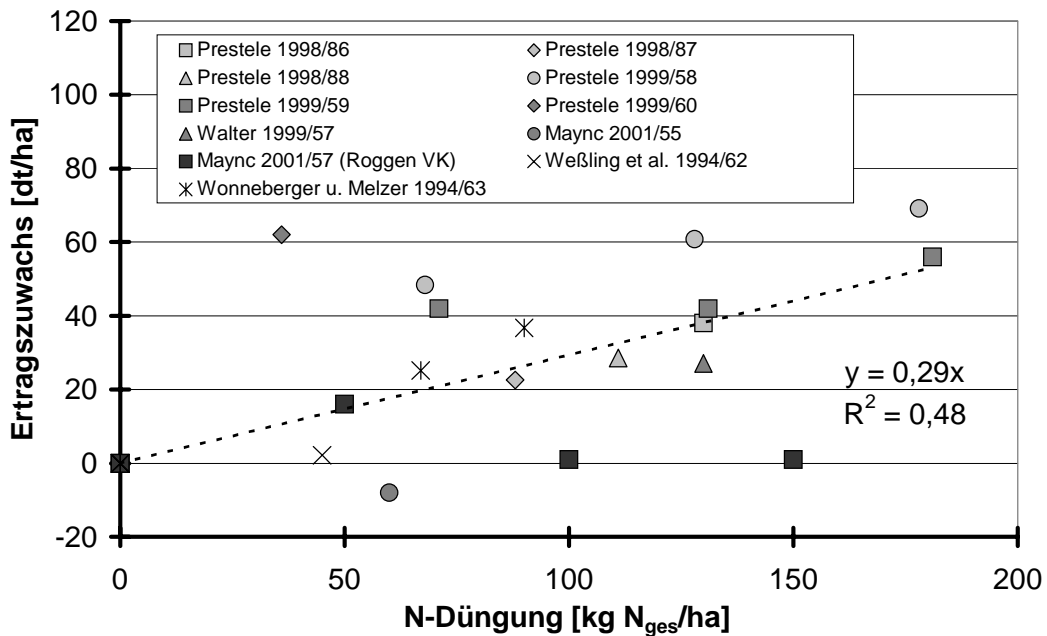


Abbildung 14: Ertragszuwachs (Marktware) von Knollenfenchel (ohne Düngung = 0) in Abhängigkeit von der N-Düngung in Form von Rizinus, Hornmehl oder Haarmehl-Pellets

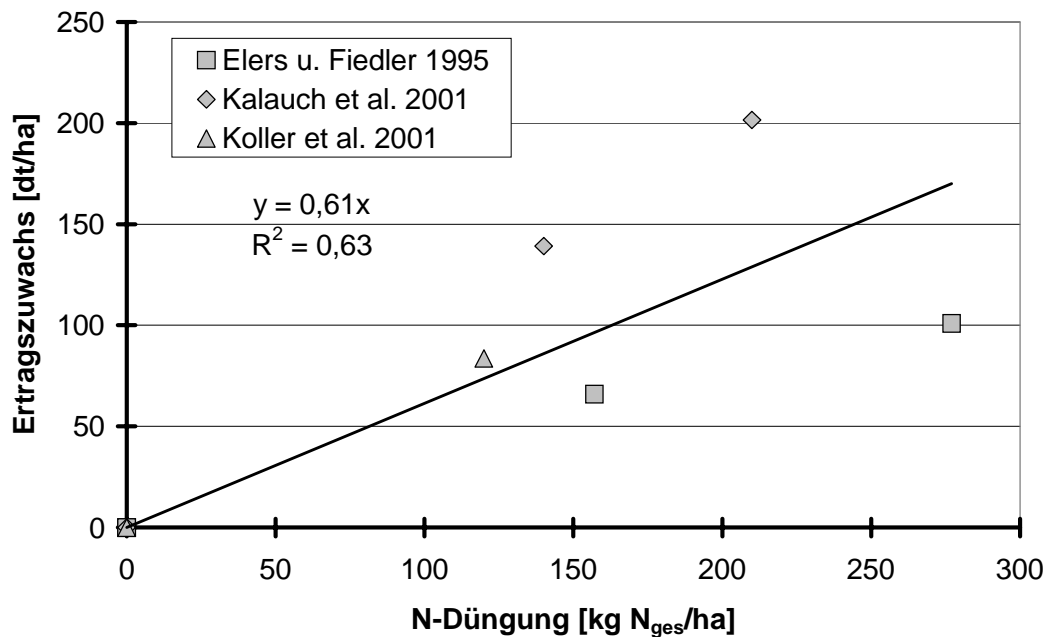


Abbildung 15: Ertragszuwachs von Spinat (ohne Düngung = 0) in Abhängigkeit von der N-Düngung in Form von Rizinus bzw. Hornmehl (bei der Umrechnung des FM-Aufwuchses bei KALAUCH et al. 2001 auf FM-Ertrag wurde ein ER-Anteil von 40 % angenommen)

Dieses wäre bei ausreichendem N-Angebot in der jeweils ungedüngten Variante verständlich, die angegebenen Ausgangsvoraussetzungen (ggf. eingearbeitete Gründüngung, N_{\min} -Vorrat) lassen, mit Ausnahme des Versuches von PRESTELE (1999/21), aber eher auf eine suboptimale N-Versorgung schließen, so dass die Ursache für die zum Teil beobachtete fehlende Düngewirkung offen bleibt. Die generell geringen Ertragssteigerungen bei Knollenfenchel sind möglicherweise methodisch bedingt, da der Fenchel aus Qualitätsgründen bei den Versuchen von PRESTELE und MAYNC sehr frühzeitig geerntet werden musste und sich somit Düngewirkungen möglicherweise nicht abzeichnen konnten (mündl. Auskunft MAYNC 2001).

2.3 Wechselwirkungen zwischen N-Angebot und Sorte

Für den Bereich des ökologischen Gemüsebaus mit dem zumeist limitierten N-Angebot werden Sorten gefordert, die auch unter diesen Bedingungen zufriedenstellende Erträge und Qualitäten liefern (LINDNER 1994). Als wesentlich wird hier neben der Resistenz bzw. Toleranz gegenüber Schaderregern die Fähigkeit herausgestellt, "mit einem geringen Nährstoffangebot auszukommen" (KELLER et al. 1998)

bzw. ein effizientes Nährstoffaufnahmevermögen zu besitzen (GYSI et al. 1999). Neben einer effizienten Nährstoffaufnahme ist nach BECKER (1993) die Verwertungseffizienz eine weitere wesentliche Eigenschaft nährstoffeffizienter Sorten (nach der von BECKER verwendeten Definition Genotypen, die bei suboptimalem Nährstoffangebot überdurchschnittliche Erträge erbringen, vgl. auch Abbildung 16).

Ergebnisse von Sortenversuchen unter ökologischen Anbaubedingungen liegen mittlerweile für eine größere Anzahl von Gemüsearten vor. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass im Allgemeinen Standardsorten des konventionellen Anbaus (zumeist F_1 -Hybriden bei den entsprechenden Gemüsearten) auch beim Öko-Anbau die besten Ertragsergebnisse zeigten (vgl. Tabelle 12).

Bei einem Vergleichsanbau von Tomaten-, Gurken- und Melonensorten unter ökologischen bzw. konventionellen Anbaubedingungen zeigten "autochthone" Sorten bei ökologischem Anbau allerdings höhere Erträge als "moderne" Sorten, die nach Ansicht der Autoren (JANI und HALLIDRI 2000) eine geringere Resistenz gegen biotische und abiotische Stressfaktoren aufweisen. Unter konventionellen Anbaubedingungen erzielten die "modernen" Sorten die höheren Erträge.

Bei den vorliegenden Sortenversuchen wurde zumeist nur eine "praxisübliche" organische Düngung verabreicht. Düngersteigerungsversuche, die Aussagen über die Wechselwirkung zwischen Sorte und Düngungsniveau (organisch) erlauben, liegen bisher nur von ELMERS und FIEDLER (1995a) für Brokkoli vor, die neben einer mit Rizinusschrot gedüngten Variante (vermutlich 300 kg N_{ges}/ha) auch eine ungedüngte Variante (nur Klee gras-Vorkultur) in den Sortenversuch einbezogen. Allerdings brachte keine der getesteten Hybriden in der ungedüngten Variante nennenswerte Erträge.

Zur N-Effizienz einiger Blumenkohlsorten liegen Ergebnisse von RATHER (1999) unter konventionellen Anbaubedingungen vor. Eine der Sorten erzielte dabei unter N-limitierenden Bedingungen (keine Düngung) zum Teil einen deutlich höheren Anteil an Köpfen der Qualitätsklasse 1 als die anderen beiden getesteten Sorten. Diese "N-effiziente" Sorte zeigte allerdings auch bei optimaler N-Versorgung mit die besten Qualitäten. Auch beim mittleren Blumen gewicht verhielt es sich in drei von vier

Versuchen so, dass die Sorte mit dem besten Ergebnis unter N-limitierenden Bedingungen auch "Spitzenreiter" bei optimaler N-Versorgung war. In zwei Fällen zeigten die unter beiden N-Versorgungs-Niveaus besten Sorten auch die deutlichste Ertragsreaktion (Blumengewicht) auf das steigende N-Angebot.

HEUBERGER und SCHNITZLER (1993), ELMERS (1999) und GYSI et al. (1999) untersuchten den Einfluss der Saatgutherkunft (konventionell/Öko-Qualität) auf den Ertrag von Kopfsalat und Knollensellerie. Mit Ausnahme der Versuche von HEUBERGER und SCHNITZLER, die mit Saatgut konventioneller Herkunft deutlich höhere Erträge als bei Öko-Saatgut erzielten, traten keine signifikanten Unterschiede auf.

GYSI et al. (1999) führten ihre Versuche darüber hinaus mit unterschiedlichen Düngeformen (mineralisch/organisch) und -niveaus durch. Wechselwirkungen zwischen der Saatgutherkunft und diesen Faktoren wurden ebenfalls nicht festgestellt.

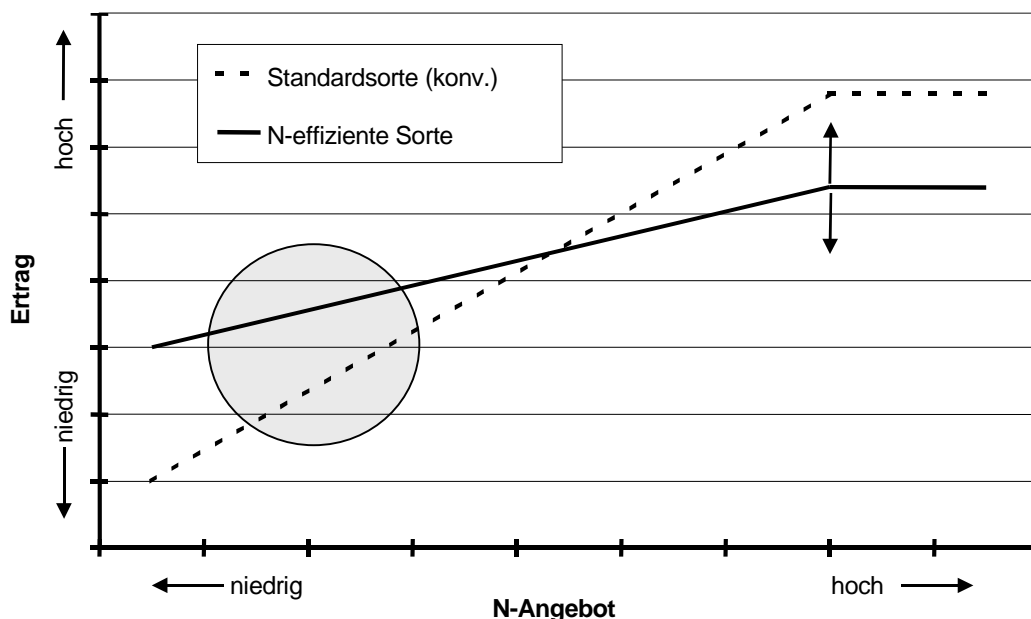


Abbildung 16: Mögliche Reaktionen einer konventionellen Standardsorte und einer N-effizienten "Öko-Sorte" auf ein limitiertes N-Angebot (schematisch)

Tabelle 12: Ergebnisse von Sortenversuchen mit verschiedenen Kohlarten (Öko-Anbau)

Art	beste Sortengruppe	Sortengruppe mit deutlichem Ertragsabfall	Quelle	
Blumenkohl	Hybridsorten	samenechte Sorten	LINDNER 1992/13	
	Hybridsorten	samenechte Sorten	LINDNER 1993/7	
	„früh	Hybrid- u. samenechte Sorten	alte Sorte (Öko-Qualität)	KELLER et al. 1998
	„Herbst	Hybrid- u. samenechte Sorten	-	
	Hybridsorte	Standard-Hybridsorte	LINDNER 2000/27	
Hybridsorten	alte samenechte Sorte	RASCHER u. SCH. '01/31		
Brokkoli	Standard-Hybridsorten	- ¹	LINDNER 1995/42	
	Hybridsorte	- ¹	ELERS u. FIEDLER '95a	
	Standard-Hybridsorten	- ¹	LINDNER 1996/46	
	Hybridsorten	Standard-Hybridsorte ¹	HAG.-M. u. HAB. '01/37	
Weißkohl	Standard-Hybridsorte	- ²	MATTMÜLLER 1999	
Kohlrabi	Hybridsorten	samenechte Sorten und Standard-Hybridsorte	HAGENDORF-MEHR und HABER 2001/75	
	Standard-Hybridsorten	- ¹	RASCHER u. SCH. '01/76	

1: in dem Versuch waren nur Hybridsorten einbezogen;
 2: alte und spezielle Bio-Sorten (beide Öko-Qualität) zeigten, wie auch andere Hybriden rund 70 % des Ertrages

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

3 Kalkulationsschema zur Abschätzung des N-Angebots

Zur Kalkulation des N-Angebots bzw. zur Düngerbemessung im Gemüsebau lag mit dem KNS-System (LORENZ et al. 1989) ein erstes Kalkulationsschema vor, mit dem die Mineralisierung des Bodenhumuses, von Ernterückständen bzw. Gründüngungen und Stallmist abgeschätzt werden konnte. Als eine Weiterentwicklung dieses Schemas ist das Expertensystem "N-Expert" (FINK et al. 2000) und das tabellarische Werk "Düngung im Freilandgemüsebau" (FINK 2001) anzusehen.

Diese für den konventionellen Gemüsebau entwickelten Kalkulationsschemata zeigen aber im Bereich der für den ökologischen Anbau so wesentlichen organischen Düngung Schwächen. So sind organische Handelsdünger nicht und Gründüngungen nur unzureichend bzw. gar nicht aufgenommen. "N-Expert" erlaubt zwar die Eingabe spezieller (auch organischer) Düngemittel, zeitliche Komponenten der N-Freisetzung aus diesen werden aber nicht berücksichtigt.

Auf Grund dieser Unzulänglichkeiten der verfügbaren Kalkulationshilfen wurde, ausgehend von den in der Literatur vorhandenen Daten, ein Kalkulationsschema für den ökologischen Gemüsebau zusammengestellt, bei dem speziell

die organischen Nährstoffquellen differenzierter betrachtet werden (Tabelle 13). Daneben gehen der N_{\min} -Vorrat der zu berücksichtigenden Bodenschichten (vgl. FINK et al. 2001) und eine angenommene N-Nachlieferung aus der organischen Substanz des Bodens von 5 kg N/ha pro Woche (Mai bis Ende August) bzw. 2,5 kg N/ha pro Woche (März/April, September/Oktobre) in die Kalkulation ein.

Die N-Freisetzung aus Wirtschafts- und organischen Handelsdüngern wurde im Vergleich zu den vorliegenden Literaturdaten relativ hoch angesetzt. Dieser Weg wurde gewählt, um die mit Hilfe dieses Ansatzes errechnete notwendige Düngung nicht praxisunüblich hoch ausfallen zu lassen. Damit bestände die Gefahr, dass dem Kalkulationsschema von der Praxis eine "Überdüngungstendenz" vorgeworfen werden könnte und so wenig Anklang finden würde.*

* Hier ergibt sich eine, wenn auch genau spiegelbildliche Analogie zur "Taktik" bei der Festsetzung von N-Sollwerten für den konventionellen Gemüsebau: Bei Systemen wie z. B. der N_{\min} -Methode (SCHARPF 1991) oder dem KNS-System (LORENZ et al. 1989) musste vermieden werden, dass den Ansätzen eine "Unterdüngungstendenz" nachgesagt werden könnte; entsprechend wurden größere Sicherheitszuschläge einkalkuliert.

Tabelle 13: Kalkulationsansätze zur Abschätzung der N-Freisetzung aus Ernterückständen bzw. Gründüngungen und verschiedenen organischen Düngemitteln

	maximale N-Freisetzung [% von N_{Aufwuchs} bzw. N_{ges}]	Umsetzungszeitraum [Wochen]	Umsatzrate¹ [% von N_{ges} /Woche]
Ernterückstände/ Gründüngungen²	70 (bei $C/N \leq 10$) linear abfallend auf 0 (bei $C/N \geq 20$)	8	8,8 (bei $C/N \leq 10$)
Stallmist (Rind)	40	20	2,0
Rindergülle	70	12	6,8
Rizinus, Haarmehl-Pellets, Maltaflor, Lupinenschrot, Vinasse	60	8	7,5
Ackerbohnschrot	45	8	5,6

1: in der Zeit von Anfang Mai bis Ende August. Im März/April sowie September/Oktober Umsatzraten halbiert, von November bis Ende Februar keine N-Freisetzung;

2: vgl. Abbildung 8

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Sachliche Gründe für die Annahme relativ hoher N-Freisetzungen sind, dass die Anwendung von Wirtschaftsdüngern in der Praxis im Allgemeinen "regelmäßig" erfolgt und so die Folgewirkungen mit zu berücksichtigen sind (vgl. Kap. 2.2.4). Bei den organischen Handelsdüngern spiegeln die vorliegenden Brut- und Gefäßversuche zur N-Freisetzung zudem möglicherweise nicht vollständig die tatsächlichen Gegebenheiten "im Feld" wieder. So lag die von KALAUCH et al. (2001) im Feldversuch gemessene N-Freisetzung aus Rizinusschrot mit 64 % deutlich über der in den meisten Brutversuchen ermittelten Mineralisation (vgl. Abbildung 11). Entsprechend der in den Brutversuchen festgestellten geringeren N-Freisetzung aus Ackerbohnschrot wurde für diesen Dünger nur 75 % des Freisetzungswertes der anderen verwendeten organischen Düngemittel angesetzt.

Bei Stallmist wurde ein Umsetzungszeitraum von 20 Wochen (entspricht unter Berücksichtigung geringerer Umsatzraten im Frühjahr und Herbst in etwa einer Vegetationsperiode) angenommen. Bei Rindergülle wurde diese Periode wegen der zu erwartenden schnellen "Anfangwirkung" auf Grund des NH_4 -N-Gehaltes vereinfachend auf 12 Wochen verkürzt. Entsprechend den Ergebnissen der Brutversuche konnte bei den meisten organischen Handelsdüngern (mit Ausnahme von Hornspänen) mit Umsatzperioden von acht Wochen gerechnet werden.

Für alle Umsetzungsprozesse wurden vereinfachend gleichmäßige Mineralisationsraten im zugrundegelegten Umsetzungszeitraum angenommen (linearer Verlauf). Unter kühleren

Bodenbedingungen (März und April bzw. September und Oktober) geht das Modell von einer Halbierung der Umsatzraten aus, so dass dann erst nach entsprechend längeren Umsetzungsperioden die maximale N-Freisetzung erreicht werden kann. Interaktionen zwischen den verschiedenen N-Quellen wurden nicht angenommen.

4 Material und Methoden

Zur Evaluierung des Kalkulationsschemas wurden auf einer analog den Richtlinien der EU-VO 2092/91 (BMVEL 2001) bewirtschafteten Fläche in Dresden-Pillnitz in den Jahren 1998-2001 Versuche mit Spinat sowie verschiedenen Kohlarten angelegt. Durch unterschiedliche Gründüngungen (Aussaat jeweils im Sommer des Vorjahres) und differenzierte Mengen an ausgebrachten Wirtschafts- und organischen Handelsdüngern wurde das N-Angebot zu den Kulturen variiert (Tabelle 14).

4.1 Versuchsstandort

Das Versuchsfeld befindet sich in südöstlicher Randlage von Dresden 120 m über NN. Der alluviale Boden (Elbe) ist als Parabraunerde anzusprechen. Mit 45 % Sand, 39 % Schluff und 16 % Ton handelt es sich entsprechend der Einteilung der AG BODEN (1996) um einen stark lehmigen Sand (SI4). Nach der Reichsbodenschätzung ist der Boden als L 3 AI mit einer Bodenzahl von 73 klassifiziert.

Die mittlere Jahrestemperatur am Standort beträgt 9,1 °C, die mittleren Jahresniederschläge liegen bei 668 mm.

Tabelle 14: Übersicht über die Düngungsvarianten in den Versuchen mit Spinat und verschiedenen Kohlararten

	Spinatversuche	Versuche mit Weiß- und Blumenkohl sowie Brokkoli
Vorkulturen	Ölrettich (abgefahren), Phacelia Perserklee Leguminosen Gemenge	Landsberger Gemenge/ Weidelgras
Düngerart	Rindergülle Haarmehl-Pellets, Maltaflor Vinasse	Rindermist Rizinusschrot Leguminosenschrote
Düngungshöhe	0 - 200 kg N _{ges} /ha	0 - 300 kg N _{ges} /ha

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Die Versuchsflächen waren nach vorheriger obstbaulicher Nutzung langjährig mit Gras bewachsen und extensiv (keine Düngung, kein Pflanzenschutz) gepflegt worden. Im Sommer 1997 wurden die Flächen umgebrochen. Seither werden sie analog den Richtlinien der EU-VO bewirtschaftet. Der P-Gehalt des Oberbodens liegt bei 7 bis 9 mg/100 g Boden (DL-bzw. CAL-Methode) und damit in der Versorgungsstufe C-D, der K-Gehalt je nach Parzelle bei 6 bis 14 mg/100 g Boden (Versorgungsstufe B-C). Der pH-Wert beträgt 6,0 bis 6,9, der Gesamtkohlenstoff-Gehalt liegt bei 1,1 bis 1,5 % (1,9 bis 2,6 % Humus).

4.2 Versuchsprogramm

4.2.1 Versuche mit verschiedenen Kohlararten

Die Versuche dienten neben der Erfassung etwaiger Wechselwirkungen zwischen Düngeneiveau und Sorte in erster Linie der Erfassung der Ertragswirksamkeit von Stallmistgaben im Vergleich zum Standard-Dünger Rizinusschrot. Dabei wurden ab dem Versuchsjahr 1999 die Mistgaben (rund 270 bzw. 540 dt/ha) so bemessen, dass innerhalb einer Düngungsstufe langfristig (20 Wochen) mit der gleichen freigesetzten N-Menge wie bei Rizinusschrot (innerhalb acht Wochen) zu rechnen war. Damit waren bei Blumenkohl und Brokkoli mit ihrer relativ kurzen Kulturzeit Ertragsunterschiede zwischen diesen Düngemitteln zu erwarten. In den Jahren 2000 und 2001 wurde zusätzlich eine Düngung mit Leguminosenschroten und eine ungedüngte Variante in die Versuche einbezogen.

Bei der Auswahl der jeweils vier angepflanzten Sorten wurden neben Standardsorten des konventionellen Anbaus (allesamt F₁-Hybriden) Sorten berücksichtigt, die bereits seit mehreren

Generationen ökologisch vermehrt (ältere samenreife Sorten) bzw. speziell für den ökologischen Anbau gezüchtet wurden (Sorten der Bingenheimer Saatgut AG; Kürzel: BgH). Mit "Candid Charm" wurde eine Blumenkohlsorte einbezogen, die speziell für den Bioanbau bzw. bei verringertem N-Angebot ausgelobt wird (HILD 2001). Als Nichthybride zeigte "Goodman" in vorhergehenden Versuchen gute Leistungen (KELLER et al. 1998).

Die Kulturen standen jeweils nach einem Landsberger Gemenge, das im Juli bzw. August des Vorjahres angesät wurde (Tabelle 15). In den Versuchen 2000 und 2001 entwickelten sich die Leguminosen nur spärlich, so dass zum Umbruchtermin praktisch nur Weidelgras vorhanden war. 2001 wurde am Umbruchtermin in einer Variante ("0×Grün") der Bestand gemäht und das Schnittgut abgefahren (1,08 kg FM/m²). Zurück blieb 0,81 kg Stoppel-FM/m². Das Schnittgut wurde auf den Parzellen der Variante "2×Grün" aufgebracht, so dass hier insgesamt 2,97 kg FM/m² eingearbeitet wurden.

Der Umbruch erfolgte jeweils zwei bis drei Wochen vor der Pflanzung durch ein erstes Fräsen. Der abgelagerte Rindermist wurde einige Tage vor der Pflanzung ausgebracht und direkt anschließend eingefräst (1998, 1999) bzw. mit der Spatenmaschine eingearbeitet. Die Düngerschrote wurden am selben Termin generell nur eingefräst (ab 2000 nach Ausbringung auf den gespateten Boden). Bei den Leguminosenschroten handelte es sich um gequetschtes Material ohne nennenswerten Mehnteil (ähnlich groben Haferflocken). Innerhalb der 40 (1998) bzw. 30 m² großen Düngungsparzellen (Haupteinheit) wurden jeweils vier Sorten gepflanzt (Untereinheit), zu den Rändern der Haupteinheit hin kam jeweils eine Pflanzbreite nicht zur Auswertung. Die Spaltanlagen wurden in 4-facher Wiederholung angelegt.

Zur Kohlfliegenbekämpfung wurden die Kulturen nach der Pflanzung für ca. vier Wochen (2001 bis zur Ernte) mit einem Kulturschutznetz bedeckt. Weitere Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgten bei Bedarf mit für den ökologischen

Anbau zugelassenen Mitteln. Unkräuter wurden durch maschinelles und manuelles Hacken bekämpft, 2000 und 2001 wurde beim letzten Hackgang angehäufelt. Eine Beregnung erfolgte nach Bedarf.

Tabelle 15: Kultur- und Versuchsdaten der Düngungsversuche mit verschiedenen Kohlarten (Varianten-Kürzel entsprechend der fett markierten Anfangsbuchstaben der Dünger bzw. ausgebrachten N-Menge)

	Weißkohl 1998		Blumenkohl '99		Brokkoli 2000		Brokkoli 2001	
Vorkultur	Landsberger Gemenge				Weidelgras ¹		Weidelgras ¹	
Aussaat der VK	30. Juli 1997		6. Aug. 1998		31. Aug. 1999		21. Juli 2000 ²	
Mulchen	21. April 1998		-		20. April 2000		-	
Einfräsen	28. April 1998		7. April 1999		20. April 2000		25. April 2001	
						Stoppel	Blätter	
FM [kg/m ²]	4,10		3,16		3,06		0,81 1,08	
TM [g/m ²]	615 ³		479		540		195 239	
N [% der TS]	3,00 ³		2,72		2,16		1,53 2,20 gesamt: 1,91	
N [% der FS]	0,45 ³		0,41		0,38		0,37 0,49 gesamt: 0,44	
N _{Aufwuchs} [kg N/ha]	185 ³		130		117		30 53 gesamt: 83	
C [% der TS]	40 ³		40 ³		40 ³		40,1 42,8	
C/N-Verhältnis	13		15		19		26 19 gesamt: 22	
N _{min} - 0-30 cm	18		10		11		8	
Vorrat 30-60 cm	38		16		10		6	
Düngung:	% N	kg N_{ges}/ha	% N	kg N_{ges}/ha	% N	kg N_{ges}/ha	% N	kg N_{ges}/ha
RinderMist	0,53	150/300	0,59 ⁴	150/300	0,56	150/300	0,56	150/300
Rizinus ⁵	5,0 ⁶	75/150	5,0 ⁶	100/200	4,58	ohne/ 87/174⁷	5,37 ⁸	0/ 100/200
Ackerbohne					4,06	100		
Lupine, blau							4,48 ⁹	100
Einarbeitung	11. Mai		21. April		4. Mai		3. Mai	
Kulturdaten:								
Pflanzung	15. Mai		29. April		5. Mai		14. Mai	
Abstand [cm]	60 × 50		60 × 50		50 × 50		50 × 50	
Pflanzen/m ²	3,3		3,3		4,0		4,0	
Sorten	Bartolo F ₁ (Bejo) Dottenfelder Hof (BgH) Lennox F ₁ (Bejo) Marner Lagerweiß (BgH)		Candid Charm F ₁ (Hild) Fremont F ₁ (RS) Goodman (Bejo) Neckarperle (BgH)		Earl F ₁ (As) Fiesta F ₁ (Bejo) GB-99-4 (BgH) Marathon F ₁ (Sak)		CB-2000/3 (BgH) Chevalier F ₁ (As) Decathlon F ₁ (Sak) Marathon F ₁ (Sak)	
Ernteparzelle	1,8 × 3,5 m (21 Pflanzen)				1,5 × 2,5 m (15 Pflanzen)			
1. Ernte	-		23. Juni		3. Juli		29. Juni	
Ernteende	15. Sept. ¹⁰		12. Juli		12. Juli		13. Juli	

1: von dem angesäten Landsberger Gemenge entwickelte sich fast ausschließlich nur das Weidelgras; Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
2: Mahd und Abfuhr am 19.9.2000; 3: geschätzt; 4: 0,03 % NH₄-N;
5: 1998-99 als Rizini-Plus, 2000-01 als Rizini-Korn; 6: laut Hersteller;
7: da bei der Düngerberechnung von einem N-Gehalt von 5-5,5 % ausgegangen wurde, wurden nicht wie geplant 100 bzw. 200 kg N_{ges}/ha ausgebracht;
8: 45,0 % C; 9: 43,5 % C;
10: Einlagerung bei 0,5 °C und 93-95 % rel. Luftfeuchte; blockweise Auslagerung am 30. Nov., 6. Jan, 4. Febr. und 24. Febr

4.2.2 Spinatversuche

In den Spinatversuchen sollte die Ertragswirksamkeit verschiedener Gründungs-Vorkulturen in Kombination mit unterschiedlichen Gaben von organischen Handelsdüngern überprüft werden. Außerdem wurde die Wirkung von Gülle mit der von Standard-Handelsdüngern verglichen.

Der Spinat stand nach abfrierenden Leguminosen und Nichtleguminosen sowie überwinternden Leguminosengemengen, die jeweils im Juli bzw. August des Vorjahres angesät wurden

(Tabelle 16 bis Tabelle 19). In den Jahren 2000 und 2001 erfolgte die Ansaat der nichtüberwinternden Leguminosen in Anlehnung an die Praxis ca. 10 Tage vor den anderen Gründungen. Statt des Landsberger Gemenges wurde ein Wicke-Klee-Gemenge angesät, da der Gräseranteil bei der pfluglosen Einarbeitung Durchwuchsprobleme bereitete. Zur Unkrautregulation erfolgten in den Perserkleevarianten generell ein bis zwei Schröpfschnitte. Im Versuchsjahr 1998 wurde der angesäte Ölrettich Ende September abgemäht und entfernt. In den zurückgebliebenen Stoppeln dürften nur noch geringe N-Mengen vorhanden gewesen sein.

