

(Aus dem Institut für Pflanzenbau und Grünland der Universität Hohenheim)

Zur Problematik der Stickstoffrückstände von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.)*

Teil 1: Stickstoffakkumulation und Stickstoffrückstände von Ackerbohnen

Von W. AUFHAMMER, A. FIEGENBAUM und E. KÜBLER

(Mit 2 Abbildungen)

Zusammenfassung

Mit den Untersuchungen wurde die Variabilität der Stickstoffakkumulation und der Stickstoffrückstände unterschiedlich aufgebauter Ackerbohnenbestände in Abhängigkeit von den Aufwuchsbedingungen erfaßt. Darüber hinaus wurden Beziehungen zwischen dem Kornertrag und der in der Gesamttrockenmasse akkumulierten bzw. in der vegetativen Restmasse zurückgebliebenen Stickstoffmenge überprüft. Basis waren Feldversuche, durchgeführt 1990 an einem Standort (Ihinger Hof) mit zwei Sorten (Alfred, Mythos), 1991 an zwei Standorten (Ihinger Hof, Oberer Lindenhof) mit einer Sorte, aber zwei Reihenweiten (20/25 cm, 40 cm) bei gleicher Saatedichte. Bei Druschreife wurden die Trockenmassen (dt/ha), die N-Gehalte (%) und die akkumulierten Stickstoffmengen (kg N/ha), separiert in verschiedene vegetative Fraktionen und die Kornfraktion sowie die $N_{\min}$ -Gehalte (kg NO_3 -N/ha) im Boden erfaßt.

Die Stickstoffakkumulation bzw. die Stickstoffrückstände (Pflanzenreste) vergleichbarer Varianten differierten, abhängig von den Aufwuchsbedingungen um bis zu 225 bzw. 90 kg N/ha. Abhängig von den Reihenweiten unterschieden sich die Werte um bis zu 90 bzw. 65 kg N/ha. Die Restpflanzenmassen setzten sich aus Fraktionen unterschiedlichen Umfangs mit verschiedenen N-Gehalten und C:N-Verhältnissen zusammen. Die N-Rückstände in der Restpflanzenmasse korrelierten positiv mit den Kornerträgen.

Schlüsselworte: Ackerbohne, N-Akkumulation, N-Rückstände.

* Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt.

Nitrogen residues of field beans (*Vicia faba* L.) Part 1: Nitrogen accumulation and nitrogen residues

Summary

The objectives of the study were the variability of nitrogen accumulation and nitrogen residues of field beans (*Vicia faba* L.) as dependant on growing conditions. Moreover, the relations between the seed yield production and the nitrogen residues of field beans were investigated. Factorial field experiments were conducted in 1990 at one location including two cultivars (Alfred, Mythos) and in 1991 at two locations including one cultivar (Mythos) but two different row distances (20/25 cm, 40 cm) at identical planting densities. At maturity the dry weights of the plants (dt/ha), the N-content (%), the N-amounts (kg N/ha) accumulated in vegetative plant fractions and the seeds separately, and the N_{min} -residues (kg NO_3 -N/ha) in the soil were measured.

The accumulated amounts of nitrogen and the nitrogen residues of comparable treatments differed as dependant on growing conditions up to 225 and 90 kg N/ha, respectively and as dependant on row distances up to 90 and 65 kg N/ha, respectively. The residues were composed of quantitatively different fractions of very different N-contents and C : N-relations. The N-residues in vegetative fractions were positively correlated with the seed yields.

Key-words: field beans, nitrogen accumulation, nitrogen residues.

1. Einleitung

Die Quantifizierung der Stickstoffrückstände zum Druschzeitpunkt, der Verlauf der N_{min} -Gehalte im Boden in der Herbst- und Winterperiode nach dem Drusch und die Effekte von Untersaaten unter Ackerbohnen stellen Schwerpunkte dar, zu denen in einem Feldversuchsprogramm Untersuchungen durchgeführt wurden (FIEGENBAUM 1993). Der vorliegende Beitrag konzentriert sich auf die Stickstoffakkumulation und die Variation der Quantität und der Qualität der Ernterückstände in Abhängigkeit von den Aufwuchsbedingungen.

1.1 Literaturübersicht

Die Angaben zur Luft-N-Bindung von Ackerbohnen variieren zwischen rund 60 kg N/ha (SAXENA 1982) und rund 650 kg N/ha (SPRENT und BRADFORD 1977, HILL-COTTINGHAM und LLOYD-JONES 1980). Ursachen für diese große Variabilität sind vermutlich nicht nur unterschiedliche Genotypen und Aufwuchsbedingungen, sondern auch die verwendeten Methoden zur Bestimmung der N_2 -Fixierung. In Untersuchungen von ZAPATA et al. (1987) konnte der überwiegende Teil des Stickstoffs in der Sproßmasse der Luft-N-Fixierung, ein Restanteil von 20 % der N-Aufnahme aus dem Boden zugeordnet werden. Ähnliche Relationen fand HUBER (1988) bei einer Akkumulation von 300 bis 400 kg N/ha. Ein erheblicher Teil des akkumulierten Stickstoffs bleibt in organisch gebundener Form mit den Ernteresten auf dem Feld. HAUSER (1987) nennt in diesem Zusammenhang Größenordnungen von 120 bis 225 kg N/ha. Auch diese Zahlen beinhalten eine erhebliche Variabilität. Außerdem werden relativ große Rest- N_{min} -Mengen im Boden genannt. ENGEL und REINER (1990) fanden nach Ackerbohnen Mitte September in der Bodenschicht 0 bis 90 cm um 110 kg Nitratstickstoff/ha. Hohe N_{min} -Rückstände werden auf unvollständige Aufnahme von mineralisiertem Stickstoff aufgrund relativ geringer Wurzellängendichten zurückgeführt (KAGE 1990, JUSTUS und KÖPKE 1990).

