



Praxiseinführung und Evaluierung eines Kalkulationsschemas zur bedarfsgerechten N-Düngung im ökologischen Freilandgemüsebau

Erstellt von:

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Gartenbau und Landespfl ege Dresden-Pillnitz
Söbrigener Str. 3a, 01326 Dresden
Tel.: +49 351 2612-0, Fax: +49 351 2612-704
E-Mail: hermann.laber@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de
Internet: www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/

Gefördert vom Bundesministerium für
Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau

Dieses Dokument ist über <http://forschung.oekolandbau.de> verfügbar.



Schlussbericht zum Forschungsprojekt:

“Praxiseinführung und Evaluierung eines Kalkulations- schemas zur bedarfsgerechten N-Düngung im ökologischen Freilandgemüsebau“ (Projektnummer 02OE576)

Zuwendungsempfänger

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Gartenbau und Landespflege Dresden-Pillnitz
Söbrigener Str. 3a, 01326 Dresden
Tel.: 0351/2612-0, Fax: 0351/2612-0

Projektleiter: Dr. rer. hort. Hermann Laber
Tel.: 0351/2612-768, Fax: 0351/2612-704
E-Mail: hermann.laber@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de

Laufzeit

15.11.2002 bis 31.12.2003

Berichtszeitraum

15.11.2002 bis 16.12.2003

Kooperationspartner

"Die Ökoberater", Herr Rainer Löser
Hintergasse 23, 35325 Mücke
Tel.: 06400/6787, E-Mail: loeser@oeko-berater.de

AFC Consultants
Uwierstr. 78, 53173 Bonn
Tel.: 0228/98579-65 (Hr. Kliebiesch)

Inhaltsverzeichnis

1. Ziele und Aufgabenstellung des Projektes.....	1
Problemstellung	1
Ziele des Vorhabens.....	2
Bezug zu förderpolitischen Zielen	2
Wissenschaftliche Arbeitsziele des Vorhabens.....	3
1.1. Planung und Ablauf des Projektes	3
1.2. Wissenschaftlicher und technischer Stand	5
2. Material und Methoden.....	6
Versuchsstandorte	6
Versuchskulturen und Kulturdaten	6
Versuchsvarianten.....	7
Versuchsaufbau.....	9
N _{min} -Proben.....	9
Ernte und Auswertung	10
Berechnung der N-Nachlieferung, N-Freisetzung und N ₂ -Fixierung	10
Verrechnung und statistische Auswertung.....	10
3. Ergebnisse	11
3.1 Darstellung der Ergebnisse	11
N _{min} -Vorrat zu Kulturbeginn.....	11
Ertragswirksamkeit der Düngemaßnahmen	13
N _{min} -Rest	15
N-Gehalte und N-Mengen im Marktertrag und den Ernterückständen.....	16
N-Nachlieferung bzw. N-Freisetzung aus den verschiedenen N-Quellen	18
Vergleich kalkuliertes und tatsächliches N-Angebot.....	20
Biologische N ₂ -Fixierung	23
Ertragszahlen und Nährstoffgehalte im Vergleich zu konventionellen Faustzahlen	23
3.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	25
Anwendung der Ergebnisse	25
Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse.....	26
4. Zusammenfassung.....	27
5. Gegenüberstellung geplanter/tatsächlich erreichter Ziele	28
6. Literaturverzeichnis.....	29

Liste der verwendeten Abkürzungen

BNF	Biologische N ₂ -Fixierung
C/N	C/N-Verhältnis
ER	Ernterückstände
FM	Frischmasse [dt/ha]
HMP	Haarmehlpellets
KW	Kalenderwoche
N _{ges}	Gesamt-Stickstoff
N _{min}	'mineralischer' Stickstoff (Summe aus NH ₄ -N und NO ₃ -N) [kg N/ha]
N _{Aufwuchs}	N-Menge im oberirdischen Aufwuchs [kg N/ha]
OHD	organische Handelsdünger (im Versuche HMP und Rizikorn bzw. Rizinusschrot)
R ²	Bestimmtheitsmaß
TS	Trockensubstanz
VK	Vorkultur

1. Ziele und Aufgabenstellung des Projektes

Problemstellung

Die Nährstoffversorgung, und dabei insbesondere die Stickstoffversorgung, stellt eines der spezifischen Probleme des ökologischen Gemüsebaus dar. Anders als im konventionellen Gemüsebau, wo mit der Einführung der N_{\min} -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 bedarfsgerechte N-Düngung 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 und Spinat des Öfteren dazu führt, dass man den Anbau der entsprechenden Kultur auf Grund von Misserfolgen einstellt bzw. erst gar nicht in Erwägung 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 N_{\min} -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 org. Handelsdüngern.

Mit Ausnahme der organischen Handelsdünger (OHD) 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 (LORENZ et al. 1989, FINK et al. 2000, FINK 2001) nur sehr oberflächlich einbezogen. Im ökologischen Gemüsebau kommt diesen N-Quellen aber bezüglich der verarbeiteten N-Mengen eine besondere Bedeutung zu, sodass 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.

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 (Tab. 1). Daneben gehen der N_{\min} -Vorrat der zu berücksichtigenden Bodenschichten (vgl. FINK 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/Oktober) in die Kalkulation ein.

Tab. 1 Kalkulationsansätze zur Abschätzung der N-Freisetzung aus Ernterückständen bzw. Gründüngungen und verschiedenen organischen Düngemitteln (LABER 2002)

	maximale N-Freisetzung [% von N_{Aufwuchs} bzw. N_{ges}]	Umsetzungs- zeitraum* [Wochen]	Umsatzrate* [% von N_{ges}/Woche]
Ernterückstände/ Gründüngungen	70 (bei $C/N \leq 10$) linear abfallend auf 0 (bei $C/N \geq 20$)	8	8,8 (bei $C/N \leq 10$)
Stallmist	40	20	2,0
Rindergülle	70	12	6,8
Rizinus, Haarmehlpellets, Maltaflor, Lupinenschrot, Vinsasse	60	8	7,5
Ackerbohnschrot	45	8	5,6

*: In der Zeit von Anfang Mai bis Ende August. Im März/April sowie September/Oktober Umsatzraten halbiert (damit Umsatzzeitraum verdoppelt), von November bis Ende Februar keine N-Freisetzung

Da bestimmte Parameter wie der genaue N- bzw. C-Gehalt einer Gründüngung dem Praktiker zumindest zum Zeitpunkt der Düngerbemessung nicht zur Verfügung stehen (Analyse aufwendig und daher in der Praxis kaum durchführbar, Ergebnisse liegen erst nach längerer Zeit vor), wurde ein Schätzrahmen für die zu erwartende N-Freisetzung aus Gründüngungen und Gemüse-Ernterückständen erstellt, mit dessen Hilfe insbesondere die 'Qualität' (C/N-Verhältnis) der Grünmasse eingeordnet werden kann (LABER 1997).

Es wurde allerdings deutlich, dass die Umsetzung einer bedarfsorientierten Düngung gerade in Regionen mit relativ 'junger' ökologischer Anbautradition (neue Bundesländer) z. T. nur sehr zögerlich verläuft. So fehlte es an Betrieben mit reichem, aber auch fundiertem Erfahrungsschatz, die dieses Wissen an Kollegen weitergeben könnten.

Ziele des Vorhabens

Hauptziel des Projektes war es daher, 'vor Ort' den möglichen Produktivitätszuwachs durch eine angepasste, bedarfsorientierte Düngung zu demonstrieren. Erfahrungsgemäß geht gerade von Demonstrationsversuchen auf Praxisbetrieben eine enorme Wirkung aus; "man sieht, wie bzw. das es funktioniert".

Damit sollte das Know-how zur Erzeugung auch schwierigerer (weil stark N-bedürftiger) Gemüsekulturen direkt in den Betrieben verankert werden. Feldbegehungen mit anderen, nicht unmittelbar beteiligten Anbauern sollten darüber hinaus eine 'breite Streuung' des Wissens- und Erfahrungsgewinns gewährleisten. Hierzu boten sich auch die im Rahmen der Informationsveranstaltungen "Ökologischer Landbau" in Sachsen Anfang Juni 2003 durchgeführten Betriebsbesichtigungen an, die u. a. in involvierten Betrieben stattfanden.

Bezug zu förderpolitischen Zielen

Die bedarfsgerechte Düngung wurde vom "Programm des BMVEL zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie von Maßnahmen zum Technologie- und Wissenstransfer im ökologischen Landbau" als ein besonderes Problem bei der Produktion nährstoffbedürftiger Gemüsearten herausgestellt. Indirekte und direkte Strategien zur bedarfsgerechten Düngung im Gemüsebau sind danach dringend zu entwickeln.

Wissenschaftliche Arbeitsziele des Vorhabens

Die Anlage, Pflege und Auswertung der Praxisversuche war insbesondere auf Grund der Anfahrten zu den Betrieben sehr zeit- und damit kostenintensiv. Es bot sich daher an, die auf den Praxisschlägen anzulegenden Demonstrationsversuche bei der ohnehin notwendigen Begleitung seitens des Projektbearbeiters intensiv zu beproben. Damit liegen weitere Daten(sätze) zur

- N-Nachlieferung aus dem Humus,
- N-Freisetzung aus Gründüngungen,
- N-Freisetzung aus Wirtschaftsdüngern,
- N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern,
- biologischen N₂-Fixierung von Leguminosen-Gemüsearten und zum
- Nährstoffgehalt/Nährstoffbedarf verschiedener Gemüsekulturen

unter Praxisbedingungen vor, die zur Evaluierung und Weiterentwicklung des Kalkulations-schemas sowie zum allgemeinen Erkenntniszuwachs bezüglich der Nährstoffflüsse ökolo-gisch bewirtschafteter Gemüsebauflächen dienen bzw. dienen können.

1.1. Planung und Ablauf des Projektes

Zur Demonstration der Ertragswirksamkeit einer N-Düngung und Erfassung der N-Dynamik wurden auf Gemüsebau- bzw. landwirtschaftlichen Betrieben mit Feldgemüseanbau Dün-gungsversuche angelegt. Aus logistischen Gründen konnten hier allerdings nur Betriebe in Sachsen berücksichtigt werden.

Für das Projekt konnten zwei Mitarbeiterinnen gewonnen werden, die beide über gärtnerische Erfahrungen bzw. eine Ausbildung auf ökologisch geführten Gemüsebaubetrieben verfügen und sehr engagiert die Versuche betreuten. Die Versuchstechnikerin beschäftigte sich darüber hinaus in ihrer Diplomarbeit (FH) mit dem Thema der N-Freisetzung aus Gründüngungen und organischen Handelsdüngern.

Zu in Frage kommenden Betrieben wurde Kontakt aufgenommen und die geplanten Versuche vorgestellt. Auf allen aufgesuchten Betrieben zeigten sich die Betriebsleiter bzw. deren Mitarbeiter sehr interessiert an der Versuchsanstellung.

Die tatsächlich durchgeführten Arbeiten entsprachen bei den notwendigen vegetations- und betriebsbedingten Änderungen weitestgehend dem geplanten Arbeitsablauf. Als größere Abweichungen gegenüber der Vorhabensbeschreibung ist der Wegfall des Betriebes mit Blumenkohlanbau zu nennen, der den Anbau von Gemüse komplett eingestellt hat. Ersatz-weise konnten im Betrieb E Versuche in Kopfkohl, Porree und Kopfsalat etabliert werden. Im Betrieb D, der versuchsweise Spinat für die Verarbeitungsindustrie anbaute, konnten ebenfalls zwei Demonstrationsversuche angelegt werden.

Auf dem Betrieb F konnte zusätzlich die Kultur Rote Bete mit aufgenommen werden. Ein Buschbohnenanbau im Betrieb C kam nicht zustande, ersatzweise sollte hier zunächst beim Betrieb A ein Buschbohenschlag in die Untersuchungen einbezogen werden. Auf diesem Betrieb wurden allerdings neben dem Spinatversuch (bei dem betriebsseitig die Parzellen vor der Auswertung beerntet wurden) keine weiteren Versuche mehr angelegt (s. Material und Methoden). Bezüglich der Buschbohnen konnte auf einen zweiten Satz im Betrieb F zurück-gegriffen werden.

Nachbauversuche zur N-Freisetzung aus Erbsen-Ernterückständen konnten sowohl auf dem Betrieb F als auch C nicht durchgeführt werden, da es auf Grund der Ernte- und Bodenbearbeitungstechnik auf den Betrieben nicht möglich war, entsprechende Kontrollparzellen ohne Erbsen-Ernterückstände anzulegen. Ersatzweise wurde ein entsprechender Versuch auf der Versuchsstation der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Dresden-Pillnitz angelegt, der aber auf Grund von Pflanzenschutzproblemen abgebrochen werden musste.

Ende März wurde auf den Betrieben mit ersten Versuchsvorbereitungen begonnen (Abb. 1). Die Anlage der Versuche (Details s. Material und Methoden) durch die Projektmitarbeiterinnen erstreckte sich bis Mitte September, da der Mitte August ausgesäte Herbstspinat erst zu diesem Zeitpunkt aufblüht. Die über die betriebsüblichen Arbeiten hinausgehenden Pflegemaßnahmen (Unkrautregulation) der Versuchspartellen wurden regelmäßig durchgeführt.

Ende Mai begannen mit der Ernte des Kopfsalates die Ertragserfassungen auf den Betrieben. Teilproben der Marktware und der Ernterückstände wurden im Versuchsbetrieb der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft aufbereitet und dann in einem externen Labor auf ihrem Nährstoffgehalt hin analysiert.