Tabelle 16: Kultur- und Versuchsdaten des Spinatversuchs 1998 (Varianten-Kürzel entsprechend der fett markierten Anfangsbuchstaben der Vorkultur, Dünger bzw. ausgebrachten N-Menge)

Vorkultur	Brache (Ölrettich) ¹	Landsberger G.	Perserklee
Aussaat der VK	28. Juli 1997		
Bestimmungen zum Vegetationsende (10. Nov. 1997):			
FM [kg/m ²]	≈ 0	2,22	3,05
TM [g/m ²]	≈ 0	464	624
N _{min} -Rest 0 - 30 cm	19	18	19
[kg N/ha] 30 - 60 cm	16	23	25
Bestimmungen vor dem Einfräsen am 31. März 1998:			
FM [kg/m ²]	≈ 0	2,06	0,59
TM [g/m ²]	≈ 0	415	133
N [% der TS]	-	3,95	3,22
N [% der FS]	-	0,80	0,73
N _{Aufwuchs} [kg N/ha]	≈ 0	164	43
C/N-Verhältnis ²	-	10	12
N _{min} -Vorrat 0 - 30 cm	35	21	40
[kg N/ha] 30 - 60 cm	32	30	58
Düngung:	kg N_{ges}/ha (Einarbeitungstermin)		
Rindergülle (Öko-Qualität) ³	60/120 eingepflügt (16. April)	-	-
Haarmehl-Pellets ⁴	0/60/120	0/60/120	60 durch Hacken oberflächlich in den Boden eingearbeitet (7. Mai)
Kulturdaten:			
Aussaat	22. April		
Abstand	25 cm		
Pflanzen/m ²	166		
Sorte	Ballet F ₁ (RS)		
Ernteparzelle	1,5 × 4,5 m		
Ernte	6. Juni		

1: Aufwuchs am 26. Sept. abgefahren;

2: bei einem angenommenen C-Gehalt von 40 %;

3: 0,31 % N_{ges}, 0,15 % NH₄-N (= 48 % NH₄-N);

4: 13 % N_{ges} (laut Hersteller)

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 17: Kultur- und Versuchsdaten des Spinatversuchs 1999 (Varianten-Kürzel entsprechend der fett markierten Anfangsbuchstaben der Vorkultur, Dünger bzw. ausgebrachten N-Menge)

Vorkultur	Phacelia	Landsberger G.	Perserklee
Aussaat der VK	6. Aug. 1998		
N _{min} -Rest 0 - 30 cm	64		
[kg N/ha] 30 - 60 cm	23		
Bestimmungen zum Vegetationsende (1. Dez. 1998):			
FM [kg/m ²]	3,72	2,24	1,56
TM [g/m ²]	513	374	260
N [% der TS]	2,28	3,44	3,33
N [% der FS]	0,31	0,56	0,57
N _{Aufwuchs} [kg N/ha]	117	124	89
C/N-Verhältnis ²	18	12	12
N _{min} -Vorrat	- ¹	-	-
Bestimmungen vor dem Einfräsen am 7. April 1999:			
FM [kg/m ²]	0,39	3,12	0,83
TM [g/m ²]	177	530	159
N [% der TS]	1,91	3,14	3,81
N [% der FS]	0,86	0,53	0,73
N _{Aufwuchs} [kg N/ha]	34	166	61
C/N-Verhältnis ²	21	13	10
N _{min} -Vorrat 0 - 30 cm	17	13	39
[kg N/ha] 30 - 60 cm	20	14	41
Düngung: kg N_{ges}/ha (Einarbeitungstermin)			
RinderGülle (Öko-Qualität) ³	60/120 eingespatet (9. April)	-	-
Maltaflor (5 % N) ⁴	0/60/120	0/60/120	0/60/120
	durch Hacken oberflächlich in den Boden eingearbeitet (5. Mai)		
Vinasse (65 g N/l) ⁴	60 Kopfdüngung (21. 5.)	-	-
Kulturdaten:			
Aussaat	20. April		
Reihenabstand	25 cm		
Pflanzen/m ²	204		
Sorte	Ballet F ₁ (RS)		
Ernteparzelle	1,0 × 4,0 m		
Ernte	9. Juni		

1: durch einen unerwarteten Wintereinbruch Mitte November konnten keine N_{min}-Proben entnommen werden;

2: bei einem angenommenen C-Gehalt von 40 %;

3: 0,46 % N_{ges}, 0,25 % NH₄-N (= 54 % NH₄-N);

4: laut Hersteller

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 18: Kultur- und Versuchsdaten des Spinatversuchs 2000 (Varianten-Kürzel entsprechend der fett markierten Anfangsbuchstaben der Vorkultur, Dünger bzw. ausgebrachten N-Menge)

Vorkultur	Phacelia	Wicken-Klee ¹	Perserklee	ohne Gründüng.
Aussaat der VK	26. Aug. 1999		16. Aug. 1999	-
Bestimmungen zum Vegetationsende (4. Nov. 1999):				
FM [kg/m ²]	3,48	2,56	1,87	0
TM [g/m ²]	302	332	300	-
N [% der TS]	2,71	3,71	2,87	-
N [% der FS]	0,23	0,48	0,46	-
N _{Aufwuchs} [kg N/ha]	82	123	86	0
C/N-Verhältnis ²	15	11	14	-
N _{min} - 0 - 30 cm	9	19	18	78
Rest 30 – 60 cm [kg N/ha]	7	20	22	40
Bestimmungen vor dem Mulchen und Einfräsen am 20. April 2000:				
FM [kg/m ²]	0,14	1,40	1,68	0
TM [g/m ²]	93	242	253	-
N [% der TS]	1,66	2,43	3,45	-
N [% der FS]	1,10	0,42	0,52	-
N _{Aufwuchs} [kg N/ha]	15	59	87	0
C/N-Verhältnis ²	24	16	12	-
N _{min} - 0 - 30 cm	26	16	11	17
Vorrat 30 - 60 cm	22	24	16	43
60 - 90 cm [kg N/ha]	19	22	21	50
Düngung:	kg N_{ges}/ha (Einarbeitung am 20. April)			
RinderGülle (Öko-Qualität) ³	60/120 eingespatet	-	-	-
Haarmehl-Pellets ⁴	0/60/120	0/60/120	0/60/120	0
	nach dem Spaten aufgebracht, anschließend eingekreiselt			
Kulturdaten:				
Aussaat	8. Mai			- ⁵
Reihenabstand	30 cm (4 Reihen je 1,5 m-Beet)			-
Pflanzen/m ²	172			-
Sorte	Ballet F ₁ (RS)			-
Ernteparzelle	1,2 × 6,0 m (Beetbreite)			-
Ernte	16. Juni			-

1: Winterwicken + Inkarnatklee;

2: bei einem angenommenen C-Gehalt von 40 %;

3: 0,36 % N_{ges}, 0,21 % NH₄-N (= 58 % NH₄-N);

4: 13,80 % N_{ges}, 50,6 % C; da bei der Düngerberechnung zunächst von einem N-Gehalt von 13 % ausgegangen wurde, wurden tatsächlich 64 bzw. 127 kg N_{ges}/ha ausgebracht;

5: die Parzellen wurden durch Hacken und Jäten unkrautfrei gehalten

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 19: Kultur- und Versuchsdaten des Spinatversuchs 2001 (Varianten-Kürzel entsprechend der fett markierten Anfangsbuchstaben der Vorkultur bzw. Dünger)

Vorkultur	Phacelia	Wicken-Klee ¹	Perserklee	Erbsen-Gem. ²				
Aussaat der VK	24. Aug. 2000		15. Aug. 2000					
N _{min} - 0 - 30 cm			32					
Rest 30 – 60 cm			39					
Bestimmungen zum Vegetationsende (13. Nov. 2000):								
				0x	1x	2x		
FM [kg/m ²]	5,52	2,60	1,95	0	2,74	5,49		
TM [g/m ²]	493	424	348	-	336			
N [% der TS]	3,13	3,03	2,97	-	3,53			
N [% der FS]	0,28	0,49	0,53	-	0,43			
N _{Aufwuchs} [kg N/ha]	154	129	103	0	118	237		
C [% der TS]	32,8	29,9	30,6		40,0			
C/N-Verhältnis	10	10	10	-	11			
N _{min} - 0 - 30 cm	14	33	24	26				
Vorrat 30 – 60 cm	15	38	40	30				
Bestimmungen vor dem Mulchen und Einfräsen (4. April 2001):								
			0x	1x	2x	0x	1x	2x
FM [kg/m ²]	0,31	0,28	-	0,76	1,52	0	0,27	0,40
TM [g/m ²]	228	170	-	178	356	-	220	339
N [% der TS]	1,78	1,98	-	2,66	-	1,95	1,97	
N [% der FS]	1,30	1,22	-	0,62	-	1,60	1,66	
N _{Aufwuchs} [kg N/ha]	41	34	0	47	95	0	43	67
C [% der TS]	42,0	23,3	-	30,6	-	29,6	28,9	
C/N-Verhältnis	24	12	-	12	-	15	15	
N _{min} - 0 - 30 cm	32	37	33			20	37	50
Vorrat 30 – 60 cm	47	55	38			40	49	61
60 – 90 cm	-	-	-			-	-	63
Düngung:	kg N_{ges}/ha (Einarbeitung am 2. Mai)							
RinderGülle (Öko-Qualität) ³	100 eingespatet	-	-			-		
Haarmehl-Pellets ⁴	0/100/200	0/100	0	0/100	0	0	0	0
	nach dem Spaten aufgebracht, anschließend eingefräst							
Kulturdaten:								
K-Düngung	200 kg K ₂ O/ha (als Kalimagnesia)							
Aussaat	2. Mai							
Sorte	Ballet F ₁ (RS)							
Reihenabstand	20 cm (6 Reihen je 1,5 m-Beet)							
Pflanzen/m ²	145							
Ernteparzelle	0,8 × 5,0 m (zentrale Reihen der Beete)							
Ernte	13. Juni							

1: Winterwicken + Inkarnatklee;

2: Sommerwicke + Felderbse + Ackerbohne;

3: 0,35 % N_{ges}, 0,22 % NH₄-N (= 63 % NH₄-N);

4: 13,8 % N_{ges}, 50,6 % C

Beim Spinatversuch 2001 wurde zur weiteren Differenzierung der Gründüngung nach Vegetationsende das Erbsen-Gemenge in einer Variante komplett durch Herausziehen entfernt ("0×Erb") und auf den Parzellen der Variante "2×Erb" oberflächlich aufgebracht. Damit befanden sich in dieser Variante 237 kg N_{Aufwuchs}/ha, während sich sonst zum Ende der Vegetationsperiode zumeist rund 100 kg N_{Aufwuchs}/ha auf den Flächen befanden. Ähnlich wurde im Frühjahr vor dem Umbruch bei der Perserkleevariante verfahren. Hierzu wurden die Pflanzen im Bereich des Wurzelansatzes mit einem Messer abgeschnitten.

Entgegen der Erwartung überwinterte der Perserklee in allen Jahren relativ gut, während das Wicken-Klee-Gemenge in beiden Versuchsjahren fäulnisbedingt auswinterte und sich der Bestand insbesondere 2000 überwiegend aus Unkräutern und etwas Klee zusammensetzte. Die Phacelia und das Erbsen-Gemenge froren im Laufe der Winter sicher ab, zurück blieben auf den nahezu unkrautfreien Flächen bis zum Frühjahr nur strohartige Rückstände. Der Umbruch erfolgte zwei bis drei (2001 witterungsbedingt vier) Wochen vor der Aussaat durch ein erstes Fräsen, 2000 und 2001 nach vorherigem Mulchen des Bestandes. Auf den entsprechenden Parzellen wurde Rindergülle mit Hilfe einer Gießkanne ausgebracht und direkt anschließend flach eingefräst. Danach wurde die gesamte Versuchsfläche unter Beachtung der Parzellengrenzen gepflügt (1998) bzw. mit der Spatenmaschine bearbeitet.

Die Haarmehl-Pellets bzw. das Maltaflor (1999) wurden 1998 und 1999 nach dem Auflaufen des Spinates durch Hacken oberflächlich in den Boden eingearbeitet. 2000 und 2001 wurden sie nach dem Spaten der gesamten Fläche ausgebracht und durch Kreiseln bzw. Fräsen in den Boden eingebracht. Im Versuchsjahr 1999 erfolgte ca. 2,5 Wochen vor der Ernte in einer Variante eine Kopfdüngung mit Vinasse. Hierzu wurde der verdünnte Dünger mit einer Gießkanne ausgebracht und anschließend durch eine Beregnung vom Spinatbestand abgewaschen. Die Unkrautbekämpfung erfolgte durch maschinelles und manuelles Hacken, Restunkräuter wurden gejätet. Eine Beregnung erfolgte nach Bedarf.

4.3 Datenerfassung und Analytik

N_{min}-Gehalt des Bodens

Zur Entnahme von Bodenproben zwecks Bestimmung des N_{min}-Gehaltes wurden im Allgemeinen acht Einstiche je Variante (zwei je

Block) mit dem 'Pürkhauer' bzw. mehrteiligen Bohrsätzen vorgenommen. Bei Varianten, bei denen erst im Folgenden eine Differenzierung einsetzte (z. B. Phacelia-Varianten vor der Düngerausbringung) wurden die zwei Proben je Block in zwei verschiedenen Varianten gezogen. Die Mischproben der jeweiligen Bodenschichten wurden homogenisiert, ggf. vorhandenes Skelettmaterial entfernt. Die Analytik erfolgte nach den Vorschriften des VDLUFA (1991), getrennt nach NH₄- und NO₃-N. Bei der Umrechnung der Analyseergebnisse in kg N_{min}/ha wurde eine d_B von 1,35 g/cm³ (0 bis 30 cm), 1,45 g/cm³ (30 bis 60 cm) bzw. 1,50 g/cm³ (60 bis 90 cm) angenommen.

Aufwuchs sowie N- und C-Gehalt der Gründüngungen

Nach Vegetationsende bzw. vor dem Umbruch wurde je Gründüngungsvariante eine Pflanzenprobe von insgesamt 1 m² aus dem Randbereich der Parzellen entnommen. Dazu wurden je Block auf einer Fläche von 50 × 50 cm alle Pflanzen (einschließlich vorhandener Unkräuter) im Wurzelbereich abgeschnitten und ggf. anhaftendes Bodenmaterial entfernt und Gründüngungsrückstände manuell aufgelesen. (Bei den Gründüngungsvarianten, bei denen im Versuchsjahr 2001 eine Abfuhr des Aufwuchses erfolgte, erübrigte sich diese Beprobung, hier wurde der Aufwuchs der gesamten Parzelle bestimmt.)

Nach Feststellung des Frischgewichtes der Mischproben über die Blöcke wurden die Proben (teilweise unter Zuhilfenahme eines Häckslers) homogenisiert. An einer Teilprobe erfolgte durch Trocknung bei 105 °C die Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes. Die Teilprobe wurde anschließend vermahlen und später auf ihren N_{ges}- (Methode nach DUMAS) sowie C-Gehalt (DIN-ISO 10694) hin untersucht.

N- und C-Gehalt der Düngemittel

Aus dem homogenisierten, für den jeweiligen Versuch vorgesehenen Stallmist wurde einige Wochen vor dem Düngetermin eine Probe entnommen und auf ihren Gehalt an N_{ges} hin untersucht. Analog wurde bei der Rindergülle verfahren, hier wurde zusätzlich noch der NH₄-N-Gehalt ermittelt.

Anfänglich erfolgte die Berechnung der Handelsdüngergaben nach den N_{ges}-Angaben der Hersteller, später wurden auch diese zuvor auf ihren tatsächlichen N_{ges}-Gehalt hin untersucht. 2001 wurde zusätzlich der C-Gehalt ermittelt.

Ertragserfassung

Die Ernte der Kulturen erfolgte zum praxisüblichen Zeitpunkt. Bei Blumenkohl und Brokkoli wurden an mehreren Ernteterminen jeweils die Köpfe geschnitten, die die notwendige Größe erreicht bzw. erste Anzeichen einer Qualitätsminderung durch Lockerwerden zeigten (BUNDESSORTENAMT 1995). Beim Weißkohl wurde loses Blattwerk entfernt, Blumenkohl zur objektiveren Erfassung des FM-Ertrages analog einer Ernte für die Verarbeitungsindustrie ohne Umblatt geerntet. Die Brokkoliblume wurde auf eine Gesamtlänge von ca. 19 cm eingekürzt und alle größeren Hochblätter entfernt.

Die Schnitttiefe beim Spinat orientierte sich an der maschinellen Ernte, 2001 wurde der Spinat im Bereich des Wurzelhals abgeschnitten (gesamter Aufwuchs). Bei einem auf einem Randstreifen durchgeführten Test in einer stärker aufgedüngten Variante zeigte sich, dass bei einer 'maschinellen' Ernte rund 44 % des festgestellten Aufwuchses in Form von oberirdischen ER zurückgeblieben wären. (ALT und WIEMANN 1999 ermittelten auf Praxisschlägen einen ER-Anteil von 41 %, LORENZ et al. 1989 bezifferten den Anteil auf 43 %, FINK et al. 2001 auf nur 25 %.)

Insbesondere durch Raupenfraß musste ein Teil des Weißkohles als nicht marktfähig eingestuft werden. Bei Blumenkohl und Brokkoli (2000) wurden gängige Qualitätskriterien angesetzt. 2001 führte beim Brokkoli in erster Linie eine FM von unter 150 g/Blume zur Aberkennung der Marktfähigkeit. Neben der FM wurde beim Spinat zusätzlich der NO_3 -Gehalt in einer repräsentativen Teilprobe aller Wiederholungen einer Variante bestimmt. 2001 erfolgte diese Bestimmung am gesamten Aufwuchs mit seinem praxisunüblichen Blattstielanteil.

Beim Brokkoliversuch 2001 wurde bei der Sorte 'Marathon' zusätzlich zur Blume die FM der oberirdischen Ernterückstände erfasst. Sowohl bei der Brokkolisorte "Marathon" als auch beim Spinat wurde analog der Bestimmung bei den Gründüngungen an repräsentativen Teilproben der TS- und N_{ges} -Gehalt des Erntegutes bzw. zusätzlich der ER ermittelt.

Bestimmung von $\text{N}_{\text{Aufwuchs}}$ während der Kulturzeit

Im Rahmen einer Diplomarbeit (SCHOSTEK 2002) wurden im Spinatversuch 2001 an zwei Terminen vor der Ernte Spinatproben auf Teilflächen der Versuchspartellen entnommen.

Dazu wurden je Wiederholung 2 lfd. m Spinat am Wurzelansatz abgeschnitten (insgesamt 8 lfd. m = 1,6 m²). Analog der Bestimmung bei den Gründüngungen wurde der TS- und N-Gehalt bestimmt.

Berechnung der N-Nachlieferung und der N-Freisetzung

Die Netto-N-Mineralisation aus den verschiedenen N-Quellen ("N-Gewinn") in der Zeitspanne t_0 (N_{min} -Probenahmetermin im Frühjahr) bis t_x wurde wie folgt ermittelt:

$$\text{N-Gewinn}_{(t_x-t_0)} = \text{N}_{\text{min}(t_x)} + \text{N}_{\text{Aufwuchs}(t_x)}^* - \text{N}_{\text{min}(t_0)}$$

*: (soweit vorhanden)

Bei Varianten, bei denen keine weitere (Grün)Düngung erfolgte, entspricht der so berechnete N-Gewinn der **N-Nachlieferung** aus der organischen Substanz des Bodens.

Die **N-Freisetzung** aus Gründüngungen bzw. Düngemitteln ergab sich als Differenz des N-Gewinnes ansonsten identischer Varianten mit bzw. ohne der entsprechenden Düngemittel:

$$\text{N-Freisetzung}_{\text{Düngung}(t_x-t_0)} = \text{N-Gewinn}_{\text{Düngung}(t_x-t_0)} - \text{N-Gewinn}_{\text{ohne Düngung}(t_x-t_0)}$$

4.4 Verrechnung und statistische Auswertung

Die ermittelten Erträge wurden jeweils auf eine Fläche von 1 ha hochgerechnet, wobei etwaige Spurbereiche etc. des vorliegenden Anbausystems nicht berücksichtigt wurden. Damit beziehen sich die angegebenen Ertragszahlen generell auf die Netto-Anbaufläche. Gleiches gilt für Angaben zu $\text{N}_{\text{Aufwuchs}}$.

Die varianzanalytische Auswertung erfolgte in Anlehnung an Modelle von MUNZERT (1992) mit Hilfe entsprechend erstellter Arbeitsblätter des Tabellenkalkulationsprogramms "Excel". Die Irrtumswahrscheinlichkeit α wurde auf $< 0,05$ festgelegt, Mittelwertvergleiche wurden mit Hilfe des t-Tests ausgeführt.

Regressionsanalytische Auswertung wurden ebenfalls mit Hilfe von "Excel" ausgeführt. Dabei wurde bei linearen bzw. exponentiellen Zusammenhängen auf entsprechende Routinen des Programms zurückgegriffen. "Linear Response and Plateau"-Modelle wurden analog dem bei KUZJAKOV et al. (1997) beschriebenen Verfahren angepasst.

5 Ergebnisse

5.1 Versuche mit verschiedenen Kohlar- ten

5.1.1 Weißkohlversuch 1998

Aufgrund eines sehr gut entwickelten Lands-
berger Gemenges mit schätzungsweise 185 kg
N_{Aufwuchs}/ha und relativ hohem N_{min}-Vorrat von
56 kg N/ha wurde je nach Dünge-
stufe ein N-Angebot von 275 bis knapp 330 kg N/ha kalku-

liert (Tabelle 20). Sieben Wochen nach der
Pflanzung (Beginn der Kopfbildung) und zum
Erntezeitpunkt (Tabelle 20) befanden sich in
allen Varianten nur ca. 30 kg N_{min}/ha in der
Bodenschicht 0 bis 60 cm.

Der Gesamtertrag bewegte sich mit zumeist
mehr als 800 dt/ha auf sehr hohem Niveau
(Tabelle 21). Insbesondere durch Raupenfraß
lag der marktfähige Ertrag durchschnittlich um
60 dt/ha niedriger, eine Abhängigkeit von Sorte
oder Düngung konnte nicht beobachtet werden.

Tabelle 20: Kalkuliertes N-Angebot und N_{min}-Rest (nur Sorte 'Lennox', Mittelwerte über die Wiederholungen) beim Weißkohlversuch 1998 (Angaben in kg N/ha)

Variante	N _{min} -Vorrat		N-Nach- lieferung d. Boden	N-Freisetzung aus Grün- düngung	N- Angebot	N _{min} -Rest		
	0-30	30-60				0-30	30-60	
Mist-150	18	38	88	86	50	280	14	12
Mist-300					99	329	18	14
Rizi-75					45	275	19	19
Rizi-150					90	320	21	12

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 21: Gesamt- und marktfähige Erträge sowie Lagerungsverluste beim Weißkohlversuch 1998 (Mittelwerte über die Wiederholungen)

Variante	Mist-150	Mist-300	Rizi-75	Rizi-150	Mittel ¹
Gesamtertrag [dt/ha]:					
Bartolo F ₁	809	838	818	799	816 C
Dottenfelder Hof	892	862	848	913	879 B
Lennox F ₁	929	1001	877	1002	952 A
Marner Lagerweiß	802	888	793	836	830 C
Mittel (GD _(α<0,05))	858 n.s.	897 n.s.	834 n.s.	888 n.s.	(- \ 36)
marktfähiger Ertrag [dt/ha]:					
Bartolo F ₁	740	700	783	685	727 C ²
Dottenfelder Hof	750	789	815	811	791 B
Lennox F ₁	904	909	823	961	899 A
Marner Lagerweiß	747	874	782	807	802 B
Mittel (GD _(α<0,05))	785 n.s.	818 n.s.	801 n.s.	816 n.s.	(- \ 47)
Lagerungsverluste³ [% des Marktertrages]:					
Bartolo F ₁	28	22	25	20	24 BC
Dottenfelder Hof	40	35	39	48	41 A
Lennox F ₁	20	18	18	20	19 C
Marner Lagerweiß	24	29	24	30	27 B
Mittel (GD _(α<0,05))	28 n.s.	26 n.s.	26 n.s.	30 n.s.	(- \ 6,2)

1: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben
unterscheiden sich signifikant;

2: signifikante Wechselwirkung zwischen Düngung und Sorte;

3: Mittelwerte über die Lagerungszeit von bis zu 160 Tagen

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Auffällig waren deutlich höhere Thripsschäden (Verkorkungen) bei der Sorte 'Bartolo', diese wurden allerdings nicht bei der Qualitätseinstufung berücksichtigt (zu Details bezüglich der Qualitäts- und Ertragswerte der Sorten s. LABER 1998/246).

Bei einem im Anschluss durchgeführten Lagerungsversuch zeigten sich düngungsunabhängig deutliche Sortenunterschiede bei den Lagerungsverlusten (Tabelle 21). 'Dottenfelder Hof' und in deutlich abgeschwächter Form 'Marner Lagerweiß' zeigten nach längerer Lagerung deutliche Verluste, die insbesondere durch *Phoma lingam* (Schwarzfärbungen im Bereich des Strunkes und der Blattrippen) verursacht worden sein dürften. 'Bartolo' und insbesondere 'Lennox' waren nahezu befallsfrei.

Die Sorten zeigten einen signifikanten Einfluss auf den Ertrag, wobei 'Lennox' bei allen Düngeneiveaus sowohl den höchsten Gesamt- als auch Marktertrag zeigte. Sortenunabhängige Unterschiede zwischen den Düngervarianten konnten nicht abgesichert werden. 'Lennox' und 'Marner Lagerweiß' reagierten auf ein erhöhtes N-

Angebot mit einer Zunahme des Gesamtertrages, während 'Bartolo' und 'Dottenfelder Hof' praktisch keine Reaktion zeigten (Abbildung 17). Ähnliche, wenn auch lockerere Beziehungen ergaben sich zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem marktfähigen Ertrag. Die Sorte 'Bartolo' reagierte auf das steigende N-Angebot allerdings mit abnehmendem Marktertrag.

Nach den von FINK et al. (2001) veröffentlichten Zahlen liegt der N-Bedarf von Weißkohl-Spätorten bei rund 41 kg N/100 dt Marktertrag. Bei einem N-Angebot von 278 bis 335 kg N/ha hätten somit Erträge von 670 bis 810 dt/ha realisiert werden können. Tatsächlich lagen diese aber um bis zu 200 dt/ha höher, so dass möglicherweise ein noch größeres N-Angebot bestand.

5.1.2 Blumenkohlversuch 1999

Durch geringere N_{min} -Vorräte, einem weniger gut entwickelten Landsberger Gemenge und einer kürzeren Kulturzeit lag das kalkulierte N-Angebot deutlich unter dem des Vorjahresversuchs mit Weißkohl (Tabelle 22).

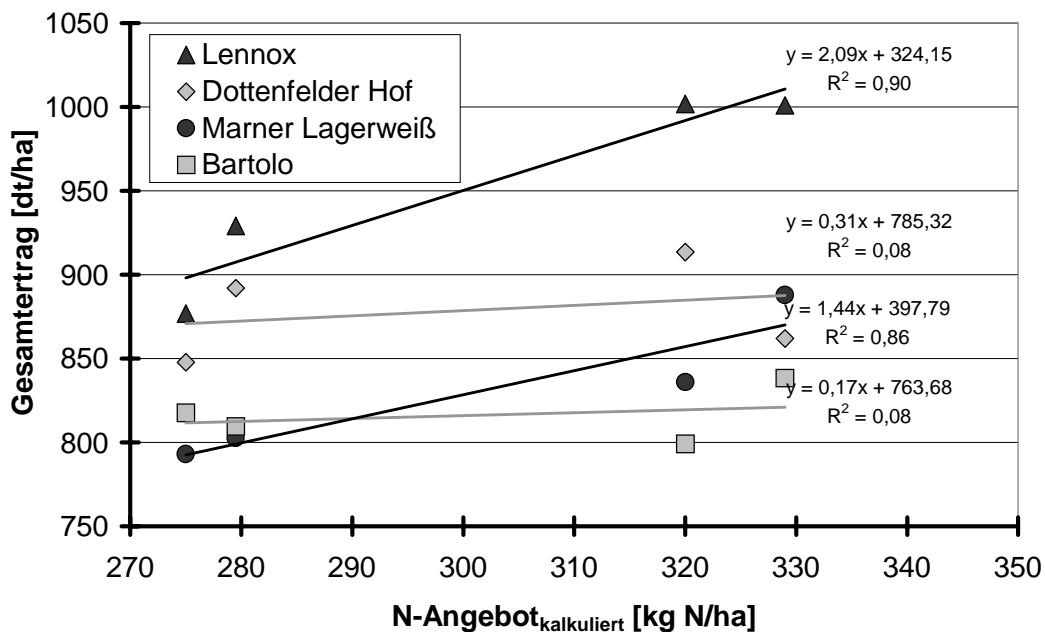


Abbildung 17: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Gesamtertrag der verschiedenen Sorten beim Weißkohlversuch 1998 (Mittelwerte über die Wiederholungen)

Tabelle 22: Kalkuliertes N-Angebot und N_{\min} -Gehalt (nur Sorte 'Fremont', Mittelwerte über die Wiederholungen) bei Bestandesschluss (2. Juni) beim Blumenkohlversuch 1999 (Angaben in kg N/ha)

Variante	N_{\min} -Vorrat		N-Nachlieferung d. Bodens	N-Freisetzung aus Gründüngung	N-Freisetzung aus Düngung	N-Angebot	N_{\min} am 2. Juni	
	0-30	30-60					0-30	30-60
Mist-150	10	16	53	48	29	156	66	23
Mist-300					57	184	72	20
Rizi-100					60	187	82	16
Rizi-200					120	247	97	25

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Durch eine Anhebung der Rizinusdüngung und der geringeren N-Freisetzung aus dem Stallmist infolge der kürzeren Kulturzeit erhöhte sich die Spannweite des N-Angebots auf gut 90 kg N/ha. Knapp fünf Wochen nach der Pflanzung befanden sich in Abhängigkeit vom N-Angebot rund 90 bis 120 kg N_{\min} /ha im Boden. Eine N_{\min} -Probe am Kulturende wurde versäumt.

Mit bis zu 230 dt/ha markfähigem Ertrag bzw. 88 % 6er Köpfen konnte bei der Sorte 'Fremont' eine gute Ertragsleistung realisiert werden (Tabelle 23). Ähnlich hohe Erträge zeigte 'Goodman', während 'Candid Charm' und 'Neckarperle' quantitativ und qualitativ deutlich abfielen (zu Details bezüglich der Qualitäts- und Ertragswerte der Sorten s. LABER 1999/17). Eine Rizinusdüngung führte, wie auf Grund der relativ kurzen Kulturzeit zu erwarten, zu höhe-

ren Erträgen als eine Düngung auf Stallmistbasis. Ertragsunterschiede zwischen den Dünge-stufen konnten nicht abgesichert werden.

Alle Sorten reagierten auf ein steigendes N-Angebot mit zunehmenden Erträgen (keine signifikante Wechselwirkung zwischen Sorte und N-Angebot), wenngleich 'Goodman' und 'Neckarperle' tendenziell geringere Ertragszuwächse als die anderen Sorten zeigten. Die Sorte 'Fremont' realisierte bei allen Dünge-niveaus den höchsten Ertrag (Abbildung 18). Die Beziehung zwischen dem kalkuliertem N-Angebot und dem Ertrag war relativ eng, so dass die relative Ertragswirksamkeit der eingesetzten Düngemittel mit dem Kalkulationsansatz relativ gut beschrieben wurde (Abbildung 19).