1.2 Problemstellung

Zunächst bestehen folgende Fragen zur Stickstoffakkumulation von Ackerbohnenbeständen:

- Die Aufwuchsbedingungen bestimmen die Trockenmasseproduktion und damit vermutlich das N-Akkumulationsvermögen eines Ackerbohnenbestandes entscheidend mit. Wie groß ist die Variabilität der akkumulierten und der nach dem Drusch zurückbleibenden Stickstoffmengen in Abhängigkeit von den Aufwuchsbedingungen und vom Bestandesaufbau?
- Im Hinblick auf den Mineralisierungsverlauf ist der N-Anteil (%) in der Restpflanzenmasse bedeutend. In welchem Ausmaß differieren die zurückbleibenden Trockenmassen in der Zusammensetzung aus verschiedenen Pflanzenfraktionen mit unterschiedlichen N-Gehalten?
- Die Verlagerung von N aus vegetativen in generative Pflanzenteile hängt mit dem Korntragspotential des Bestandes zusammen. Welche Beziehungen bestehen zwischen der N-Akkumulation in Form von Kornmasse und den N-Rückständen in der vegetativen Pflanzenmasse von Ackerbohnenbeständen?

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsanlage und Standortbedingungen

Zur Bearbeitung dieser Fragen werden relevante Daten aus drei Feldversuchen herangezogen. Der Aufbau der Versuche ist in Tabelle 1 zusammengefaßt. Jeder Versuch wurde mehrfaktoriell mit vier Wiederholungen angelegt. Mit zwei Vegetationsperioden auf dem Standort Ihinger Hof und einer Vegetationsperiode auf dem Standort Oberer Lindenhof wurden die Aufwuchsbedingungen variiert.

Auf der Versuchsstation Ihinger Hof wurde 1990 die Ackerbohnen Sorte Alfred (semi-dwarf-Typ) und die Sorte Mythos (Stabil-Typ) herangezogen. Beide Sorten wurden im Hinblick auf die Erstellung einerseits leistungs- andererseits untersaarfähiger Bestände gewählt. Da keine wesentlichen Sortenunterschiede hinsichtlich der Trockenmasseproduktion und der Stickstoffakkumulation auftraten, enthielt der Versuch 1991 nur die etwas kürzer und gedrungener bleibende Sorte Mythos, jedoch zwei verschiedene Reihenweiten bei gleicher Saatchichte. Beide Faktoren waren bezüglich des Anfalls an Stickstoffrückständen und der Entwicklung von Untersaatbeständen interessant. Für die Untersaat wurden Winterraps und Wintergerste gewählt. Diese Arten sind auf eine relativ umfangreiche Vorwinterentwicklung angewiesen und sollten als Folgefrucht bis zur Körnerreife weitergeführt werden. Als Vorzug erschien der Verzicht auf eine mineralisierungsfördernde Bodenbearbeitung nach dem Ackerbohnen-drusch. In Varianten, in die nicht eingesät wurde (Kontrolle) oder in denen die Aussaat der Folgefruchtarten zu üblichen Terminen nach dem Ackerbohnen-drusch erfolgte, wurde, neben der Stufe „keine Bearbeitung“, eine flache Einarbeitung der gehäckselten und gleichmäßig verteilten Erntereste einbezogen (Tab. 1). Alternativ wurden die Reste der Ackerbohnen sproßmasse gesammelt und abgefahren.

Die Ackerbohnenbestände wurden mechanisch weitgehend unkrautfrei und damit einsaarfähig gehalten. Im Blühverlauf ließ die Wuchshöhe der Ackerbohnen noch ohne Bestandesverletzung die zwischenreihige Drillsaat der Folgefruchtarten zu. Nachteil dieser frühen Einsaat war die relativ langfristige Beschattung aufgelaufener Untersaatbestände. Bei Blattfall zur Braunreife konnte nur breit eingesät werden. Zu allen Einsaatterminen betrugen die Saat-