Neben kontinuierlichen Besprechungen und Auswertungen erster Ergebnisse mit den Betrieben wurden Anfang Juni die Versuche im erweiterten Kreise vorgestellt. Allerdings lagen zu diesem frühen Zeitpunkt noch keine Ertragsergebnisse vor. Mit Vorliegen der (Labor-) Ergebnisse konnte Anfang Juli mit der Veröffentlichung der ersten Ergebnisse (N₂-Fixierung von Erbsen) begonnen werden.

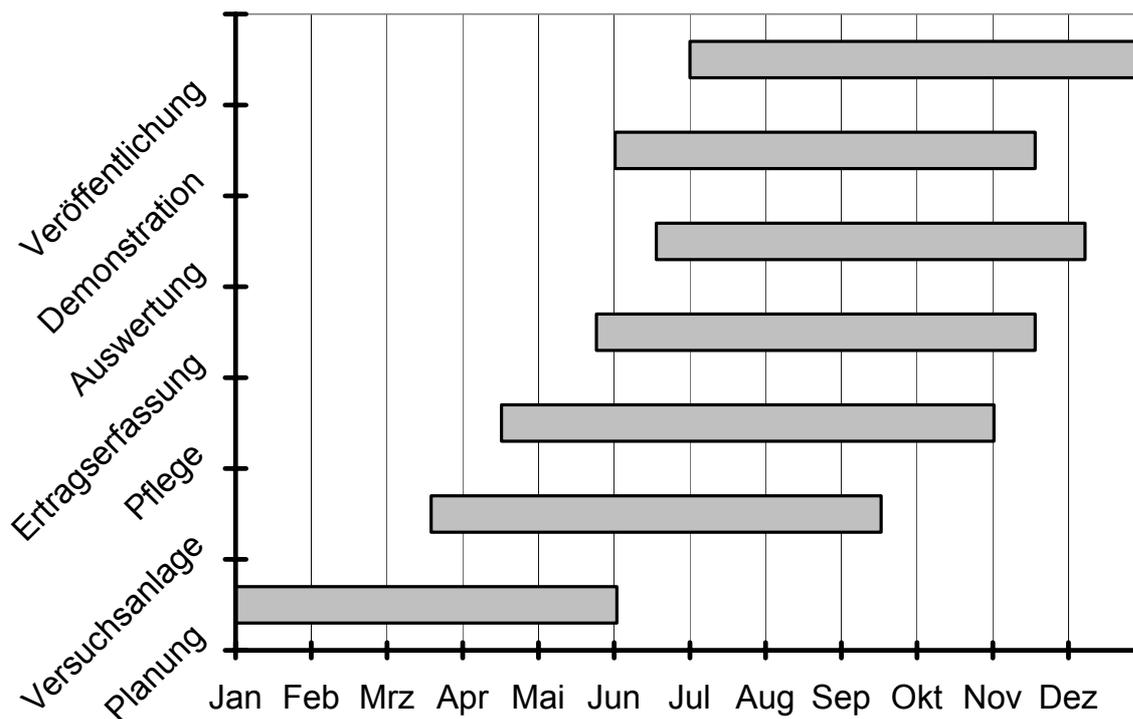


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf der Arbeiten während der Projektlaufzeit

1.2. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Zur Düngepraxis ökologisch bewirtschafteter Gemüsebaubetriebe liegen Daten auf Grund einer Praktikerbefragung vor (LÜTKE-BESSELMANN und VON FRAGSTEIN 1999). Allerdings wurde die Erhebung in einer Region mit langjähriger Anbautradition durchgeführt; eine Übertragung der Ergebnisse auf Gebiete mit relativ 'jungem' Öko-Anbau erscheint problematisch. Zudem wurde nicht untersucht, ob die praktizierten Düngungsstrategien tatsächlich zu optimalen Ergebnissen führten.

Auf Grund langjähriger Erfahrungen bei der Beratungstätigkeit im Freistaat Sachsen und intensiven Kontakten zu Brandenburger Kollegen (Sachsen und Brandenburg bewirtschaften mit 700-800 ha schätzungsweise 80 % der Öko-Gemüsebauflächen in den neuen Bundesländern) ist bekannt, dass eine unzureichende, nicht bedarfsorientierte N-Düngung eine der wesentlichen Ursachen für unzureichende Qualitäten und Quantitäten bei der ökologische Gemüseproduktion in diesen Gebieten ist.

Zum Stand der Forschungen zur N-Düngung im ökologischen Freiland-Gemüsebau wurde vom Projektleiter eine **umfangreiche Literaturoswertung** vorgenommen (LABER 2002), die sich wie folgt kurz zusammenfassen lässt:

Zum **N-Gehalt** von Öko-Gemüse liegen mit Ergebnissen zu verschiedenen Kohllarten und Knollenfenchel insgesamt nur 4 Veröffentlichungen vor. Allerdings dürfte es sich dabei zumeist nicht um 'optimal' ernährte Bestände gehandelt haben, sodass aus den N-Gehalten bzw. N-Mengen/ha keine **N-Bedarfszahlen** abgeleitet werden können.

Zur **N-Nachlieferung der organischen Substanz des Bodens** (Humus) gemüsebaulich genutzter Öko-Flächen liegen relativ umfangreiche Untersuchungen von MOJE (1997) vor, die allerdings nur auf sonst landwirtschaftlich genutzten Flächen durchgeführt wurden. Für intensiv-gärtnerische Flächen sind dagegen keine Ergebnisse verfügbar.

Zur **N-Freisetzung aus Gründüngungen** stehen Ergebnisse einer Reihe von Brutversuchen zur Verfügung, die insgesamt die Bedeutung des C/N-Verhältnisses für die Netto-Mineralisation widerspiegeln. Verschiedene Feldversuche untersuchten die Ertragswirksamkeit von Gründüngungsbeständen auf nachfolgend angebaute Gemüsearten. Allerdings wurden dabei zumeist keine Parameter wie N-Menge des Aufwuchses, N_{\min} -Vorrat u.a. ermittelt, sodass keine quantitativen Ableitungen aus den Ergebnissen gezogen werden können.

Zur Ertragswirksamkeit und **N-Freisetzung aus Wirtschaftsdüngern** liegen mehrere Ergebnisse von Dauerversuchen mit in erster Linie landwirtschaftlichen Kulturen vor. Die für die Düngung von Gemüsekulturen wesentliche kurzfristige Wirkung wurde bisher nur selten untersucht.

Mehrere Versuchsansteller ermittelten die **N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern** in Brutversuchen und Feldversuchen (Zusammenfassung bei LABER 2003). Zudem liegen in großer Zahl Feldversuche zur Ertragswirksamkeit verschiedener organischer Handelsdünger vor (Zusammenfassung bei LABER 2000/2001).

2. Material und Methoden

Versuchsstandorte

Die Demonstrations- und Düngungsversuche wurden in der Vegetationsperiode 2003 auf sechs bereits langjährig ökologisch bewirtschafteten Gemüsebau- bzw. landwirtschaftlichen Betrieben im mittleren bis nordwestlichen Teil Sachsens angelegt (Tab. 2). Mit Ausnahme des Betriebes A handelte es sich um viehhaltende Betriebe (extensive Haltungsformen, Betrieb E und F intensive Milchviehhaltung), die regelmäßig Wirtschaftsdünger einsetzen.

Tab. 2: Untersuchungsstandorte und ihre Charakteristik

Betrieb	Betriebstyp	Bodenart ¹	Bodenzahl ¹
A	gärtnerisch ²	sandiger Lehm	47-50
B	landwirtschaftlich/gärtnerisch ²	Lößlehm	62
C	landwirtschaftlich ³	sandiger Lehm	50
D	landwirtschaftlich ³	Lößlehm	75-80
E	landwirtschaftlich/gärtnerisch ²	Lößlehm	55-65
F	landwirtschaftlich ³	sandiger Lehm	45-55

1: Betriebsangaben; 2: Intensive Bewirtschaftung der gemüsebaulich genutzten Flächen;

3: Eingliederung der Gemüsekulturen in eine von Marktfrüchten geprägte landwirtschaftliche Fruchtfolge

Versuchskulturen und Kulturdaten

Die Versuche wurden unmittelbar nach Bestandesgründung in bestehende Gemüsekulturen integriert. Dabei wurden bei den gärtnerisch geprägten Betrieben Kulturen mit unterschiedlichem N-Bedarf und Kulturzeit ausgewählt (Tab. 3). Ein ursprünglich auf einem weiteren Betrieb geplanter Versuch mit Blumenkohl kam auf Grund der Einstellung des Gemüsebaus nicht zustande. Die beteiligten Betriebe bauten Blumenkohl (und Brokkoli) nur in einem sehr geringen Umfang an, so dass zu dieser Kultur keine Versuche angelegt werden konnten.

Auf dem Betrieb A waren zunächst noch weitere Versuche mit Kopfsalat und Kohlrabi geplant, auf Grund mangelnder Kooperationsbereitschaft des Betriebes (u. a. Ernte von Versuchspartellen vor Auswertung) wurde hier von weiteren Versuchen Abstand genommen. Ersatzweise konnten zwei Spinatsätze im Betrieb D in die Versuche aufgenommen werden. Diese Spinatversuche waren von besonderem Demonstrationscharakter, da der Spinat im Rahmen eines Versuchsanbaues für die Verarbeitungsindustrie angebaut wurde.

Ein von den Betrieben kaum zu bewältigendes Problem in der ungewöhnlich warmen und trockenen Vegetationsperiode 2003 war die Sicherstellung einer ausreichenden Bewässerung der Kulturen. Damit kam es insbesondere in den nicht beregneten Erbsen, Rotkohl und Porree sowie dem Spinat auf dem Betrieb D zu massiven trockenheitsbedingten Ertragsausfällen.

Die Pflege der Kulturen und damit der Versuchspartellen erfolgte betriebsüblich. Die Kohlkulturen auf dem Betrieb B waren zu Kulturbeginn mit Kulturschutznetzen abgedeckt. Der Kopfsalat auf dem Betrieb E wurde zur Verfrühung und Frostschutz doppelt mit 17 g-Vlies bedeckt. Bei Weißkohl führte eine (zu) lange Vliesauflage zur Abwehr von Schädlingen unter den heißen Witterungsbedingungen zu massiven Schäden, so dass der Versuch abgebrochen werden musste. Ersatzweise konnte auf einen in unmittelbarer Nähe stehenden Rotkohlbestand ausgewichen werden. Die Unkrautregulation erfolgte durch die Betriebe mittels thermischer (Zwiebeln, Rote Bete), mechanischer (Hacke, Striegel in Erbsen und Bohnen) sowie manueller Verfahren (Jäten in Zwiebeln, Rote Bete und Buschbohnen). Wurden durch die Betriebe die Maßnahmen verspätet durchgeführt, wurden die Partellen seitens des Versuchsanstellers manuell gehackt bzw. gejätet um N-Verluste durch die Entfernung von größeren Unkräutern zu vermeiden.

In den Erbsen wurde bewusst auf eine zusätzliche Unkrautregulation in den Versuchspartellen verzichtet, da hier eine Ermittlung der N₂-Fixierung bei praxisüblicher Verunkrautung erfolgen sollte. Direkte Pflanzenschutzmaßnahmen wurden weder seitens der Betriebe noch auf den Versuchspartellen durchgeführt.

Tab. 3: Einbezogenen Gemüsearten sowie Kulturdaten bei den Versuchen 2003

Betrieb	Kultur	Pflanzung/ Saat [KW]	Anbau- system	Bestandes- dichte [Pfl./m ²]	Bereg- nung	Ernte
A	Spinat, Früh	16	Beete	-	-	-
B	Kohlrabi	18	flächig	6	ja	16.06.03
	Rosenkohl	22	flächig	2,8	ja	12.11.03
	Rote Bete	23	flächig	28	ja	17.09.03
	Weißkohl	22	flächig	3	ja	16.09.03
C	Erbse ¹	12	flächig	99	nein	6.06.03
	Zwiebel	13	Beete	80	ja	19.08.03
D	Spinat, Früh ¹	17	flächig	127	nein	5.06.03
	Spinat, Herbst ¹	34	flächig	123	nein	29.10.03 ²
E	Porree	20	Beete	11	nein	2.09.03
	Rotkohl	22	Beete	3,1	nein	8.10.03
	Kopfsalat	14	Beete	8,8	ja	26.05.03
	Spinat, Wurzel	32	Beete	116	ja	29.09.03
F	Buschbohne I ¹	23	flächig	37	ja	5.08.03
	Buschbohne II ¹	26	flächig	37	ja	4.09.03
	Erbse ¹	12	flächig	100	nein	10.06.03
	Rote Bete ¹	21	flächig	35	ja	7.10.03
	Zwiebel	12	Beete	68	ja	5.8.03

1: Anbau für die Verarbeitungsindustrie; 2: der Spinat lief trockenheitsbedingt erst drei Wochen nach der Saat auf und erreichte bis zum Herbst nicht mehr die Erntereife

Versuchsvarianten

In allen Versuchen mit Ausnahme der Erbsen wurde neben einer betriebsüblich gedüngten Variante eine mit einer zusätzlichen N-Düngung mit OHD in Form von Haarmehlpellets (im Betrieb B auf Wunsch des Betriebsleiters Rizi-Korn) aufgenommen. Die Bemessung der Düngungshöhe richtete sich nach dem N-Bedarf der Kulturen und lag zwischen 80 und 200 kg N/ha (Tab. 4). Von einem ursprünglich angedachten Vergleich verschiedener Düngemittel an einzelnen Standorten musste Abstand genommen werden, da die auf den gärtnerischen Betrieben zur Verfügung stehenden Anbaukapazitäten eine weitere Aufnahme von Varianten nicht zuließen. Bei den auf größeren Flächen angebauten Kulturen wäre dieses zwar möglich gewesen, die hier angebauten Kulturen ließen aber ohnehin keine größere Düngewirkung erwarten. Lediglich auf den Spinatflächen des Betriebes D wäre die Aufnahme weiterer Varianten (auch Düngerstufen) möglich gewesen, die Flächen wurden allerdings relativ 'spontan' in das Versuchsprogramm aufgenommen, so dass auch hier keine entsprechenden Parzellen angelegt wurden.