Tabelle 23: Marktfähige Erträge und Anteil 6er Köpfe beim Blumenkohlversuch 1999 (Mittelwerte über die Wiederholungen)

Variante	Mist-150	Mist-300	Rizi-100	Rizi-200	Mittel*
marktfähiger Ertrag (ohne Umblatt) [dt/ha]:					
Candid Charm F ₁	138	154	190	192	169 B
Fremont F ₁	182	204	208	230	206 A
Goodman	182	190	201	205	195 A
Neckarperle	115	128	127	130	125 C
Mittel* (GD _(α<0,05))	154 b	169 ab	181 a	189 a	(24 \ 12)
6er Köpfe [% des Bestandes]:					
Candid Charm F ₁	36	50	64	69	55 B
Fremont F ₁	64	77	80	88	77 A
Goodman	57	58	63	68	62 B
Neckarperle	30	21	42	35	32 C
Mittel* (GD _(α<0,05))	46 c	51 bc	61 ab	63 a	(12 \ 8)

*: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

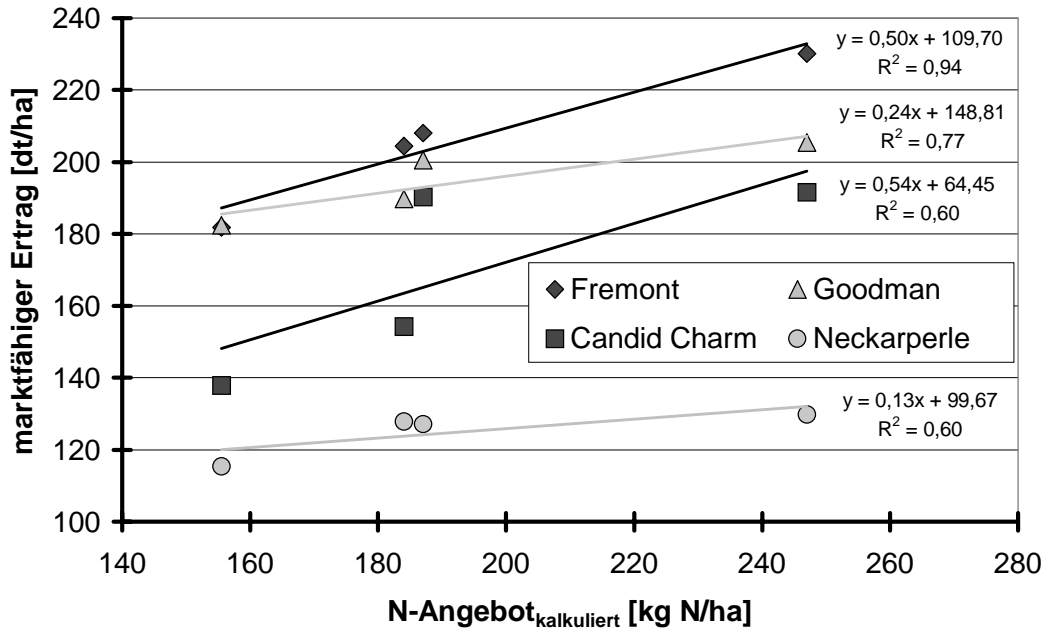


Abbildung 18: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem marktfähigen Ertrag der verschiedenen Sorten beim Blumenkohlversuch 1999 (Mittelwerte über die Wiederholungen)

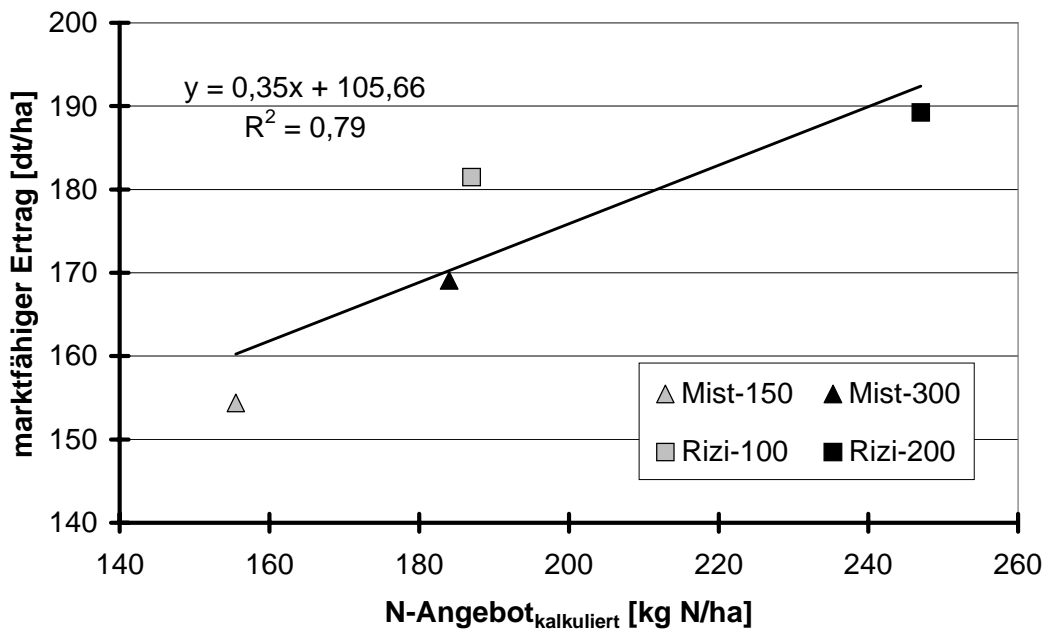


Abbildung 19: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Marktertrag beim Blumenkohlversuch 1999 (Mittelwerte über die Sorten und Wiederholungen)

5.1.3 Brokkoliversuch 2000

Da sich von dem angesäten Landsberger Gemenge praktisch nur das Weidelgras entwickelte und dieses ein relativ weites C/N-Verhältnis aufwies, konnte nur eine geringe N-Freisetzung aus der Gründüngung angenommen werden. Damit lag das kalkulierte N-Angebot auch in der höchsten N-Stufe auf relativ niedrigem Niveau (Tabelle 24). Durch die Aufnahme einer ungedüngten Kontrolle betrug die Spannweite des N-Angebots rund 100 kg N/ha. Knapp sechs Wochen nach der Pflanzung betrug der N_{\min} -Gehalt bei den meisten Düngungs-Varianten rund 35 kg N_{\min} /ha, etwas höher lag er bei der stärker aufgedüngten Rizinus-Variante (49 kg N_{\min}). Die N_{\min} -Reste lagen bei maximal 20 kg N_{\min} /ha. Mit Ausnahme von 'Earl' war die Qualität und

damit der Marktertrag völlig unbefriedigend (Tabelle 25). Ursache hierfür dürften die überdurchschnittlich hohen Temperaturen im Juni (Tagesmaxima bis 38 °C) gewesen sein, wodurch insbesondere 'Marathon' Durchwuchs zeigte (zu Details bezüglich der Qualitäts- und Ertragswerte der Sorten s. LABER 2000/29). Beim Gesamtertrag konnten Unterschiede zwischen den verschiedenen Düngevarianten nicht abgesichert werden. Deutlicher fielen die Differenzen beim marktfähigen Ertrag aus, wobei wiederum die Rizinusvarianten an der Spitze lagen. Ackerbohnschrot zeigte eine (unter Berücksichtigung des 13 kg/ha höheren N-Niveaus) eher geringere Ertragswirksamkeit als Rizinusschrot. Eine Stallmist- und Ackerbohnschrotdüngung führte nicht zu signifikanten Mehrerträgen gegenüber der ungedüngten Kontrolle.

Tabelle 24 Kalkuliertes N-Angebot und N_{\min} -Rest (nur Sorte 'Marathon', Mittelwerte über die Wiederholungen) beim Brokkoliversuch 2000 (Angaben in kg N/ha)

Variante	N_{\min} -Vorrat		N-Nachlieferung d. Bodens	N-Freisetzung aus Gründüngung	N-Freisetzung aus Düngung	N-Angebot	N_{\min} -Rest	
	0-30	30-60					0-30	30-60
Mist-150	11	10	50	12	27	110	11	8
Mist-300					54	137	12	6
Rizi-87					52	135	10	6
Rizi-174					104	188	8	7
AB-100					45	128	13	7
ohne					0	83	10	7

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 25: Gesamt- und marktfähige Erträge beim Brokkoliversuch 2000 (Mittelwerte über die Wiederholungen)

Variante	Mist-150	Mist-300	Rizi-87	Rizi-174	AB-100	ohne	Mittel*
Gesamtertrag [dt/ha]:							
Earl F ₁	94	108	105	125	102	90	104 A
Fiesta F ₁	55	40	51	93	57	44	55 C
GB-99-4	59	73	51	66	62	64	62 C
Marathon F ₁	73	90	87	98	72	41	77 B
Mittel	70 n.s.	78 n.s.	73 n.s.	96 n.s.	73 n.s.	60 n.s.	
marktfähiger Ertrag [dt/ha]:							
Earl F ₁	83	79	88	116	83	66	86 A
Fiesta F ₁	33	29	39	85	36	19	38 BC
GB-99-4	22	33	20	35	27	20	26 C
Marathon F ₁	40	44	60	49	35	15	40 B
Mittel*	45 bc	46 bc	52 b	71 a	45 bc	30 c	

*: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (eine gemeinsame GD konnte auf Grund ungleichen Stichprobenumfangs nicht berechnet werden)

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Alle Sorten reagierten auf ein steigendes N-Angebot mit zunehmenden Erträgen (Abbildung 20), wobei 'Earl' und 'Fiesta' den deutlichsten Ertragszuwachs zeigten (Wechselwirkung

zwischen Sorte und N-Angebot allerdings nicht abgesichert). Die Sorte 'Earl' realisierte bei allen Düngeneiveaus den höchsten Ertrag.

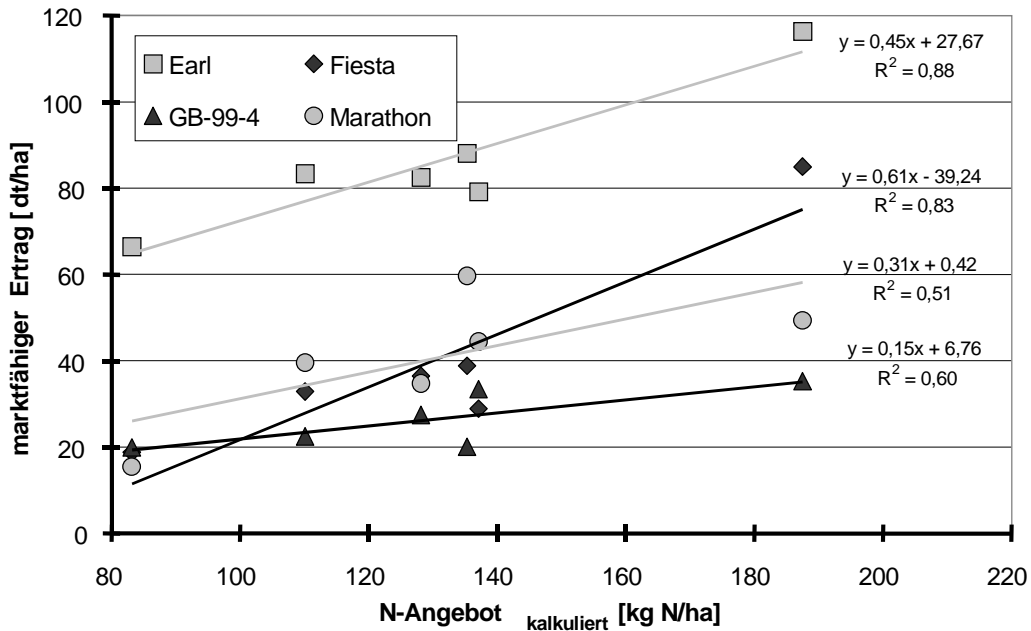


Abbildung 20: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem marktfähigen Ertrag der verschiedenen Sorten beim Brokkoliversuch 2000 (Mittelwerte über die Wiederholungen)

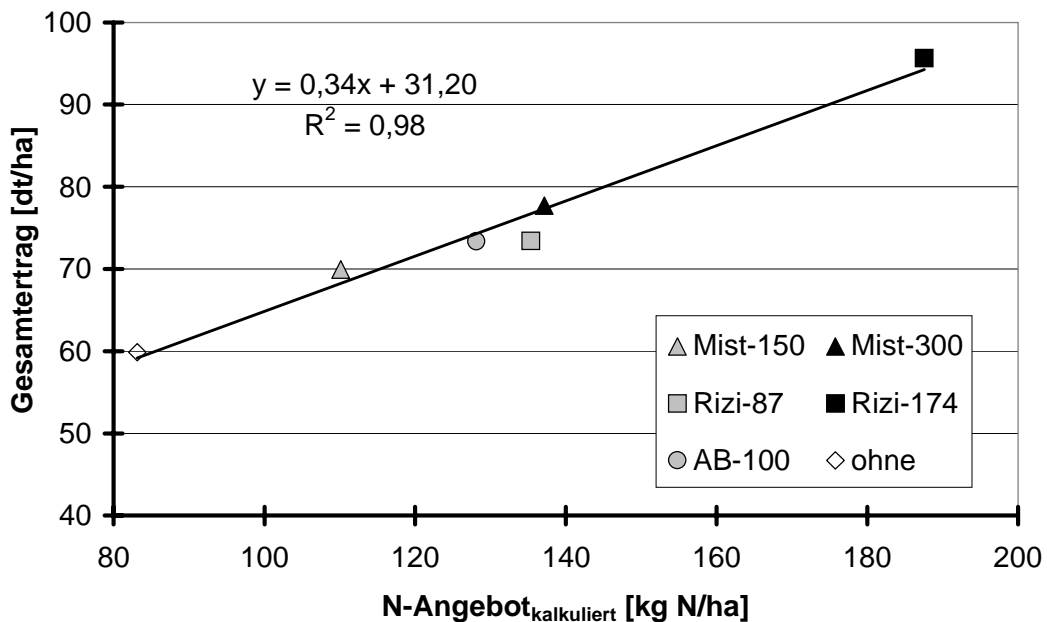


Abbildung 21: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Gesamtertrag beim Brokkoliversuch 2000 (Mittelwerte über die Sorten und Wiederholungen)

Die Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Ertrag war sehr eng, so dass die relative Ertragswirksamkeit der eingesetzten Düngemittel wiederum sehr gut mit dem Kalkulationsansatz beschrieben wurde (Abbildung 21). Die Höhe des kalkulierten N-Angebots korrespondiert mit den von FINK et al. (2001) angegebenen Werten, die sich bei Brokkoli auf einem N-Bedarf von 173 kg N/100 dt Marktertrag belaufen.

5.1.4 Brokkoliversuch 2001

Ähnlich wie im Vorjahresversuch konnte auf Grund des weiten C/N-Verhältnisses keine N-Freisetzung aus der Gründüngung angenommen

werden (Tabelle 26). Damit ließ auch die Erhöhung der Aufwuchsmenge in der Variante "2xGrün" keine zusätzliche N-Freisetzung erwarten. Die N_{min}-Reste lagen unabhängig vom N-Angebot bei rund 40 kg N/ha.

Auf Grund des relativ niedrigen Düngenniveaus auch in den am höchsten aufgedüngten Varianten war das Ertragsniveau mit maximal 100 dt/ha nur mäßig (Tabelle 27). Die Standardsorte 'Marathon' zeigte in diesem Versuchsjahr die höchsten Erträge, die Versuchssorte CB-2000/3 produzierte kaum Blumen mit einem Gewicht von über 150 g und lieferte damit praktisch keinen Marktertrag.

Tabelle 26: Kalkuliertes N-Angebot und N_{min}-Rest (nur Sorte 'Marathon', Mittelwerte über die Wiederholungen) beim Brokkoliversuch 2001 (Angaben in kg N/ha)

Variante	N _{min} -Vorrat		N-Nachlieferung d. Bodens	N-Freisetzung		N-Angebot	N _{min} -Rest	
	0-30	30-60		aus Gründüngung	aus Düngung		0-30	30-60
Mist-150	8	6	53	0	30	97	32	13
Mist-300					60	127	20	17
Rizi-100					60	127	21	13
Rizi-200					120	187	24	13
Lupi-100					60	127	19	13
1xGrün-0				0	67	26	13	
0xGrün-200				0	120	187	26	17
2xGrün-0				0	0	67	19	12

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 27: Gesamt- und marktfähige Erträge beim Brokkoliversuch 2001 (Mittelwerte über die Wiederholungen)

Variante	Mist-150	Mist-300	Rizi-100	Rizi-200	Lupi-100	1xGrün 0	0xGrün 200	2xGrün 0	Mittel*
Gesamtertrag [dt/ha]:									
CB-2000/3	31	27	39	46	37	24	46	27	35 D
Chevalier F ₁	54	68	68	86	72	43	93	49	67 B
Decathlon F ₁	39	45	53	62	58	34	65	34	49 C
Marathon F ₁	57	57	83	101	83	50	93	54	72 A
Mittel*	45 de	50 d	61 c	74 ab	64 bc	38 e	74 a	41 de	
marktfähiger Ertrag [dt/ha]:									
CB-2000/3	2	2	3	8	7	0	9	1	4 D
Chevalier F ₁	28	50	51	79	65	11	85	18	48 B
Decathlon F ₁	8	15	21	42	35	0	43	2	21 C
Marathon F ₁	35	37	76	98	82	14	91	30	58 A
Mittel*	18 de	26 cd	38 bc	57 a	50 ab	7 e	57 a	13 de	

*: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (eine gemeinsame GD konnte auf Grund ungleichen Stichprobenumfangs nicht berechnet werden); es bestand eine signifikante Wechselwirkung zwischen Düngung und Sorte

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Sowohl beim Gesamt-, als auch beim Marktertrag ergaben sich (bei einer Wechselwirkung zwischen Düngung und Sorte) signifikante Düngeeffekte. So zeigten die mit 200 kg N_{ges}/ha aufgedüngten Rizinusvarianten, gefolgt von der mit 100 kg N_{ges}/ha aufgedüngten Lupinenschrotvariante, die höchsten Erträge. Die Stallmistvarianten zeigten mit nur rund 50 % des Ertrages der entsprechenden Rizinusvarianten zumeist keine abzusichernden Mehrerträge gegenüber den ungedüngten Varianten.

Alle Sorten reagierten auf ein steigendes N-Angebot mit zunehmenden Gesamt- (nicht abgebildet) und Markterträgen (Abbildung 22). Die Sorten 'Marathon' und 'Chevalier' zeigten mit Ertragszuwächsen von 60 kg je kg zusätzlich verfügbarem N die stärkste Reaktion. 'Marathon' wies bei nahezu allen Düngenniveaus den höchsten Ertrag auf. Die Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Gesamt- (R² je nach Sorte 0,82 bis 0,97) bzw. Marktertrag war wiederum sehr eng. Die bei der Sorte 'Marathon' ermittelten N-Gehalte der Aufwuchskomponenten (Tabelle 28) lagen mit maximal 35 (Blume), 22 (ER) bzw. 24 kg N/100 dt FS (gesamter Aufwuchs) im Vergleich mit den für den konventionellen

Anbau angegebenen Werten (FINK et al. 2001 und 2001a) von 45, 35 bzw. 37 kg N/100 dt FS ungewöhnlich tief (eine Kontrollanalyse bestätigte allerdings die Richtigkeit der Analyseergebnisse). Die N-Gehalte (TS) von Blume, ER und Gesamtaufwuchs (nicht abgebildet, R² = 0,90) zeigten eine deutliche Abhängigkeit vom kalkulierten N-Angebot (Abbildung 23), ein Zusammenhang zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem N-Gehalt in der FS war dagegen kaum gegeben (R² = 0,26). Der N-Harvest-Index lag, unabhängig vom N-Angebot, mit durchschnittlich 26 % exakt auf dem Niveau des konventionellen Anbaus (FINK et al. 2001 und 2001a).

Entsprechend der Abhängigkeit des N-Gehaltes vom kalkulierten N-Angebot und der zunehmenden Erträge bei steigendem N-Angebot nahm der Gesamt- bzw. Marktertrag mit zunehmendem N-Gehalt des Aufwuchses (TS) zu (R² = 0,81 bzw. 0,76). Ein Optimum des N-Gehaltes analog der Abbildung 1 deutete sich nicht an. Ein Zusammenhang zwischen dem N-Gehalt in der FS und dem Gesamt- bzw. Marktertrag war praktisch nicht gegeben.

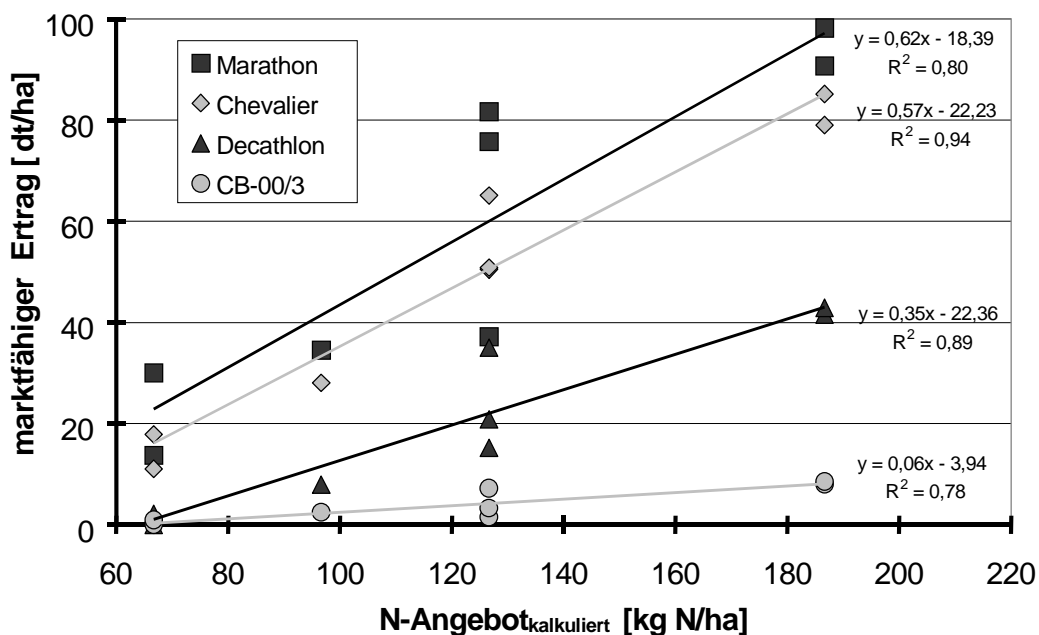


Abbildung 22: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem marktfähigen Ertrag der verschiedenen Sorten beim Brokkoliversuch 2001 (Mittelwerte über die Wiederholungen)

Tabelle 28: N-Gehalte von Blume und Ernterückständen beim Brokkoliversuch 2001 (Sorte 'Marathon', Mittelwerte bzw. Mischproben über die Wiederholungen)

Variante	Mist-150	Mist-300	Rizi-100	Rizi-200	Lupi-100	1xGrün-0	0xGrün-200	2xGrün-0
Blume (Gesamtertrag):								
TS-Gehalt [% d. FS]	9,5	9,2	9,2	9,2	9,1	9,4	9,3	9,4
N-Gehalt [% N i. TS]	3,30	3,47	3,29	3,82 (3,55) ¹	3,42	3,31 (3,09) ¹	3,60	3,26
N-Gehalt [kg/100 dt]	31	32	30	35	31	31	33	31
Ernterückstände (Blatt und Strunk):								
FM [dt/ha]	262 c ²	263 c	358 b	444 a	377 b	230 c	407 ab	238 c
TS-Gehalt [% d. FS]	13,3	12,5	11,6	10,5	11,6	13,6	11,5	13,4
N-Gehalt [% N i. TS]	1,45	1,70	1,68	1,93 (1,88) ¹	1,75	1,56 (1,46) ¹	1,93	1,47
N-Gehalt [kg/100 dt]	19	21	20	20	20	21	22	20
Aufwuchs:								
FM [dt/ha]	318 c ³	321 c	441 b	545 a	460 b	280 c	501 ab	293 c
N-Gehalt [% N i. TS]	1,70	1,94	1,93	2,24	1,99	1,79	2,19	1,72
N-Gehalt [kg/100 dt]	22	23	22	23	22	23	24	22
N _{Aufwuchs} [kg N/ha]	68	74	95	126	102	64	122	64
N-Harvest-Index	26	25	27	28	25	24	26	26

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

- 1: in Klammern: Zwecks Überprüfung ermittelte N-Gehalte nach KJELDAHL;
 2: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, $GD_{(\alpha<0,05)} = 52 \text{ dt/ha}$;
 3: $GD_{(\alpha<0,05)} = 65 \text{ dt/ha}$

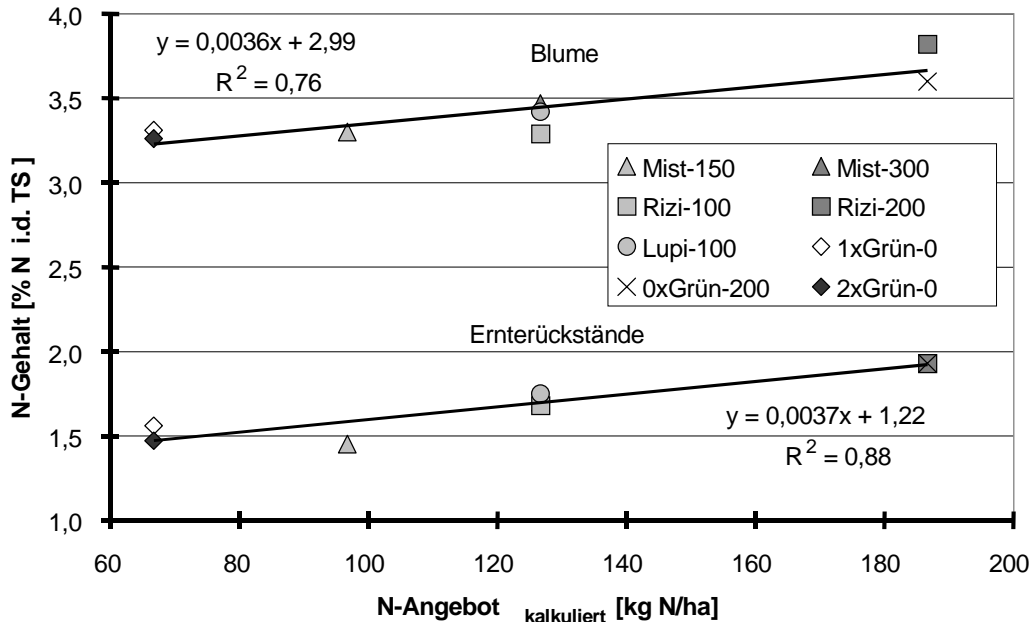


Abbildung 23: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem N-Gehalt von Blume und Ernterückständen beim Brokkoliversuch 2001 (Sorte 'Marathon', Mischproben über die Wiederholungen)

Die N-Menge im Brokkoliaufwuchs lag zwischen 64 und 126 kg N/ha (Tabelle 28). Damit lag die während der Kulturzeit mineralisierte N-Menge (N-Gewinn) je nach Variante zwischen 81 und 150 kg N/ha (Tabelle 29).

In der Variante "1xGrün-0" wurden bis zur Ernte 90 kg N/ha mineralisiert. Da auch eine zusätzliche Aufbringung von Grünmasse (Variante "2xGrün-0") keinen höheren N-Gewinn zeigte und der identische N-Gewinn der Varianten "Rizi-200" (einfache Gründüngungsmenge) und "0xGrün-200" (reduzierte Gründüngungsmenge) ebenfalls nicht auf eine N-Freisetzung aus der Gründüngung schließen lässt, sind die 90 kg/ha praktisch vollständig auf eine N-Nachlieferung aus den Humusvorräten des Bodens zurückzuführen. Diese liegt damit 37 kg

über dem Kalkulationswert von 53 kg/ha, womit durchschnittlich 8,5 statt der kalkulierten 5,0 kg N/ha je Woche mineralisierten.

Aus dem Stallmist war mit 10 bzw. 7 kg N/ha entgegen der Annahme praktisch keine N-Freisetzung zu verzeichnen. Die rechnerisch aus dem Rizinus- und Lupinenschrot freigesetzte N-Menge betrug nur rund 30 % der aufgetragenen N-Menge und lag damit nur bei 50 % der kalkulierten Menge.

Insgesamt wurde das N-Angebot der 0-Varianten um rund 30, das der "Mist-150"-Variante um 17 kg N/ha unterschätzt. Dagegen ergab sich eine Überschätzung der "Mist-300"-Variante um 16, der mit 200 kg N_{ges}/ha gedüngten Varianten um 23 kg N/ha (Abbildung 24).