Tabelle 1

Übersicht über die Feldversuchsanlagen

Faktoren	Standorte	Ihinger Hof	Bemerkungen	Ob. Lindenhof	Bemerkungen
Vegetationsperiode, Saat-, Erntetermine der Ackerbohnen	•1990 •1991	Saat: 13. 3. Ernte: 29. 8. Saat: 2. 4. Ernte: 28. 8.	–	•1991	Saat: 3. 4. Ernte: 4. 9.
Ackerbohnen Sorten	•Alfred •Mythos	nur 1990	–	•Mythos	
Reihenweite der Ackerbohnen bei Saaddichte 40 Körner/m ²	•25 cm •40 cm	nur 1991	•20 cm •40 cm		
In Ackerbohnenbeständen eingesäte Arten	•Winterraps •Wintergerste	Sorte: Lirabon Sorte: Mammut	•Winterraps –	Sorte: Lirabon	
Termine und Saatverfahren der Einsaat von Winterraps bzw. Wintergerste in die Ackerbohnenbestände	•Blüte der Ackerbohnen •Braunreife der Ackerbohnen •nach Drusch der Ackerbohnen •keine Einsaat	Drillsaat Breitsaat Drillsaat Kontrolle	•Blüte der Ackerbohnen •Braunreife der Ackerbohnen •nach Drusch der Ackerbohnen •keine Einsaat	Drillsaat Breitsaat Drillsaat Kontrolle	
Bodenbearbeitung nach Ackerbohnen drusch	•keine Bearbeitung •flache Bearbeitung	nur bei Kontrolle und Einsaat nach Drusch	•keine Bearbeitung •flache Bodenbearbeitung	nur bei Kontrolle und Einsaat nach Drusch	
Ackerbohnenrückstände	•keine Rückstände •Ackerbohnenwurzeln •Ackerbohnen Sproßreste und Wurzeln	Bracheparzelle (nur 1991) Sproßreste abgefahren (nur 1991) Sproßreste gehäckselt (+ Ausfallkorn)	•keine Rückstände •Ackerbohnenwurzeln •Ackerbohnen Sproßreste und Wurzeln	Bracheparzelle Sproßreste abgefahren Sproßreste gehäckselt (+ Ausfallkorn)	

dichten in den Versuchen auf dem Standort Ihinger Hof bei Winterraps 70, bei Wintergerste 350 keimfähige Körner/m². Der Versuch auf der Station Oberer Lindenhof umfaßte nur einen Kernbereich der Variation. Hier wurde nur Winterraps mit 130 keimfähigen Körnern/m² eingesät (Tab. 1). Die Standortbedingungen werden in Tabelle 2 zusammengefaßt. Neben den generell unterschiedlichen Aufwuchsbedingungen aufgrund der Höhenlage differierten die Vorfrüchte (Tab. 2)

2.2 Aufwuchsbedingungen und Aufwuchsverlauf der Ackerbohnen

In Abbildung 1 ist der Temperatur- und Niederschlagsverlauf für die Abschnitte des Aufwuchses der Ackerbohnenbestände dargestellt. Im Jahr 1990

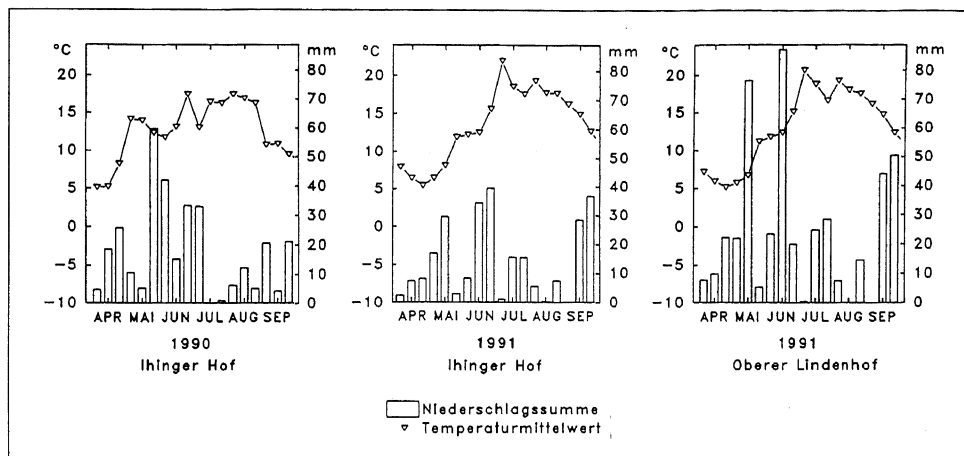


Abb. 1: Verlauf der mittleren Tagestemperaturen und der Niederschlagssummen (Dekadenmittel bzw. -summen) in den Vegetationsperioden 1990 (Standort Ihinger Hof) und 1991 (Standorte Ihinger Hof, Oberer Lindenhof)

Tabelle 2

Standortbedingungen

Standortfaktor	Ihinger Hof 1990/91	1991/92	Oberer Lindenhof 1991/92
Höhenlage NN	470–500 m		700 m
Bodentyp	Parabraunerde		Terra fusca
Bodenart	lehmgiger Ton		lehmgiger Ton
Vorfrucht	Hafer		Klee gras
Grunddüngung			
K ₂ O (kg/ha)	175	175	175
P ₂ O ₅ (kg/ha)	125	125	105

lagen auf dem Ihinger Hof ab Ende Mai bis in den Juli hinein deutlich kühlere und feuchtere Verhältnisse vor als im folgenden Jahr. Auf dem Standort Oberer Lindenhof fielen 1991, bei ähnlichem Verteilungsmuster wie auf dem Ihinger Hof, insbesondere in den Monaten Mai und Juni wesentlich höhere Niederschläge. Im August blieben die Niederschläge jedoch nahezu ebenso gering wie im gleichen Zeitraum auf dem Ihinger Hof.