Auf den meisten Flächen wurden keine Gründüngungen oder Vorkulturen angebaut, die eine nennenswerte N-Freisetzung während der nachfolgenden Gemüsekulturen erwarten ließen. Lediglich bei dem als Zweitkultur nach Kohl angebauten Wurzelspinat wurden vor der Kultur die Ernterückstände der vorherigen Kultur (Mengen konnten allerdings nicht erfasst werden) eingearbeitet. Dieses war auch bei dem Herbstspinat auf dem Betrieb D der Fall, doch lagen hier zwischen Einarbeitung und dem Termin der N_{min}-Vorrat-Probenahme mehr als

12 Wochen, so dass die Umsetzungen der Erbsen-Ernterückstände weitestgehend abgeschlossen gewesen sein dürften.

Tab. 4: Düngungsmengen und -varianten bei den Versuchen 2003

Betrieb	Kultur	Vorkultur	Variante	Düngung				
				Düngerart	Termin	[dt/ha]	[kg N/ha]	
A	Spinat, Früh	Leguminosen gemenge, abgefroren	betriebsüblich	-	-	0	0	
			mit Mist	Schafmist ¹	31.3.	400	108	
			Zusatzdüngung ²	HMP ³	31.3.		100	
B	Kohlrabi	Phacelia, abgefroren	betriebsüblich	Rindermist ⁴	21.3.	246	113	
			Zusatzdüngung ²	Rizikorn ⁵	5.5.		100	
	Rosenkohl	Phacelia, abgefroren	betriebsüblich	Rindermist ⁴	21.3.	246	113	
			Zusatzdüngung ²	Rizinuschrot ⁶	15.6.		13	
	Rote Bete	Herbstfurche	betriebsüblich	Rindermist ⁴	21.3.	246	113	
			Zusatzdüngung ²	Rizikorn ⁵	17.6.		100	
	Weißkohl, Lager	Phacelia, abgefroren	ohne Mist	-	-	0	0	
			betriebsüblich	Rindermist ⁴	21.3.	246	113	
			Zusatzdüngung ²	Rizinuschrot ⁶	15.6.		13	
	C	Zwiebel	Frühjahrsfurche	betriebsüblich	-	-		0
				Zusatzdüngung ²	HMP ³	30.4.		80
D	Spinat, Früh	Perserklee, ausgewintert	betriebsüblich	Schweinemist ⁷	M. Apr.	ca. 300 ⁸	306	
			Zusatzdüngung ²	HMP ²	6.5.		100	
	Spinat, Herbst	Gemüse-erbsen (2003)	betriebsüblich	Schweinemist ⁹	A. Aug.	ca. 300 ⁸	51	
			Zusatzdüngung ²	HMP ³	15.9.		100	
E	Porree	Grünlandumbruch 2002	ohne Mist	-	-	-	0	
			betriebsüblich	Rindermist ¹⁰	1.4.	710	405	
			Zusatzdüngung ²	HMP ³	16.5.		100	
	Rotkohl		betriebsüblich	Rindermist ¹⁰	1.4.	710	405	
			Zusatzdüngung ²	HMP ³	19.6.		150	
	Kopfsalat	Brache	ohne Mist	-	-	0	0	
			betriebsüblich	Rindermist ¹⁰	1.4.	710	405	
			Zusatzdüngung ²	HMP ³	9.4.		100	
	Spinat, Wurzel	Kohlarten (2003)	betriebsüblich	-	-	(710) ¹¹	(405) ¹¹	
			Zusatzdüngung ²	HMP ³	7.8.		100	
F	Buschbohne I	Gelbsenf, abgefroren	betriebsüblich	-	-		0	
			Zusatzdüngung ²	HMP ³	13.6.		100	
	Buschbohne II	Brache	betriebsüblich	-	-		0	
			Zusatzdüngung ²	HMP ³	7.7.		100	
	Rote Bete	Nicht-Leguminosen.-Gem., abgefroren	betriebsüblich	Rindergülle ¹²	E. Feb.	15 m ³⁽⁸⁾	11	
			Zusatzdüngung ²	HMP ³	11.6.		100	
	Zwiebel	abgefroren	betriebsüblich	Rindergülle ¹²	E. Feb.	15 m ³⁽⁸⁾	11	
			Zusatzdüngung ²	HMP ³	25.4.		80	

1: 0,27 % N, C/N: 28; 2: über die betriebsübliche Düngung hinausgehende Düngergabe;

3: Haarmehlpellets, 13,6 % N; 4: 0,46 % N, C/N: 21; 5: 4,06 % N; 6: 4,27 % N;

7: Rottemist, 1,02 % N, C/N: 9; 8: nach Angaben des Betriebes; 9: frisch, 0,17 % N, C/N: 36;

10: 0,57 % N, C/N: 15; 11: 405 kg N/ha als Stallmist zur Vorkultur;

12: stark verdünnte Gülle, 0,07 % N, C/N: 7

Die betriebsübliche Düngung bestand auf rund $\frac{2}{3}$ der Flächen aus einer Stallmistdüngung, die vor Kulturbeginn ausgebracht wurde. Auf drei Flächen konnte dieses auf entsprechenden Parzellen durch eine Abdeckung mit einer Plane (4m × 3m) unterbunden werden. Durch Auswiegen der auf der Plane liegenden Mistmenge konnte gleichzeitig die Höhe der betriebsüblichen Stallmistgabe ermittelt werden. Beim Betrieb A wurde zusätzlich zur betriebsüblichen (ungedüngten) Variante eine solche mit zusätzlicher Stallmistdüngung angelegt.

Mit der Gülledüngung auf dem Betrieb F sollte eine N-Gabe von ca. 30 kg N/ha verabreicht werden, doch stellte sich die Gülle als noch N-ärmer als angenommen heraus, so dass nur 11 kg N/ha ausgebracht wurden. Das Einarbeiten der Wirtschaftsdünger erfolgte allgemein nur durch Grubbern bzw. Kreiseln.

Betriebsüblich wurden keine OHD eingesetzt, lediglich Betrieb B düngte den Weiß- und Rosenkohl mit einer geringen Menge Rizinusschrot nachdem im Rahmen der Versuchsbesprechung das voraussichtlich unzureichende betriebsübliche Düngeniveau verdeutlicht wurde.

Versuchsaufbau

Die Versuche wurden als Blockanlage mit 3 Wiederholungen konzipiert. Die Größe der Parzellen richtete sich nach den betrieblichen Gegebenheiten und lag je nach Betrieb und Kultur zwischen 9 m² und 18 m². Die beernteten und jeweils beprobten Flächen (Kernparzelle) waren zwischen 2 m² und 5 m² groß. Bei den auf den gärtnerischen Betrieben nur in kleinem Umfang angebauten Kulturen standen im Randbereich z. T. andere Sorten als in den Kernparzellen des Versuches.

Die Parzellen wurden, mit Ausnahme der Versuche mit unterbundener Stallmistdüngung, im Allgemeinen nach dem Auflaufen bzw. nach Pflanzung der Kulturen angelegt. Die in den Parzellen mit Zusatzdüngung ausgebrachten OHD wurden dabei mittels Hacke oberflächlich in den Boden eingearbeitet.

Zur Ermittlung der biologischen N₂-Fixierung von Buschbohnen und Gemüseerbsen mittels der erweiterten Differenzmethode (STÜLPNAGEL 1982) wurden auf entsprechenden Parzellen unmittelbar nach dem Auflaufen die Kulturen durch Herausziehen entfernt und stattdessen Phacelia als Referenzkultur eingesät. Dabei erfolgte die Aussaat der Phacelia bei den Erbsen breitwürfig nach dem ersten Striegelgang, bei den Bohnenversuchen konnte auf Grund der betriebsüblichen Hackmaßnahmen nur die ursprünglichen Bohnenreihen besät werden.

N_{min}-Proben

Die Bodenprobenentnahme erfolgte getrennt nach den Bodenschichten 0 bis 30 cm und 30 bis 60 cm mittels 'Pürkhauer'-Bohrstock. Zu Versuchsbeginn (N_{min}-Vorrat-Bestimmung) wurden je Parzelle 2 Einstiche vorgenommen, so dass je Versuch eine Mischprobe aus mind. 12 Einstichen (2 Varianten, 3 Wiederholungen) vorlag. Die N_{min}-Beprobung erfolgte soweit wie möglich vor der Stallmistausbringung. Bei Weiß-, Rot- und Rosenkohl, die erst später ausgepflanzt wurden, wurden als N_{min}-Vorrat für die Kalkulation des N-Angebots etc. die Werte direkt benachbarter Versuche mit vorheriger N_{min}-Beprobung herangezogen.

Zur Bestimmung des N_{min}-Restes zum Erntetermin wurden je Parzelle 4 Einstiche (je 2 Einstiche in der Kulturreihe und zwischen den Kulturreihen) vorgenommen, so dass auch hier je Variante Mischproben aus 12 Einstichen vorlagen.

Die Mischproben der jeweiligen Bodenschichten wurden homogenisiert, ggf. vorhandenes Skelettmaterial entfernt. Die Analytik erfolgte nach den Vorschriften der VDLUFA, getrennt nach NH₄-N und NO₃-N. Bei der Umrechnung der Analyseergebnisse wurde eine Bodendichte von 1,40 g/cm³ angenommen.

Auf Grund der trockenen Witterungsbedingungen können N-Verluste durch eine Auswaschung aus den beprobten Bodenschichten ausgeschlossen werden.

Ernte und Auswertung

Die Beerntung der Parzellen erfolgte meist kurz vor bzw. während der betriebsüblichen Ernte. Da der Herbstspinat beim Betrieb D trockenheitsbedingt um 3-4 Wochen verspätet auflief, entwickelte sich dieser nicht mehr bis zur Marktreife. Hier wurde der Aufwuchs des Spinats kurz vor dem Umbruch der Fläche ermittelt.

Die Ernte erfolgte getrennt nach Marktware (ME) und Ernterückständen (ER), wobei eine praxisübliche Aufbereitung simuliert wurde. Vorhandenes Unkraut wurde den ER zugeschlagen bzw. mit diesen erfasst. Nach Auswiegen der Frischmasse wurden die ME bzw. ER der 3 Wiederholungen vermischt. An Teilproben, die ggf. aus dem zuvor mittels Häcksler homogenisierten (in erster Linie ER) bzw. durch Kleinschneiden mit dem Messer vorbereiteten Material gezogen wurden, wurde der Trockensubstanzgehalt durch Trocknen bei 105°C ermittelt. Die Teilproben wurden anschließend vermahlen und später auf ihren Gehalt an N-Gesamt (Kjeldahl-N) untersucht. An den ME-Teilproben erfolgte darüber hinaus eine Bestimmung (nasschemischer Aufschluss) des P- und K-Gehaltes.

Berechnung der N-Nachlieferung, N-Freisetzung und N₂-Fixierung

Die Netto-N-Mineralisation aus den verschiedenen N-Quellen ('N-Gewinn') im Zeitraum vom Termin der N_{min}-Vorrat-Probenahme bis zum Kulturende wurde wie folgt ermittelt:

$$\text{N-Gewinn} = \text{N}_{\text{min-Rest}} + \text{N}_{\text{Aufwuchs}} - \text{N}_{\text{min-Vorrat}}$$

Bei Varianten, bei denen keine Düngung erfolgte entspricht der so berechnete N-Gewinn der **N-Nachlieferung** aus der organischen Substanz des Bodens. Unter Einbeziehung des Zeitraumes vom Termin der N_{min}-Vorrat-Probenahme bis zum Kulturende errechnete sich die durchschnittliche wöchentliche N-Nachlieferung:

$$\text{N-Nachlieferung pro Woche} = \text{N-Nachlieferung} \div \text{Kulturwochen}$$

Auf mit Stallmist gedüngten Schlägen, bei denen keine Varianten ohne entsprechende Düngung angelegt werden konnten, entspricht der so berechnete N-Gewinn der Summe aus N-Nachlieferung des Bodens und der N-Freisetzung (ggf. N-Immobilisation) aus dem Stallmist.

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

$$\text{N-Freisetzung}_{\text{Düngung}} = \text{N-Gewinn}_{\text{Düngung}} - \text{N-Gewinn}_{\text{ohne Düngung}}$$

Unter Einbeziehung der mit der Düngung ausgebrachten N-Menge ergibt sich die prozentuale N-Freisetzung (Netto-N-Mineralisation) aus dem Düngemittel nach:

$$\text{N-Freisetzung}_{\text{Düngung}} [\%] = \text{N-Freisetzung}_{\text{Düngung}} \div \text{ausgebrachte N-Menge}_{\text{Düngung}} \times 100$$

Die **biologische N₂-Fixierung** der Leguminosen (BNF) berechnete sich wie folgt:

$$\text{BNF} = (\text{N}_{\text{Aufwuchs(Legu)}} + \text{N}_{\text{min-Rest}_{\text{Legu}}}) - (\text{N}_{\text{Aufwuchs(Phacelia)}} + \text{N}_{\text{min-Rest}_{\text{Phacelia}}})$$

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 flächenbezogenen Nährstoffmengen.

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. Regressionsanalytische Auswertungen wurden ebenfalls mit Hilfe von 'Excel' ausgeführt. Dabei wurde auf entsprechende Routinen des Programms zurückgegriffen.