Tabelle 26: N-Gewinn und N-Freisetzung aus den eingearbeiteten Düngemitteln bzw. der zusätzlich aufgetragenen Grünmasse während der Kulturzeit des Brokkolis (Versuch 2001, Sorte 'Marathon', Mischproben über die Wiederholungen)

Variante	Mist-150	Mist-300	Rizi-100	Rizi-200	Lupi-100	1xGrün-0	0xGrün-200	2xGrün-0
N-Gewinn¹	99	97	116	149	120	90	150	81
N-Freisetzung²	10	7	26	60	31	–	– ³	–9

- 1: $N_{\text{Gewinn}} = N_{\text{min-Res}} + N_{\text{Aufwuchs}} - N_{\text{min-Vorrat}}$ (laut Tabelle 26 und Tabelle 28) Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
 2: $N_{\text{Freisetzung}} = N_{\text{Gewinn}} - N_{\text{Gewinn der Variante "1xGrün-0"}}$ (**fett** markiert);
 3: durch die Abfuhr des Blattmaterials der Gründüngung kann diese Variante nicht mit "1xGrün-0" in Beziehung gesetzt werden

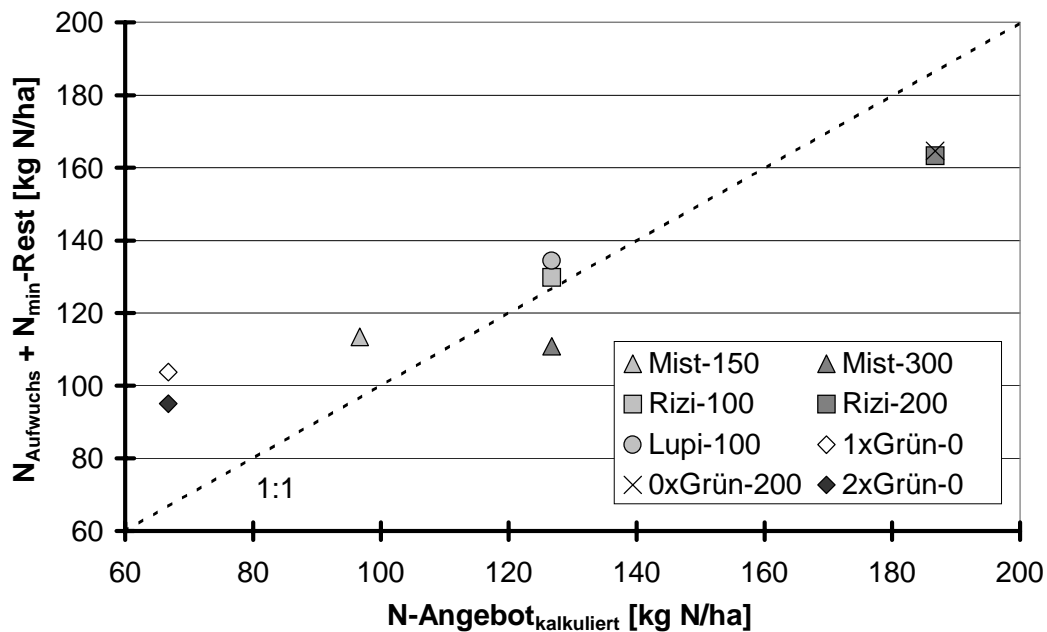


Abbildung 24: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und der im Feld gefundenen N-Menge im Aufwuchs und N_{min}-Rest beim Brokkoliversuch 2001 (Sorte 'Marathon', Mischproben über die Wiederholungen)

5.1.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

- Das N-Angebot (kalkuliert) lag zwischen 67 (keine Düngung, Gründüngung mit weitem C/N-Verhältnis) und über 300 kg N/ha (gut entwickelte Gründüngung, hohe Düngung).
- Bei einem hohen N-Angebot wurden bei Weißkohl und Blumenkohl Erträge realisiert, die dem eines konventionellen Anbaus vergleichbar sind.
- Eine Rizinusdüngung von 100 bzw. 200 kg N_{ges}/ha zeigte bei Blumenkohl und Brokkoli (vgl. Abbildung 25) mit ihrer relativ kurzen Kulturzeit im Allgemeinen eine höhere Ertragswirksamkeit als Stallmistgaben von rund 270 bzw. 540 dt/ha (150 bzw. 300 kg N_{ges}/ha), bei den langfristig mit einer ähnlich hohen N-Freisetzung wie bei Rizinusschrot zu rechnen war.
- Bei Versuchen mit Brokkoli zeigte Ackerbohnschrot eher eine geringere, Lupinenschrot (Blaue Lupine) eine tendenziell höhere Ertragswirksamkeit als ein Rizinisdünger.
- Mit Zuwächsen an Marktware bei den jeweils besten Sorten der Versuche von 185 kg/ha Weißkohl ('Lennox'), 22 kg/ha Blumenkohl ('Fremont') und durchschnittlich 38 kg/ha Brokkoli (Abbildung 25) je kg zusätzlich gedüngtem N_{ges} in Form von Rizinus ist die N-Düngung als höchst wirtschaftlich einzustufen (Kosten bei Rizinus ca. 5,00 Euro/kg N_{ges}).
- Bei Stallmist lagen die entsprechenden Ertragszuwächse bei 22 kg/ha (im Schnitt der Weißkohlsorten, 'Lennox': nur 3 kg/ha), 15 kg/ha ('Fremont') und durchschnittlich 7 kg/ha Brokkoli (Abbildung 25) je kg zusätzlich gedüngtem N_{ges}.
- Die Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Ertrag war zumeist sehr eng, so dass die relative Ertragswirksamkeit der eingesetzten Düngemittel mit dem Kalkulationsansatz offensichtlich gut beschrieben wurde (Tabelle 30).
- Der maximal ermittelte N-Gehalt des Brokkoli-Aufwuchses lag mit 24 kg N/100 dt FS ungewöhnlich weit unter dem konventionellen Vergleichswert (37 kg N/100 dt). Der N-Harvest-Index lag bei allen Varianten auf dem Niveau des konventionellen Anbaus.
- Im Gegensatz zu den Erträgen deutete sich keine Zunahme der N_{min}-Reste mit steigendem N-Angebot an. Einen Zusammenhang zwischen den N_{min}-Resten und den realisierten Erträgen lag von daher nicht vor.
- Eine 2001 durchgeführte Bilanzierung zeigte, dass die absolute Höhe des kalkulierten N-Angebotes der in Form von N_{Aufwuchs} und N_{min}-Rest im Feld vorliegenden N-Menge relativ gut entsprach. Die tatsächliche N-Nachlieferung aus den Humusvorräten lag aber deutlich über, die N-Freisetzung aus den Düngemitteln deutlich unter dem Kalkulationsansatz.

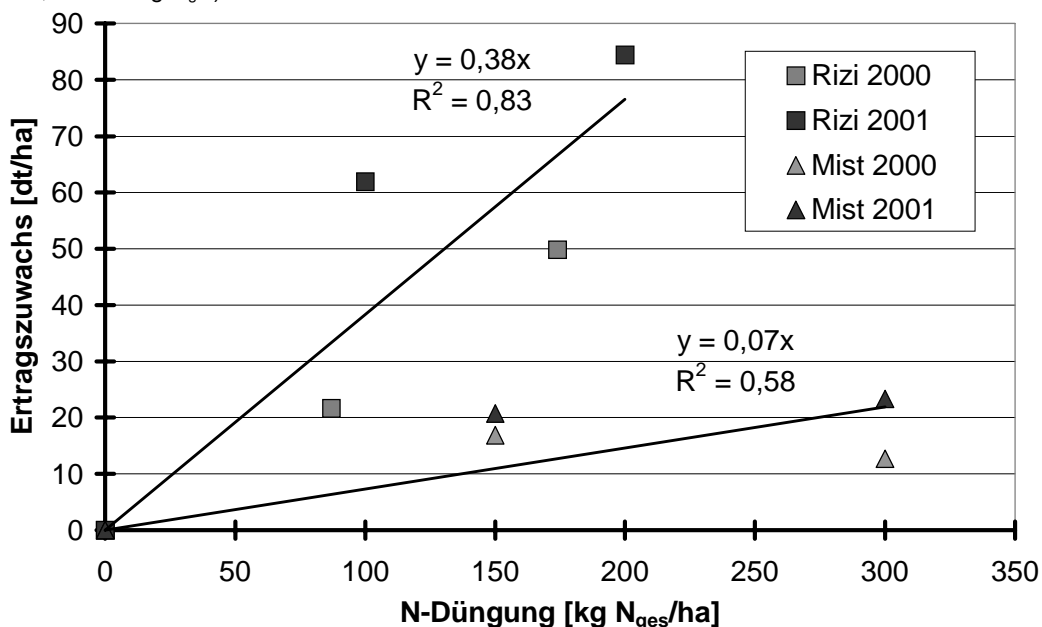


Abbildung 25: Ertragszuwächse (Marktertrag) bei Brokkoli (Sorte 'Earl' bzw. 'Marathon') in Abhängigkeit von der N-Düngung mit Rizinus-Pellets

Tabelle 30: Parameter der Regressionsbeziehungen zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Gesamt- bzw. marktfähigen Ertrag (Sortenmittel) bei den Kohlversuchen

	Gesamtertrag			marktfähiger Ertrag		
	b	a	R ²	b	a	R ²
Weißkohl 1998	1,00	568	0,92	0,48	660	0,76
Blumenkohl 1999	-	-	-	0,35	106	0,79
Brokkoli 2000	0,34	31	0,98	0,37	0	0,95
Brokkoli 2001	0,29	20	0,91	0,40	-16	0,87

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

- Standardsorten des konventionellen Anbaus realisierten jeweils die höchsten Erträge, im Falle von Blumenkohl erzielte auch eine samenechte Sorte ein ähnliches Ertragsniveau.
- Wenngleich signifikante Wechselwirkungen zwischen Düngung und Sorte nur zum Teil abgesichert wurden, zeigten Sorten mit den jeweils höchsten Erträgen immer auch eine der stärksten Ertragsreaktionen auf ein steigendes N-Angebot.
- Aber auch bei einem zum Teil deutlich limitierten N-Angebot erzielten die Standard-Blumenkohl- bzw. Brokkolisorten höhere Erträge als ältere öko-vermehrte- bzw. spezielle Öko-Sorten. Damit deutete sich keine höhere N-Effizienz dieser Sorten an.

5.2 Spinatversuche

Vorbemerkung:

Bei der Kalkulation des N-Angebots bei den folgenden Spinatversuchen wurden die N_{min}-Vorräte der Bodenschicht 30 bis 60 cm mit in die Berechnung einbezogen, wenngleich FINK et al. (2001) nur eine Probenahmetiefe von 0 bis 30 cm empfehlen. Bei der Auswertung der Versuche zeigte sich allerdings, dass eine Einbeziehung der N_{min}-Vorräte der Boden-

schicht 30 bis 60 cm im Allgemeinen zu engeren Beziehungen zwischen dem kalkulierten N-Angebot und den realisierten Erträgen führte (Tabelle 31), was als Indiz für eine N-Aufnahme auch aus dieser Bodenschicht gewertet werden kann. Ergebnisse von BÖHMER (1980), die bei Frühjahrsspinat eine "bedingte" N-Aufnahme auch aus der Bodenschicht 40 bis 60 cm sowie eine zum Teil über 60 cm Tiefe hinausgehende intensive Durchwurzelung feststellte, deuten ebenfalls in diese Richtung. SCHENK et al. (1991) fanden dagegen allerdings keine nennenswerte Durchwurzelung und damit N-Aufnahme unterhalb 30 cm Bodentiefe.

5.2.1 Versuch 1998

Auf den seit September brach gehaltenen Parzellen reicherten sich bis Ende März 67 kg N_{min}/ha (0 bis 60 cm) an. Zusammen mit einer zu erwartenden N-Nachlieferung von 38 kg N/ha ergab sich so ein N-Angebot von 105 kg N/ha (Tabelle 32). Mit 164 kg N_{Aufwuchs}/ha und einem C/N-Verhältnis von 10 war aus dem Landsberger Gemenge eine hohe N-Freisetzung zu erwarten, so dass in diesen Varianten zusammen mit der weiteren Düngung ein N-Angebot von bis zu 231 kg N/ha kalkuliert wurde.

Tabelle 31: Parameter der Regressionsbeziehungen zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Frischmasseertrag bzw. Nitratgehalt von Spinat

Versuchsjahr	Frischmasseertrag				NO ₃ -Gehalt			
	N _{min} -Vorrat 0 - 30 cm		0 - 60 cm	R ²	N _{min} -Vorrat 0 - 30 cm		0 - 60 cm	R ²
b	a	R ²	b		a	R ²		
1998	1,14	80,3	0,83	0,94	10,81	-833	0,87	0,91
1999	0,65	168	0,25	0,42	0,98	97,9	0,24	0,39
2000	0,76	194	0,59	0,51	18,12	893	0,85	0,79
2001	1,91	80,2	0,65	0,66	-	-	0,83²	0,77 ³
alle Versuche¹	0,71	65,8	0,51	0,65				

1: bei Berücksichtigung des rel. Ertrages (jeweils Varianten mit dem geringsten Ertrag = 100 %);

2: $y = 18,46e^{0,03x}$,

3: $y = 8,00e^{0,02x^2}$

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 32: Kalkuliertes N-Angebot und N_{min}-Reste beim Spinatversuch 1998 (Angaben in kg N/ha)

Variante	N _{min} -Vorrat		N-Nachlieferung	aus Gründüngung	aus Düngung	N-Angebot	N _{min} -Rest	
	0 - 30	30 - 60					0-30	30-60
Bra-0	35	32	38	0	0	105	13	25
Bra-60					18	123	7	20
Bra-120					36	141	20	30
Bra-180					54	159	19	25
Bra-G-60					21	126	13	24
Bra-G-120					42	147	21	32
Lan-0	21	30	38	106	0	195	113*	76*
Lan-60					18	213	38	33
Lan-120					36	231	31	25
Per-60					40	58	38	21

*: ungeklärter 'Ausreißer'

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Damit betrug die Spannweite des N-Angebots rund 125 kg N/ha. Die N_{min}-Reste bewegten sich zwischen 30 und 70 kg N/ha, wobei eine Zunahme mit steigendem N-Angebot beobachtet werden konnte ($R^2 = 0,63$, ohne "Lan-0").

Die FM-Erträge lagen mit bis zu 300 dt/ha auf hohem Niveau, die ungedüngte Brache zeigte mit 138 dt/ha den geringsten Ertrag (Tabelle 33). Eine Düngesteigerung um jeweils 60 kg N_{ges}/ha führte nicht zu absicherbaren Mehrerträgen, während eine Düngung von 120 kg N_{ges}/ha bei den Brachevarianten zu signifikanten Ertragszuwächsen führte. Rindergülle und Haarmehl-Pellets zeigten eine nahezu identische Düngewirkung.

Die Nitratgehalte des Erntegutes zeigten mit 51 bis über 1200 mg NO₃/kg FS eine weite Span-

ne, wobei höhere Werte nur bei den Varianten mit einer Gründüngung auftraten. Die Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Ertrag war sehr eng (Abbildung 26), so dass die relative Ertragswirksamkeit der Gründüngungen und der eingesetzten Düngemittel mit dem Kalkulationsansatz offensichtlich gut beschrieben wurde. Die Höhe des kalkulierten N-Angebots dürfte in etwa mit den tatsächlichen Gegebenheiten übereingestimmt haben, da die N-Aufnahme zuzüglich der N_{min}-Reste relativ genau dem kalkulierten N-Angebot entsprach (Tabelle 33).

Bei Berücksichtigung geringerer N-Gehalte von 30 kg N/100 dt, wie sie sich beim Spinatversuch 2001 zeigten (vgl. Tabelle 40), ergibt sich allerdings eine Überschätzung des N-Angebotes von durchschnittlich 43 kg N/ha.

Tabelle 33: Frischmasseerträge (Mittelwerte über die Wiederholungen) und Nitratgehalte (Mischproben über die Wiederholungen) beim Spinatversuch 1998

Variante	Bra-0	Bra-60	Bra-120	Bra-180	Bra-G-60	Bra-G-120	Lan-0	Lan-60	Lan-120	Per-60
FM-Ertrag [dt/ha]	138 e ¹	183 de	204 cd	238 bc	178 de	199 cd	265 ab	283 ab	298 a	267 ab
N _{Aufwuchs} ² [kg N/ha]	66	85	96	114	88	98	127	136	143	128
N-Saldo ³ [kg N/ha]	1	4	-1	2	8	-7	-	5	32	-14
NO ₃ -Gehalt [mg/kg FS]	51	161	325	315	73	184	1215	1225	1245	770

1: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben

unterscheiden sich signifikant, $GD_{(\alpha=0,05)} = 52$ dt/ha;

2: bei einem N-Bedarf von 48 kg N/100 dt Marktertrag (FINK et al. 2001);

3: $N\text{-Angebot}_{\text{kalkuliert}} - (N\text{-Aufnahme} + N_{\text{min}}\text{-Rest})$

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

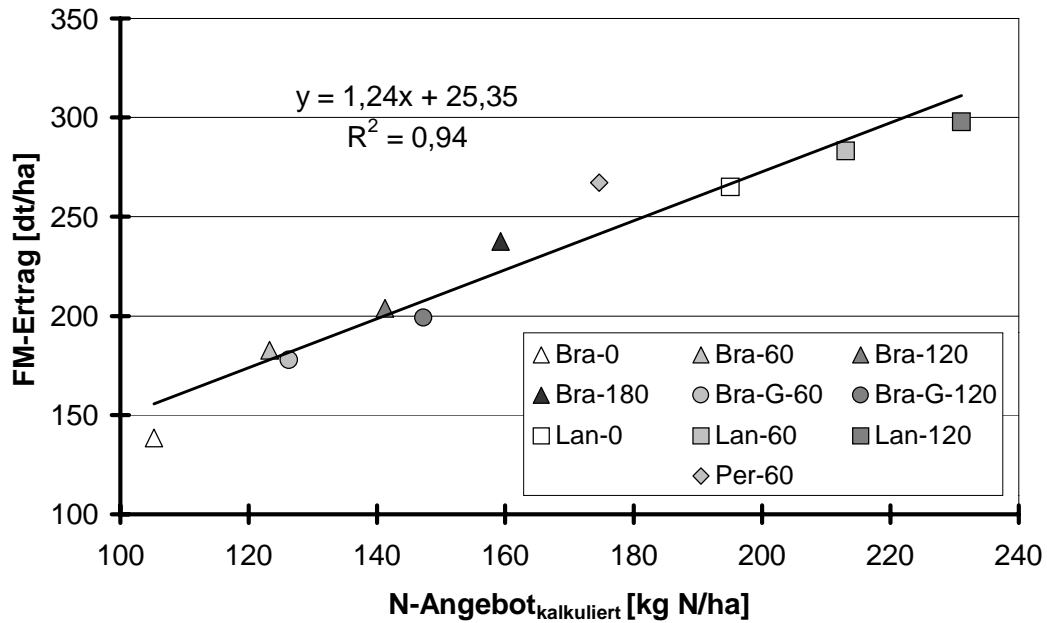


Abbildung 26: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Frischmasse-Ertrag von Spinat (Versuch 1998, Mittelwerte über die Wiederholungen)

Mit dem Anstieg des Ertrages bei zunehmendem N-Angebot nahm auch der Nitratgehalt deutlich zu (Abbildung 27). Auffällig ist, dass die Landsberger-Gemenge-Varianten relativ unabhängig von der Düngung sehr hohe Nitratge-

halte aufwiesen. Dieses lässt auf ein hohes N-Angebot zum Kulturende schließen. Allerdings deuten die gemessenen N_{\min} -Reste in den Varianten "Lan-60" und "Lan-120" nicht in diese Richtung.

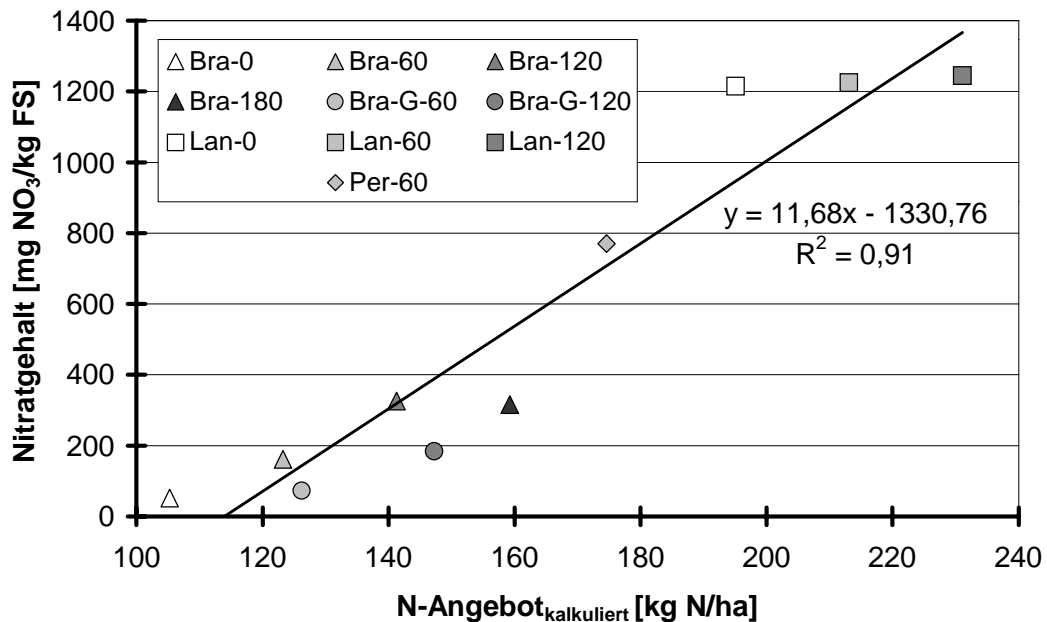


Abbildung 27: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Nitratgehalt von Spinat (Versuch 1998, Mischproben über die Wiederholungen)

Entsprechend der Zunahme des Ertrages und der N_{\min} -Reste mit zunehmendem N-Angebot bestand ein relativ enger Zusammenhang zwischen den N_{\min} -Resten und dem Ertrag (Abbildung 28), bei N_{\min} -Rest in 0 - 30 cm: $R^2 = 0,76$). Ein 'optimaler' N_{\min} -Rest deutete sich nicht an.

5.2.2 Versuch 1999

Bei Vegetationsende wurden sowohl bei der Phacelia als auch beim Landsberger Gemenge rund 120 kg N_{Aufwuchs} /ha vorgefunden (vgl. Tabelle 17). Daraus ergibt sich, dass das Landsberger Gemenge bzw. die darin enthaltenen Leguminosenarten praktisch den gesamten N-Bedarf im Boden vorfinden konnten und somit keine Notwendigkeit für eine größere symbiotische N_2 -Fixierung bestand (zur Hemmung der N_2 -Fixierungsleistung von Leguminosen durch NO_3 -N vgl. KAGE 1992). Gleiches gilt für Perserklee, der allerdings deutlich geringere N-Mengen als das Landsberger Gemenge im Aufwuchs enthielt.

Im Vergleich zum Vorjahresversuch wurden im Frühjahr geringere N_{\min} -Vorräte angetroffen, so dass, in Verbindung mit einem weniger gut entwickelten Landsberger Gemenge, ein N-Angebot von maximal 195 kg N/ha kalkuliert wurde (Tabelle 34). Die Spannweite des N-Angebots betrug 123 kg N/ha. Die N_{\min} -Reste lagen unabhängig vom Düngungsniveau bei

rund 30 kg N/ha ($R^2 = 0,31$ tendenziell abfallend mit zunehmendem N-Angebot). Bei deutlich geringerem Nitratgehalt 98 bis 346 mg NO_3 /kg FS bewegten sich die Erträge auf einem ähnlichen Niveau wie im Vorjahr, wobei die mit 120 kg N/ha aufgedüngte Perserklee-Variante mit 332 dt FM/ha den höchsten Ertrag zeigte (Tabelle 35). Die geringsten Erträge waren in den ungedüngten Phacelia- und Landsberger-Gemenge-Varianten zu verzeichnen, während die entsprechende Perserklee-Variante einen deutlich höheren Ertrag aufwies.

Die Steigerung der Güllegabe von 60 auf 120 kg N/ha führte nicht zu einer Ertragszunahme, signifikante Unterschiede zwischen Gülle- und dem in diesem Versuchsjahr verwendeten Handelsdünger Maltaflor traten nicht auf. Die Kopfdüngung mit Vinasse führte, wie auch die Maltaflor-Düngung, zu keinem absichtbaren Mehrertrag gegenüber der ungedüngten Phacelia-Variante.

Die Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem FM-Ertrag war nur locker (Abbildung 29). Innerhalb einer Vorkulturgruppe zeigte sich allerdings eine sehr enge Beziehung zwischen dem N-Angebot und dem Ertrag, wobei die Ertragszunahmen mit 173 kg (Phacelia), 179 kg (Landsberger Gemenge) und 190 kg (Perserklee) je kg zusätzlich verfügbarem N aus Maltaflor nahezu identisch waren.

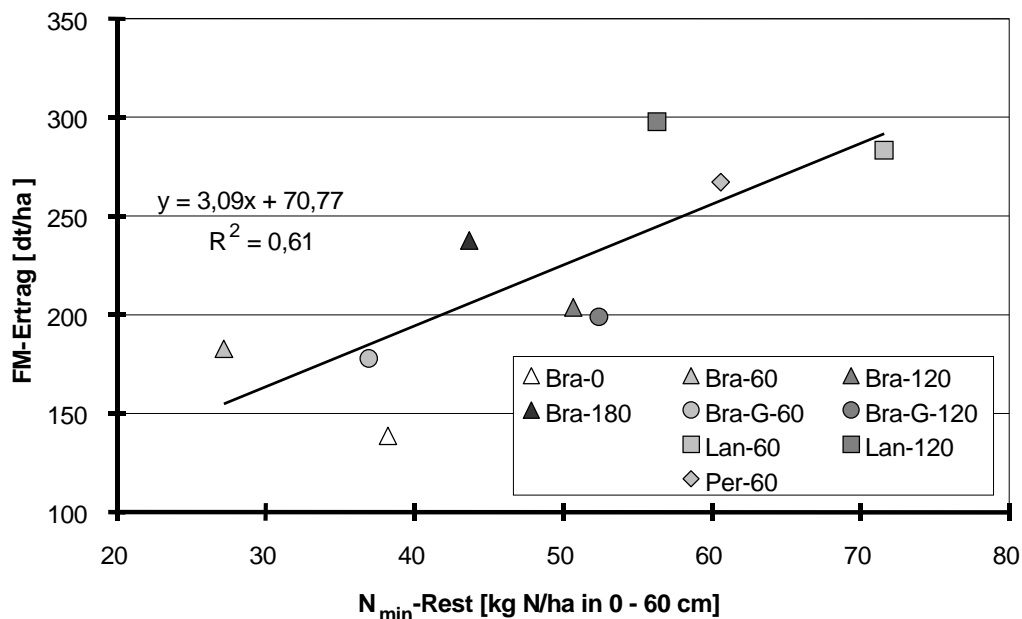


Abbildung 28: Frischmasseertrag von Spinat in Abhängigkeit vom N_{\min} -Rest (Versuch 1998, Mischproben bzw. Mittelwerte über die Wiederholungen, ohne Variante "Lan-0")

Tabelle 34: Kalkuliertes N-Angebot und N_{\min} -Reste beim Spinatversuch 1999 (Angaben in kg N/ha)

Variante	N_{\min} -Vorrat		N-Nachlieferung	aus Gründüngung	aus Düngung	N-Angebot	N_{\min} -Rest	
	0 - 30	30 - 60					0 - 30	30 - 60
Pha-0	17	20	35	0	0	72	10	24
Pha-60					23	95	9	25
Pha-120					45	117	12	25
Pha-V-60					14	68	11	25
Pha-G-60					23	95	8	25
Pha-G-120					46	118	9	22
Lan-0	13	14	35	74	0	135	16	19
Lan-60					23	158	11	13
Lan-120					45	180	13	11
Per-0	39	41	35	35	0	150	10	21
Per-60					23	173	12	15
Per-120					45	195	12	22

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 35: Frischmasseerträge (Mittelwerte über die Wiederholungen) und Nitratgehalte (Mischproben über die Wiederholungen) beim Spinatversuch 1999

Variante	Pha-0	Pha-60	Pha-120	Pha-V-60	Pha-G-60	Pha-G-120	Lan-0	Lan-60	Lan-120	Per-0	Per-60	Per-120
FM-Ertrag [dt/ha]	177 ¹ ef ¹	211 cdef	255 bc	209 def	255 bc	237 cd	168 f	217 cde	249 cd	247 cd	296 ab	332 a
N_{Aufwuchs} ² [kg N/ha]	85	101	122	100	122	114	81	104	120	118	142	159
N-Saldo ³ [kg N/ha]	-48	-41	-43	-38	-61	-26	19	30	36	1	4	1
NO_3 -Gehalt [mg/kg FS]	117	183	183	248	176	200	98	137	274	227	266	346

1: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben

unterscheiden sich signifikant, $GD_{(0,05)} = 44$ dt/ha

2: bei einem N-Bedarf von 48 kg N/100 dt Marktertrag (FINK et al. 2001);

3: $N_{\text{Angebot}_{\text{kalkuliert}}} - (N_{\text{Aufnahme}} + N_{\text{min-Rest}})$

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Ob die N-Freisetzung aus dem Landsberger Gemenge überschätzt oder aber die N-Freisetzung aus der Phacelia bzw. die N-Nachlieferung des Bodens unterschätzt wurde, kann auf Grund fehlender Daten letztendlich nicht beantwortet werden. Bei Berechnung der N-Aufnahme mittels der konventionellen Bedarfswahlen (nach FINK et al. 2001) ergibt sich, dass die N-Freisetzung aus der Phacelia um rund 40 kg/ha unterschätzt, die des Landsberger Gemenges um knapp 30 kg/ha überschätzt wurde (Tabelle 35).

Im Gegensatz zum Vorjahr stieg der Nitratgehalt des Spinates mit zunehmendem N-Angebot nur leicht an, insgesamt übte das N-Angebot nur einen untergeordneten Einfluss auf den Nitratgehalt aus (Abbildung 30).

Da mit zunehmendem N-Angebot zwar der Ertrag zunahm, die N_{\min} -Reste aber nahezu konstant blieben, bestand kein Zusammenhang zwischen dem N_{\min} -Rest und dem realisierten Ertrag.

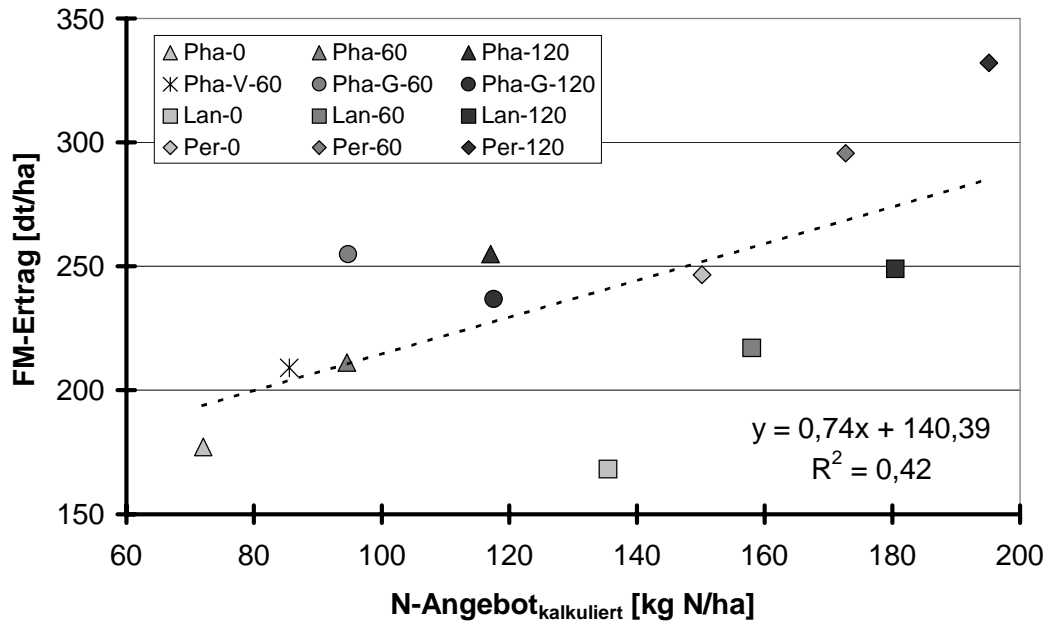


Abbildung 29: Beziehung zwischen dem kalkultierten N-Angebot und dem Frischmasse-Ertrag von Spinat (Versuch 1999, Mittelwerte über die Wiederholungen)

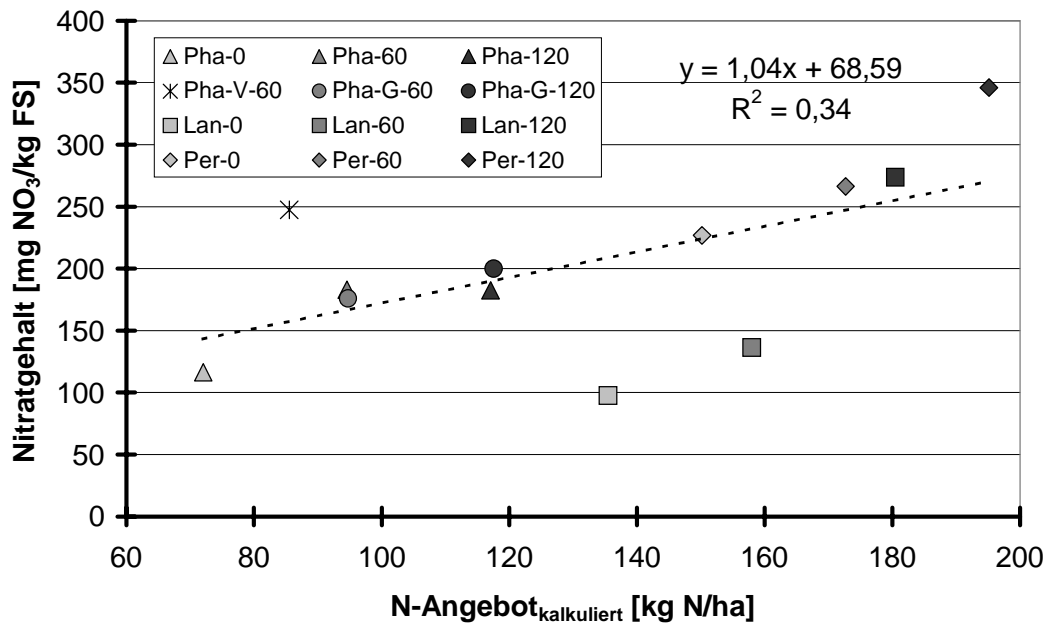


Abbildung 30: Beziehung zwischen dem kalkultierten N-Angebot und dem Nitratgehalt von Spinat (Versuch 1999, Mischproben über die Wiederholungen)

5.2.3 Versuch 2000

Anders als im Vorjahresversuch wurden zu Vegetationsende bei dem Wicken-Klee-Gemenge rund 40 kg mehr N_{Aufwuchs} /ha als bei der Phacelia-Variante festgestellt (vgl. Tabelle 18). Da der N_{min} -Rest zudem rund 20 kg/ha höher lag, kann beim Wicken-Klee-Gemenge eine N_2 -Fixierung von rund 60 kg N/ha angenommen werden. Perserklee zeigte, bei höherem N_{min} -Rest ähnlich hohe N_{Aufwuchs} -Mengen wie Phacelia, so dass hier geringfügige N-Mengen symbiontisch fixiert worden sein könnten. Bei eher mäßigen N_{min} -Vorräten im Frühjahr in allen Gründungsvarianten bewegte sich das N-Angebot in diesem Versuch mit einer Spanne von rund 90 kg N/ha zwischen 83 und 174 kg N/ha (Tabelle 36). Die N_{min} -Reste lagen im Durchschnitt bei knapp 50 kg N/ha, eine Abhängigkeit von N-Angebot zeichnete sich nicht ab ($R^2 = 0,08$).