2.3 Datenerfassung und -auswertung

Aus dem 1990 auf dem Ihinger Hof angelegten Versuch wurden kurz vor dem Drusch der Ackerbohnen Pflanzenproben entnommen. Soweit durch Herausziehen machbar, wurden die Pflanzen mit Wurzeln entnommen. Hierfür standen faktoriell folgende Varianten zur Verfügung: 2 Sorten×2 Einsaatarten×4 Einsaatertminen×4 Wiederholungen (siehe Tab. 1). Die Probefläche je Parzelle betrug 0,5 m². Jede Pflanzenprobe wurde in die Fraktionen Wurzeln, Stengel + Blatt, Hülsen und Körner zerlegt. Von jeder Fraktion wurden nach üblichen Verfahren der Trockenmasse- und der N-Gehalt ermittelt und auf produzierte Trockenmasse (dt/ha) und akkumulierte N-Menge (kg/ha) umgerechnet. Mit dieser Probenahme kurz vor Drusch wurde allerdings der Anteil vorher abgefallener Blattmasse nicht erfaßt. In den beiden Versuchen des Folgejahres 1991 wurden daher zu drei Terminen vor dem Drusch Proben entnommen. Die erste

Probenahme erfolgte kurz vor Einsetzen des Blattfalls, die zweite 14 Tage später, die dritte kurz vor Drusch. Es wurde davon ausgegangen, daß ab beginnendem Blattfall zwar noch Stoffverlagerung innerhalb der Pflanze, aber kein entscheidender Stoffzuwachs mehr stattfindet. Die Differenz zwischen dem Gesamttrockenmasseertrag (dt/ha) bzw. der insgesamt akkumulierten N-Menge (kg/ha) kurz vor beginnendem Blattfall und den Werten kurz vor Drusch wurde dem Blattfall zugeordnet. Damit konnten nicht nur die akkumulierten Massen vollständig erfaßt, sondern auch die Akkumulations- und Verlagerungsprozesse in der Pflanze nachvollzogen werden. In beiden Versuchen des Jahres 1991 wurden alle Proben genauso wie im Versuch des Jahres 1990 zerlegt und analysiert. Im Versuchsjahr 1991 wurden zu den beiden ersten Terminen nur aus den Reihenweitevarianten (Kontrolle/keine Einsaat) Proben entnommen. In die Probenahme kurz vor Drusch wurden auch die Einsaattermin- und die Einsaatartenvarianten einbezogen. Damit umfaßte die letzte Probenahme bei der Sorte Mythos: 2 Einsaatarten (Oberer Lindenhof nur 1 Art: Winterraps) $\times$ 4 Einsaattermine $\times$ 2 Reihenweiten $\times$ 4 Wiederholungen.

Die erfaßten bzw. die errechneten Daten wurden in orthogonalen Kernen, den Versuchsanlagen entsprechend, varianzanalytisch überprüft. Soweit signifikante Varianzen im F-Test vorlagen, wurden Grenzdifferenzen für eine Grenzwahrscheinlichkeit von 5 % errechnet und in den Mittelwertdarstellungen angegeben. Zur Überprüfung von Beziehungen zwischen Parametern wurde die produktionstechnische Variation der drei Versuche und die aufwuchsbedingte Variation (Jahre, Standorte) zusammengekommen. Hieraus resultieren $n=40$ Wertepaare. (Versuch Ihinger Hof – 1990: 2 Sorten $\times$ 2 Einsaatarten $\times$ 4 Einsaattermine; Versuch Ihinger Hof – 1991: 2 Reihenweiten $\times$ 2 Einsaatarten $\times$ 4 Einsaattermine; Versuch Oberer Lindenhof – 1991: 2 Reihenweiten $\times$ 1 Untersaatart $\times$ 4 Einsaattermine).

3. Ergebnisse

3.1 Trockenmasse- und Stickstoffverteilung im Reifeverlauf von Ackerbohnenbeständen der Sorte Mythos

Die Abnahme der Gesamttrockenmassen (dt/ha) und der insgesamt akkumulierten N-Mengen (kg N/ha) zwischen den Probenahmeterminen Mitte Juli und Ende August/Anfang September 1991 ging von standortspezifischen Niveaus aus und resultierte aus dem Abwurf der Blätter. Auch andere vegetative Fraktionen zeigten im Verlauf der Probenahmen einen Rückgang der Trockenmassen und der in den Fraktionen akkumulierten N-Mengen (Abb. 2). Diese Abnahmen gingen auf bekannte Translokationsprozesse zurück. Aus vegetativen Organen wurden remobilisierbare Verbindungen in die generativen Speicherorgane verlagert.