3. Ergebnisse

3.1 Darstellung der Ergebnisse

N_{\min} -Vorrat zu Kulturbeginn

Die N_{\min} -Vorräte in 0 bis 60 cm lagen im Bereich von 33 bis 161 kg N/ha (Tab. 5), wobei bei $\frac{2}{3}$ der Flächen die Werte im Bereich von 50 bis 100 kg N/ha lagen (Abb. 2). Werte unter 50 bzw. über 150 kg N/ha wurden in jeweils nur einem Fall ermittelt.

Tab. 5: N_{\min} -Vorräte des Bodens zu Kulturbeginn (Mischproben über die Wiederholungen)

Kultur	Betrieb	Datum	0-30 cm	30-60 cm	Bemerkung
Buschbohne	F I	13. Jun.	117	24	längere Bracheperiode vor Kulturbeginn
	F II	7. Jul.	116	26	
Markerbse	C	23. Apr.	45	16	
	F	23. Apr.	46	23	
Weißkohl, Lager	B	5. Mai	39 ¹	13 ¹	Stallmistgabe am 21. Mrz.
		28. Mai	(54) ²	(12)	ohne Stallmist
			(69)	(14)	
Rotkohl, Lager	E	1. Apr. ³	33 ⁴	29 ⁴	
		3. Jun.	(76)	(24)	
Rosenkohl	B	5. Mai	39 ¹	13 ¹	Stallmistgabe am 21. Mrz.
		17. Juni	(71)	(25)	
Kohlrabi	B	5. Mai	39	13	Stallmistgabe am 21. Mrz.
Porree	E	1. Apr. ³	33	29	
		16. Mai	(30)	(11)	ohne Stallmist
			(58)	(15)	
Rote Bete	B	17. Jun.	115	23	Stallmistgabe am 21. Mrz.
	F	11. Jun.	117	19	Gülle E. Febr., längere Brache
Kopfsalat	E	1. Apr. ³	21	11	
Spinat, Früh	Bi	31. Mrz.	50	31	
	D	23. Apr.	56	25	Stallmistgabe Mitte April
Spinat, Wurzel	E	7. Aug.	67	22	Vorkultur Kohl
Spinat, Herbst	D	15. Sep.	129	32	Stallmistgabe Anfang Aug.
Zwiebeln	C	30. Apr.	21	59	
	F	25. Apr.	59	15	Güllegabe Ende Febr.

1: ermittelt in dem unmittelbar benachbarten Kohlrabiversuch; 2: die Werte in Klammern wurden bei der Kalkulation des N-Angebots und der weiteren Auswertung nicht einbezogen;

3: direkt vor der Stallmistausbringung; 4: ermittelt in dem unmittelbar benachbarten Porreeversuch

Mit fortschreitendem Termin der N_{\min} -Vorrat-Probenahme zeigten sich bei den Flächen, die bis zu Kulturbeginn brach gehalten wurden, höhere N_{\min} -Werte, wobei die Zunahme rund 7 kg N/ha je Woche betrug (Abb. 3). Bei Weißkohl und Porree, bei denen unmittelbar vor Kulturbeginn im Mai nochmals N_{\min} -Proben in den mit Stallmist gedüngten bzw. unge düngten Parzellen gezogen wurden, zeigte sich zu diesem Termin eine (zwischenzeitliche) N-Immobilisation durch den Stallmist (N_{\min} mit Stallmist minus N_{\min} ohne Stallmist) in Höhe von 17 bzw. 32 kg N/ha, obgleich die Rindermiste mit 21 bzw. 15 ein relativ enges C/N-Verhältnis aufwiesen.

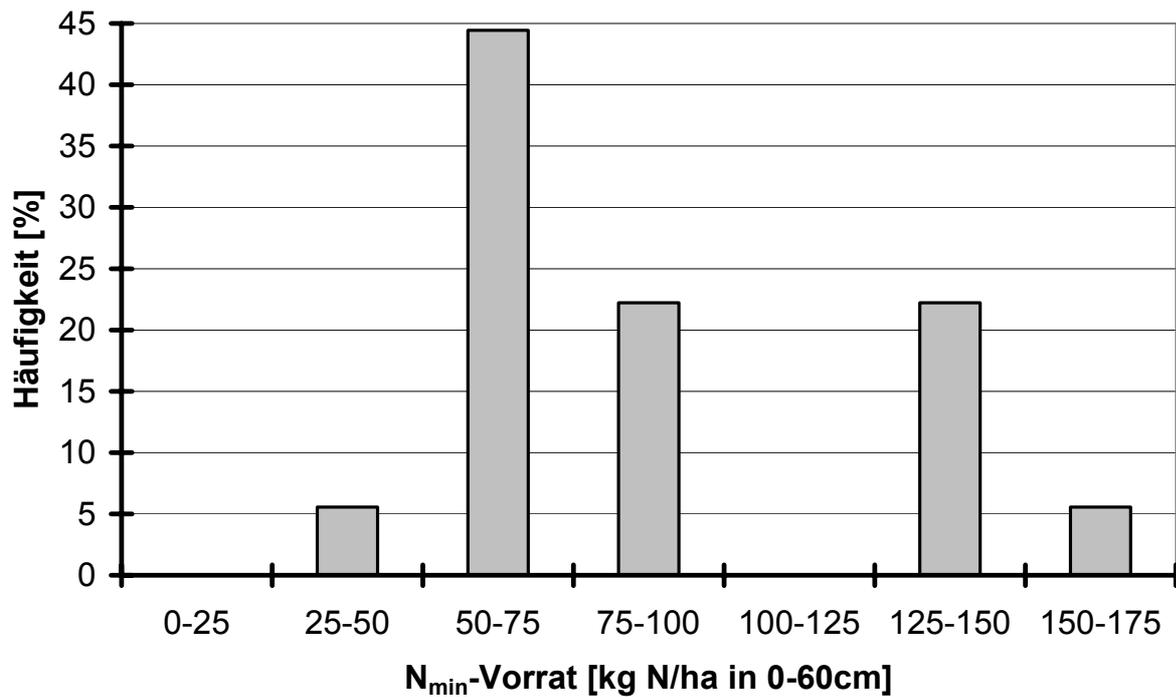


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung der N_{min}-Vorräte zu Kulturbeginn (Mischproben über die Wiederholungen)

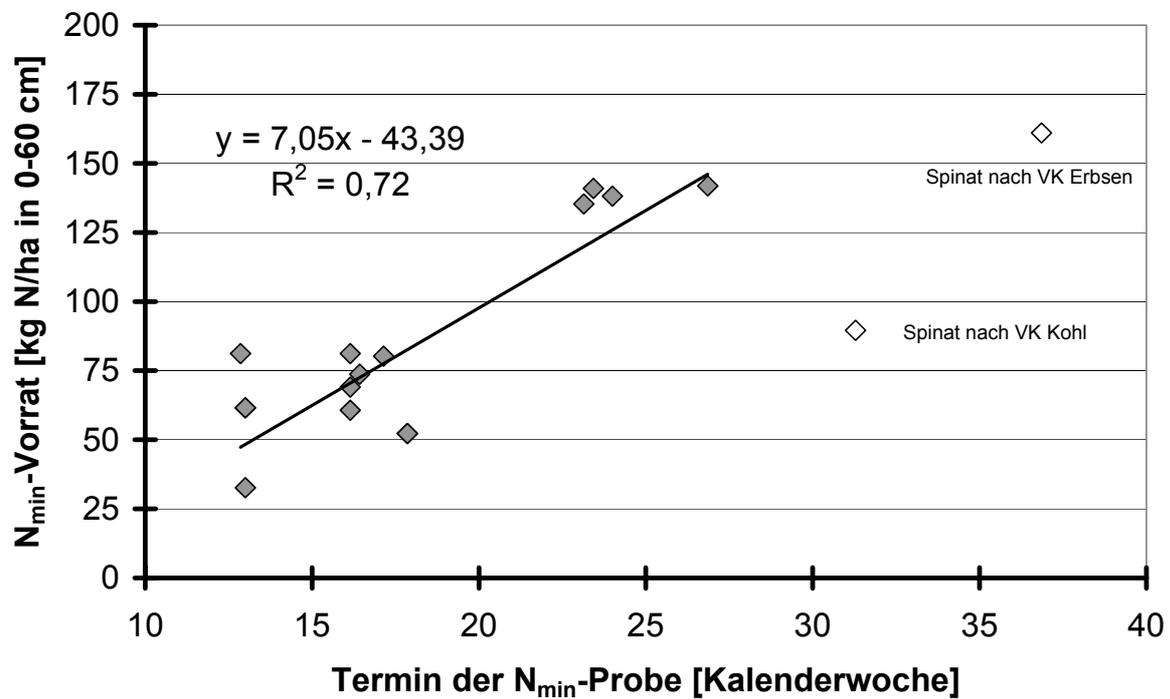


Abb. 3: N_{min}-Vorräte in Abhängigkeit vom Zeitpunkt des Kulturbeginns bzw. der Probenahme (Mischproben über die Wiederholungen; die ungefüllt dargestellten Datenpunkte wurden bei der Regression nicht berücksichtigt)

Ertragswirksamkeit der Düngemaßnahmen

Mit Ausnahme der Versuche mit Rosenkohl und Porree konnten bei allen Düngemaßnahmen keine signifikanten Ertragseffekte abgesichert werden, was einerseits mit der tatsächlich geringen Ertragswirksamkeit, andererseits aber auch mit der relativ hohen Streuung der Ergebnisse (bei gleichzeitig nur 3-facher Wiederholung) zu begründen ist.

So zeigten sich trotz Stallmistgaben in Höhe von bis zu 400 kg N/ha nur Mindererträge von durchschnittlich 10 % bei Unterlassung dieser Düngemaßnahme (Tab. 6).

Tab. 6: Markterträge (ME) der unterschiedlich gedüngten Varianten (Mittelwerte über die Wiederholungen; Angaben bezogen auf Netto-Anbaufläche)

Kultur	Betrieb	ohne Stallmist		betriebsüblich		Zusatzdüngung mit OHD ¹		
		ME [dt/ha]	rel. ³	N-Gabe ² [kg N/ ha]	ME [dt/ha]	[kg N/ ha]	ME [dt/ha]	rel. ³
Buschbohne	F I	-	-	0	173 (140) ⁴	100	188	109 %
	F II	-	-	0	134 (60) ⁴	100	166	124 %
Markerbse	C	-	-	0	(17) ⁴	-	-	-
	F	-	-	0	(26) ⁴	-	-	-
Weißkohl, Lager	B	582	94 %	126 ⁵	620	150	784	127 %
Rotkohl, Lager	E	-	-	405	168	150	182	108 %
Rosenkohl	B	-	-	126 ⁵	100	200	122*	122 %
Kohlrabi	B	-	-	113	280	100	269	96 %
Porree	E	203	88 %	405	231	100	195*	84 %
Rote Bete	B	-	-	113	703	100	786	112 %
	F	-	-	11	735	100	864	118 %
Kopfsalat	E	271	89 %	405	305	100	341	112 %
Spinat, Früh	D	-	-	306	88	100	122	139 %
Spinat, Wurzel	E	-	-	(405) ⁶	318	100	344	108 %
Spinat, Herbst	D	-	-	51	61 ⁷	100	71 ⁷	115 %
Zwiebeln	C	-	-	0	498 ⁸	80	492	99 %
	F	-	-	11	649 ⁸	80	609	94 %
Mittel			90 %					111 %

- 1: zusätzlich zur ggf. bei der betriebsüblichen Düngung verabreichten Gabe an Wirtschaftsdüngern;
2: in Form von Stallmist, bei Zwiebeln und Roter Bete beim Betrieb F in Form von Rindergülle;
3: relativer Marktertrag (betriebsübliche Düngung = 100 %); 4: Bruttoertrag des Schrages bei maschineller Ernte (Angaben des Betriebs); 5: davon 13 kg N/ha in Form von Rizinussschrot;
6: zur Vorkultur Kopfkohl; 7: gesamter Aufwuchs (der Spinat erreichte keine marktfähige Größe);
8: zum Rodetermin (bei der anschließenden Feldtrocknung dürfte es zu einen Gewichtsverlust von 10-15 % gekommen sein); *: signifikanter Ertragsunterschied gegenüber der betrieblichen Düngungsvariante

Durch die zusätzlich zur betriebsüblichen Düngung gegebenen Gaben von OHD konnten Mehrerträge von bis zu 40 % realisiert werden, die aber nur im Falle von Rosenkohl (22 %) abgesichert werden konnten. Angesichts hoher N_{\min} -Vorräte von rund 140 kg N/ha wurde bei den Buschbohnen kein Düngeeffekt mehr durch die OHD-Gabe erwartet, aber auch hier zeigten sich 9 bzw. 24 % Mehrertrag. Bei Kohlrabi und Zwiebeln ergaben sich durch die Zusatzdüngung leichte, aber ebenfalls nicht abgesicherte Mindererträge. Bei Porree war ein signifikanter Minderertrag von 16 % durch die Düngung zu verzeichnen, ohne dass hierfür Gründe ersichtlich waren.

Ähnlich wie der Marktertrag wurde auch die Menge an Ernterückständen durch die Zusatzdüngung mit OHD im Mittel um 12 % gesteigert (Tab. 7). Bei Weiß- und Rosenkohl konnten signifikante Mengensteigerungen an Ernterückständen durch die OHD-Gabe abgesichert werden. Die Stallmistdüngung zeigte nur beim Kopfsalat einen größeren Effekt auf die Menge an Ernterückständen.