Bei relativ hohem Nitratgehalt bewegten sich die Erträge mit relativ geringer Spannweite zwischen 230 und 330 dt FM/ha (Tabelle 37). Eine Ertragswirksamkeit der Düngung mit 60 kg oder auch 120 kg N_{ges} /ha konnte in keinem Fall abgesichert werden. Die Perserklee-Varianten zeigten zumeist deutliche Mehrerträge gegenüber den entsprechenden Phacelia- und Wicken-Klee-Varianten, die sich untereinander kaum unterschieden.

Die Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem FM-Ertrag war nur locker, wobei die Perserklee-Varianten eher höhere Erträge als der durchschnittliche Trend lieferten (Abbildung 31).

Die Höhe des kalkulierten N-Angebots wurde, bei Unterstellung konventioneller Bedarfswerte (nach FINK et al. 2001), stark unterschätzt (Tabelle 37).

Tabelle 36: Kalkuliertes N-Angebot und N_{min} -Reste beim Spinatversuch 2000 (Angaben in kg N/ha)

Variante	N_{min} -Vorrat		N-Nachlieferung	aus Gründung	aus Düngung	N-Angebot	N_{min} -Rest	
	0 - 30	30 - 60					0 - 30	30 - 60
Pha-0	26	22	35	0	0	83	21	33
Pha-60					33	116	21	24
Pha-120					67	150	30	39
Pha-G-60					25	107	25	24
Pha-G-120					49	132	19	23
Wick-0	16	24	35	13	0	88	13	20
Wick-60					33	121	16	19
Wick-120					67	155	16	26
Per-0	11	16	35	45	0	107	25	29
Per-60					33	140	33	26
Per-120					67	174	25	25

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 37: Frischmasseerträge (Mittelwerte über die Wiederholungen) und Nitratgehalte (Mischproben über die Wiederholungen) beim Spinatversuch 2000

Variante	Pha-0	Pha-60	Pha-120	Pha-G-60	Pha-G-120	Wick-0	Wick-60	Wick-120	Per-0	Per-60	Per-120
FM-Ertrag [dt/ha]	263 bcd ¹	255 cd	280 bc	247 cd	285 abc	227 d	253 cd	266 bcd	290 abc	304 ab	330 a
N_{Aufwuchs} [kg N/ha] ²	126	122	134	118	137	109	122	128	139	146	159
N-Saldo ³ [kg N/ha]	-97	-51	-54	-60	-46	-54	-36	-15	-86	-64	-35
NO_3 -Gehalt [mg/kg FS]	447	844	1110	470	1193	317	598	1219	742	1665	2240

1: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, $\text{GD}_{(\alpha=0,05)} = 47 \text{ dt/ha}$;

2: bei einem N-Bedarf von 48 kg N/100 dt Marktertrag (FINK et al. 2001);

3: $N\text{-Angebot}_{\text{kalkuliert}} - (N\text{-Aufnahme} + N_{\text{min}}\text{-Rest})$

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

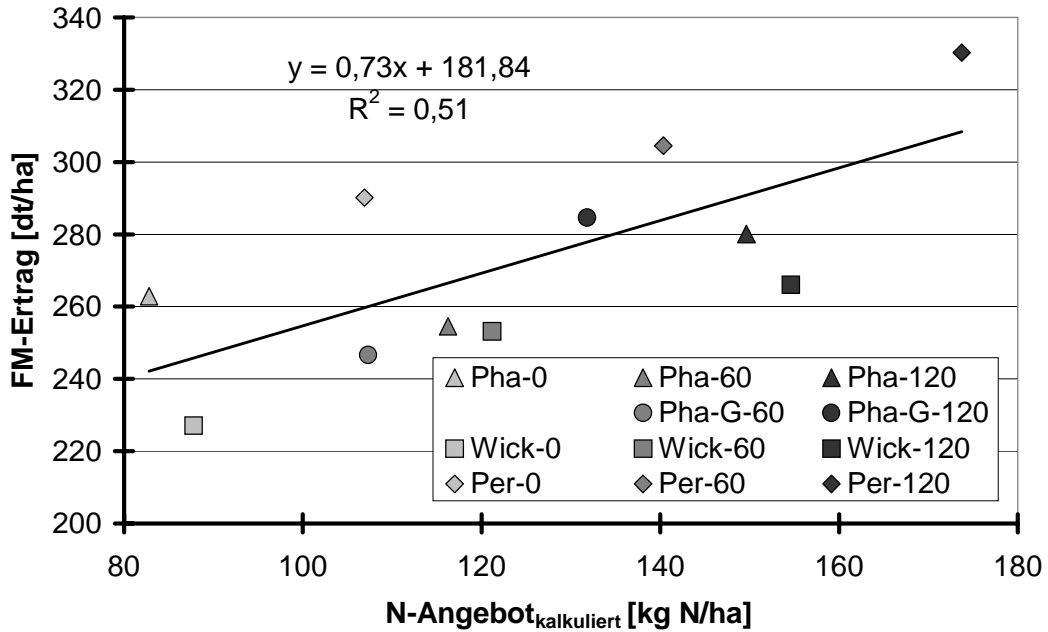


Abbildung 31: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Frischmasse-Ertrag von Spinat (Versuch 2000, Mittelwerte über die Wiederholungen)

Innerhalb einer Vorkulturgruppe zeichneten sich (mit Ausnahme des 'Ausreißers' der Variante "Pha-0") wiederum enge Beziehungen zwischen dem N-Angebot und dem Ertrag ab, wobei die Ertragszunahmen mit 88 kg (Phacelia, o. "Pha-0"), 58 kg (Wicke-Klee) und 60 kg (Perserklee) je kg zusätzlich verfügbarem N

deutlich geringer als in den Vorjahren ausfielen. Eine wesentlich engere Beziehung zeigte sich zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Nitratgehalt des Erntegutes (Abbildung 32). Wenn auch deutlich abgeschwächt, so zeigten auch hier die Perserklee-Varianten eher höhere Nitratgehalte als der durchschnittliche Trend.

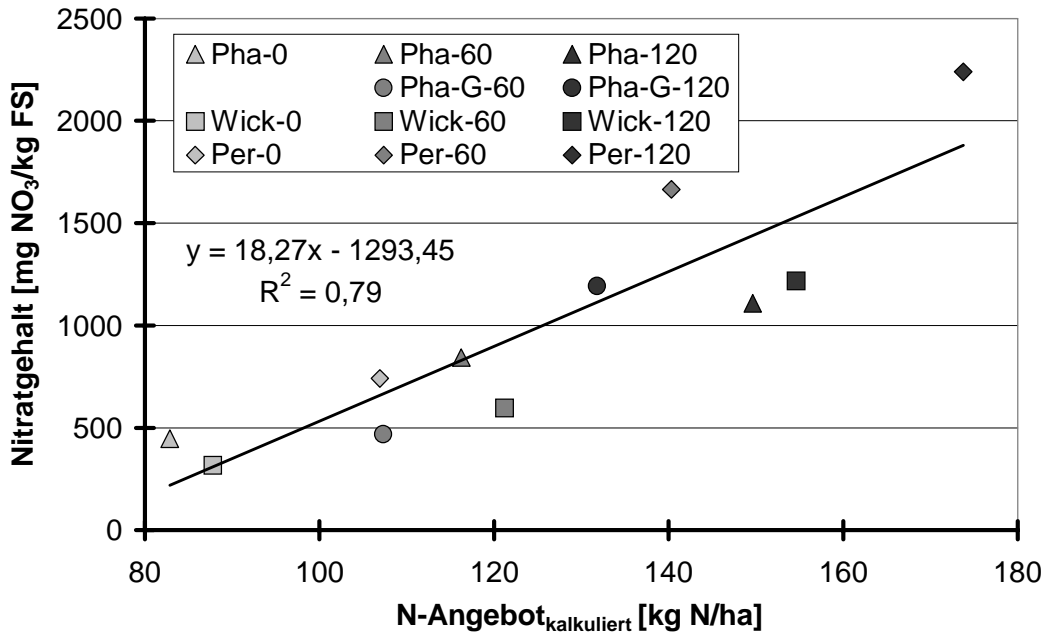


Abbildung 32: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Nitratgehalt von Spinat (Versuch 2000, Mischproben über die Wiederholungen)

Zwischen der Höhe der N_{min} -Reste und den Erträgen zeigte sich nur ein sehr lockerer Zusammenhang (Abbildung 33, bei N_{min} -Rest in 0 bis 30 cm: $R^2 = 0,38$). Auch hier deutete sich kein Optimum an.

Die auf Bracheparzellen festgestellte N-Nachlieferung aus dem Boden ("ohne Gründüngung") lag mit 83 kg N/ha deutlich über dem

Kalkulationsansatz von 35 kg N/ha (Tabelle 38, Abbildung 34). Damit wurden pro Woche rund 9 kg N/ha nachgeliefert. In der Phacelia-Variante mineralisierten entgegen des Kalkulationsansatzes von 0 weitere 26 kg N/ha. Aus dem Wicken-Klee-Gemenge und dem Perserklee wurden mit 48 bzw. 74 kg N/ha gut 80 % der im Frühjahr eingearbeiteten N-Menge freigesetzt.

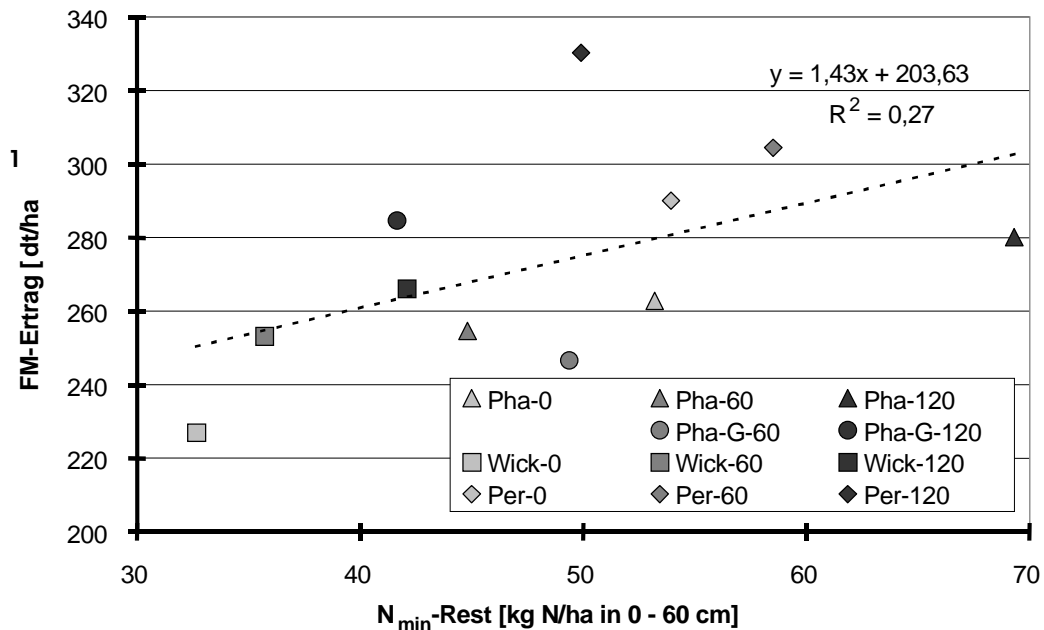


Abbildung 33: Frischmasseertrag von Spinat in Abhängigkeit vom N_{min} -Rest (Versuch 2000, Mischproben bzw. Mittelwerte über die Wiederholungen)

Tabelle 38: N_{min} -Gehalte der Bracheparzellen sowie N-Gewinn und N-Freisetzung beim Spinatversuch 2000 (Mischproben über die Wiederholungen)

Variante	Bodenschicht [cm]	N_{min} [kg N/ha]					N-Gewinn ¹	N-Freisetzung ²
		Datum der Probenahme						
		17.4.	9.5.	23.5.	6.6.	19.6.		
ohne Gründüngung	0 - 30	17	61	64	71	90	83	-
	30 - 60	43	39	34	40	54		
Phacelia	0 - 30	26	53	68	79	104	109	26
	30 - 60	22	21	35	30	53		
Wick.-Klee	0 - 30	16	62	83	81	113	132	48
	30 - 60	24	22	26	25	59		
Perserklee	0 - 30	11	71	90	106	132	157	74
	30 - 60	16	27	22	6	52		

1: N-Gewinn = $N_{min}(19.6.) - N_{min}(17.4.)$;

2: N-Freisetzung = N-Gewinn - N-Gewinn "ohne Gründüngung"

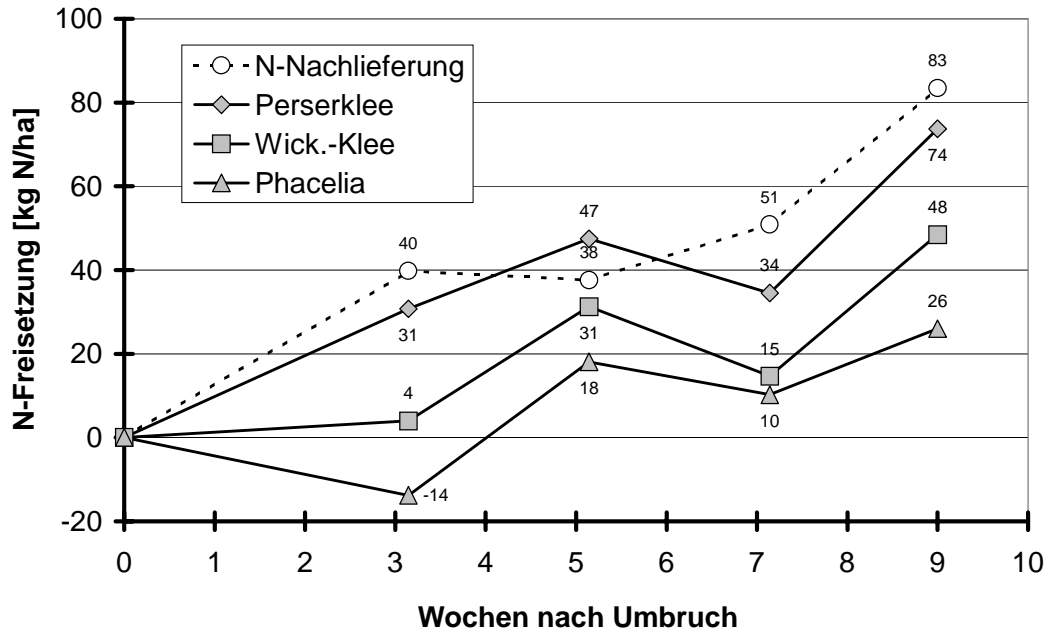


Abbildung 34: N-Nachlieferung des Bodens und N-Freisetzung aus den Gründungsbeständen im Verlauf der Spinatkultur 2000 (Bracheparzellen, Mischproben über die Wiederholungen)

5.2.4 Versuch 2001

Mit rund 150 kg N_{Aufwuchs} /ha hatte die Phacelia bis zum Vegetationsende mehr N als das Wicken-Klee-Gemenge gebunden. Die Summe aus N_{Aufwuchs} und $N_{\text{min-Rest}}$ lag bei dem Gemenge knapp 20 kg über den Werten bei der Phacelia, so dass von einer N_2 -Fixierung in dieser Größenordnung ausgegangen werden

kann. Bei Perserklee dürfte wiederum keine nennenswerte N_2 -Fixierung stattgefunden haben. Anfang April wurden in allen Varianten relativ hohe N_{min} -Vorräte angetroffen (Tabelle 39). In der Variante "2xErb", bei der im Spätherbst 237 kg N_{Aufwuchs} /ha vorlagen, lag der N_{min} -Vorrat mit 112 kg N/ha rund 50 kg über dem der Variante, bei der der gesamte Gemengeaufwuchs entfernt wurde ("0xErb").

Tabelle 39: Kalkuliertes N-Angebot und N_{min} -Reste beim Spinatversuch 2001 (Angaben in kg N/ha)

Variante	N_{min} -Vorrat		N-Nachlieferung	aus Gründüngung	aus Düngung	N-Angebot	N_{min} -Rest	
	0 - 30	30 - 60					0 - 30	30 - 60
Pha-0					0	119	21	28
Pha-100	32	47	40	0	45	164	19	31
Pha-200					90	209	37	50
Pha-G-100					35	154	19	40
0xErb-0					20	40	0	0
1xErb-0	37	49	40	14	0	141	17	34
2xErb-0	50	61		25	0	177	21	41
0xPer-0				0	0	110	20	31
1xPer-0	33	38	40	28	0	139	23	22
2xPer-0				56	0	167	27	28
1xPer-100				28	45	184	24	21
Wick-0				37	55	40	19	0
Wick-100					45	196	17	27

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Auf Grund der hohen N_{\min} -Vorräte und der bis auf 200 kg N_{ges} /ha gesteigerten N-Düngung lag das kalkulierte N-Angebot zwischen 100 und knapp 210 kg N/ha. Die N_{\min} -Reste lagen mit Werten zwischen 44 und 87 kg N/ha relativ hoch, wobei sich nur auf Grund des höchsten Wertes in der Variante "Pha-200" ein gewisse Abhängigkeit von kalkuliertem N-Angebot andeutete ($R^2 = 0,24$).

Bei deutlich differenziertem Nitratgehalt lag die Aufwuchsmenge zwischen 187 und 452 dt/ha und variierte damit um den Faktor 2,4 (Tabelle 40). Legt man einen ER-Anteil von 40 % zu Grunde, so bewegten sich die Erträge zwischen 112 bis 271 dt/ha. Eine Düngung von 100 bzw. 200 kg N_{ges} /ha führte meist zu absicherbaren Mehrerträgen. Eine Abfuhr des Gründüngsaufwuchses ("0x") führte zu signifikanten Mindererträgen, während eine Verdoppelung ("2x") keinen deutlichen Ertragszuwachs bewirkte. Rindergülle und Haarmehl-Pellets erwiesen sich als gleichwertige Düngemittel. Die Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und der Aufwuchsmenge war relativ eng, größere Abweichungen zeigten sich bei den Varianten mit doppelter Gründüngungsmenge (Abbildung 35). Auch der Düngungseffekt bei der "Per-100"-Variante blieb weitgehend aus.

Bei der innerhalb der Phacelia-Varianten durchgeführten Düngesteigerung zeichnete sich eine Zunahme des Aufwuchses von knapp 210 kg je kg zusätzlich verfügbarem N ab.

Dieses entspricht bei 40 % ER einer Ertragszunahme von 125 kg je kg zusätzlich verfügbarem N.

Mit zunehmendem N-Angebot nahm der Nitratgehalt des Aufwuchses exponential (Abbildung 36), der N-Gehalt der Spinat-TS linear zu (Abbildung 37). Der N-Gehalt der FS bewegte sich zwischen 27 und 32 kg N/100 dt FS und stieg nur tendenziell mit zunehmendem N-Angebot an ($R^2 = 0,27$). Mit 32 kg N/100 dt FS lag der N-Gehalt der am stärksten aufgedüngten Variante ("Pha-200") unter dem konventionellen Vergleichswert von 36 kg N/100 dt Aufwuchs-FS (FINK et al. 2001), obgleich mit 450 dt Aufwuchs/ha sogar eine höhere Aufwuchsmenge (FINK et al. 2001: 400 dt/ha) erzielt wurde.

Entsprechend der Zunahme des Ertrages und des N-Gehaltes mit zunehmendem N-Angebot bestand auch ein relativ enger Zusammenhang zwischen dem N-Gehalt (TS) und dem Ertrag ($R^2 = 0,67$). Eine Beziehung zwischen dem N-Gehalt der FS und dem Ertrag bestand praktisch nicht ($R^2 = 0,24$). Ein "optimaler" N-Gehalt (vgl. Abbildung 1) deutete sich in beiden Fällen nicht an.

Da sich die N_{\min} -Reste, mit Ausnahme der Variante "Pha-200", relativ unabhängig vom N-Angebot zeigten, bestand nur ein lockerer Zusammenhang zwischen den N_{\min} -Resten und dem realisierten Aufwuchs an Spinat ($R^2 = 0,34$, bei N_{\min} -Rest in 0 - 30 cm: $R^2 = 0,27$).

Tabelle 40: Frischmasseerträge (Mittelwerte über die Wiederholungen) sowie Nitrat- und N-Gehalte (Mischproben über die Wiederholungen) beim Spinatversuch 2001

Variante	Pha-0	Pha-100	Pha-200	Pha-G-100	0xErb0	1xErb0	2xErb0	0xPer0	1xPer0	2xPer0	1xPer100	Wick0	Wick100
Aufwuchs [dt FM/ha]	260 _{de} ¹	343 _{bc}	452 _a	350 _b	187 _g	242 _{ef}	254 _{def}	207 _{fg}	264 _{de}	260 _{de}	298 _{cd}	257 _{def}	372 _b
Ertrag² [dt FM/ha]	156	206	271	210	112	145	152	124	158	156	179	154	223
NO₃-Gehalt [mg/kg FS]	95	454	1623	282	52	217	355	289	400	317	763	240	840
TS-Gehalt [% der FS]	9,3	8,1	7,3	8,0	9,8	8,4	8,3	9,1	8,3	7,9	8,1	8,4	7,4
N-Gehalt [% N i. TS]	2,87	3,86	4,46	3,33	2,94	3,23	3,36	3,12	3,57	3,71	3,87	3,34	3,85
N-Gehalt [kg/100 dt]	27	31	32	27	29	27	28	28	30	29	31	28	28
N_{Aufwuchs} [kg N/ha]	69	107	146	93	54	66	71	59	78	76	93	72	105

1: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, $GD_{(\alpha=0,05)} = 52$ dt/ha

2: bei einem angenommenen Ernterückstände-Anteil von 40 %

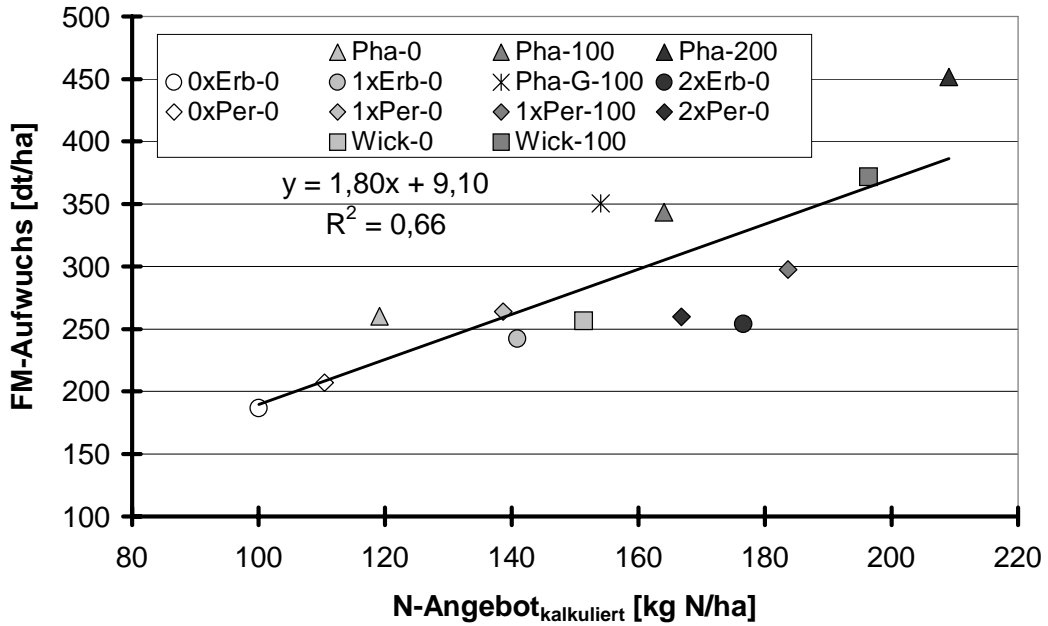


Abbildung 35: Beziehung zwischen dem kalkultierten N-Angebot und dem Frischmasse-Aufwuchs von Spinat (Versuch 2001, Mittelwerte über die Wiederholungen)

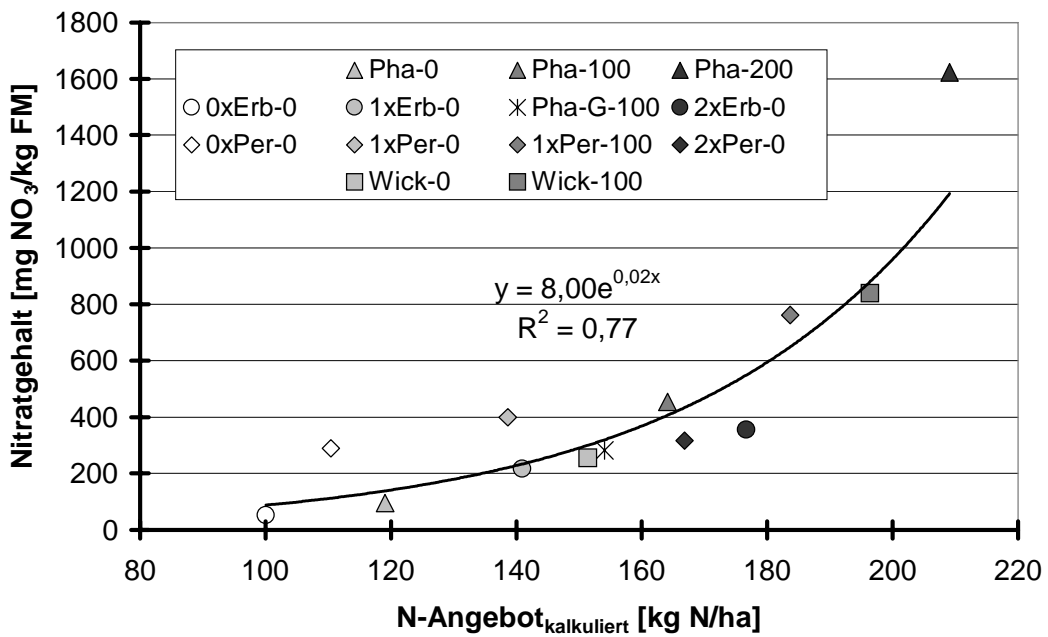


Abbildung 36: Beziehung zwischen dem kalkultierten N-Angebot und dem Nitratgehalt von Spinat (Versuch 2001, Mischproben über die Wiederholungen)

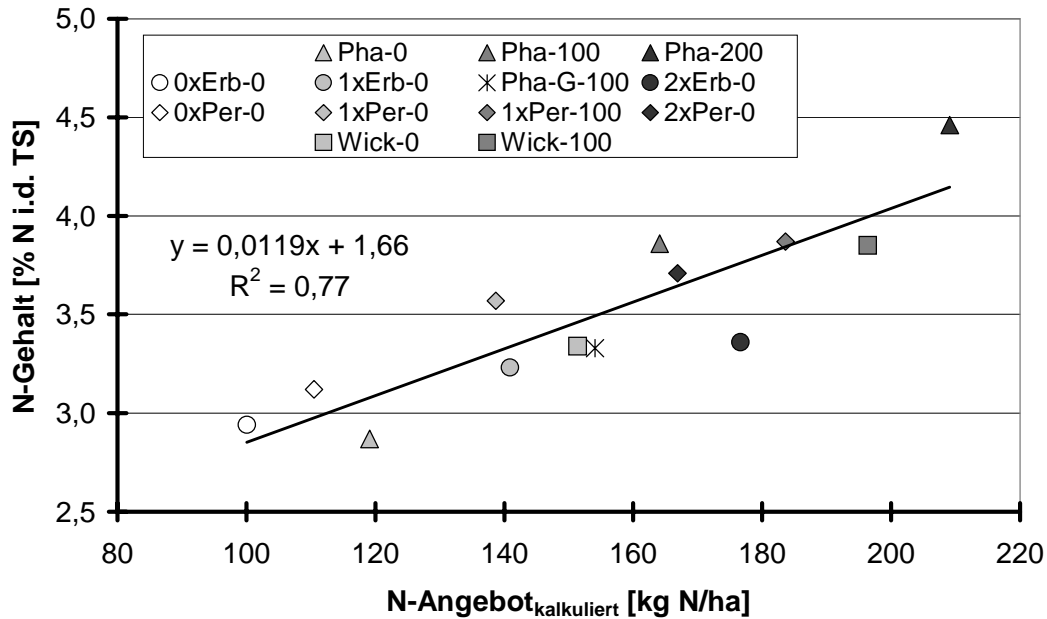


Abbildung 37: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem N-Gehalt des Spinataufwuchses beim Versuch 2001 (Mischproben über die Wiederholungen)

Die im Feld in Form von N im Spinataufwuchs und N_{\min} -Resten vorgefundene N-Menge deckt sich bei den Phacelia-Varianten und den Varianten mit Abfuhr der Gründüngung ("0x") nahezu vollständig mit dem kalkulierten N-Angebot (Abbildung 38). Deutlich überschätzt wurde das N-Angebot insbesondere bei den Varianten mit doppelter Gründüngung ("2x") sowie bei den mit 100 kg N_{ges} /ha aufgedüngten Perserklee- und Wicken-Klee-Varianten.

Analog der Übereinstimmung des kalkulierten N-Angebots mit dem im Feld gefundenen N-Mengen bei den "0x"-Varianten betrug der bei diesen Varianten berechnete N-Gewinn von 39 kg N/ha nahezu exakt der kalkulierten N-Nachlieferung des Bodens von 40 kg N/ha (Tabelle 41, Abbildung 39).

Auch die in den Phacelia-Varianten festgestellte N-Freisetzung aus Haarmehl-Pellets und Rindergülle entsprach in etwa den Kalkulationsansätzen (Tabelle 41, Abbildung 42), während bei Perserklee bzw. beim Wicken-Klee-Gemenge nur ein Drittel bzw. die Hälfte der kalkulierten N-Menge aus den Haarmehl-Pellets freigesetzt wurde (Tabelle 41).