Wenn auch nur teilweise signifikant, unterschieden sich die Gesamttrockenmassen und die enthaltenen N-Mengen der Bestände in Abhängigkeit von den Reihenweiten (Abb. 2). Insbesondere zum ersten Probenahmetermin, Mitte Juli, wurden bei großer gegenüber kleiner Reihenweite unter Beteiligung aller Fraktionen geringere Trockenmassen und N-Mengen festgestellt. Darüber hinaus begann an beiden Standorten der Blattabwurf bei 40 cm Reihenweite später als bei 20 bzw. 25 cm Reihenweite. Damit zeichneten sich Auswirkungen des Bestandesaufbaus sowohl auf den Entwicklungsverlauf als auch auf die Stoffproduktions- und Akkumulationsprozesse ab.

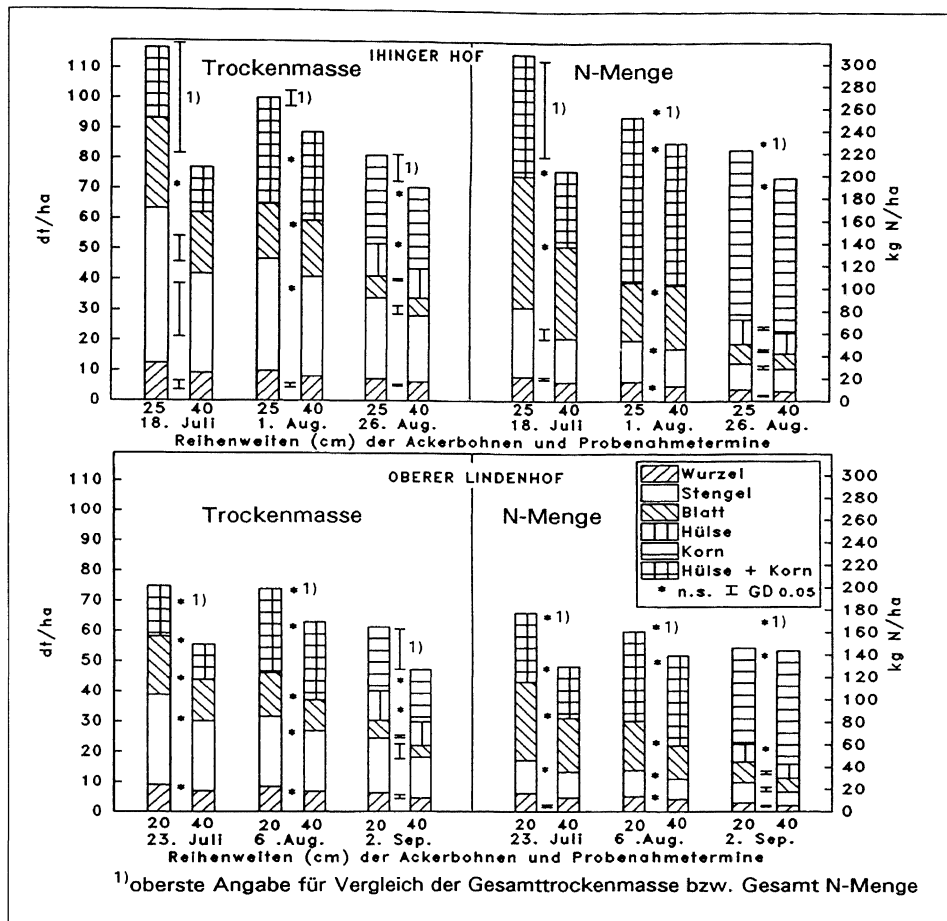


Abb. 2: Trockenmassen (dt/ha) und Stickstoffmengen (kg N/ha) in den Ackerbohnenfraktionen in Abhängigkeit von der Reihenweite der Ackerbohnen und den Standorten Ihinger Hof und Oberer Lindenhof, 1991 ($\bar{x}$ -Werte über Einsaatarten und -termine)

3.2 Trockenmasse- und N-Akkumulation bei Vollreife sowie Rückstände nach dem Drusch von Ackerbohnenbeständen

Die Untersaaten Winterraps und Wintergerste beeinflussten die Trockenmasseproduktion und die N-Akkumulation der Ackerbohnenbestände nur in sehr geringem Ausmaß. Ein Beispiel aus dem Versuch Ihinger Hof 1990 zeigt Tabelle 3. Wechselwirkungen der Einsaatart mit dem Einsaattermin (Tab. 1) konnten zu keinem Untersuchungstermin nachgewiesen werden. Tendenziell blieben die Trockenmassen der Ackerbohnenbestände mit Winterrapsuntersaat etwas geringer als die Trockenmassen der Bestände mit Wintergerstenuntersaat. Vorrangig in der Folge hiervon akkumulierten die Bestände mit Winterrapsuntersaat um rund 22 kg Stickstoff/ha weniger als die Bestände mit Gerstenuntersaat (Tab. 3).

In der Vegetationsperiode 1990 produzierten die mit 25 cm Reihenweite gesäten Ackerbohnenbestände auf dem Ihinger Hof, ohne Berücksichtigung vor dem Drusch abgefallener Blattmasse, um 130 dt Trockenmasse je ha (Tab. 4).