Tab. 7: Ernterückstände der unterschiedlich gedüngten Varianten (Mittelwerte über die Wiederholungen; Angaben bezogen auf Netto-Anbaufläche)

Kultur	Betrieb	ohne Stallmist		betriebsüblich [dt/ha]	Zusatzdüngung mit OHD	
		[dt/ha]	rel. ¹		[dt/ha]	rel. ¹
Buschbohne	F I	-	-	192 (225) ²	212	111 %
	F II	-	-	276 (350) ²	305	111 %
Markerbse	C	-	-	(112) ³ [137] ^{4,5}	-	-
	F	-	-	(179) ³ [206] ^{4,5}	-	-
Weißkohl, Lager	B	355	93 %	381	546*	143 %
Rotkohl, Lager	E	-	-	372	415	112 %
Rosenkohl	B	-	-	294	393*	134 %
Kohlrabi	B	-	-	40	40	99 %
Porree	E	106	92 %	114	103	91 %
Rote Bete	B	-	-	190	249	131 %
	F	-	-	133	133	101 %
Kopfsalat	E	44	39 % ⁶	113 ⁵	101	89 %
Spinat, Früh	D	-	-	88	104	118 %
Spinat, Wurzel	E	-	-	0	0	-
Spinat, Herbst	D	-	-	0	0	-
Zwiebeln	C	-	-	86	71	83 %
	F	-	-	143	157	110 %
Mittel			75 %			112 %
Phacelia (in Buschbohne)	F I	-	-	[437] ⁴	-	-
	F II	-	-	[537] ⁴	-	-
Phacelia (in Erbsen)	C	-	-	[122] ⁴	-	-
	F	-	-	[181] ⁴	-	-

1: relative Menge an Ernterückständen (betriebsübliche Düngung = 100 %);

2: bei Berücksichtigung des bei maschineller Ernte erzielten geringeren Bruttoertrages und damit höheren Mengen an Ernterückständen;

3: berechnet aus der in den Parzellen ermittelten Aufwuchsmenge abzüglich des Bruttoertrages bei maschineller Ernte; 4: gesamter Aufwuchs; 5: inklusive relativ großer Mengen an Unkräutern;

6: eine statistische Auswertung konnte hier nicht erfolgen, da versehentlich die Menge an Ernterückständen nicht parzellenweise erfasst wurde

*: signifikanter Ertragsunterschied gegenüber der betrieblichen Düngungsvariante

N_{min}-Rest

Die N_{min}-Reste lagen bei betriebsüblicher Düngung im Mittel bei knapp 40 kg N/ha. Überdurchschnittlich hoch war er bei dem Herbstspinat, der nicht mehr die marktfähige Größe erreichte (Tab. 8). Werte unter 10 kg N/ha fanden sich bei Weiß- und Rosenkohl sowie Roter Bete auf dem Betrieb B.

Durch die Zusatzdüngung mit OHD erhöhten sich die N_{min}-Reste im Mittel um rund 40 %, während eine Unterlassung der Stallmistdüngung nur zu marginal geringeren N_{min}-Resten führte.

Tab. 8: N_{min}-Reste des Bodens zu Kulturende (Mischproben über die Wiederholungen)

Kultur	Betrieb	Datum	ohne Stallmist		betriebsüblich		Zusatzdüngung mit OHD		
			0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60	rel.*
Buschbohne	F I	5. Aug.	-	-	40	23	73	31	163 %
	F II	4. Sep.	-	-	30	16	57	16	159 %
Markerbse	C	6. Jun.	-	-	21	14	-	-	-
	F	6. Jun.	-	-	18	10	-	-	-
Weißkohl, Lager	B	16. Sep.	5	0	10	0	9	0	91 %
Rotkohl, Lager	E	8. Okt.	-	-	22	8	35	7	136 %
Rosenkohl	B	12. Nov.	-	-	6	0	7	0	117 %
Kohlrabi	B	16. Jun.	-	-	12	10	28	13	183 %
Porree	E	2. Sep.	53	12	57	11	59	11	103 %
Rote Bete	B	17. Sep.	-	-	5	4	7	5	144 %
	F	7. Okt.	-	-	20	3	17	1	79 %
Kopfsalat	E	26. Mai	13	13	13	17	33	18	169 %
Spinat, Früh	D	5. Jun.	-	-	21	10	44	17	197 %
Spinat, Wurzel	E	29. Sep.	-	-	39	34	33	35	94 %
Spinat, Herbst	D	29. Okt.	-	-	59	37	93	37	136 %
Zwiebeln	C	19. Aug.	-	-	41	15	67	17	150 %
	F	5. Aug.	-	-	26	11	45	18	168 %
Mittel					37				139 %
Phacelia (in Buschbohne)	F I	5. Aug.	-	-	26	29	-	-	
	F II	4. Sep.	-	-	16	7	-	-	
Phacelia (in Erbse)	C	6. Jun.	-	-	38	15	-	-	
	F	6. Jun.	-	-	21	15	-	-	

*: Relativer N_{min}-Rest (betriebsüblich = 100 %)

N-Gehalte und N-Mengen im Marktertrag und den Ernterückständen

Die N-Menge im **Marktertrag** und damit die N-Abfuhr (N-Entzug) lag bei betriebsüblicher Düngung zwischen 30 (Bohnen) und 190 kg N/ha (Rote Bete) (Tab. 9). Durch hohe Verluste bei der maschinellen Ernte lagen sie bei dem 2. Satz Buschbohnen nur bei 14 kg N/ha.

Durch die Zusatzdüngung mit OHD stiegen die N-Gehalte der Marktware im Mittel geringfügig um 6 % an. Mit 28 bzw. 26 % fiel diese Steigerung bei Buschbohnen (2. Satz) und Weißkohl am höchsten aus. Beim Frühspinat lag der N-Gehalt bei Zusatzdüngung unter dem der betriebsüblichen Variante, da (bei gleichem N-Gehalt in der TS) der TS-Gehalt geringer als bei der betriebsüblichen Variante war (Tab. 10). Insgesamt nahm mit zunehmender Düngung (ohne Stallmist > betriebsüblich > Zusatzdüngung mit OHD) der TS-Gehalt ab, der N-Gehalt in der TS zu. Im Mittel zeigten die OHD-Varianten einen um 6 % geringeren TS-Gehalt als die betriebsüblichen Varianten.

Tab. 9: N-Gehalt und N-Menge je ha in der Marktware der unterschiedlich gedüngten Varianten (Mischproben über die Wiederholungen; Angaben bezogen auf Netto-Anbaufläche)

Kultur	Betrieb	ohne Stallmist		betriebsüblich		Zusatzdüngung mit OHD		
		[kg N/ 100 dt]	[kg N/ha]	[kg N/ 100 dt]	[kg N/ha]	[kg N/ 100 dt]	rel. ¹	[kg N/ha]
Buschbohne	F I	-	-	29	51 (41) ²	35	119 %	65
	F II	-	-	23	31 (14) ²	29	128 %	49
Markerbse	F	-	-	109 ³	(29) ²	-	-	-
Weißkohl, Lager	B	18	103	18	111	23	126 %	177
Rotkohl, Lager	E	-	-	34	57	33	96 %	59
Rosenkohl	B	-	-	65	65	75	116 %	92
Kohlrabi	B	-	-	19	54	18	95 %	49
Porree	E	32	66	31	73	34	109 %	67
Rote Bete	B	-	-	22	156	25	113 %	197
	F	-	-	26	189	25	96 %	214
Kopfsalat	E	14	39	11	34	10	93 %	35
Spinat, Früh	D	-	-	49	43	43	86 %	52
Spinat, Wurzel	E	-	-	40	127	40	101 %	138
Spinat, Herbst	D	-	-	67 ⁴	41 ⁴	63 ⁴	94 %	44 ⁴
Zwiebeln	C	-	-	22	112	26	115 %	127
	F	-	-	18	116	19	109 %	118
						Mittel	106 %	

1: N-Gehalt bei betriebsüblicher Düngung = 100 %;

2: bei Berücksichtigung des bei maschineller Ernte erzielten Bruttoertrages;

3: Beprobung der maschinell geernteten Ware; 4: gesamter Aufwuchs

Wie bei der Marktware auch, lagen die N-Gehalte in den **Ernterückständen** der OHD-Varianten um 6 % über denen der betriebsüblichen (Tab. 11). Auch hier fiel beim 2. Satz Buschbohnen die Zunahme des N-Gehaltes mit 30 % am höchsten aus. Mit den Ernterückständen verblieben bei betriebsüblicher Düngung bis zu 160, bei Zusatzdüngung mit OHD bis zu 200 kg N/ha auf den Flächen.

Tab. 10: Trockensubstanz- (TS) und N-Gehalt in der Marktware der unterschiedlich gedüngten Varianten (Mischproben über die Wiederholungen)

Kultur	Betrieb	ohne Stallmist		Betriebsüblich		Zusatzdüngung mit OHD		
		TS	[% N]	TS	[% N]	TS	rel.	[% N]
Buschbohne	F I	-	-	8	3,5	7	89 %	4,7
	F II	-	-	7	3,1	7	98 %	4,1
Markerbse	F	-	-	23	4,8	-	-	-
Weißkohl, Lager	B	10	1,9	9	1,9	9	96 %	2,5
Rotkohl, Lager	E	-	-	10	3,3	9	91 %	3,5
Rosenkohl	B	-	-	17	3,8	17	99 %	4,4
Kohlrabi	B	-	-	7	2,7	7	100 %	2,6
Porree	E	13	2,4	12	2,6	13	104 %	2,7
Rote Bete	B	-	-	14	1,6	13	94 %	1,9
	F	-	-	15	1,7	16	102 %	1,6
Kopfsalat	E	7	2,1	6	1,9	5	81 %	2,2
Spinat, Früh	D	-	-	12	4,2	10	85 %	4,2
Spinat, Wurzel	E	-	-	10	4,1	9	93 %	4,4
Spinat, Herbst	D	-	-	13*	5,2*	12*	90 %	5,4*
Zwiebeln	C	-	-	13	1,7	13	98 %	2,0
	F	-	-	12	1,5	11	91 %	1,7
						Mittel	94 %	

*: gesamter Aufwuchs

Tab. 11: N-Gehalt und N-Menge in den Ernterückständen bzw. Aufwuchs (Mischproben über die Wiederholungen; Angaben bezogen auf Netto-Anbaufläche)

Kultur	Betrieb	ohne Stallmist		betriebsüblich		Zusatzdüngung mit OHD		
		[kg N/ 100 dt]	[kg N/ha]	[kg N/ 100 dt]	[kg/ha]	[kg N/ 100 dt]	rel.	[kg N/ha]
Buschbohne	F I	-	-	34 (33) ¹	65 (75) ¹	36	105 %	76
	F II	-	-	36 (33) ¹	99 (116) ¹	46	130 %	141
Markerbse	C	-	-	[69] ²	[95] ²	-	-	-
	F	-	-	34 ³ [44] ²	61 ⁴ [90] ²	-	-	-
Weißkohl, Lager	B	21	75	24	97	27	113 %	146
Rotkohl, Lager	E	-	-	43	159	39	92 %	163
Rosenkohl	B	-	-	44	128	51	116 %	199
Kohlrabi	B	-	-	33	13	32	95 %	13
Porree	E	35	37	38	44	40	105 %	42
Rote Bete	B	-	-	29	55	25	88 %	63
	F	-	-	30	40	30	102 %	40
Kopfsalat	E	31	14	27	31	32	117 %	32
Spinat, Früh	D	-	-	34	30	32	92 %	33
Zwiebeln	C	-	-	24	20	25	107 %	18
	F	-	-	21	31	25	117 %	39
Phacelia (in Buschbohne)	F I	-	-	[33] ²	[145] ²	-	-	-
	F II	-	-	[30] ²	[162] ²	-	-	-
Phacelia (in Erbse)	C	-	-	[39] ²	[47] ²	-	-	-
	F	-	-	[23] ²	[42] ²	-	-	-
						Mittel	106 %	

: bei Berücksichtigung des bei maschineller Ernte erzielten geringeren

Bruttoertrages und damit höheren Mengen an Ernterückständen; 2: bezogen auf den gesamten Aufwuchs;

3: berechnet aus der N-Menge in den Ernterückständen und der Ernterückstände-FM;

4: berechnet aus N_{Aufwuchs} abzüglich der N-Menge in der Marktware (maschinelle Ernte)

N-Nachlieferung bzw. N-Freisetzung aus den verschiedenen N-Quellen

Die durch Bestandesanalyse ermittelte **N-Nachlieferung** des Bodens (= N-Gewinn ungedüngter Varianten) betrug bis zu 130 kg N/ha (Tab. 12). Im Schnitt lag sie bei 5,9 kg N/ha je Woche. Auffallend gering war sie bei der in den Erbsenflächen eingesäten Phacelia des Betriebes F, ohne das hierfür Gründe erkennbar waren.

Flächen, die zuvor mit Stallmist gedüngt worden waren, zeigten im Mittel mit 4,1 kg N/ha je Woche eher eine geringere N-Nachlieferung als entsprechend ungedüngte. Bei dem Herbstspinat war eine N-Immobilisierung zu verzeichnen, die durch die Anwendung des N-armen (C/N-Verhältnis: 36) Stallmistes verursacht worden sein könnte. Lässt man diesen Wert außer Acht, so betrug die mittlere N-Nachlieferung der Standorte mit Stallmistdüngung 5,7 kg N/ha je Woche. Die hohe N-Nachlieferung beim Wurzelspinat ist vermutlich auf die N-Freisetzung aus den Ernterückständen (Menge konnte nicht ermittelt werden) der Kohl-Vorkultur zurückzuführen.

Die N-Nachlieferung aller Standorte (einschließlich Wurzelspinat) lag im Mittel bei 5,8 kg N/ha pro Woche und damit unter dem von MOJE (1997) auf 20 ökologisch bewirtschafteten Möhrensclägen ermittelten Wert von 6,7 kg N/ha pro Woche.