Überschätzt wurden auch die N-Freisetzung aus den Rückständen des Erbsen-Wicken-Gemenges, die tendenziell sogar zu einer N-

Immobilisierung führten (Abbildung 40)*. Die kalkulierte Verdoppelung der N-Freisetzung bei "2xPer" zeichnete sich ebenfalls nicht ab. Möglicherweise ist dieses auf die ausschließliche Erhöhung der oberirdischen Grünmasse in der Variante "2xPer" zurückzuführen, so dass hier nur die 'einfache' N-Menge aus den Wurzeln freigesetzt werden konnte. Die zumeist aber nur geringen N-Mengen in den Wurzeln kurzfristiger Gründüngungen sprechen allerdings gegen diese These (vgl. Kapitel 2.2.3).

Die N-Freisetzung aus den Phacelia- und Wicken-Klee-Rückständen konnte nicht direkt ermittelt werden, da entsprechende Kontrollen ("0x") nicht angelegt werden konnten. Legt man die N-Nachlieferung des Bodens der Variante "0xErb-0" zu Grunde (bei der mit Ausnahme der Wurzelreste keinerlei Pflanzensubstanz in den Boden gelangt sein dürfte), so deutet sich bei diesen Gründüngungen keine N-Freisetzung während der Kulturzeit des Spinates an (Abbildung 41). Damit wurde die N-Freisetzung aus den Wicken-Klee-Rückständen leicht überschätzt, das Ausbleiben einer N-Nachlieferung aus den Phaceliarückständen richtig prognostiziert.

* Der bei den Mineralisationsverläufen wiederholt zu beobachtende Abfall am Ende der Beobachtungsperiode könnte möglicherweise mit einer nicht ganz vollständigen Aberntung des Bestandes am Erntetermin zusammenhängen. Denkbar ist auch, dass seneszente Blätter bereits verrotten waren und somit nicht erfasst wurden.

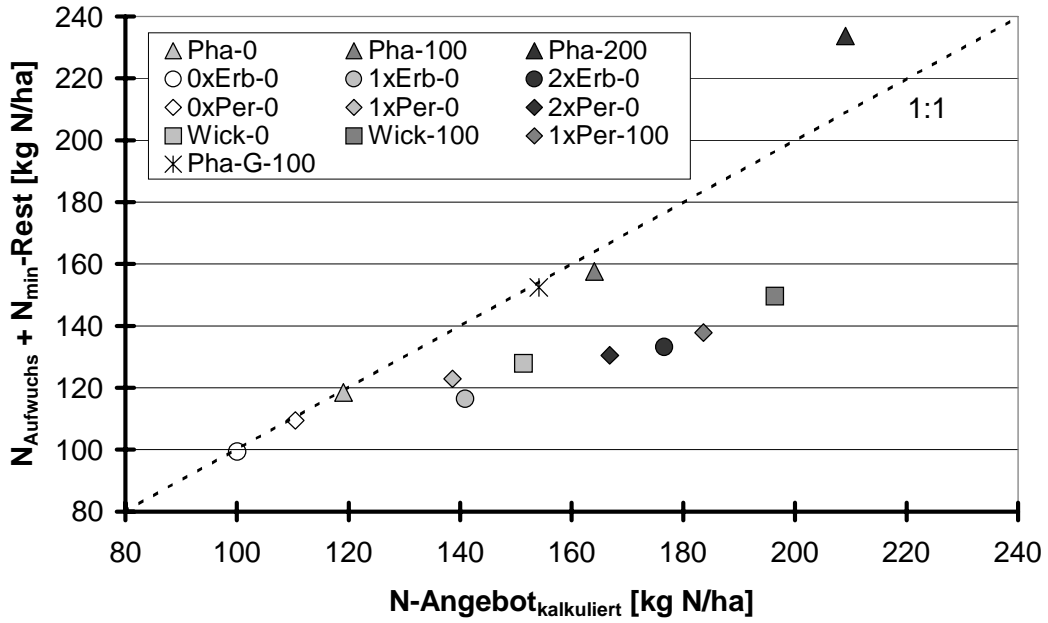


Abbildung 38: Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und der im Feld gefundenen N-Menge im Spinataufwuchs und N_{\min} -Rest (Versuch 2001, Mischproben über die Wiederholungen)

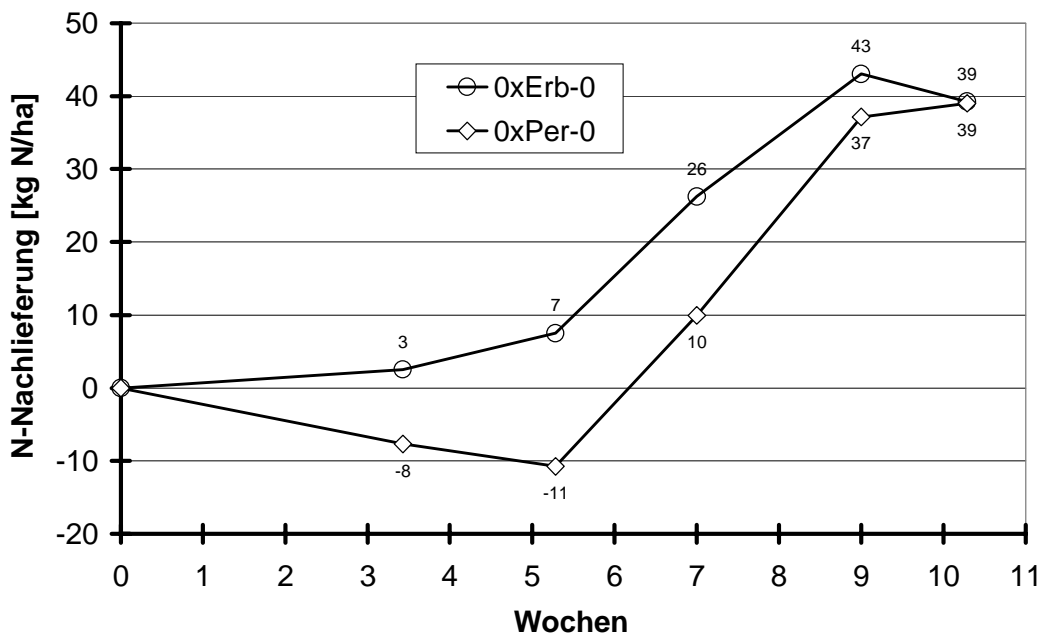


Abbildung 39: N-Nachlieferung des Bodens im Verlauf der Spinatkultur (Versuch 2001, Daten nach SCHOSTEK 2002)

Tabelle 41: N_{\min} -Gehalte und N-Menge im Spinataufwuchs im Verlauf der Kulturzeit sowie N-Gewinn und N-Freisetzung aus den eingearbeiteten Düngemitteln bzw. Gründüngungen beim Spinatversuch 2001 (Mischproben über die Wiederholungen, Daten nach SCHOSTEK 2002)

Variante	Bodenschicht [cm]	N_{\min} bzw. N_{Aufwuchs} [kg N/ha]						N-Gewinn ¹	N-Freisetzung ²
		Datum der Probenahme							
		3.4.	27.4.	10.5.	22.5.	5.6.	14.6.		
Pha-0	0 - 30	32	45	39	53	31	21	39	(0) ³
	30 - 60	47	46	43	42	44	28		
	N_{Aufwuchs}	0	0	0	5	47	69		
Pha-100	0 - 30	32	45	50	73	48	19	79	39
	30 - 60	47	46	58	53	48	31		
	N_{Aufwuchs}	0	0	0	6	80	107		
Pha-G-100	0 - 30	32	45	76	84	53	19	73	34
	30 - 60	47	46	47	52	40	40		
	N_{Aufwuchs}	0	0	0	6	76	93		
Pha-200	0 - 30	32	-	-	-	-	37	155	115
	30 - 60	47	-	-	-	-	50		
	N_{Aufwuchs}	0	0	0	-	-	146		
0x Erb -0	0 - 30	20	28	30	48	32	18	39	-
	30 - 60	40	34	37	35	36	28		
	N_{Aufwuchs}	0	0	0	3	34	54		
1x Erb -0	0 - 30	37	45	42	52	39	17	30	-9
	30 - 60	49	46	44	43	47	34		
	N_{Aufwuchs}	0	0	0	4	38	66		
2x Erb -0	0 - 30	50	52	44	53	49	21	22	-18
	30 - 60	61	61	47	46	52	41		
	N_{Aufwuchs}	0	0	0	4	53	71		
0x Per -0	0 - 30	33	34	34	50	41	20	39	-
	30 - 60	38	29	26	27	33	31		
	N_{Aufwuchs}	0	0	0	3	34	59		
1x Per -0	0 - 30	33	36	45	65	54	23	52	13
	30 - 60	38	20	29	34	36	22		
	N_{Aufwuchs}	0	0	0	3	50	78		
2x Per -0	0 - 30	33	31	43	73	53	27	60	21
	30 - 60	38	26	24	35	32	28		
	N_{Aufwuchs}	0	0	0	3	62	76		
1x Per -100	0 - 30	33	-	-	-	-	24	67	(15) ⁴
	30 - 60	38	-	-	-	-	21		
	N_{Aufwuchs}	0	0	0	-	-	93		
Wick-0	0 - 30	37	43	43	61	40	23	36	(-3) ³
	30 - 60	55	43	43	47	47	33		
	N_{Aufwuchs}	0	0	0	4	36	72		
Wick-100	0 - 30	37	-	-	-	-	17	58	22
	30 - 60	55	-	-	-	-	27		
	N_{Aufwuchs}	0	0	0	-	-	105		

1: $N\text{-Gewinn} = N_{\min}\text{-Rest (14.6.)} + N_{\text{Aufwuchs}} (14.6.) - N_{\min}\text{-Vorrat (3.4.)}$

2: $N\text{-Freisetzung} = N\text{-Gewinn} - N\text{-Gewinn der entsprechenden ungedüngten Kontrolle bzw. Variante ohne Gründüngung (fett markiert);}$

3: $N\text{-Freisetzung} = N\text{-Gewinn} - N\text{-Gewinn der Variante "0xErb-0";}$

4: $N\text{-Freisetzung} = N\text{-Gewinn} - N\text{-Gewinn der Variante "1xPer-0"}$

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

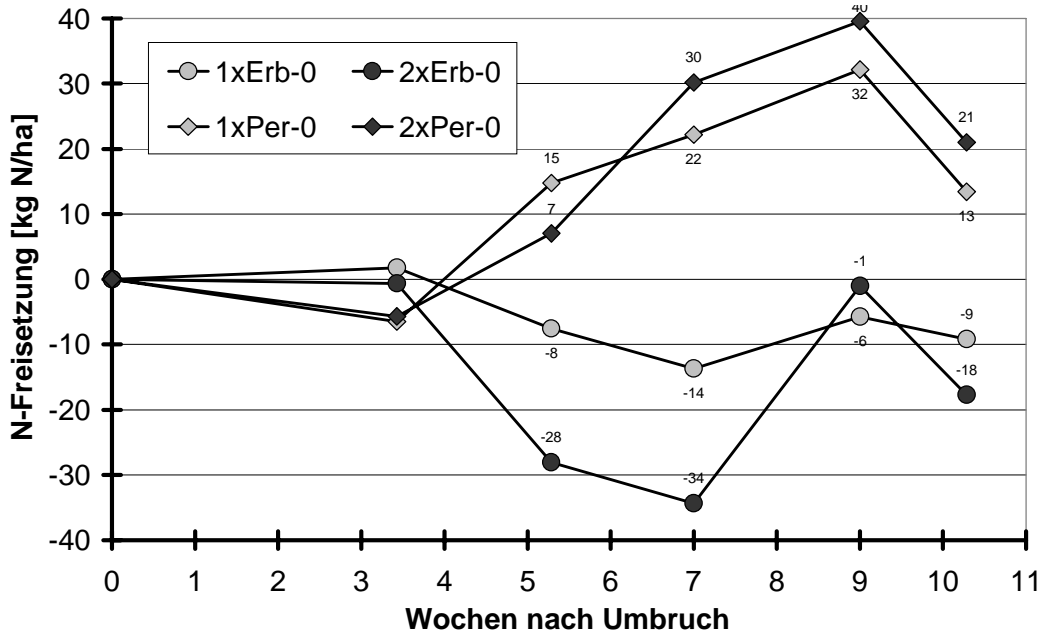


Abbildung 40: N-Freisetzung aus Erbsen-Wicken-Rückständen und Perserklee im Verlauf der Spinatkultur (Versuch 2001, Daten nach SCHOSTEK 2002)

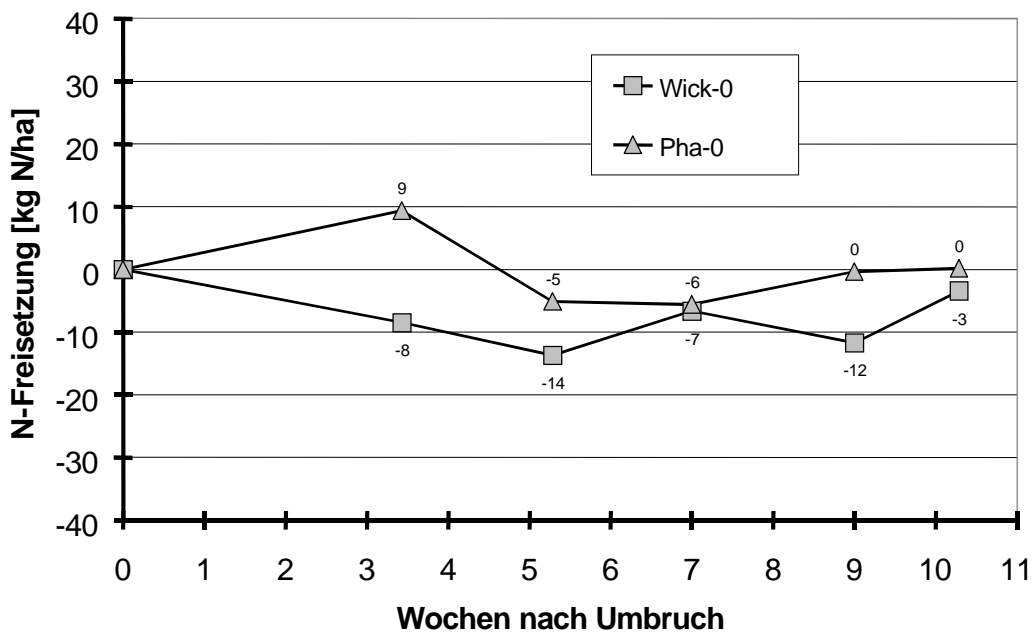


Abbildung 41: N-Freisetzung aus Phaceliarückständen und Wicken-Klee-Gemenge im Verlauf der Spinatkultur (Versuch 2001, einkalkulierte N-Nachlieferung des Bodens entsprechend der Variante "0xErb-0", Daten nach SCHOSTEK 2002)

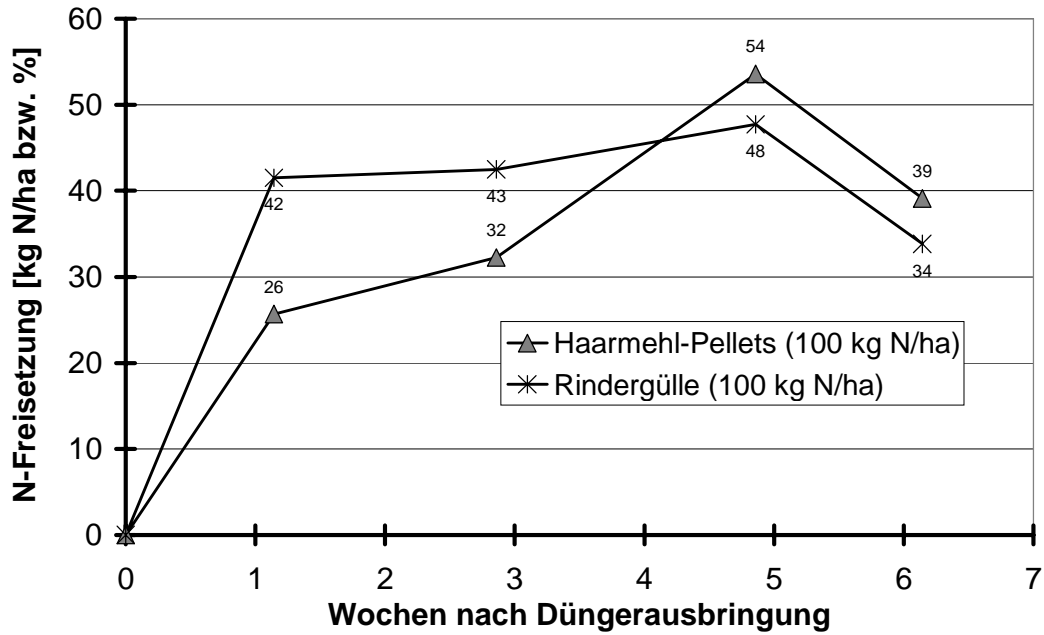


Abbildung 42: N-Freisetzung aus Haarmehl-Pellets und Rindergülle im Verlauf der Spinatkultur (Versuch 2001, Phacelia-Varianten, Daten nach SCHOSTEK 2002)

5.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

- Bei Vegetationsende lag die von den verschiedenen Gründungskulturen oberirdisch gebundene N-Menge zwischen 82 bis 154 kg N/ha. Die symbiotische N₂-Fixierung durch Wicken/Klee wurde im Versuchsjahr 2000 auf 60 kg N/ha geschätzt, in allen anderen Fällen dürften nur geringe N-Mengen fixiert worden sein.
- Die N_{min}-Vorräte (0 - 60 cm) beliefen sich im Frühjahr auf 26 bis 98 kg N/ha, in einer Variante, bei der der Aufwuchs zu Vegetationsende verdoppelt wurde, fanden sich 112 kg N/ha.
- Das kalkulierte N-Angebot lag zwischen 72 (keine Düngung, Gründüngungsrückstände mit weitem C/N-Verhältnis) und 231 kg N/ha (gut entwickelte Gründüngung, hohe Düngung).
- Bei hohem N-Angebot wurden Erträge von bis zu 330 dt/ha realisiert, die dem des konventionellen Anbaus durchaus vergleichbar sind.
- Eine Gründüngung führte gegenüber Varianten, bei denen der Aufwuchs abgefahren wurde, zu deutlichen Ertragszuwächsen. Bei den verschiedenen Gründüngungsarten zeigte Perserklee über die Jahre hinweg zumeist die besten Resultate. Eindeutig positive Beziehungen zwischen der N_{Aufwuchs}-Menge im Herbst bzw. Frühjahr bestanden mit Ausnahme des Versuchsjahres 2001 nicht (Tabelle 42).

Tabelle 42: Parameter der Regressionsbeziehungen zwischen der N-Menge im Aufwuchs der Gründüngungen bzw. deren Reste und dem Frischmasseertrag von Spinat (ungeüngte Varianten)

	N _{Aufwuchs} zu Vegetationsende				N _{Aufwuchs} zu Kulturbeginn			
	b	a	R ²	n	b	a	R ²	n
1998	-	-	-	-	0,73	164	-	2
1999	-2,32	453	0,99	3	-0,26	220	0,18	3
2000	-1,20	376	0,79	3	0,28	245	0,10	3
2001	0,17	125	0,57	6 ¹	0,43	127	0,62	8
1998-2001 ²	0,12	109	0,14	12	0,23	113	0,22	16

1: ohne "0xPer-0" und "2xPer-0"

(Differenzierung erfolgte erst im Frühjahr)

2: bei Berücksichtigung des rel. Ertrages (jeweils Varianten mit geringstem Ertrag = 100 %)

- Mit Ausnahme des Versuchsjahres 2000 führte eine Düngung mit Rindergülle oder Haarmehl-Pellets bzw. Maltaflor zu einem deutlichen Ertragsanstieg. Unterschiede in der Ertragswirksamkeit dieser Düngemittel zeigten sich nicht (vgl. auch Abbildung 43, Abbildung 44).
- Mit einem Ertragsanstieg von durchschnittlich rund 45 kg Spinat je kg zusätzlich gedüngtem N_{ges} (Abbildung 43, Abbildung 44) ist die N-Düngung mit Haarmehl-Pellets bzw. Maltaflor und Rindergülle als sehr wirtschaftlich einzustufen (ca. 3,50 Euro/kg N_{ges} bei Haarmehl-Pellets).

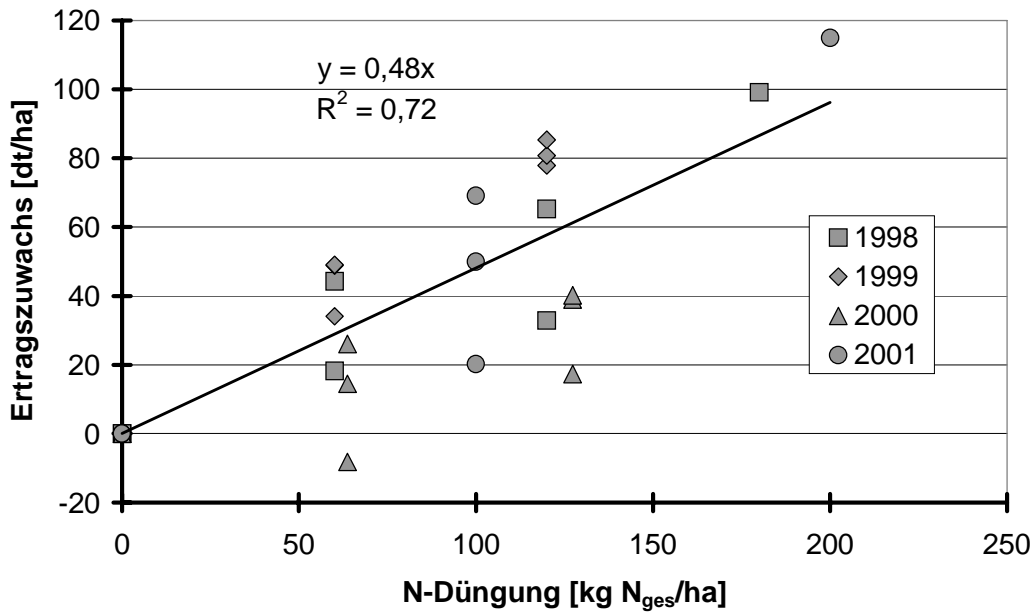


Abbildung 43: Ertragszuwächse bei Spinat in Abhängigkeit von der N-Düngung mit Haarmehl-Pellets (Versuchsjahre 1998, 2000 und 2001) bzw. Maltaflor (Versuchsjahr 1999)

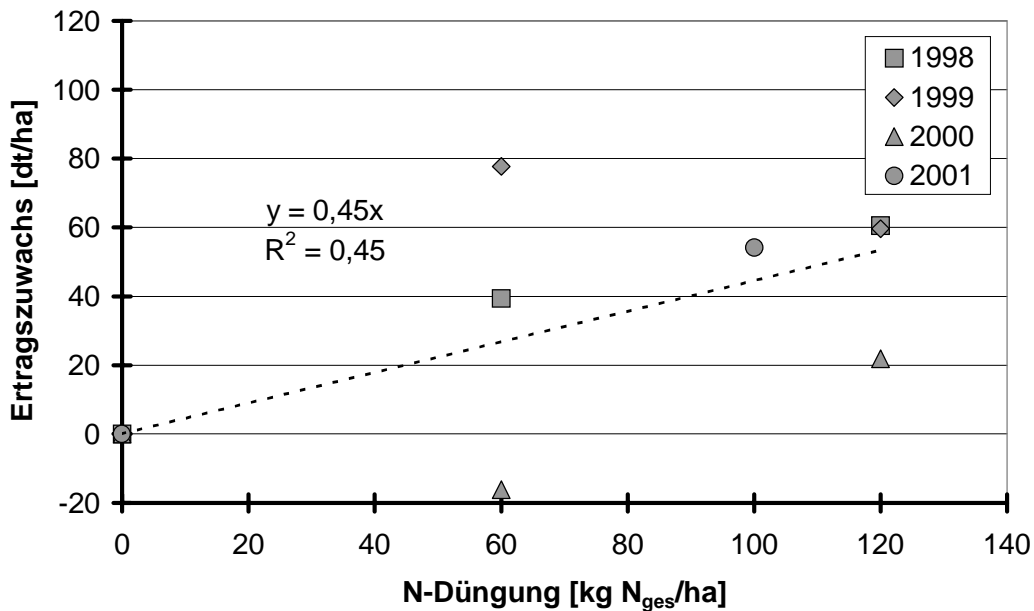


Abbildung 44: Ertragszuwächse bei Spinat in Abhängigkeit von der N-Düngung mit Rindergülle (Versuchsjahre 1998 bis 2001)

- Insgesamt war die Beziehung zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem Ertrag, mit Ausnahme des Versuchsjahres 1998, eher locker. Ursache hierfür dürften in erster Linie Fehleinschätzungen (vermutlich Überschätzungen) der Ertragswirksamkeit der eingearbeiteten Gründüngungen bzw. deren Rückstände gewesen sein. Zusammenfassend über die vier Versuchsjahre konnte aber dennoch ein Großteil der jeweils aufgetretenen Ertragsvariation auf das unterschiedliche N-Angebot zurückgeführt werden (Abbildung 45).
- Mit zunehmendem N-Angebot nahm der Nitratgehalt im Erntegut zumeist deutlich zu (außer im Versuchsjahr 1999 mit insgesamt sehr niedrigen Werten). Abgesehen von einigen höher aufgedüngten Varianten lag er aber zumeist unter 1 500 mg NO₃/kg FS.
- Der maximal ermittelte N-Gehalt des Spinat-Aufwuchses lag, bei vergleichbarer Aufwuchsmenge, mit 32 kg N/100 dt FS unter dem konventionellen Vergleichswert (36 kg N/100 dt).
- Im Gegensatz zu den Erträgen nahmen die N_{min}-Reste mit steigendem N-Angebot nur im Versuchsjahr 1998 deutlich zu. Von daher zeigt sich zumeist kein engerer Zusammenhang zwischen den N_{min}-Resten und den realisierten Erträgen. Hohe Spinaterträge von 250 dt/ha wurden bereits bei N_{min}-Resten (0 - 60 cm) von 25 kg N/ha (in 0 - 30 cm ca. 8 kg N_{min}/ha) realisiert (Abbildung 46).
- Die mittels Bracheparzellen bzw. Bestandesanalyse ermittelte N-Nachlieferung des Bodens lag im Versuchsjahr 2000 mit rund 9 kg N/ha je Woche deutlich über dem Kalkulationsansatz. 2001 wurde die N-Nachlieferung nahezu exakt prognostiziert.
- Die N-Freisetzung aus den verschiedenen Gründüngungen bzw. deren Resten wurde im Versuchsjahr 2000 deutlich unter-, 2001 deutlich überschätzt.
- Die im Versuchsjahr 2001 ermittelte N-Freisetzung aus der Rindergülle lag mit rund 40 % der ausgebrachten N_{ges}-Menge leicht über dem prognostizierten Anteil von 35 %.
- Die N-Freisetzung aus Haarmehl-Pellets lag bei den Phacelia-Varianten mit 39 bzw. 57 % in etwa im Bereich des Kalkulationsansatzes von 45 %. In der Perserklee- und Wicken-Klee-Variante wurde nur eine rund 20%ige N-Freisetzung ermittelt.

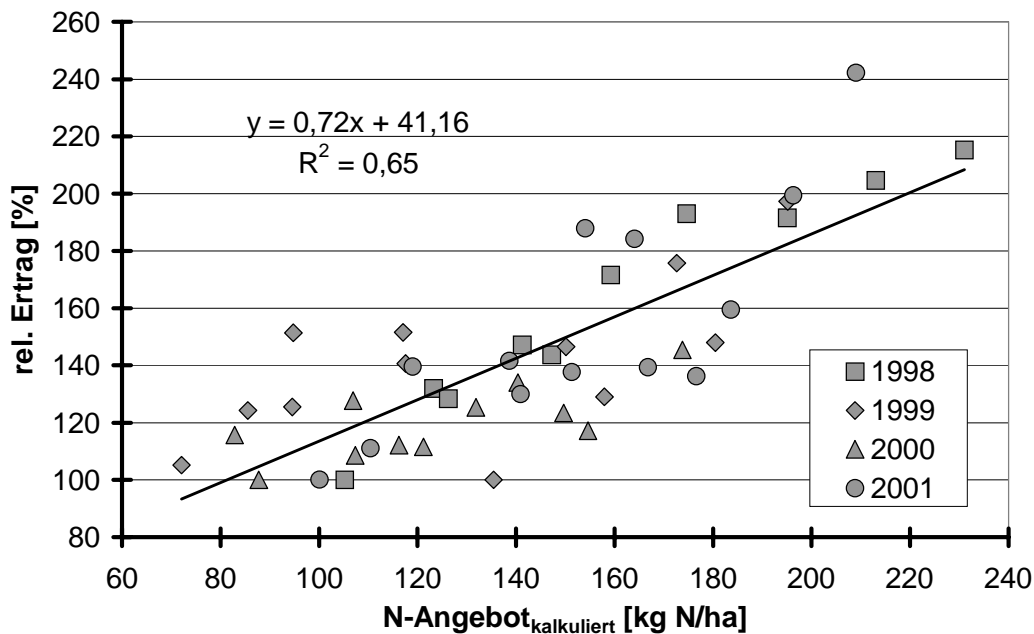


Abbildung 45: Relativer Frischmasseertrag von Spinat (jeweils Varianten mit dem geringsten Ertrag = 100 %) in Abhängigkeit vom kalkulierten N-Angebot (Versuchsjahre 1998 bis 2001, Mittelwerte über die Wiederholungen)

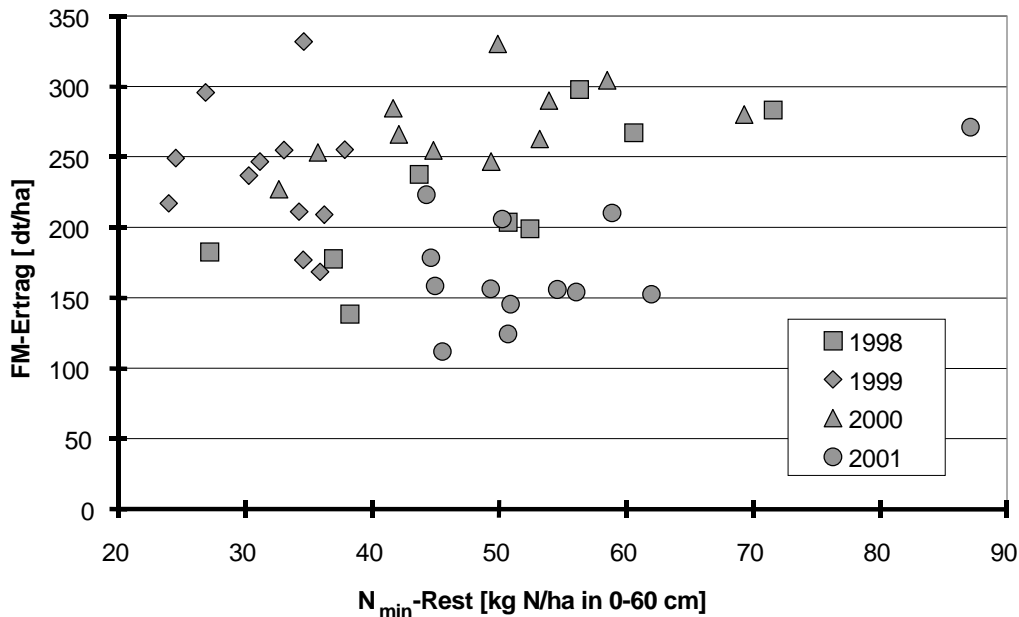


Abbildung 46: Frischmasseertrag von Spinat in Abhängigkeit vom N_{min}-Rest (Versuchsjahre 1998 bis 2001, Mischproben bzw. Mittelwerte über die Wiederholungen)

6 Diskussion

6.1 Stickstoffbedarf der Kulturen

Bei allen durchgeführten Düngungsversuchen zeigten sich lineare Ertragszunahmen bis zum jeweils maximalen N-Angebot. Daher können auch aus den im Versuchsjahr 2001 durchgeführten Bestandesanalysen keine N-Bedarfszahlen abgeleitet werden.