Tabelle 3

Trockenmasse (dt/ha), Stickstoffkonzentration (%) und -menge (kg N/ha) der Ackerbohnenfraktionen bei Drusch der Ackerbohnen in Abhängigkeit von den untergesäten Arten Wintererbsen bzw. Wintergerste, Standort Ihinger Hof 1990 ($\bar{x}$ -Werte über Ackerbohnen-sorten und Einsaattermine)

Ihinger Hof 1990 Untersaatart/ Fraktion	Trockenmasse (dt/ha)			N-Konzentra- tion %		Stickstoffmenge (kg N/ha)		
	Winter- erbsen	Winter- gerste	GD 5 %	Winter- erbsen	Winter- gerste	Winter- erbsen	Winter- gerste	GD 5 %
Korn	46,1	48,1	n. s.	4,7	4,6	216,7	221,3	n. s.
Hülse	11,3	12,9	1,28	2,1	2,1	23,7	27,1	3,51
Stengel+Blatt	60,1	61,9	n. s.	1,1	1,3	66,3	80,5	13,20
Wurzel	10,1	10,3	n. s.	1,4	1,3	14,1	13,4	n. s.
Gesamt	127,8	133,3	n. s.	2,5	2,6	320,8	342,3	16,99

n. s. = nicht signifikant

Nachweisbare Unterschiede zwischen den Sorten Alfred und Mythos traten nicht auf. Die Stickstoffakkumulation belief sich (im Sortenmittel) auf 335 kg N/ha. Nimmt man an, daß die vor dem Drusch abgefallene Blattmasse 50 % der vegetativen Pflanzenmasse (Hülsenwände, Stengel, Wurzeln) betrug – die Daten der Folgeversuche widersprechen dieser Annahme nicht –, so erhöhen sich die Mengen auf Werte zwischen 380 und 400 kg N/ha (Tab. 4). Der Kornertrag, 47 dt/ha (im Sortenmittel) mit 4,7 % N enthielt 221 kg N/ha. Allerdings blieben Kornertragsanteile als Ausfallverluste beim Drusch auf dem Feld. Hinzukommen die $N_{\min}$ -Rückstände im Boden. Insgesamt resultierte im Versuch 1990 auf dem Standort Ihinger Hof – ohne Berücksichtigung des Blattabfalls vor dem Drusch, aber unter Einbezug des Ausfallkorns – ein Rückstand von knapp 190 kg N/ha. Unter Einbezug der geschätzten Werte für die abgefallene

Tabelle 4

Trockenmasse (dt/ha), Stickstoffkonzentration (%) und -menge (kg N/ha) der Ackerbohnenfraktionen sowie Bodennitratmenge (kg NO_3 -N/ha) im Tiefenbereich 0–90 cm und Reststickstoffmenge (kg N/ha) bei Drusch der Ackerbohnen in Abhängigkeit von zwei Ackerbohnen-sorten, Standort Ihinger Hof, 1990 ($\bar{x}$ -Werte über Einsaatarten und -termine)

Ihinger Hof 1990 Ackerbohnen- sorte	Trockenmasse (dt/ha)			N-Konzentra- tion (%)		Stickstoffmenge (kg N/ha)		
	Alfred	Mythos	GD 5 %	Alfred	Mythos	Alfred	Mythos	GD 5 %
Fraktion								
Korn	48,0	46,2	n. s.	4,6	4,8	220,8	221,8	n. s. ²
Hülse	10,6	13,8	2,70	2,2	2,0	23,3	27,6	n. s.
Stengel+Blatt	65,0	57,2	n. s.	1,1	1,3	71,5	74,4	n. s.
Bestandesabfall ¹	–	–	–	–	–	54,0 ¹	59,2 ¹	n. v. ²
Wurzel	10,7	9,6	n. s.	1,2	1,6	12,8	15,4	n. s.
Gesamt	134,3	126,8	n. s.	2,4	2,7	382,4	398,4	n. s.
Rest-Stickstoff	vegetative Pflanzenmasse					161,6	176,6	n. v.
	13 % Kornausfall					28,8	28,8	n. v.
	NO_3 -N/Boden (0–90 cm)					51,0	42,8	2,50
	insgesamt					241,4	248,2	n. s.

¹ nicht erfaßt, als Schätzwerte für die N-Menge der abgefallenen Blätter wurden 50 % der Menge der übrigen vegetativen Fraktionen eingesetzt

² n. s. = nicht signifikant, n. v. = nicht verrechnet

Blattmasse blieben im Sortenmittel mit der vegetativen Pflanzenmasse 170 kg N/ha, einbezüglich des Ausfallkorns und der N_{min}-Gehalte im Boden rund 245 kg N/ha zurück .(Tab. 4).