Die leider nur an 3 Standorten ermittelte **N-Freisetzung aus Stallmist** betrug beim Weißkohlversuch 32 % der ausgebrachten N-Menge. Die geringe Freisetzung von nur 4 % auf den beiden Flächen des Betriebes E könnte in der kurzen Kulturzeit (Salat) bzw. in der völlig unzureichenden Wasserversorgung begründet sein. Generell spiegelt sich die geringe N-Freisetzung aber auch wie oben angesprochen in der nicht erhöhten N-Nachlieferung der Standorte mit Stallmistdüngung wider.

Die **N-Freisetzung aus den OHD** berechnete sich im Mittel auf 32 % der ausgebrachten N-Menge. Deutlich unter dem Durchschnitt lag die Netto-Mineralisation bei dem Betrieb E (in einem Fall auch N-Immobilisierung), was wiederum in der unzureichenden Wasserversorgung (nicht bei Kopfsalat) begründet sein könnte. Dagegen spricht allerdings, dass bei dem ebenfalls stark unterversorgten Früh- und Herbstspinat des Betriebes D mit 41 bzw. 38 % relativ hohe N-Freisetzungen gemessen wurden.

Die sich für Rizinus (nur Betrieb B) und Haarmehlpellets aus den Versuchen ergebende mittlere N-Freisetzung von 48 bzw. 26 % liegt deutlich unter der der bisher vorliegender Versuche, die für Rizinus eine mittlere Netto-N-Mineralisation von 57 % und für Haarmehlpellets von 34 % ausweisen (LABER 2003).

Tab. 12: N-Nachlieferung des Bodens (ohne/mit Stallmistdüngung) sowie prozentuale N-Freisetzung aus Stallmist und organischen Handelsdüngern (OHD)

Kultur	Be- trieb	Kultur- zeit ¹ [Wo- chen]	Düngergabe		N im Auf- wuchs ² [kg N/ha]	N-Ge- winn	N-Nachliefe- rung Boden o. Mist/m. Mist [kg N/ha pro Woche]		N- Freisetzung aus Mist OHD [% der N-Menge]		
			Stall- mist	OHD					Mist	OHD	
Weißkohl, Lager	B	19	0	13	178	131	6,8 ³	-	-	-	
			113	13	208	166	-	-	32	-	
				13+150	322	279	-	-	-	75	
Rotkohl, Lager	E	27	405	0	217	186	-	6,8	-	-	
				150	222	203	-	-	-	11	
Rosenkohl	B	27	113	13	193	146	-	5,4	-	-	
				13+200	291	245	-	-	-	49	
Kohlrabi	B	6	113	0	67	37	-	6,2	-	-	
				100	62	50	-	-	-	13	
Porree	E	22	405	0	103	106	4,8	-	-	-	
				0	116	123	-	-	4	-	
				100	108	117	-	-	-	-6	
Rote Bete	B	13	113	0	211	81	-	6,1	-	-	
				100	260	134	-	-	-	53	
Rote Bete	F	17	11 ⁴	0	228	115	6,8 ³	-	-	-	
				100	254	136	-	-	-	21	
Kopfsalat	E	8	405	0	53	46	5,9	-	-	-	
				0	64	62	-	-	4	-	
				100	67	85	-	-	-	23	
Spinat, Früh	D	6	306	0	73	23	-	3,7	-	-	
				100	85	64	-	-	-	41	
Spinat, Wurzel	E	8	405 ⁵	0	127	110	-	(15) ⁶	-	-	
				100	138	116	-	-	-	7	
Spinat, Herbst	D	6	51	0	41	-25	-	-3,9	-	-	
				100	44	13	-	-	-	38	
Zwiebeln	C	16	0	0	132	108	6,8	-	-	-	
				80	144	148	-	-	-	50	
Zwiebeln	F	15	11 ⁴	0	146	110	7,5 ³	-	-	-	
				80	158	146	-	-	-	46	
Phacelia (i. Bohnen)	F	8	0	0	145	59	7,8	-	-	-	
	F	8	0	0	162	43	5,1	-	-	-	
Phacelia (i. Erbsen)	C	6	0	0	47	40	6,3	-	-	-	
	F	6	0	0	42	10	1,5	-	-	-	
							Mittel	5,9	4,1	13	32
							Maximum	7,8	6,8	32	75
							Minimum	1,5	-3,9	4	-6

1: Zeitraum vom Termin der N_{min}-Vorrat- bis N_{min}-Rest-Beprobung;

2: Summe aus N-Menge im Marktertrag und den Ernterückständen;

3: auf Grund der zu vernachlässigenden N-Düngung als Nachlieferung ohne Mist (ohne Düngung) eingestuft;

4: in Form von Rindergülle; 5: zur Vorkultur Kohl; 6: inklusive der N-Freisetzung aus den Kohlrückständen

Vergleich kalkuliertes und tatsächliches N-Angebot

Für jede der einzelnen Kulturen (nur Nichtleguminosen) bzw. Düngungsvarianten wurde unter Einbeziehung der Kulturdaten (Kulturzeitpunkt, Kulturzeit) und Düngungshöhe (N_{\min} -Vorrat, Wirtschaftsdüngergabe, OHD-Gabe) mittels des Kalkulationsmodells (Tab. 1, Seite 2) das zu erwartende N-Angebot kalkuliert (Tab. 13). Für den Wurzelspinat konnte keine Kalkulation durchgeführt werden, da die Menge der eingearbeiteten Kohl-Ernterückstände nicht erfasst werden konnte.

Tab. 13: Kalkuliertes N-Angebot (Angaben in kg N/ha)

Kultur	Be- trieb	N_{\min} - Vorrat	Zeit- raum ¹ [Wo.]	Düngergabe		kalkuliertes N-Angebot aus			
				Stall- mist	OHD	Boden	Mist/ Gülle	OHD	Summe
Weißkohl, Lager	B	52	19	0	13	90	0	8	150
				113	13		41	8	191
					13+150			8+90	281
Rotkohl, Lager	E	62	27	405	0	112	162	0	335
					150		90	425	
Rosenkohl	B	52	27	113	13	106	45	8	211
					13+200			8+120	331
Kohlrabi	B	52	6	113	0	30	14	0	96
					100			45 ²	141
Porree	E	62	22	0	0	99	0	0	161
				405	0		160	0	321
					100			60	381
Rote Bete	B	138	13	113	0	60	14 ³	0	212
					100		60	272	
Rote Bete	F	135	17	11	0	71	0 ³	0	206
					100		60	266	
Kopfsalat	E	33	8	0	0	29	0	0	62
				405	0		47	0	108
					100			39 ²	148
Spinat, Früh	D	81	6	306	0	28	35	0	144
					100			32 ²	176
Spinat, Herbst	D	161	6	51	0	16	3	0	180
					100			24 ²	203
Zwiebeln	C	80	16	0	0	79	0	0	160
					80			48	208
Zwiebeln	F	74	15	11	0	71	2 ³	0	147
					80			48	195
Phacelia	F I	141	8	0	0	38	0	0	179
(i. Bohnen)	F II	142	8	0	0	41	0	0	183
Phacelia	C	61	6	0	0	29	0	0	90
(i. Erbsen)	F	69	6	0	0	29	0	0	98

1: Zeitraum vom Termin der N_{\min} -Vorrat- bis N_{\min} -Rest-Beprobung;

2: verminderte N-Freisetzung (< 60 %) auf Grund kurzer Mineralisationszeit (< 8 Wochen) bzw. ungünstiger Mineralisationsbedingungen (Ausbringung vor/nach Mai-August)

3: N-Freisetzung zu größeren Teilen bzw. komplett durch N_{\min} -Vorrats-Beprobung erfasst

(Bei der Kalkulation wurde der N_{\min} -Vorrat in 0-60 cm einberechnet, obgleich bei Kulturen wie Kohlrabi, Kopfsalat und Spinat bei der Düngebemessung nur der N_{\min} -Gehalt der Bodenschicht 0-30 cm Berücksichtigung findet [FINK 2001]. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da so etwaige N-Aufnahmen aus der Schicht 30-60 cm mit erfasst und bei der Gegenüberstellung des kalkulierten und tatsächlichen N-Angebotes mit einbezogen werden. Bei Kopf- und Rosenkohl ist sicherlich auch eine N-Aufnahme aus Schichten unterhalb 60 cm wahrscheinlich, doch deuten die vorliegenden Werte der Schicht 30-60 cm nicht auf bedeutende N-Mengen unterhalb des Beprobungshorizontes hin.)

Stellt man dem kalkulierten N-Angebot die tatsächlich 'im Feld' gefundenen N-Mengen in Form von N_{Aufwuchs} (Tab. 12) plus N_{\min} -Rest (Tab. 8) gegenüber, so zeigt sich in den meisten Fällen eine relative gute Übereinstimmung zwischen dem kalkulierten und tatsächlichen N-Angebot (Abb. 4).

Größere Überschätzungen des N-Angebots traten nur bei den Porree- und Rotkohlvarianten auf dem Betrieb E auf, wo insbesondere die N-Freisetzung aus der hier sehr hohen Stallmistgabe weit überschätzt wurde.

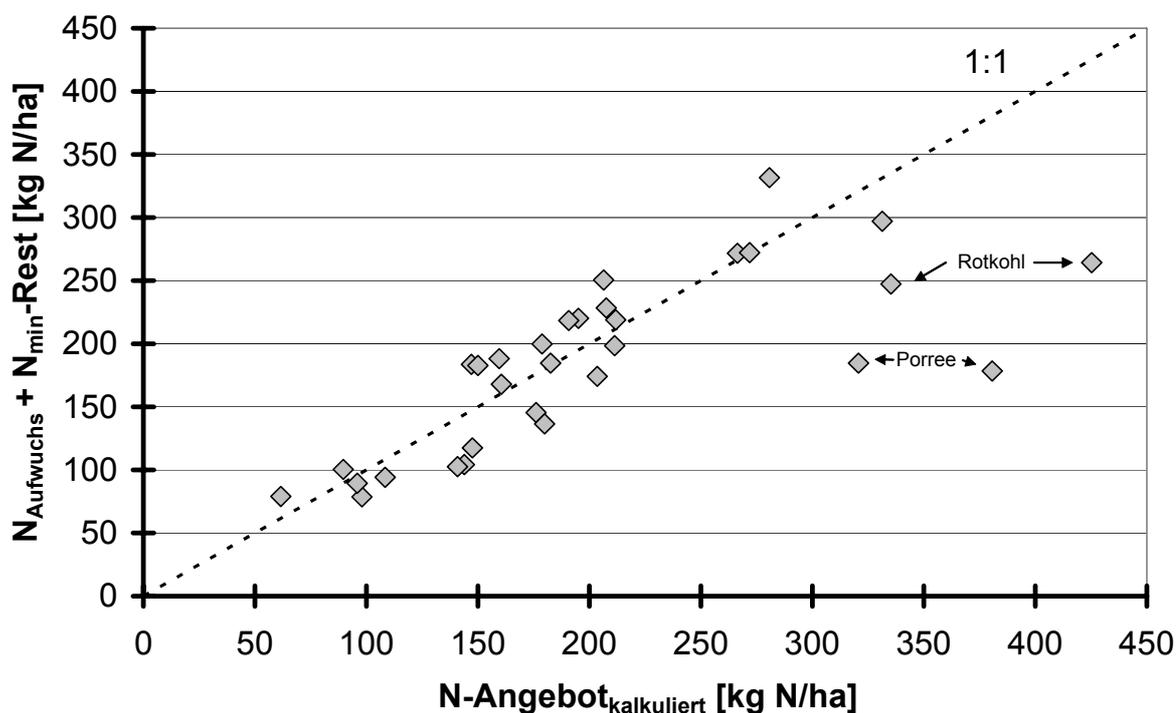


Abb. 4: Kalkulierte N-Angebote in Relation zu den im Feld gefundenen N-Mengen im Aufwuchs und den N_{\min} -Resten (Mischproben über die Wiederholungen)

Entgegen der im Kalkulationsansatz angenommenen N-Nachlieferung des Bodens von 5 kg N/ha pro Woche (Mai bis August) wurde bei einer durchschnittlichen N-Nachlieferung von 5,9 kg N/ha pro Woche die N-Nachlieferung des Bodens vielfach unterschätzt (Abb. 5). Auf den Flächen, die generell eine Stallmistdüngung erhielten, wurde die Nachlieferung (inklusive der N-Freisetzung aus dem Stallmist) vermutlich auf Grund der Überschätzung der N-Freisetzung aus dem Stallmist zum Teil deutlich überschätzt.

Die an drei Standorten separat ermittelte N-Freisetzung aus dem Stallmist wurde wie bereits erläutert deutlich überschätzt (Abb. 6). Auch die N-Freisetzung aus den OHD wurde, bei einer zumeist angenommenen 60 %igen und tatsächlich aber durchschnittlich 32 %igen Mineralisation häufiger überschätzt. Nur im Falle der Rizinusdüngung zu Weißkohl (75 %ige N-Freisetzung) sowie bei Früh- und Herbstspinat, bei dem auf Grund des Kulturzeitpunktes und der Kulturdauer eine verminderte N-Freisetzung angenommen wurde, wurde die N-Freisetzung leicht unterschätzt.