Auffällig waren allerdings die sehr geringen N-Gehalte beim Brokkoli, wobei hier allerdings mit maximal knapp 100 dt Marktware/ha nur ein relativ mäßiger Ertrag erzielt wurde (FINK et al. 2001: 150 dt/ha). Aber auch beim Spinat, bei dem ein sehr hohes Ertragsniveau erreicht wurde, lagen die N-Gehalte noch deutlich unter den konventionellen Vergleichswerten von FINK et al. (2001). Verglichen mit den unter Praxisbedingungen erhobenen Daten von ALT und WIEMANN (1990) mit 30,5 kg N/100 dt Aufwuchs (gewichtetes Mittel aus Marktware und ER) lagen die N-Gehalte aber auf "normalem" Niveau.

Wie auch bei den meisten Versuchen bzw. Erhebungen mit Blumenkohl (vgl. Tabelle 1) lag der N-Harvest-Index bei Brokkoli auf dem Niveau der konventionellen Vergleichszahlen. Damit deuten sich bei diesen beiden Kulturen keine Unterschiede beim Verhältnis der unterschiedlichen Aufwuchskomponenten zwischen konventionellem und ökologischem Anbau an.

N_{min}-Mindestvorrat

Im Gegensatz zu den Erträgen wurden die N_{min}-Reste im Allgemeinen nur unwesentlich vom Düngungsniveau beeinflusst. Nur beim Spinatversuch 1998 konnte eine Zunahme der N_{min}-Reste mit steigendem N-Angebot beobachtet werden, so dass hier, analog den Ergebnissen von ELMERS und FIEDLER (1995) (vgl. Abbildung 4), Ertragshöhe und N_{min}-Rest positiv korrelierten. Ein notwendiger N_{min}-Rest konnte aber auch hier auf Grund des linearen Zusammenhangs nicht abgeleitet werden. Andererseits wurden bei Spinat, bei dem ein N_{min}-Mindestvorrat von 40 kg N/ha als notwendig erachtet wird (FINK et al. 2001), auch bei deutlich niedrigeren N_{min}-Resten hohe Ertragsleistungen erzielt. Das untermauert die These, dass bei höheren N-Nachlieferungsraten (auf Grund einer organischen Düngung) geringe N_{min}-Reste nicht zwangsläufig mit einer N-Unterversorgung der Kulturen einhergehen müssen.

6.2 Stickstoffangebot

6.2.1 N_{min}-Vorrat des Bodens

Die N_{min}-Vorräte bewegten sich zwischen 14 und 112 kg N/ha. Analog der vorliegenden Daten verschiedener Erhebungen und Versuche (vgl. Abbildung 5) wurden in über 50 % der Versuchsvarianten mehr als 50 kg N_{min}/ha vorzufinden (Abbildung 47).

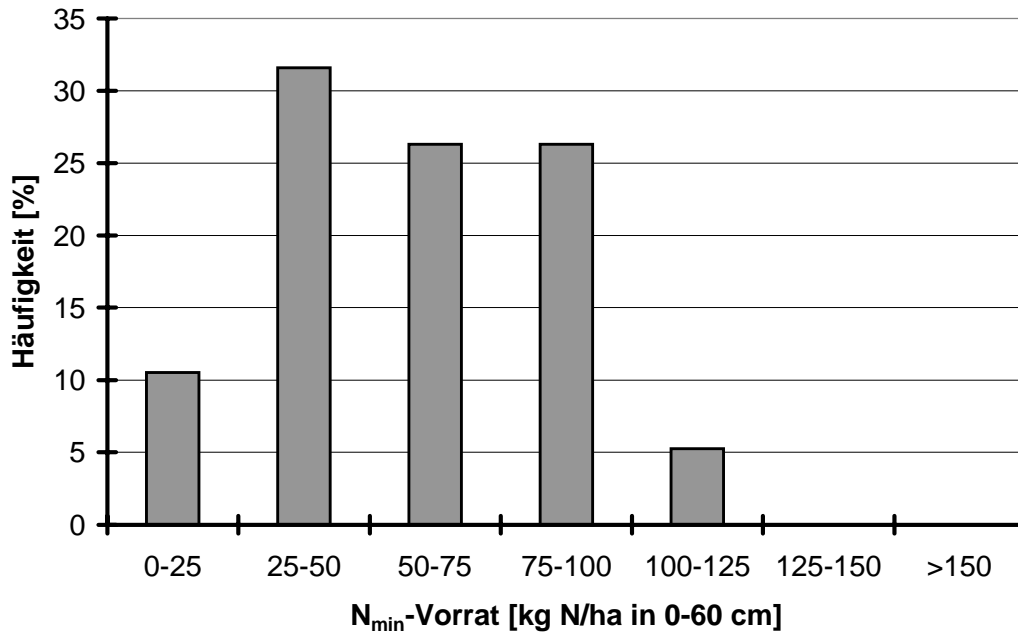


Abbildung 47: Häufigkeitsverteilung der N_{min}-Vorräte bei den Kohl- und Spinatversuchen der Jahre 1998 bis 2001

6.2.2 N-Nachlieferung aus der organischen Substanz

Die beim Spinatversuch 2000 und Brokkoliver-such 2001 ermittelte N-Nachlieferung des Bodens lag mit rund 9 bzw. 8 kg N/ha pro Woche über dem Kalkulationsansatz von 5 kg N/ha. Beim Spinatversuch 2001 entsprach die ermittelte N-Nachlieferung nahezu exakt der (konventionellen) "Faustzahl" von 5 kg N/ha pro Woche.

Ob systembedingte Unterschiede in der N-Nachlieferung aus der organischen Substanz des Bodens zwischen konventionellen und ökologischen Gemüsebau bestehen, könnte erst bei Vorliegen einer größeren Datenbasis abgeschätzt werden. Letztendlich ist es aber zur Düngekalkulation im Einzelfall unerheblich, ob systembedingte Unterschiede bestehen oder nicht; die große Schwankungsbreite der Nachlieferungsraten bei beiden Anbausystemen lässt eine genauere Prognose wünschenswert erscheinen. Diese ist aber bisher nicht mit der erforderlichen Genauigkeit möglich (vgl. MOJE 1997).

6.2.3 N-Freisetzung aus Gründüngungen und Ernterückständen

Die N_{Aufwuchs}-Menge der verschiedenen Ende Juli bis Ende August angesäten Gründüngungen lag am Ende der jeweiligen Vegetationspe-

riode zwischen 82 und 154 kg N/ha und damit auf "typischem" Niveau. Ende März bis Ende April des Folgejahres wurden bei abgefrorenen Beständen Rückstände mit N-Mengen von 15 bis 43 kg N/ha vorgefunden, mehr oder weniger überwinterte Bestände enthielten bis zu 185 kg N/ha.

Bei ausschließlicher Gründüngung wurden sowohl bei Brokkoli als auch beim Spinat nur ungenügende bis mäßige Erträge realisiert, eine Zudüngung führt zumeist zu einem deutlichen, hoch wirtschaftlichen Ertragsanstieg. Damit ist die Aussage von ELERS und HARTMANN (1987), dass nach Gründüngungen (mit bis zu 145 kg N_{Aufwuchs}/ha im Herbst) Spinat ausreichend ernährt werden kann, zu relativieren. Eine deutlich positive Beziehung zwischen der N_{Aufwuchs}-Menge im Herbst (wie sie sich bei ELERS und HARTMANN 1987 (vgl. Abbildung 6) sowie zum Teil bei WILLUMSEN und THORUP-KRISTENSEN 2001 zeigte) bzw. im Frühjahr und dem realisierten Ertrag konnte nicht ermittelt werden (vgl. Tabelle 42).

Die N-Freisetzung aus den verschiedenen Gründüngungen bzw. deren Resten wurde nur selten richtig prognostiziert. Mit Abweichungen von zum Teil über 40 kg N/ha vom Kalkulationsansatz stellt damit die Gründüngung einen größeren "Unsicherheitsfaktor" bei der Kalkulation des N-Angebotes dar. Derartige Fehleinschätzungen sind bei einer Kultur wie Spinat

aber besonders kritisch zu sehen, da eine N-Unter- bzw. Überversorgung schnell zu Qualitätsproblemen ("gelbe Blätter" bzw. überhöhte Nitratgehalte) führen kann.

Ein weiteres Problem stellt die Abschätzung der N-Menge des Aufwuchses einer Gründüngung bzw. dessen Qualität in der Praxis dar. Zum Zeitpunkt des Umbruchs kann allenfalls die Aufwuchsmenge bestimmt werden, Analyse-daten zum N-Gehalt und C/N-Verhältnis liegen, wenn überhaupt, erst nach längerer Zeit vor. Damit muss bei der Kalkulation des N-Angebots bzw. einer ggf. notwendigen Ergänzungsdüngung N_{Aufwuchs} und die Qualität der Gründüngung mit Hilfe von 'Faustzahlen' abgeschätzt werden (s. Anhang); weitere 'Unsicherheitsfaktoren' bei der Kalkulation des N-Angebotes. Damit kann eine Gründüngung zu Kulturen wie Spinat nicht uneingeschränkt empfohlen werden. Als relativ unproblematisch sind nach den vorliegenden Erkenntnissen abfrierende Gründüngungen einzuschätzen, da aus deren Resten (trotz zum Teil engerer C/N-Verhältnisse) offensichtlich keine größeren N-Freisetzungen bzw. Immobilisierungen zu erwarten sind.

6.2.4 N-Freisetzung aus Wirtschaftsdüngern

Stallmistgaben von rund 270 bzw. 540 dt/ha (150 bzw. 300 kg N_{ges} /ha) zeigten bei Blumenkohl und Brokkoli mit ihrer relativ kurzen Kulturzeit eine geringere Ertragswirksamkeit als Rizinusgaben in Höhe von 100 bzw. 200 kg N_{ges} /ha. So konnten im Mittel der Sorten Ertragsunterschiede zur ungedüngten Kontrolle nur in Versuchsjahr 2001 und damit nur in einem von zwei Versuchsjahren bei einer Mistgabe von 540 dt/ha abgesichert werden.

Die im Versuchsjahr 2001 bei der Sorte 'Marathon' ermittelte N-Freisetzung aus dem Stallmist von 10 bzw. 7 kg N/ha innerhalb zehn Wochen war vernachlässigbar gering. Wenn auch überwiegend auszuschließen, wurden möglicherweise nicht alle seneszenten Blätter bei der N_{Aufwuchs} -Ermittlung erfasst, so dass tatsächlich größere N-Mengen als berechnet freigesetzt wurden. Auch die festgestellte Ertragsreaktion bei der Sorte 'Chevalier' u. a. lässt sich nicht mit derart geringen N-Mengen erklären.

Eine Gülledüngung von 100 bzw. 120 kg N_{ges} /ha führte bei Spinat zumeist zu absicherbaren Mehrerträgen. Eine Ertragswirksamkeit einer Gabe in Höhe von 60 kg N_{ges} /ha (ca. 17 m³/ha) konnte nur in einem Fall abgesichert werden, was bei einer zu erwartenden N-Freisetzung von 20 bis 25 kg N/ha durchaus

nachvollziehbar ist. Die im Versuchsjahr 2001 ermittelte N-Freisetzung aus der Gülle lag mit rund 40 % der ausgebrachten N_{ges} -Menge leicht über dem auf Grund der kurzen Kulturzeit veranschlagten 35%igen N-Freisetzung, andererseits aber auch deutlich niedriger als der NH_4 -N-Anteil der verwendeten Gülle von 63 % am N_{ges} -Gehalt.

6.2.5 N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern

Die beim Brokkoliversuch 2001 festgestellte N-Freisetzung aus Rizinus- und Lupinenschrot lag mit rund 30 % der ausgebrachten N_{ges} -Menge deutlich unter der in Brutversuchen ermittelten mittleren N-Freisetzung von annähernd 50 % (vgl. Abbildung 11). Aber auch in den Brutversuchen von KALAUCH und LABER (1999) und SCHMIDT et al. (2001) wurden bei Rizinus N-Freisetzungen von nur rund 30 bzw. 17 % ermittelt. Zwischen Rizinus- und Lupinenschrot zeigten sich keine Unterschiede, während KALAUCH et al. (2001) in einem Spinatversuch bei Rizinusschrot eine 64%ige, bei Lupinenschrot aber nur eine 37%ige N-Freisetzung ermittelten.

Die beim Spinatversuch 2001 in der Variante "Pha-100" festgestellte N-Freisetzung aus den Haarmehl-Pellets entsprach im Durchschnitt der beiden letzten Probenahmen relativ genau der Prognose von 45 % (vgl. Abbildung 42), die auf Grund der nur 6-wöchigen Kulturzeit nicht von einer 60%igen N-Freisetzung ausging. Ob bei längerer Mineralisationszeit eine 60%ige N-Freisetzung erreicht worden wäre, kann nur spekuliert werden, der Verlauf der N-Freisetzung lässt allerdings eher auf keine weitere N-Freisetzung aus dem Dünger in dieser Variante schließen. Andererseits wurde in der Variante "Pha-200" mit 57 % eine hohe Netto-Mineralisation ermittelt. In den Perser- klee- und Wicken-Klee-Varianten lag die N-Freisetzung allerdings bei nur rund 20 %.

Bei der Interpretation der Zahlen muss allerdings die "Ungenauigkeit" von N_{min} - und N_{Aufwuchs} -Bestimmungen im Feld berücksichtigt werden. Fehler von 20 bis 30 kg N/ha sind sicherlich kaum auszuschließen, wirken sich allerdings bei der Berechnung der prozentualen N-Freisetzung relativ gravierend aus. So relativiert sich möglicherweise auch die festgestellte geringe N-Freisetzung aus den Haarmehl-Pellets in den Perserklee- und Wicken-Klee-Varianten. Trotz der im Versuchsjahr 2001 ermittelten zum Teil nur mäßigen N-Freisetzung aus den organischen Handelsdüngern erwies sich deren Einsatz im Schnitt aller Brokkoli- und

Spinatversuche als sehr wirtschaftlich. Ein völliges Ausbleiben der Düngewirkung wie bei einigen Versuchen mit Blumenkohl und Knollenfenchel (vgl. Abbildung 13, Abbildung 14) konnte mit einer Ausnahme ("Pha-60" im Spinatversuch 2000) nicht beobachtet werden. Allerdings war der Ertragszuwachs durch eine Düngesteigerung um 60 bzw. 100 kg N_{ges} /ha bei den Spinatversuchen nur selten statistisch abzusichern. Durchschnittlich wurde beim Spinat ein Mehrertrag von 48 kg Spinat je kg zusätzlich gedüngtem N_{ges} erzielt, der damit etwas geringer als bei den vorliegenden Literaturdaten ausfiel (vgl. Abbildung 15).

6.3 Wechselwirkungen zwischen N-Angebot und Sorte

Bei den durchgeführten Sortenversuchen mit Blumenkohl und Brokkoli erwiesen sich die Standardsorten des konventionellen Anbaus immer auch als die N-effizientesten Sorten, die auch unter zum Teil deutlich N-limitierten Anbaubedingungen die besten Ertragsergebnisse zeigten. Damit korrespondiert das Ergebnis mit jenem von RATHER (1999), wo die N-effizienteste Blumenkohlsorte ebenfalls bei optimaler N-Versorgung mit die besten Ergebnisse lieferte.

Nur bei der Blumenkohlsorte 'Goodman', die bei den untersten Düngungsstufen einen vergleichbaren Ertrag wie die Standardsorte 'Fremont' zeigte, wäre bei einem (sicherlich nicht anzustrebenden) noch niedrigeren Düngungsniveau ein Ertragsvorteil gegenüber 'Fremont' denkbar gewesen (vgl. Abbildung 18).

Sorten, die bereits mehrere Generationen ökologisch vermehrt bzw. speziell für den ökologischen Anbau gezüchtet wurden und durch entsprechende Selektion möglicherweise eine bessere Anpassung an ökologische (N-limitierende) Anbaubedingungen erfahren haben, erfüllten in ertraglicher Hinsicht nicht die an sie gestellte Anforderung nach besonderer Eignung für ökologische, N-limitierende Anbaubedingungen.

Zusammen mit den Ergebnissen sicherlich häufiger auch unter N-limitierenden Bedingungen durchgeführter Öko-Sortenversuche, bei denen im Allgemeinen Standardsorten des konventionellen Gemüsebaus die besten Ertragsergebnisse zeigten, muss geschlossen werden, dass offensichtlich noch keine besonders N-effizienten Gemüsesorten verfügbar sind bzw. die Standardsorten bereits über eine solche N-Effizienz verfügen.

7 Schlussbetrachtung

Die Prognose der zu erwartenden N-Nachlieferung des Bodens bzw. N-Freisetzung aus eingebrachten organischen Düngemitteln mittels chemischer, physikalischer und biologischer Verfahren der Bodenanalyse ist bisher nicht mit der wünschenswerten Genauigkeit möglich.

Ein anderer, auch hier gewählter Ansatz zur Kalkulation des N-Angebots basiert auf der Verwendung von Durchschnittswerten für die N-Nachlieferung bzw. N-Freisetzung der verschiedenen organischen Substanzen, die gegebenenfalls bei Kenntnis genauerer Parameter (z. B. Qualität der eingearbeiteten Dünger) weiter präzisiert werden können.

Ein derartiges Vorgehen setzt voraus, dass fundiertes Zahlenmaterial vorliegt, um so, zumindest "im Schnitt", hinreichend genaue Prognosen erstellen zu können. Wie gezeigt wurde, liegt derartige Zahlenmaterial (trotz einer Vielzahl von durchgeführten Versuchen) für den Bereich des ökologischen Gemüsebaus zumeist aber nicht im erforderlichen Ausmaße vor. Insbesondere fehlt es an (weiteren) Daten zu:

- N-Nachlieferungen des Bodens unter den Bedingungen des intensiven Öko-Gemüsebaus,
- N-Freisetzung aus Gründüngungen und
- N-Freisetzung aus Wirtschafts- und organischen Handelsdüngern,

die auf möglichst vielen (Praxis)Standorten und unter unterschiedlichen Witterungsbedingungen erhoben wurden. Den Ursachen für schwankende, häufig sehr geringe N-Freisetzungen bzw. Ertragswirkungen muss ebenfalls stärker nachgegangen werden. Faktoren wie der Einfluss des Einarbeitungsmodus (Einarbeitungstiefe, Anwelkphase bei Gründüngungen) und des Bodenzustandes auf die N-Freisetzung aus Gründüngungen sowie Wirtschafts- und organischen Handelsdünger sind hier zu nennen.

Generell sollten bei Düngungsversuchen Parameter wie Menge und Qualität der eingearbeiteten Materialien erfasst werden. Aussagen wie "Düngung X war besser als Düngung Y" beschreiben einen Einzelfall, der erst nach vielfacher Wiederholung (vielleicht) zu einer verallgemeinerbaren Aussage führt. Zusammenhänge werden auf diese Art und Weise kaum aufgedeckt. Hier sollten nach Ansicht des Autors

die Forschungsressourcen besser genutzt werden und aus den mit viel Aufwand angelegten Versuchen durch eine umfassende Datenerhebung (zukünftig vermehrt auch Qualitätsparameter) möglichst viele Erkenntnisse und Daten gewonnen werden. Diese könnten dann zur weiteren 'Verfeinerung' von Düngungs- und Kalkulationshilfen (wie dem hier vorgestellten Ansatz) einfließen.

8 Zusammenfassung

Ausgehend von Literaturdaten wurde für den ökologischen Gemüsebau ein Kalkulationschema zur Berechnung des N-Angebots zusammengestellt, das die für dieses Anbausystem so wesentlichen N-Quellen Gründüngung sowie Wirtschafts- und organische Handelsdünger detaillierter als bisher verfügbare Kalkulationsmodelle einbezieht. Neben dem N_{\min} -Vorrat und einer angenommenen N-Nachlieferung aus dem Bodenumus von 5 kg N/ha pro Woche gehen die in der Tabelle genannten Ansätze in die Angebotsprognose ein.

	Gründüngungen	Rindermist	Rindergülle	Dünger*
N-Freisetzung [% von N_{ges}]	70 (bei $C/N \leq 10$), abfallend auf 0 (bei $C/N \geq 20$)	40	70	60
innerhalb	8 Wochen	20 Wochen	12 Wochen	8 Wochen

*: Rizinus, Haarmehl-Pellets, Maltaflor, Lupinenschrot, Ackerbohnschrot (nur 45 %)

Für alle Umsetzungsprozesse wurden vereinfachend gleichmäßige Mineralisationsraten angenommen. Unter kühlen Bodenbedingungen (März und April bzw. September und Oktober) geht das Modell von einer Halbierung der Umsatzraten aus.

Zur Evaluierung dieses Kalkulationsschemas wurden in den Jahren 1998 bis 2001 Versuche mit Spinat sowie Weißkohl, Blumenkohl und Brokkoli (2x) angelegt. Dabei wurde das N-Angebot durch unterschiedliche Gründüngungen und differenzierte Mengen an Wirtschafts- (bis 300 kg N_{ges} /ha) bzw. organischen Handelsdüngern (bis 200 kg N_{ges} /ha) verändert.

Die Spinaterträge variierten um bis zu 240 %, die Kohlerträge um bis zu 450 %. Bei den Kohlversuchen zeigten sich zumeist sehr enge Beziehungen zwischen dem kalkulierten N-Angebot und dem realisierten Ertrag. Auch beim Spinat zeichnete sich eine gute Beschrei-

bung der relativen Ertragswirksamkeit der verschiedenen Düngemittel ab. Die bei diesen Versuchen aber insbesondere variierten Gründüngungs-Vorkulturen konnten teilweise nur sehr unbefriedigend in ihrer Wirkung beschrieben werden. Bei einer in Brokkoli durchgeführten Bestandesanalyse zeigte sich, dass die absolute Höhe des kalkulierten N-Angebotes relativ gut der Summe aus N_{Aufwuchs} und N_{\min} -Rest entsprach. Die N-Nachlieferung aus dem Humus lag aber deutlich über, die N-Freisetzung aus den Düngemitteln deutlich unter dem Kalkulationsansatz. Dagegen wurde beim Spinatversuch 2001 die Höhe der N-Nachlieferung (Humus) und die N-Freisetzung aus Gülle und Haarmehl-Pellets relativ exakt prognostiziert. Die N-Freisetzung aus den verschiedenen Gründüngungen wurde deutlich überschätzt.

Literatur

- AG BODEN 1996: Bodenkundliche Kartieranleitung. Hrsg. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Geologischen Landesämtern in der Bundesrepublik Deutschland, Schweizerbart, Stuttgart (4. Auflage)
- ALPERS, G. 2001: Blumenkohlversuche 2000 (Kurzfassung). In: Öko-Gemüse 1/01, Rundschreiben für den ökologischen Gemüsebau, LWK Schleswig-Holstein, Kiel
- ALT, D. und F. WIEMANN 1990: Stickstoff im Erntegut und in den Ernterückständen von Gemüse. Gemüse **26** (7), S. 352-356
- BÄUMER, K. 1992: Allgemeiner Pflanzenbau. Ulmer, Stuttgart (3. Auflage)
- BECKER, H. 1993: Pflanzenzüchtung. Ulmer, Stuttgart
- BECKER, I. 1984: Vergleichende Untersuchungen zum Stickstoffhaushalt in Ackerbohnen und Hafer als Beitrag zur Ermittlung der N_2 -Fixierung durch *Vicia faba*. Diplomarbeit, Institut für Agrikulturchemie, Univ. Göttingen
- BECKER, K. und A. BÖHRNSEN 1994: Wirkung mechanischer Pflegemaßnahmen auf die Unkrautabundanz und die N-Mineralisation im Boden. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XIV, S. 315-324
- BIOLAND-VERBAND 2001: Bioland-Richtlinien 23./24. April 2001. Bioland e.V. Verband für organisch-biologischen Landbau, Mainz (www.bioland.de)
- BLOOM, P., D. SCHOLZ und H. STÜTZEL 2001: Stickstofffreisetzung aus organischen Düngern für den Spargelanbau. In: BDGL-Schriftenreihe **19**, 38. Gartenbauwissenschaftliche Tagung, S. 46

- BMVEL 2001: Öko-Verordnung - Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 des Rates vom 24. Juni 1991 (Fortgeschriebene, nichtamtliche Fassung, Stand Mai 2001). Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (www.verbraucherministerium.de)
- BÖHMER, M. 1980: Der Mineralstoffgehalt von Böden mit Feldgemüsebau und seine Bedeutung für die Stickstoffernährung der Pflanze. Diss. Uni Hannover
- BRAIG, M. 2001[#]: Ackerbohrendichtsart zur Stickstoffdüngung im ökologischen Gemüsebau. Diplomarbeit, Fachhochschule Weihenstephan, Fachbereich Gartenbau
- BRAUN, A. 1999: Stickstoffversorgung im Ökologischen Frühgemüseanbau und Eignung von Körnerleguminosenschroten als organische N-Dünger. Diplomarbeit, Universität Gesamthochschule Kassel-Witzenhausen
- BRUNNER, T. 1998: Kann mikrobieller Stickstoffpool mineralische N-Düngung kompensieren? *Ökologie & Landbau* **26** (4), S. 61
- BUNDESSORTENAMT 1995: Richtlinien für die Wertprüfung und Sortenversuche im Gemüsebau. Ausgabe 1995, Landbuch-Verlag, Hannover
- DAUM, D. und M. SCHENK 1998: Gasförmige N-Verluste. *Deutscher Gartenbau, Spezial* **52** (23), S. 8-10
- ECHIM, T. 2000/100^{#s}: Ergebnisse 1999 bestätigt: Erbsenschrot entspricht weniger den Anforderungen von Rote Bete an N. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 100
- ECHIM, T. 1999/141^{#s}: Erbsenschrot entspricht am wenigsten den Anforderungen von Rote Bete an N. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 141
- ECHIM, T. 1999/259^{#s}: Rizinusschrot pelletiert entsprach am besten dem N-Kohlbedarf im Frühsommeranbau, das Erbsenschrot am wenigsten. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 259
- EL KHAFIF, R. 2001: Lupinen als pflanzliche Alternative zu tierischen Düngern? *ÖKOmenischer Gärtner-Rundbrief* (Januar, Februar & März 2001), S. 34-36
- ELERS, B. 1999: Auswirkungen verschiedener Saatgutherkunft (ökologisch/konventionell) auf Qualität und Ertrag von Kopfsalat. In: *Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau* [Hrsg.: HOFFMANN, H. und S. MÜLLER], S. 49-52, Verlag Dr. Köster, Berlin
- ELERS, B. und A. FIEDLER 1995^{#s}: Feldversuche zur Eignung verschiedener organischer Handelsdünger im Ökologischen Gartenbau am Beispiel Spinat. In: ELERS, B., A. FIEDLER und T. HERTZKE [Hrsg.]: *Düngung im Ökologischen Gemüsebau*
- ELERS, B. und A. FIEDLER 1995a: Brokkoli im ökologischen Anbau. *Gemüse* **31** (6), S. 378-379
- ELERS, B. und H.D. HARTMANN 1988: Modellversuche zur Mineralisation von Gründüngungspflanzen. *Landw. Forschung* **41** (3-4), S. 246-252
- ELERS, B. und H. D. HARTMANN 1987: Biologische Konservierung von Nitrat. *Gemüse* **24** (4), S. 210-214
- FAL/RAC [Hrsg.] 2001: Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau 2001. *Agrarforschung* **8** (6)
- FELLER, C. 1995/95: Wachstums-, Entwicklungsverlauf und N-Aufnahme. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 95
- FELLER, C. 1994/94: Wachstums-, Entwicklungsverlauf und N-Aufnahme. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 94
- FELLER, C. 1994/101: Wachstums-, Entwicklungsverlauf und N-Aufnahme. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 101
- FINK, M. [Hrsg.] 2001: Düngung im Freilandgemüsebau. Schriftenreihe des Institutes für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V., Gartenbauliche Berichte, Heft 4
- FINK, M. 2000: Nitrogen contribution of green pea residues to a succeeding spinach crop. *Gartenbauwissenschaft* **65** (2), S. 79-82
- FINK, M. 1996: Consideration of nitrogen mineralization from harvest residues in the calculation of fertilizer recommendations. *Acta hort.* **428**, S. 235-242
- FINK, M. und C. FELLER 2001: Nitrogen uptake of Brussels sprouts - validation of a model. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* **76** (5), S. 615-619
- FINK, M., C. FELLER, H.-C. SCHARPF, U. WEIER, A. MAYNC, J. ZIEGLER, J. SCHLAGHECKEN, P.J. PASCHOLD, und K. STROHMEYER 2001: N-Düngung. In: FINK 2001
- FINK, M., C. FELLER, H.-C. SCHARPF, U. WEIER, A. MAYNC, J. ZIEGLER, J. SCHLAGHECKEN, P. J. PASCHOLD, und K. STROHMEYER 2001a: N-Mineralisierung aus Ernterückständen. In: FINK 2001
- FINK, M. und H.-C. SCHARPF 2000: Apparent nitrogen mineralization and recovery of nitrogen supply in field trials with vegetable crops. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* **75** (6), S. 723-726
- FINK, M., H.-C. SCHARPF und M. BUCHER 2000: N-Expert II - Ein Computerprogramm für Düngungsberatung und Nährstoffbilanz im Freilandgemüsebau, Version 1.3, Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V.