Tabelle 5

Trockenmasse (dt/ha), Stickstoffkonzentration (%) und -menge (kg N/ha) der Ackerbohnenfraktionen sowie Bodennitratmenge (kg NO₃-N/ha) im Tiefenbereich 0–90 cm und Reststickstoffmenge (kg N/ha) bei Drusch der Ackerbohnen in Abhängigkeit von den Reihenweiten, Standort: Ihinger Hof, 1991 ($\bar{x}$ -Werte über Einsaatarten und -termine)

Ihinger Hof 1991	Trockenmasse (dt/ha)			N-Konzentra- tion (%)		Stickstoffmenge (kg N/ha)		
	25 cm	40 cm	GD 5 %	25 cm	40 cm	25 cm	40 cm	GD 5 %
Reihenweite der Ackerbohnen								
Fraktion								
Korn	29,4	26,8	n. s.	5,1	5,1	149,9	136,7	n. s. ¹
Hülse	10,6	9,8	n. s.	2,1	1,9	22,3	18,6	2,88
Stengel	26,7	22,0	2,68	0,9	0,9	24,0	19,8	3,19
Blatt	7,3	5,7	0,62	2,4	2,4	17,5	13,7	1,85
Bestandesabfall	35,5	18,3	n. s.	2,4	1,7	85,2	31,1	n. s.
Wurzel	7,2	6,2	0,67	1,4	1,4	10,1	8,7	1,28
Gesamt	116,7	88,8	n. s.	2,6	2,6	309,0	228,6	n. s.
Rest-Stickstoff			vegetative Pflanzenmasse			159,1	91,9	n. s.
			24 % Kornausfall			35,9	32,8	n. v. ¹
			NO ₃ -N/Boden (0–90 cm)			37,9	34,9	n. s.
			insgesamt			232,9	159,6	n. s.

¹ n. s.=nicht signifikant, n. v.=nicht verrechnet

Tabelle 6

Trockenmasse (dt/ha), Stickstoffkonzentration (%) und -menge (kg N/ha) der Ackerbohnenfraktionen sowie Bodennitratmenge (kg NO₃-N/ha) im Tiefenbereich 0–90 cm und Reststickstoffmenge (kg N/ha) bei Drusch der Ackerbohnen in Abhängigkeit von den Reihenweiten, Standort: Oberer Lindenhof, 1991 ($\bar{x}$ -Werte über Einsaatarten und -termine)

Oberer Lindenhof	Trockenmasse (dt/ha)			N-Konzentra- tion (%)		Stickstoffmenge (kg N/ha)		
	20 cm	40 cm	GD 5 %	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm	GD 5 %
Reihenweite der Ackerbohnen								
Fraktion								
Korn	21,2	17,2	n. s.	4,0	3,9	84,8	67,1	n. s. ¹
Hülse	9,7	7,8	n. s.	1,6	1,6	15,5	12,5	n. s.
Stengel	18,3	13,4	3,56	1,0	0,9	18,3	12,1	3,80
Blatt	6,0	4,1	0,92	3,1	3,0	18,6	12,3	2,93
Bestandesabfall	13,2	15,8	n. s.	2,4	1,9	31,7	30,0	n. s.
Wurzel	6,2	4,5	1,22	1,3	1,2	8,1	5,4	1,68
Gesamt	74,6	62,8	n. s.	2,4	2,2	177,0	139,4	n. s.
Rest-Stickstoff			vegetative Pflanzenmasse			92,2	72,3	n. s.
			24 % Ausfallkorn			20,2	16,1	n. v. ¹
			NO ₃ -N/Boden (0–90 cm)			29,0	25,5	n. s.
			insgesamt			141,4	113,9	n. s.

¹ n. s.=nicht signifikant, n. v.=nicht verrechnet

In der folgenden Vegetationsperiode 1991 wurden die Versuche auf den Standorten Ihinger Hof und Oberer Lindenhof mit der Sorte Mythos in zwei verschiedenen Reihenweiten durchgeführt (Tab. 5, 6). Die insgesamt – unter Einbezug des Blattfalls vor dem Drusch – produzierten Trockenmassen erreichten bei kleiner Reihenweite ein Niveau von 117 dt/ha auf dem Ihinger Hof und von 75 dt/ha auf dem Oberen Lindenhof. Die Kornerträge lagen bei 29 bzw. 21 dt/ha (Tab. 5, 6). Mit 40 cm Reihenweite gesäte Bestände zeigten durchgängig geringere Werte. Bei den vegetativen Fraktionen konnten die Differenzen auf beiden Standorten nachgewiesen werden (Tab. 5, 6). Gegenüber dem Vorjahr wiesen die Bestände auf dem Ihinger Hof höhere N-Gehalte auf, bei enger Reihenweite wurden daher trotz geringerer Trockenmassen über 300 kg N/ha akkumuliert (Tab. 5). Auf dem Oberen Lindenhof blieb die N-Menge mit 177 kg/ha wesentlich geringer (Tab. 6). In der vegetativen Restmasse blieben auf dem Ihinger Hof rund 160 kg N/ha, auf dem Oberen Lindenhof 92 kg N/ha, unter Einbezug von Ausfallkorn und dem $N_{\min}$ -Gehalt im Boden bei Drusch 233 bzw. 141 kg N/ha zurück. Mit 40 cm Reihenweite gesäte Bestände zeigten auf beiden Standorten bei allen Fraktionen geringere Trockenmassen und in der Folge geringere N-Mengen. Bei den vegetativen Fraktionen konnten die Differenzen größtenteils nachgewiesen werden.