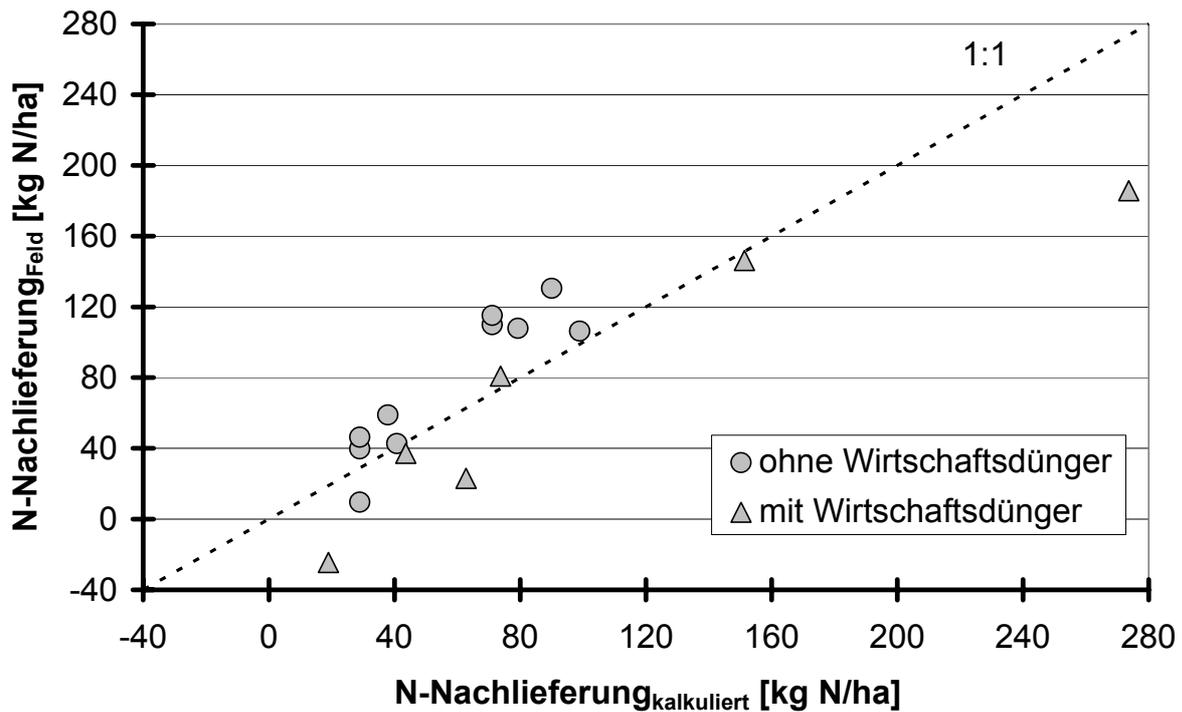


Abb. 5: Kalkulierte N-Nachlieferung des Bodens (ohne/mit Stallmistgabe) in Relation zu den im Feld ermittelten Werten

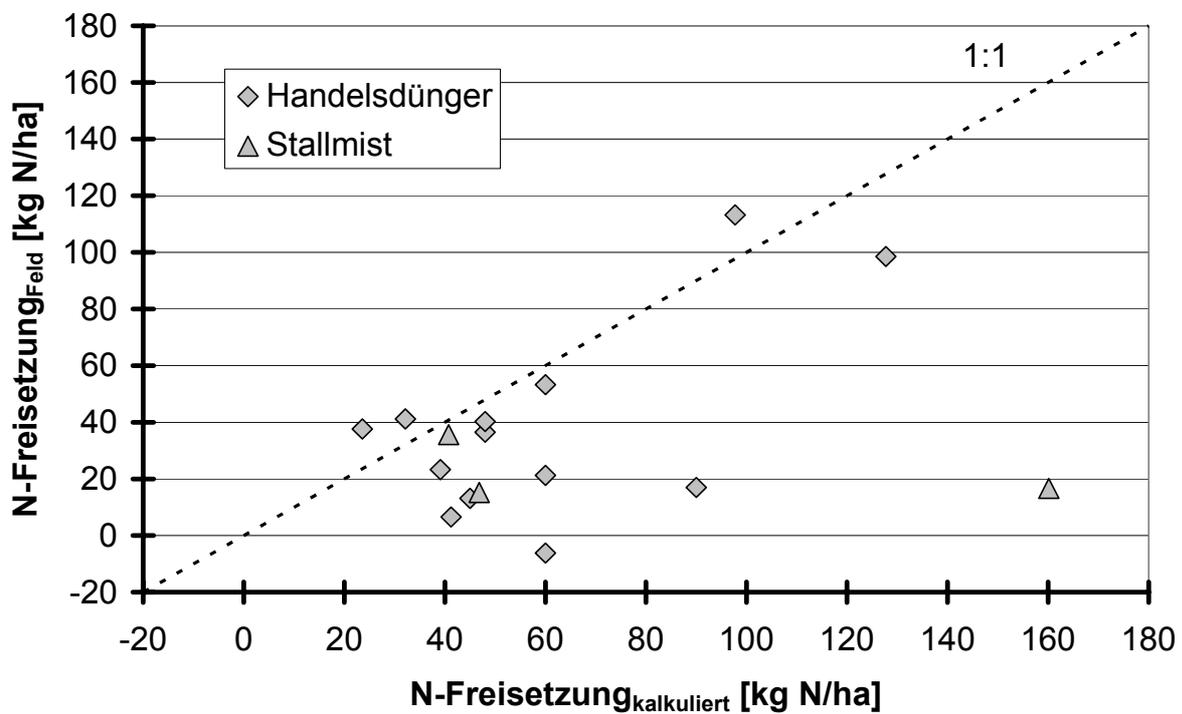


Abb. 6: Kalkulierte N-Freisetzung aus Stallmist und organischen Handelsdüngern in Relation zu den im Feld ermittelten Werten

Biologische N₂-Fixierung

Die biologische N₂-Fixierung der **Erbsen** fiel mit 20 bzw. 29 kg N/ha vergleichsweise gering aus (Tab. 14). Ursache hierfür dürfte in dem limitierten Wasserangebot (insbesondere die Erbsen beim Betrieb C litten unter der Trockenheit) und der starken Verunkrautung der Flächen zu suchen sein (die Unkrautmasse betrug schätzungsweise 30 bis 50 % der gesamten Aufwuchsmenge). Außerdem zeigte sich bei einer Kontrolle der Wurzelknöllchen, dass diese nahezu vollständig von den Larven des Blattrandkäfers (*Sitona lineatus*) zerstört waren. Da sich die N-Entzüge in Höhe der N₂-Fixierung bewegten, ergaben sich ausgeglichene N-Salden.

Tab. 14: Biologische N₂-Fixierung von Erbsen und Bohnen

	Betrieb C		Betrieb F		Betrieb F		Betrieb F	
	Erbse	Phacelia	Erbse	Phacelia	Bohne	Phacelia	Bohne	Phacelia
N _{Aufwuchs}	85 ¹	47	80 ¹	42	113 ²	145	127 ²	162
N _{min} -Rest	35	53	28	36	63	55	46	22
Summe	120	100	108	79	177	200	173	185
N ₂ -Fixierung	20	-	29	-	-23	-	-12	-
N-Entzug ³	18	-	29	-	41	-	14	-
N-Saldo ⁴	1	-	0	-	-64	-	-25	-

1: korrigiert um die im Saatgut enthaltene N-Menge von ca. 10 kg N/ha;

2: korrigiert um die im Saatgut enthaltene N-Menge von ca. 2 kg N/ha;

3: unter Berücksichtigung des bei maschineller Ernte des Schlages erzielten Ertrages;

4: N-Saldo = N₂-Fixierung – N-Entzug

Bei den Bohnen zeigte sich nur ein sehr geringer Knöllchenbesatz (keine auffälligen Schäden durch Blattrandkäferlarven), was angesichts der hohen N_{min}-Vorräte von rund 140 kg N/ha nicht weiter verwundert. Dementsprechend wurde bei beiden Sätzen keine N₂-Fixierung festgestellt (rechnerisch ergibt sich eine leicht negative Fixierung), so dass sich negative N-Salden ergaben.

Ertragszahlen und Nährstoffgehalte im Vergleich zu konventionellen Faustzahlen

Trotz der teilweise unzureichenden Wasserversorgung lag das **Ertragsniveau** bei betriebsüblicher Düngung im Mittel bei 74 % der konventionellen Vergleichszahlen für die Düngedarfsermittlung (FINK 2001) (Tab. 15). Die trockenstressbedingten geringen Erträge bei Erbsen, Rotkohl (stark verlaust), Porree und Spinat sowie bei Kohlrabi (geringe Bestandesdichte) wurden zum Teil durch ein hohes Ertragsniveau bei Buschbohnen (1. Satz) und Roter Bete wettgemacht. Bei Rosenkohl dürften vor allem ein unzureichendes N-Angebot z. T. aber auch ein starker Befall mit Kohlmottenschildlaus (*Aleyrodes proletella*) das nur 40 %ige Ertragsniveau verursacht haben.

Die **N-Gehalte der Marktware** zeigten mit 103 % der konventionellen Vergleichswerte im Mittel 'normale' Werte. Auffällig hoch waren der N-Gehalt beim trockenstressbedingten Frühspinat (137 %) und Rotkohl (154 %). Deutlich unter den Vergleichswerten lag der N-Gehalt der Marktware bei Kohlrabi (68 %) und Salat (61 %).

Bei Erbsen lag der ermittelte **P-Gehalt** bei 142 %, bei Kohlrabi und Salat nur bei etwa 50 % der Standardwerte, im Mittel zeigte sich mit 98 % ein relativ typischer Wert. Der **K-Gehalt** wies mit durchschnittlich 111 % einen leicht erhöhten Wert auf, auffällig waren insbesondere der hohe K-Wert beim 1. Satz Bohnen (144 %), Rosenkohl (138 %) und beim trockenstressbedingten Frühspinat (155 %).

Die **N-Gehalte in den Ernterückständen** lagen bei den Zwiebeln bei rund 55 % der Vergleichswerte, was auf das relativ 'frische' Material zurückgeführt werden kann. Salat (152 %) und Rotkohl (143 %) wiesen vergleichsweise hohe Werte auf. Im Mittel wiesen die Ernterückstände wiederum die für konventionelles Gemüse angegebenen N-Gehalte auf. Die Menge an Ernterückständen betrug durchschnittlich 70 % der Vergleichswerte.

Die **N-Mengen im Aufwuchs** lagen auf Grund der dargestellten 'normalen' N-Gehalte in Marktware sowie Ernterückständen und einem mittleren betriebsüblichen Ertragsniveau von 74 % insgesamt bei durchschnittlich 69 % der konventionellen Vergleichswerte.

Tab. 15: Nährstoffgehalte in Marktware und Ernterückstände (ER) sowie Vergleich mit konventionellen Faustzahlen

Kultur	Be- trieb	Marktware							ER	
		[kg/100 dt]			[% IGZ]*				[kg/ 100 dt]	[% IGZ]*
		N	P	K	dt/ha	N	P	K	N	N
Buschbohne	F I	29	4,4	36	175	117	111	144	33	83
	F II	23	3,7	24	75	92	91	95	33	83
Gemüseerbse	F	109	14,2	33	44	109	142	110	34	85
Weißkohl, Lager	B	18	2,9	27	89	90	92	104	24	79
Rotkohl, Lager	E	34	4,1	36	28	154	116	121	43	143
Rosenkohl	B	65	9,8	76	40	99	115	138	44	109
Kohlrabi	B	19	2,3	30	62	68	51	85	33	96
Porree	E	31	4,0	28	46	126	114	93	38	128
Rote Bete	B	22	4,1	37	117	79	81	93	29	116
	F	26	4,8	48	122	92	95	121	30	119
Kopfsalat	E	11	1,5	29	61	61	50	96	27	152
Spinat, Früh	D	49	4,0	85	29	137	80	155	34	95
Zwiebeln	C	22	4,1	22	81	125	117	108	24	59
	F	18	4,0	18	108	99	114	90	21	54
Mittel					74	103	98	111		100
Maximum					175	154	142	155		152
Minimum					28	61	50	85		54

*: relative Nährstoffgehalte bzw. Marktertrag im Vergleich zu den konventionellen Faustzahlen (= 100 %) des Institutes für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V. (FINK 2001)

3.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Durch die Auseinandersetzung mit dem Thema N-Düngung im Rahmen der Versuchsvorbereitung, -durchführung und -auswertung wurden die Betriebsleiter für Probleme der N-Versorgung der Kulturen sensibilisiert. Allerdings führten die trockenen Witterungsbedingungen der Vegetationsperiode 2003 und damit die Sorge um die Wasserversorgung der Kulturen zu einer 'eingeschränkten Aufnahmefähigkeit' der Betriebsleiter für Probleme der Nährstoffversorgung der Gemüsekulturen.

Die den Betriebsleitern laufend und mit Abschluss der Auswertungen vorgelegten Versuchsergebnisse wurden interessiert aufgenommen. So waren für die Betriebe bereits die bei der betriebsüblichen Düngung ausgebrachten Dünger- und Nährstoffmengen von Interesse. Die Fehleinschätzung mancher Düngungsmaßnahmen wird auch daran deutlich, dass Betrieb B als auch F nur 13 bzw. 11 kg N/ha bei der durchaus als notwendig erachteten Zusatzdüngung ausbrachten. Von besonderer Bedeutung für die Betriebe war auch die N-Nachlieferung 'ihres' Bodens (mit/ohne Wirtschaftsdünger).

Zum Nährstoffgehalt in Marktware und Ernterückständen lagen, mit Ausnahme einiger Untersuchungen zum N-Gehalt von WEIER (2000, 2001, 2002), bisher keine Untersuchungen für ökologisch angebautes Gemüse vor. Die gefundenen Werte deuten (bei aller Streuung) aber darauf hin, dass die konventionellen Vergleichszahlen auch für ökologisch angebaute Gemüsearten Verwendung finden können. Bei nahezu 'normalen' N-Gehalten der Marktware und Ernterückstände (und ähnlichem Verhältnis dieser zueinander) können damit nach diesen Ergebnissen die konventionellen N-Bedarfzahlen direkt auf ein ggf. geringeres Ertragsniveau bei ökologischem Anbau umgerechnet werden.