- FISCHER, P. 2000: N-Freisetzung verschiedener organischer N-Dünger in Mineralböden. SÖL-Berater-Rundbrief (4), S. 3-7
- FRANKENBERGER, W. T. und H. M. ABELMAGID 1985: Kinetic parameters of nitrogen mineralisation rates of leguminous plants incorporated into soil. *Plant and Soil* **87**, S. 257-271
- FRIEDEL, J. K., E. DIERENBACH und D. GABEL 1997: Die Rolle der mikrobiellen Biomasse im C- und N-Kreislauf ökologisch bewirtschafteter Ackerböden. In: Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau [Hrsg.: KÖPKE, U. und J.-A. EISELE], S. 77-83, Verlag Dr. Köster, Berlin
- FRIEDEL, J. K., O. EHRMANN, D. GABEL, J. SCHNEIDER, K. STAHR, G. LUNG, V. RÖMHELD und T. STIERHOFF 1996: Untersuchungen zur organischen Bodensubstanz, zur Stickstoff- und Phosphor-Dynamik und zu bodenmikrobiellen Eigenschaften sowie zur faunistischen Bodenökologie - Ein interdisziplinäres Projekt zum Ökologischen Landbau. *Mitt. Dt. Bodenkdl. Gesellschaft* **81**, S. 129-132
- FRÜCHTENICHT, K., J. HEYN, H. KUHLMANN, L. LAURENZ und S. MÜLLER 1993: Pflanzenernährung und Düngung. In: QUADE, J. [Red.]: *Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau*, Hydro Agri Dülmen GmbH, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup (12. Auflage)
- GERLING, H. 1983: Untersuchungen über den Nitratfluß in einer Parabraunerde aus Löß und über die Stickstoffaufnahme durch Ackerbohnen und Hafer. Diplomarbeit, Institut für Agrikulturchemie, Univ. Göttingen
- GEYER, B., J. RÜHLMANN und Y. KUZYAKOV 1998: Wirkung organischer und mineralischer Stickstoffdüngung auf den Ertrag und die C-N Dynamik bei Gemüse. In: *BDGL-Schriftenreihe* **16**, 35. Gartenbauwissenschaftliche Tagung, S. 43
- GUTSER, R. und K. VILSMEIER 1988: Mineralisation verschiedener Zwischenfrüchte und N-Verwertung durch Pflanzen. *Kali-Briefe* **19** (3), S. 199-211
- GYSI, CH., F. VON ALLMEN und B. SCHWANINGER 1999: Das Stickstoffaufnahmevermögen von Kopfsalat und Knollensellerie aus biologischer und konventioneller Samenvermehrung. *Gartenbauwissenschaft* **64** (2), S. 78-83
- GYSI, CH., J.-P. RYSER, D. MATTHÄUS, W. KOCH, A. WIGGER und A. BERNER 1999a: Düngung. In: *Handbuch Gemüse 1999*, S. 55-80, Verband Schweiz. Gemüseproduzenten, Bern (CH)
- GYSI, CH., J.-P. RYSER, D. MATTHÄUS und W. KOCH 1994: Düngung. In: *Handbuch für Gemüse 1994*, S. 50-62, Schweizerische Gemüse-Union, Ins (CH)
- HAGENDORF-MEHR, B. und B. HABER 2001/37: Gute Qualität bei den meisten Sorten. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 37
- HAGENDORF-MEHR, B. und B. HABER 2001/75: 'Lahn F1' (RZ), 'Kohyro F1' (Neb/Roggli) und 'Olivia F1' (JW) sind die besten Sorten im Versuch. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 75
- HAGENDORF, HARTRATH und HABER 1995/8: Winterweizen eignet sich optimal als Überwinterungsgründung. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 8
- HAGENDORF, HARTRATH und HABER 1994/3: Gräser bedecken den Boden zügig und durchwurzeln intensiv. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 3
- HAGENDORF, HARTRATH und HABER 1994/4: Gemenge überzeugen durch Kombination der Vorzüge einzelner Arten. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 4
- HAGENDORF, HARTRATH und HABER 1994/5: Artenreichste Familie für Gründüngung im Gemüsebau. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 5
- HAGENDORF, HARTRATH und HABER 1994/6: Bekannte und unbekannt Arten aus 7 Familien. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 6
- HAMPL, U. 1996: Gründüngung: Grundlage der Bodenfruchtbarkeit. Leopold Stocker Verlag, Graz (A)
- HAUSER, S. 1987: Schätzung der symbiontisch fixierten Stickstoffmenge von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) mit erweiterten Differenzmethoden. Diss. Univ. Göttingen
- HEINZMANN, F. 1981: Assimilation von Luftstickstoff durch verschiedene Leguminosenarten und dessen Verwertung durch Getreidenachfrüchte. Diss. Univ. Hohenheim
- HELLER, S. 1998: Hacken macht Stickstoff mobil. *bio aktuell* (5/98), S. 6
- HEUBERGER, H. und W. H. SCHNITZLER 1993: Eignung von Kopfsalatsorten für den ökologischen Anbau. *Gartenbaumagazin* **2** (1/2), S. 42-45
- HILD 2001: Gärtnerkatalog der Firma Hild Samen GmbH, D-71672 Marbach
- IMHOF, T. und B. SCHWANINGER 1999: N-Mineralisation im Damm und unter Folie. *Der Gemüsebau* **61** (2), S. 17-19
- IMHOF, T. und D. T. BAUMANN 1999: Anhäufeln beschleunigt die N-Mineralisierung. *Der Gemüsebau* **61** (9), S. 11-13
- JANI, S. und M. HALLIDRI 2000: Comparison between native and modern cultivars in organic and conventional vegetable production. *Proceeding 13th IFOAM Scientific Conference*, S. 210

- JAHN, M. und C. WONNEBERGER 1991/86[§]: Bei organischer Düngung schnitt Blutmehl am besten ab. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 86
- JEYMANN, C. 1999[#]: Der biologische Anbau von Frühblumenkohl dargestellt anhand von Betriebsuntersuchungen. Diplomarbeit FH Osnabrück, FB Agrarwissenschaften, Studiengang Gartenbau
- KAGE, H. 1992: Zu den Ursachen hoher Restnitrattmengen beim Anbau von Ackerbohnen. Diss. Univ. Göttingen, Triade-Verlag Erika Claupein, Göttingen
- KAHNT, G. 1980: Gründüngung. DLG-Verlag (u. a.), Frankfurt am Main (u. a.)
- KALAUCH, S. und H. LABER 1999: Der Verlauf der N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern und deren Einfluß auf das Auflaufergebnis von Salat. Gaa-Journal (2), S. 31-32
- KALAUCH, S., J. MAYER und P. VON FRAGSTEIN 2001[§]: Körnerleguminosenschrote als Alternative N-Ergänzungsdünger im Ökologischen Gemüsebau am Beispiel Spinat. In: Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau [Hrsg.: REENTS, H. J.], S. 433-436, Verlag Dr. Köster, Berlin
- KELLER, F. und P. SCHÄTTI und R. FASNACHT 1998: Blumenkohlsorten auf dem Bio-Prüfstand 1996 - 1998. Der Gemüsebau **60** (11), S. 17-19
- KLIMANEK, E.-M. 1987: Ernte- und Wurzelrückstände landwirtschaftlich genutzter Fruchtarten. Wissenschaftliche Einzelveröffentlichung, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg (Anhang von KLIMANEK 1988)
- KLIMANEK, E.-M. 1988: Qualität und Umsetzungsverhalten von Ernte- und Wurzelrückständen landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten. Diss. (B) Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Berlin
- KOLLER, M., TH. ALFÖLDI, A. BERNER und M. LICHTENHAHN 2001[§]: Alternativen zu Fleisch-, -Blut- und Horndüngern im biologischen Gemüse- und Zierpflanzenbau. (Interner) Zwischenbericht zum gemeinsamen Projekt von Coop und FiBL, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick (CH)
- KOLLER, M., M. LICHTENHAHN und P. VAN DEN BERGE 2000: Gründüngungen: Schlüssel zum erfolgreichen Biogemüsebau. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) [Hrsg.], Frick (CH)
- KREß, O. 1993/172[§]: Geringere Erträge bei organisch gedüngtem Porree. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 172
- KREß, O. 1992/95[§]: Organisch gedüngte Kohlrabi mit guten Erträgen, aber späterem Beginn der Haupternte. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 95
- KRUG, H. 1991: *Chenopodiaceae* (Gänsefußgewächse). In KRUG [Hrsg.] 1991: Gemüseproduktion, Paul Parey, Berlin, Hamburg (2. Auflage)
- KUZYAKOV, Ya., J. RÜHLMANN und B. GEYER 1997: Linear Response an Plateau – Modell und Softwarelösung. Gartenbauwissenschaft **62** (5), S. 237-239
- LABER, H. 2000/29: Rizinusschrot zeigte bessere Wirkung als Stallmist; 'Earl' bei Ertrag und Qualität weit vorn. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 29
- LABER, H. 2000: Welchen organischen Handelsdünger für den ökologischen Gemüsebau? Ökologie & Landbau **28** (2), S. 37-39
- LABER, H. 1999: Effizienz mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen im Freilandgemüsebau. Diss. Univ. Hannover
- LABER, H. 1999/17: Rizinusschrot zeigte bessere Wirkung als Stallmist; Standardsorte Fremont bei Ertrag und Qualität an der Spitze. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 17
- LABER, H. 1998/246: N-Düngung von Lagerweißkohl im ökologischen Anbau. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 246
- LABER, H. 1997: Düngung im ökologischen Gemüsebau. Informationen für Praxis und Beratung, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Dresden [Hrsg.] (6. Auflage: 2001, 7. Auflage in Vorbereitung)
- LANGMEIER, M., A. OBERSON, D. DUBOIS, P. MÄDER und E. FROSSARD 2000: N fertiliser efficiency of cattle manure. Part II: Influence of farming system. Proceeding 13th IFOAM Scientific Conference, S. 82
- LEHMANN, J., H. U. BRINER und E. ROSENBERG 1991: Zwischenkulturen – was können sie und was können sie nicht? Landwirtschaft Schweiz **4** (4), S. 151-158
- LEVSEN, J. 2000: Die Auswirkungen verschiedener Dünger auf die Pflanzenprozesse. Jahresarbeit im Rahmen der "Freien Ausbildung", Gärtnerei am Bauerngut, Libbenichen
- LICHTENHAHN, M., A. BERNER und P. VAN DEN BERGE 1998: Nährstoffversorgung im Biogemüsebau. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) [Hrsg.], Frick (CH)
- LINDENHOVEN, P. 1990/15: N-Mineralisation von Blumenkohlernteresten in Abhängigkeit von der Temperatur. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 15
- LINDNER, U. 2001/9[#]: Art + Menge der Zusatzdüngung mit organischen Handelsdüngern je nach Kultur mit unterschiedlichem Erfolg. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 9

- LINDNER, U. 2000/3[#]: Mistkompostdüngung für Gemüse nicht ausreichend. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 3
- LINDNER, U. 2000/27[#]: Düngerkombination Rizinuskorn + Vinasse für Bio-Blumenkohl empfehlenswert. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 27
- LINDNER, U. 2000/156^{\$}: Keine gesicherten Ertragsunterschiede zwischen verschiedenen organischen N-Düngern bei Knollensellerie. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 156
- LINDNER, U. 1999/205^{\$}: Keine gesicherten Ertragsunterschiede zwischen verschiedenen organischen N-Düngern bei Knollensellerie. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 205
- LINDNER, U. 1999/131[#]: Maltaflor bringt höchsten Ertrag bei Bio-Porree. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 131
- LINDNER, U. 1998/169: 3-monatige Leguminosen-Gründüngung hat keinen Einfluss auf Ertrag von Winterporree. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 169
- LINDNER, U. 1998/170: Grüneinsaat auch Anfang Oktober noch lohnenswert. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 170
- LINDNER, U. 1998/193^{\$}: Kein Mehrertrag durch organische N-Handelsdünger bei Stangensellerie. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 193
- LINDNER, U. 1997/240^{\$}: Organische N-Düngung bei Tomaten gut möglich; 150 kg N/ha bei Sommerkultur ausreichend. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 240
- LINDNER, U. 1996/152^{\$}: Keine gesicherten Unterschiede bei verschiedenen Düngungsarten bei Bioporree. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 152
- LINDNER, U. 1996/46: 'Marathon', 'Platini' und 'Fiesta' qualitativ besten beim Frühjahrsanbau von Bio-Brokkoli. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 46
- LINDNER, U. 1995/29[#]: Banddüngung mit Rizinusschrot bei frühem Bio-Blumenkohl am besten. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 29
- LINDNER, U. 1995/42: 'Emperor' und 'Marathon' brachten gute Leistung bei Brokkoli. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 42
- LINDNER, U. 1995/156: Porree-Ertrag nach Vorkultur von Leguminosen-Gemenge deutlich höher als nach Phacelia. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 156
- LINDNER, U. 1994: Stickstoffversorgung im Ökologischen Freilandgemüseanbau. Gemüse 30 (2), S. 106-108
- LINDNER, U. 1993/213^{\$}: Rapsschrot wirkt geringer als andere organische N-Handelsdünger bei Tomaten. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 213
- LINDNER, U. 1993/203: endenziell Ertragsverbesserung durch Hacken bei Bio-Spinat im Frühjahr. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 203
- LINDNER, U. 1993/7: 'Plana' bringt besten Erlös beim Frühjahrsanbau von Bio-Blumenkohl. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 7
- LINDNER, U. 1992/156: Leguminosen-Gemenge bringt beste Vorfruchtwirkung bei Porree. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 156
- LINDNER, U. 1992/94^{\$}: Rizinusschrot wirkt schneller als andere organische N-Handelsdünger bei Kohlrabi. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 94
- LINDNER, U. 1992/13: 'Candid Charm' bringt höchsten Erlös beim Frühjahrsanbau von Bio-Blumenkohl. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 13
- LINDNER, U. 1992/22[#]: endenziell Ertragsverbesserung durch Sipton bei Bio-Blumenkohl im Frühjahr. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 22
- LOGES, R. und F. TAUBE 1999: Ertrag und N₂-Fixierungsleistung unterschiedlich bewirtschafteter Futterleguminosenbestände. In: Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau [Hrsg.: HOFFMANN, H. und S. MÜLLER], S. 101-104, Verlag Dr. Köster, Berlin
- LORENZ, H.-P., J. SCHLAGHECKEN, G. ENGEL, A. MAYNC und J. ZIEGLER 1989: Ordnungsgemäße Stickstoff-Versorgung im Freiland-Gemüsebau nach dem "Kulturbegleitenden N_{min} Sollwerte(KNS)-System". Hrsg.: Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten, Rheinland-Pfalz, Mainz
- MATTMÜLLER, H.-J. 1999: Weißkohl-Sortenversuche. Brandenburger Gärtnerbriefe (1/99), S. 21-22
- MAYNC, A. 2001/28[#]: Ertragsbildung von frühem Blumenkohl von der Vorkultur stärker beeinflusst als von der Zusatzdüngung. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 28
- MAYNC, A. 2001/29[#]: Steigende Gaben organischen Handelsdüngers bei Blumenkohl nur begrenzt wirksam. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 29
- MAYNC, A. 2001/30[#]: Steigende Gaben organischen Handelsdüngers bei Blumenkohl nur begrenzt wirksam. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 30
- MAYNC, A. 2001/55[#]: Ertragsbildung von Knollenfenchel wiederholt von N-Zudüngung unbeeinflusst. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 55
- MAYNC, A. 2001/56[#]: Ertragsbildung von frühem Knollenfenchel stärker beeinflusst von der Jungpflanzenqualität als von der Zusatzdüngung. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 56
- MAYNC, A. 2001/57[#]: 3-monatige, verschiedene Gründüngungen führten zu unterschiedlichen Wuchsleistungen der folgenden Fenchelkultur. Zudüngungen bewirkten keine Ertragssteigerungen. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 57

- MAYNC, A. 2000/26[#]: Steigende N-Düngung ohne wesentlichen Einfluss auf den Ertrag von 8er Blumenkohl nach Gründüngung im Vorjahr. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 26
- MITTMANN, U., U. WEIER und H.-C. SCHARPF 1994: Die Stickstofffreisetzung aus organischen Düngern. Gemüse **30** (2), S. 104-105
- MOJE, C. 1997: Möglichkeiten zur Absenkung des Nitratgehalts in Möhren unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffangebots. Diss. Univ. Hannover, Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart
- MÖLLER, K. und H. J. REENTS 1999: Einfluß verschiedener Zwischenfrüchte nach Körnererbsen auf die Nitratgehalte im Boden und das Wachstum der Folgefrucht (Kartoffeln, Weizen). In: Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau [Hrsg.: HOFFMANN, H. und S. MÜLLER], S. 109-112, Verlag Dr. Köster, Berlin
- MUNZERT, M. 1992: Einführung in das pflanzenbauliche Versuchswesen. Parey, Berlin, Hamburg
- ÖGREN E., B. BÄTH und B. RÄMERT 1998: First an second year nitrogen effects of autumn and spring-incorporated green-manure crops in field vegetable production. Swedish J. agric. Res. **28**, S. 137-146
- PAFFRATH, A. 1998: Praxiserhebungen zum Blumenkohlanbau. In: Ökologischer Land- und Gartenbau in Nordrhein-Westfalen, Versuchsbericht 1998 [Hrsg.: Institut für organischen Landbau Bonn, LWK Westfalen-Lippe Münster und LWK Rheinland Bonn]
- PETER, M. 1999a[§]: Wirkung verschiedener organischer N-Handelsdünger im Frühling: Blumenkohl in Full AG 1997. Gemüsebauversuche am FiBL, zusammengestellt von KOLLER, M., Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frick (CH)
- PETER, M. 1999b[§]: Wirkung verschiedener organischer N-Handelsdünger im Frühling: Kopfsalat in Unterstammheim ZH 1997. w. o.
- PETER, M. 1999c: Wirkung verschiedener organischer N-Handelsdünger im Frühling: Kopfsalat in Therwil BL 1996. w. o.
- PETER, M. 1999d: N-Nachlieferung aus Grünbrachen und Gerste als Vorfrucht: Randen und Kopfkohl in Therwil BL 1996. w. o.
- PRESTLE, C. 2000: Stickstoff-Versorgung bei Blumenkohl im Öko-Gemüsebau. Gemüse **36** (11), S. 13-16
- PRESTLE, C. 1999/21^{#§}: Mit Gründüngungsvorkultur bei Öko-Blumenkohl im Herbstanbau kein Unterschied in der Gesamtausbeute und Größensortierung. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 21
- PRESTLE, C. 1999/23: Zusammenfassung von 10 Versuchen zum N in der Pflanze bei Öko-Blumenkohl im Ganzjahresanbau. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 23
- PRESTLE, C. 1999/60^{#§}: N-Versorgung bei Öko-Knollenfenchel im Herbstanbau. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 60
- PRESTLE, C. 1999/64: 10 Versuche zur N-Aufnahme bei Öko-Knollenfenchel im Ganzjahresanbau. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 64
- PRESTLE, C. 1999/20[#]: Ohne Gründüngung: direkter Zusammenhang zwischen Düngungshöhe und Ertragsbildung bei Öko-Blumenkohl. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 20
- PRESTLE, C. 1999/58[#]: Im Frühhanbau von Öko-Knollenfenchel scheiden alle mit Melasse gedüngten Varianten schlechter als die mit Rizinus gedüngten ab. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 58
- PRESTLE, C. 1999/59[#]: Trotz Gründüngungsvorkultur waren noch Ertragssteigerungen durch Düngung auf Sollwert 80 kg N/ha minus N_{min} möglich. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 59
- PRESTLE, C. 1998/23^{#§}: N-Versorgung bei Öko-Blumenkohl im Frühhanbau. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 23
- PRESTLE, C. 1998/24[#]: N-Versorgung bei Öko-Blumenkohl im Sommeranbau. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 24
- PRESTLE, C. 1998/86^{#§}: N-Versorgung bei Öko-Fenchel im Frühhanbau. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 86
- PRESTLE, C. 1998/87^{#§}: N-Versorgung bei Öko-Fenchel im Sommeranbau. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 87
- PRESTLE, C. 1998/22^{#§}: N-Versorgung bei Öko-Blumenkohl im Frühhanbau. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 22
- PRESTLE, C. 1998/88^{#§}: N-Versorgung bei Öko-Fenchel im Frühhanbau. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 88
- PRESTLE, C. 1997/15^{#§}: Verschiedene Aufbereitungen und Formulierungen von Stickstoffdüngern im Öko-Anbau. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 15
- PRESTLE, C. 1997/14^{#§}: Verschiedene Aufbereitungen und Formulierungen von Stickstoffdüngern im Öko-Anbau. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 14
- PRESTLE, C. 1997/35[#]: Gezielte N-Versorgung bei Öko-Blumenkohl. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 35
- PRESTLE, C. 1997/36[#]: Gezielte N-Versorgung bei Öko-Blumenkohl. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 36
- PRESTLE, C. und A. MAYNC 2000: Organische Stickstoffdünger für den ökologischen Gemüsebau. Gemüse **36** (9), S. 23-25

- RASCHER, B. und W. SCHUBERT 2001/31: 'Fremont' auch im Ökoanbau am besten bewertet. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 31
- RASCHER, B. und W. SCHUBERT 2001[§]: Das Ertragspotential verschiedener Dünger pflanzlicher Herkunft bei Porree im Herbstanbau. Ergebnisse von Versuchen im Gemüsebau 2001, Gemüsebauversuchsbetrieb Bamberg der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau
- RASCHER, B. und W. SCHUBERT 2001/76: 'Allstar' und 'Quickstar' mit höchstem Gesamtertrag, 'Express Forcer' und 'Allstar' mit kürzester Entwicklungszeit. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 76
- RATHER, K. 1999: Stickstoff-Effizienz ausgewählter Blumenkohlsorten unter Berücksichtigung der Kopfqualität. Diss. Univ. Hannover, Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart
- RÜHLMANN, J. 1992/79: Langzeitversuch mit differenzierter organisch-mineralischer N-Düngung zu Gemüse. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 79
- RÜHLMANN, J. und B. GEYER 1993/191: Langzeitversuch mit differenzierter organisch-mineralischer N-Düngung zu Gemüse. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 191
- RÜHLMANN, J. und B. GEYER 1991/111: Versuch mit differenzierter organisch-mineralischer N-Düngung zu Gemüse. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 111
- SCHARPF, H.-C. 1996: Alte und neue Erkenntnisse in der N-Versorgung von Gemüse. Der Gartenbauingenieur (2), S. 42-45
- SCHARPF, H.-C. 1991: Stickstoffdüngung im Gemüsebau. AID-Heft 1223
- SCHARPF, H.-C. und R. SCHRAGE 1988: Größenordnung und Einflussfaktoren der Freisetzung von Stickstoff aus Ernterückständen im Gemüsebau. VDLUFA-Schriftenreihe **28**, Teil II, S. 81-95
- SCHENK, M., B. HEINS und B. STEINGROBE 1991: The significance of root development of spinach and kohlrabi for N fertilization. Plant and Soil **135**, S. 197-203
- SCHLIEPHAKE, W. 2001: Strategien zur Vermeidung von N-Verlusten durch Zwischenfruchtanbau – erste Ergebnisse. Infodienst für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung (11), S. 56-65
- SCHMIDT, R., CH. HENKEL und T. APPEL 2001: N-Mineralisierung von Nachtkerzenschrot (*Oenothera biennis* L. *Onagraceae*) im Vergleich zu anderen organischen Handelsdüngern. In: BDGL-Schriftenreihe **19**, 38. Gartenbauwissenschaftliche Tagung, S. 44
- SCHMITZ, H.-J. und P. FISCHER 2001: Vegetabile Dünger - eine gute Alternative. Das Taspo Magazin **2** (8), S. 48-51
- SCHMITZ, H.-J. und P. FISCHER 1994: Verschiedene Horndünger in Mineralböden. Deutscher Gartenbau **48** (7), S. 406-408
- SCHMITZ, H.-J., P. FISCHER und E. MEINKEN 2000: Stickstoff-Freisetzung aus Horndüngern. Deutscher Gartenbau **54** (19), S. 26-29
- SCHNEIDER, U. 1997[§]: Rizinusschrot: Alternativen vorhanden? bio-land (2/97), S. 18-19
- SCHOSTEK, P. 2002: N-Düngungsversuch zum ökologischen Spinatanbau unter besonderer Berücksichtigung der N-Freisetzung aus Gründüngungsbeständen. Diplomarbeit, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH), Fachbereich Landbau/Landespflege, Studiengang Gartenbau
- SCHRAGE, R. und H.-C. SCHARPF 1988: Abschätzung des N_{min}-Gehaltes gemüsebaulich genutzter Böden auf der Grundlage von Boden-, Witterungs- und Bewirtschaftungsdaten. VDLUFA-Schriftenreihe **28**, Teil II, S. 1263-1271
- SCHULZ, E. 1986: Untersuchungen zum Mineralisierungsverhalten verschiedener Pflanzen im Boden unter Anwendung der ¹⁵N-Tracertechnik. Arch. für Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde **30** (9), S. 565-572
- SEWELL, M. C. und P. L. GAINEY 1932: Nitrate accumulation under various cultural treatments. Journal American Society Agronomy **24**, S. 238-289
- SLFA 2000/24[#]: Ertragsbildung von frühem Blumenkohl direkt abhängig vom N-Angebot. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 24
- SLFA 2000/25[#]: Einjährige Leguminosen-Gründüngung für den frühen Blumenkohl-Nachbau ohne Zusatzdüngung kaum ausreichend. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 25
- SØRENSEN, J. N. und K. THORUP-KRISTENSEN 1993: Nitrogen effects of non-legume catch crops. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde **156** (1), S. 55-59
- SPIESS, E., T. ANKEN, J. HEUSSER, P. WEISSKOPF, C. HÖGGER und H.-R. OBERHOLZER 2000: Folgewirkungen von Bodenbearbeitungsmassnahmen. Agrarforschung **7** (8), S. 354-359
- STURM, H., A. BUCHNER und W. ZERULLA 1994: Gezielter Düngen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main
- VAN DER WERF, H. M. G., J. J. KLOOSTER, D. A. VAN DER SCHANS, F. R. BOONE und B. W. VEEN 1991: The effect of inter-row cultivation on yield of weed-free maize. Journal of Agronomy & Crop Science **166**, S. 249-258
- VDLUFA 1991: Methodenhandbuch Band I: Untersuchung von Böden. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Darmstadt

- VILSMEIER, K. und R. GUTSER 1988: Stickstoffmineralisation von Zwischenfrüchten im Modellversuch. *Kali-Briefe* **19** (3), S. 213-223
- WALTER, C. 1999/57^{#§}: Keine signifikanten Auswirkungen verschiedener organischer Handelsdünger auf die Ertragsbildung von Öko-Fenchel. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 57
- WEIER, U. 2001/1: Erhebungsuntersuchungen zur Menge an Ernterückständen bei Gemüse in Praxisbetrieben. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 1
- WEIER, U. 2001/2: Niedrige Mineralisationsraten im Laufe eines Jahres nach Einarbeitung von Salatresten. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 2
- WEIER, U. 2000/229: Mengen an Ernterückständen von Gemüse variieren in Praxisbetrieben sehr stark. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 229
- WEIER, U. 2000/230: Sehr niedrige Mineralisationsraten nach Einarbeitung von Salatresten. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 230
- WEIER, U. 2000/234: Stickstoffaufnahme und Frischmasseproduktion bei Rosenkohl. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 234
- WEIER, U. 1999/203: Stickstoffaufnahme und Frischmasseproduktion bei Knollensellerie 'Monarch'. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 203
- WEIER, U. 1998/91: Stickstoffaufnahme und Frischmasseproduktion bei Grünkohl. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 91
- WEIER, U. 1998/84: Zeitverlauf der N-Aufnahme von Knollenfenchel. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 84
- WEIER, U. 1998/138: Stickstoffaufnahme und Frischmasseproduktion bei Kopfsalat (Ernte Mitte Juni). In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 138
- WEIER, U. 1997/12: Keine eindeutigen Einflüsse der Behandlung der Ernterückstände im Vorjahr auf die Mineralisierung. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 12
- WEIER, U. 1997/173: Stickstoffaufnahme und Frischmasseproduktion bei Porree. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 173
- WEIER, U. 1997/221: Stickstoffaufnahme und Frischmasseproduktion bei Spinat. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 221
- WEIER, U. 1996/51: Stickstoffaufnahme und Frischmasseproduktion bei Brokkoli. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 51
- WEIER, U. 1996/122: Stickstoffaufnahme und Frischmasseproduktion bei Kopfsalat. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 122
- WEIER, U. 1995/89: Stickstoffaufnahme und Frischmasseproduktion bei Grünkohl. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 89
- WEIER, U. 1994/31: Stickstoffaufnahme und Frischmasseproduktion bei Blumenkohl. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 31
- WEIER, U. 1994/169: Stickstoffaufnahme und Frischmasseproduktion bei Spinat. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 169
- WEIER, U. 1989/135: Zur Stickstoffdüngung von Spinat. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 135
- WEIER, U. und H. C. SCHARPF 1994: Reagiert Kohlrabi auf ein reduziertes N-Angebot? *Gemüse* **30** (2), S. 84-85
- WEIER, U., C. WONNEBERGER und A. MAYNC 1994: Stickstoffaufnahmekurven von Gemüse. *Gemüse* **30** (2), S. 64-66
- WEßLING, M., C. WONNEBERGER und O. MELZER 1994: Ernteverfrühung bei Düngung mit KAS. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 62
- WILLUMSEN, J. und K. THORUP-KRISTENSEN 2001: Effects of green manure crops on soil mineral nitrogen available for organic production of onion and white cabbage in two contrasting years. *Biological Agriculture & Horticulture* **18** (4), S. 365-384
- WONNEBERGER, C. und O. MELZER 1994/63[§]: Organische Düngung der mineralischen gleichwertig. In: *Vers. Dt. Gartenbau*⁺, S. 63
- WUSTMANN, G. 2000: Untersuchungen zum Stickstoffgehalt in Kopfsalat (*Lactuca sativa*) während der Vegetationsperiode. *Infodienst für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung* (6), S. 78-87
- WUSTMANN, G. 2000a: Untersuchungen zum Stickstoffgehalt in Blumenkohl während der Vegetationsperiode. *Infodienst für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung* (12), S. 113-121
- ⁺: Verband der Landwirtschaftskammern [Hrsg.]: *Versuche im Deutschen Gartenbau / Gemüsebau*, Rheinischer Landwirtschafts-Verlag, Bonn
- [#]: Daten dieser Arbeit sind in Abbildung 5 eingeflossen
- [§]: Daten dieser Arbeit sind in Abbildung 12 eingeflossen

Anhang

Tabelle: Schätzrahmen für die zu erwartende N-Freisetzung aus Gründungen und Gemüse-Ernterückständen (nach LABER 1997, 7. Auflage)

	Qualität der Gründung bzw. der Erntereste		
	gut	mittel	schlecht
C/N-Verhältnis	ca. 10	ca. 15	ab ca. 20
zu erwartende N-Freisetzung [Anteil von N_{Aufwuchs}]	70 %	35 %	0
Nichtleguminosen (30 kg N_{ges}/100 dt FM)¹			
Beschreibung³	frische, satt grüne, gut ernährte Pflanzen bis zur Blüte (Gräser: bis Beginn des Rispen-schiebens), Gemüse-Ernterückstände ²	weniger gut ernährt (kein sattes Grün), nach Blühbeginn (Gräser: nach Rispen-schieben)	abreifende Pflanzen (Gräser ab Blüte)
N-Freisetzung je kg Frischmasse pro m² [kg N/ha]	20	10	0
Leguminosen (45 kg N_{ges}/100 dt FM)¹			
Beschreibung³	frische, satt grüne, gut ernährte Pflanzen bis zur Blüte	weniger gut ernährt (kein sattes Grün), Blüte weit fortgeschritten, verholzt, Ernterückstände von Gemüseerbsen und -bohnen	Ernterückstände von Körnerleguminosen
N-Freisetzung je kg Frischmasse pro m² [kg N/ha]	30	15	0

1: Gemenge sind anteilmäßig auf Nichtleguminosen und Leguminosen aufzuteilen

2: mit Ausnahme von Gemüseerbsen- und Buschbohnen-Ernterückständen

Impressum

- Herausgeber:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Öffentlichkeitsarbeit
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden
Internet: WWW.LANDWIRTSCHAFT.SACHSEN.DE/LFL
- Redaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Gartenbau und Landespflge
Dr. Hermann Laber
Söbrigener Straße 3a
01326 Dresden
Telefon: 0351 / 26 12 - 768, Telefax: 0351 / 26 12 - 704
E-Mail: hermann.laber@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de
- Endredaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Öffentlichkeitsarbeit
Thomas Freitag, Gisela Hauptmann
- Redaktionsschluss:** April 2002
- Bildnachweis:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
- Satz:** Christlich-Soziales Bildungswerk Sachsen e. V. Miltitz
- Druck:** Sächsisches Digitaldruck Zentrum GmbH Dresden
- Auflage:** 1. Auflage, 300 Stück
- Bezug:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Öffentlichkeitsarbeit
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden-Pillnitz
Telefax: 03 51 / 26 12 - 151
E-Mail: Gisela.Hauptmann@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de
- Schutzgebühr:** 12,78 EUR

Rechtshinweis

Alle Rechte, auch die der Übersetzung sowie des Nachdruckes und jede Art der phonetischen Wiedergabe, auch auszugsweise, bleiben vorbehalten. Rechtsansprüche sind aus vorliegendem Material nicht ableitbar.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.