Anwendung der Ergebnisse

Neben der Praxiseinführung war die Evaluierung des Kalkulationsschemas Gegenstand des Projektes. Wie sich zeigte, wurde das tatsächliche N-Angebot in der Mehrzahl der Fälle relativ gut abgeschätzt, die einzelnen N-Quellen jedoch unter- bzw. überschätzt.

So verdichten sich mit Vorliegen dieser Ergebnisse die Hinweise, dass der als 'Faustzahl' verwendete Wert für die N-Nachlieferung des Bodens von 5 kg N/ha je Woche zu gering angesetzt ist. Entsprechend sollte er im Kalkulationsmodell ggf. auf ca. 6 kg N/ha je Woche erhöht werden.

Die ermittelten Werte zur N-Freisetzung aus Stallmist geben Anlass, den Ansatz zur Kalkulation der Stallmistdüngung neu zu überdenken. So müsste die Qualität des Mistes (C/N-Verhältnis) in die Kalkulation einbezogen werden. Auch die festgestellte zwischenzeitliche N-Immobilisierung selbst bei Stallmistern mit relativ engem C/N-Verhältnis steht im Gegensatz zu dem (vereinfachten) Ansatz eines linearen Verlaufs der N-Mineralisation, so dass es insbesondere bei kurzer Kulturzeit zu einer deutlichen Unterversorgung von Kulturen kommen kann.

Der gewählte Ansatz einer 60 %igen N-Freisetzung aus OHD ist vermutlich zu hoch gewählt. Hier sind allerdings noch Ergebnisse weiterer, z. T. noch laufender Versuche anderer Versuchsansteller abzuwarten, da die ermittelten relativ geringen Freisetzungsraten durch die trockenen Bedingungen negativ beeinflusst gewesen sein könnten.

Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

Neben der laufenden Information der beteiligten Betriebsleiter über die auf ihren Flächen gewonnenen Erkenntnisse wurden die angelegten Versuche auf den Betrieben B und C am 4. bzw. 5. Juni im Rahmen einer von den 'Ökoberatern/AFC' organisierten Informationsveranstaltung vorgestellt. Allerdings war (vermutlich witterungsbedingt) die Resonanz nur gering, so dass die Versuche nur im Kreis der Betriebsleiter sowie ansässigen Fachberatern demonstriert und erörtert werden konnten. Am 5. August konnten die Versuche auf dem Betrieb F einer Gruppe von Öko-Gemüseanbauern und –Beratern aus dem süddeutschen Raum vorgestellt und erläutert werden.

Die bis dato vorliegenden Ergebnisse wurden am 30. Oktober den hiesigen Anbauern bei einem "Treffen der sächsischen Bio-Gemüseerzeuger" zusammenfassend vorgestellt. Wesentliche Erkenntnisse und Untersuchungsergebnisse wurden auch für die jährlich stattfindende "Tagung der Öko-Gemüsebauberater" am 2. bis 6. November vorbereitet und mit den dort anwesenden deutschen, österreichischen und schweizerischen Öko-Beratern und Versuchsanstallern diskutiert. Ergebnisse bezüglich der N-Freisetzung aus OHD wurden ebenfalls beim "Auweiler ÖKO-Gemüsebau-Seminar" am 27. November in Köln in Verbindung mit Literaturdaten vorgetragen.

Die wesentlichen Ergebnisse zur N-Nachlieferung, Nährstoffgehalten sowie zur N₂-Fixierung von Gemüseerbsen und Buschbohnen wurden als Versuchsberichte in "Versuche im Deutschen Gartenbau / Gemüsebau" (Verband der Landwirtschaftskammern [Hrsg.], Rheinischer Landwirtschafts-Verlag, Bonn) bzw. unter "www.versuchsberichte.de" veröffentlicht.

Die Daten zum Nährstoffgehalt und –mengen in Marktware und Ernterückständen wurden in EDV-Form an das Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V. weitergeben, die entsprechende Datensammlungen pflegen bzw. erstellen.

Geplant sind darüber hinaus Fachartikel im "Infodienst für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung" (Arbeitstitel: "Praxisversuche zur N-Düngung in sächsischen Öko-Gemüsebaubetrieben") sowie im "ÖKÖmenischen Gärtner-Rundbrief". Angedacht ist auch ein Artikel zum allgemeinen Kenntnisstand im Bereich der N-Düngung für den ökologischen Gemüsebau in der Fachzeitschrift "Gemüse".

4. Zusammenfassung

Im Rahmen des von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft durchgeführten Projektes wurden auf sechs ökologisch bewirtschafteten Gemüsebaubetrieben Düngungsversuche zur Demonstration des möglichen Produktivitätszuwachs durch eine bedarfsorientierte N-Düngung und zur Evaluierung eines Kalkulationsschemas in verschiedenen Gemüsekulturen angelegt. Neben betriebsüblicher Düngung (meist nur in Form von Wirtschaftsdüngern) wurden Parzellen mit einer darüber hinausgehenden N-Düngung mit organischen Handelsdüngern sowie solche ohne Wirtschaftsdüngergaben integriert.

Zusätzlich zur Ertragerfassung konnte durch Bestandesanalyse die N-Nachlieferung des Bodens, die N-Freisetzung aus Wirtschafts- und organischen Handelsdüngern sowie die N₂-Fixierung von Gemüseerbsen und Buschbohnen ermittelt werden. In betriebsüblich gedüngten Varianten wurden darüber hinaus die P- und K-Gehalte im Erntegut erfasst.

Vermutlich auf Grund der vorherrschenden trockenen Witterung konnten durch die Zusatzdüngung mit organischen Handelsdüngern im Mittel nur Ertragssteigerungen von 11 % realisiert werden. Aber auch die z. T. hohen Gaben an Wirtschaftsdüngern waren nur wenig ertragswirksam.

Die N-Nachlieferung des Bodens lag im Schnitt bei 5,9 kg N/ha je Woche. Flächen, die zuvor mit bis zu 400 kg N/ha in Form von Stallmist gedüngt worden waren, zeigten mit durchschnittlich 4,1 kg N/ha je Woche eher einen geringeren Wert. Die ermittelte N-Freisetzung aus Stallmist betrug in zwei von drei Fällen nur wenige Prozent. Die N-Freisetzung aus Haarmehlpellets bzw. Rizinusschrot lag im Mittel bei 32 % der ausgebrachten N-Menge. Insgesamt konnte das N-Angebot relativ gut mit dem Kalkulationsschema abgeschätzt werden, die einzelnen N-Quellen wurden jedoch über- bzw. unterschätzt.

Die N₂-Fixierung der trockengestressten Erbsen lag mit rund 25 kg N/ha in Höhe der N-Entzüge durch das Erntegut. Bei Buschbohnen fand vermutlich auf Grund hoher N_{min}-Vorräte keine N₂-Fixierung statt.

Die N- und P-Gehalte der Marktware zeigten im Mittel die für konventionelles Gemüse typischen Werte, die K-Gehalte lagen leicht darüber. Auch die Höhe der N-Gehalte in den Ernterückständen entsprach denen der konventionellen Werte. Die N-Menge im Aufwuchs lag im Mittel bei 70 % der konventionellen Vergleichswerte.

5. Gegenüberstellung geplanter/tatsächlich erreichter Ziele

Entsprechend der in der Vorhabensbeschreibung angedeuteten notwendigen Anpassung der geplanten Versuche an die betrieblichen Gegebenheiten mussten einige betriebs- und kulturbedingte Änderungen vorgenommen werden. Diese Änderungen gefährdeten aber nicht das Ziel des Projektes, die Versuche konnten sogar in mehr Betrieben bzw. Kulturen angelegt werden als ursprünglich geplant war. Damit erhöhte sich auch die Effizienz der sehr zeitaufwendigen Fahrten zu den Betrieben.

Hauptziel des Projektes war es 'vor Ort' den möglichen Produktivitätszuwachs durch eine angepasste, bedarfsorientierte (Zusatz-)Düngung zu demonstrieren. Dieses Ziel konnte mit durchschnittlichen Mehrerträgen von nur 11 % durch eine Zusatzdüngung nur in Ansätzen erreicht werden.

Gründe hierfür sind in erster Linie in den außergewöhnlich trockenen und heißen Witterungsbedingungen der Vegetationsperiode 2003 zu suchen. Optisch vermittelten die Bestände häufig den Eindruck, dass eher die Wasserversorgung als das N-Angebot der limitierende Faktor des Wachstums war. Insofern war kein deutlicher Ertragszuwachs zu erwarten. Dieses zeigt sich auch an den bei Zusatzdüngung erhöhten N_{\min} -Rest-Werten; N-Mengen, die nicht 'in Ertrag umgesetzt' werden konnten. Bei Rote Beete und den Zwiebeln des Betriebes F konnte auch ohne jegliche Düngung ein 'konventionelles' Ertragsniveau (optimaler Ertrag) erreicht werden, so dass keine wesentliche Ertragssteigerung durch eine weitere Düngung zu erwarten war.

Die geplante Ermittlung der N-Nachlieferung auf verschiedenen Standorten, sowie die N-Freisetzung aus OHD konnte im vollen Umfang realisiert werden. Entgegen der zunächst vorliegenden Informationen wurden mehrere Flächen weder im Herbst noch im Frühjahr mit Wirtschaftsdüngern gedüngt, so dass hier die N-Nachlieferung der Böden entsprechender Standorte zusätzlich erfasst werden konnte. Allerdings konnte die N-Freisetzung aus Stallmist wegen der Einstellung der Versuche auf dem Betrieb A nur in 3 Kulturen ermittelt werden. Die N_2 -Fixierung von Erbsen und Bohnen wurde wie geplant an je 2 Standorten erfasst.

Spezielle Fragestellungen wie die N-Freisetzung aus Vorkulturen (Gründüngungen, Erbsen-Ernterückständen) konnten leider nicht bearbeitet werden, da diese entweder nicht vorhanden bzw. bereits (im Herbst) auf der gesamten Fläche eingearbeitet wurden. Die Untersuchung der N-Freisetzung aus den Erbsen-Ernterückständen auf den Betrieben war nicht möglich, da eine Kontrollvariante ohne Ernterückstände nicht angelegt werden konnte. Hierzu hätten nach der Ernte die Ernterückstände von den entsprechenden Parzellen entfernt werden müssen, was nach der Maschinenernte (mit ihren Fahrspuren etc.) nicht vollständig möglich gewesen wäre.

Die Nährstoffgehalte in Marktware und Ernterückständen wurden wie geplant erfasst. Sie sind aber, wie auch die anderen Ergebnisse, vor dem Hintergrund einer außergewöhnlich trockenen und heißen Vegetationsperiode 2003 zu beurteilen, deren Wasserdefizit zumeist nicht durch eine Beregnung ausgeglichen werden konnte.

Mit den hier dargestellten Ergebnissen des Projektes wurde die 'schwache' Datengrundlage zur N-Dynamik im ökologischen Gemüsebau (insbesondere unter Praxisbedingungen) deutlich erweitert. Weitere Ergänzungen sind, auch auf Grund der Tatsache, dass die erfassten Daten sicherlich die sehr trockenen Vegetationsbedingungen widerspiegeln, notwendig.

6. Literaturverzeichnis

- 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., 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.
- LABER, H. 2003: N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern – Übersicht und eigene Versuchsergebnisse im ökologischen Gemüsebau. In: RAHMANN, G. und H. NIEBERG [Hrsg.]: Ressortforschung für den ökologischen Landbau 2002. Sonderheft 259 der Landbauforschung Völkenrode, S. 17-20
- LABER, H. 2002: Kalkulation der N-Düngung im ökologischen Gemüsebau. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 7 (6), S. 1-77
- LABER, H. 2001: Organische Handelsdünger für Öko-Gemüse. Deutscher Gartenbau **55** (31), S. 30-32
- LABER, H. 2000: Welchen organischen Handelsdünger für den ökologischen Gemüsebau? Ökologie & Landbau **28** (2), S. 37-39
- LABER, H. 1997: Düngung im ökologischen Gemüsebau. Informationen für Praxis und Beratung, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Dresden [Hrsg.] (7. Auflage: 2002)
- 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
- LÜTKE-BESSELMANN, K. und P. VON FRAGSTEIN 1999: Nährstoffversorgung ökologischer Gemüsebaubetriebe – eine Bestandsaufnahme. In: Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau [Hrsg.: HOFFMANN, H. und S. MÜLLER], S. 266-269, Verlag Dr. Köster, Berlin
- MOJE, C. 1997: Möglichkeiten zur Absenkung des Nitratgehalts in Möhren unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffangebots. Diss. Univ. Hannover, Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart
- MUNZERT, M. 1992: Einführung in das pflanzenbauliche Versuchswesen. Parey, Berlin, Hamburg
- SCHARPF, H.-C. 1991: Stickstoffdüngung im Gemüsebau. AID-Heft 1223
- STÜLPNAGEL, R. 1982: Schätzung der von Ackerbohnen symbiontisch fixierten Stickstoffmenge im Feldversuch mit Hilfe der erweiterten Differenzmethode. Z. Acker- u. Pflanzenbau **151**, S. 446-458
- WEIER, U. 2000: Mengen an Ernterückständen von Gemüse variieren in Praxisbetrieben sehr stark. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 229
- WEIER, U. 2001: Erhebungsuntersuchungen zur Menge an Ernterückständen bei Gemüse in Praxisbetrieben. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 1
- WEIER, U. 2002: Erhebungsuntersuchung zur Menge an Ernterückständen von Gemüse in Praxisbetrieben im Herbst 2001. In: Vers. Dt. Gartenbau⁺, S. 1

⁺: Verband der Landwirtschaftskammern [Hrsg.]: Versuche im Deutschen Gartenbau / Gemüsebau, Rheinischer Landwirtschafts-Verlag, Bonn