4. Diskussion

Soweit die Ackerbohnenbestände Konkurrenzeffekte von Untersaaten, vorrangig nach Einsaat von Winterraps, erkennen ließen, blieben diese gering. Abhängig vom Untersaattermin, der eingesäten Art und den Wachstumsbedingungen können markante Auswirkungen auf die Deckfrucht auftreten, sind aber nicht zwangsläufig zu erwarten (HOSTRUP und MOLLE 1975, LÜTKE ENTRUP et al. 1989). Die Effekte auf die N-Rückstände blieben in den vorliegenden Versuchen ohne größere Bedeutung.

In erster Linie modifizierten die Standort- und Witterungsbedingungen die akkumulierten und die in Pflanzenresten zurückbleibenden N-Mengen. Die akkumulierten N-Mengen vergleichbar angelegter Bestände der Sorte Mythos differierten um bis zu 225 kg/ha. In vegetativen Ernteresten enthaltene N-Mengen unterschieden sich um bis zu 90 kg/ha. Die Differenz zwischen akkumulierten und in Ernteresten verbliebenen N-Mengen weist auf die Bedeutung der Körner als Attraktionszentren hin. Neben dem Fixierungsumfang trägt die N-Translokation aus vegetativen in generative Organe entscheidend zur N-Menge in der Restmasse bei. Blatt-N-Gehalte bei Druschreife von über 3 %, wie sie 1991 auf dem Oberen Lindenhof auftraten, lassen unvollständige Translokation vermuten. Trotzdem waren die akkumulierten und die zurückgelassenen N-Mengen in diesem Versuch relativ gering. Späte Saat sowie in späten Phasen Trockenstreß verbunden mit Unkrautkonkurrenz, verschärft durch Läusebefall, begrenzen die Trockenmasseproduktion ebenso wie die N-Akkumulation. Das Bestimmtheitsmaß von $r^2=0,83$ belegt die Abhängigkeit der akkumulierten N-Menge von der produzierten Trockenmasse (Tab. 7).

Die Reihenweiteneffekte auf den N-Rückstand rangierten hinter den Effekten von Standort und Jahr. Unter gleichen Bedingungen aufgewachsene, aber unterschiedlich aufgebaute Bestände differierten um bis zu 65 kg im N-Rückstand in der vegetativen Masse. Große Reihenweiten begrenzen gegenüber engen die Aufnahme photosynthetisch aktiver Strahlung. Trotz gleicher Bestandesdichte bilden daher weit gesäte Bestände häufig geringere vegetative

Tabelle 7

Regressionsgleichungen und Bestimmtheitsmaße (r^2) für die Beziehungen zwischen akkumulierten N-Mengen (kg/ha) und produzierten Trockenmassen (dt/ha) in verschiedenen Pflanzenfraktionen (n=40)¹

Merkmale	Regressionsgleichung	r^2
Insgesamt akkumulierte N-Menge (y) Gesamtpflanzenmasse (x)	$y = 97,96 + 1,61 x^{**}$	0,83
N-Menge in der Kornmasse (y) N-Menge in der vegetativen Masse (x)	$y = 2,34 + 0,31 x^{**}$	0,60
Kornmasse (y) N-Menge in der vegetativen Masse (x)	$y = 52,49 + 1,47 x^{**}$	0,54

¹ siehe unter 2.3

und generative Trockenmassen als eng gesäte (STÜTZEL und AUFHAMMER 1991 a, b, 1992). Interaktionen zwischen den Reihenweiten, der Bestandesdichte, dem Habitus der Sorte und den Aufwuchsbedingungen entscheiden das Auftreten, das Ausmaß und die Nachweisbarkeit depressiver Effekte großer Reihenweiten. Im Gegensatz zu GEISLER (1988) und PILBEAM et al. (1989) stellten KONDRÁ (1975) und CABALLERO (1987) bei zunehmender Reihenweite abnehmende Kornträge fest. Auch in den vorliegenden Versuchen zeigten sich Abnahmetendenzen.

Im Pflanzenmaterial des Versuches Ihinger Hof 1991 unterschied sich, bezieht man die als Ausfall beteiligte Kornfraktion ein, die Stengelfraktion mit 0,9 % von der Kornfraktion mit 5,1 % um 4,2 % im N-Gehalt. In den anderen Versuchen blieben die Unterschiede geringer. Zum einen sind diese Differenzen ein Indiz für das Ausmaß der N-Verlagerung. Zum anderen bedeuten die Differenzen zwischen den N-Gehalten einzelner Fraktionen Unterschiede in der Mineralisierbarkeit. Neben dem N-Gehalt bestimmt das C:N-Verhältnis in der Pflanzenmasse den Beginn, die Dauer und den Umfang der N-Freisetzung entscheidend (GUTSER und VILSMEIER 1985, KLIMANEK 1990 a, b, 1991). Beispielsweise wiesen 1991 auf dem Ihinger Hof Blatttrockenmassen von im Mittel 33 dt/ha, mit einem N-Gehalt von 2,2 % ein wesentlich engeres C:N-Verhältnis auf als 24 dt/ha Stengeltrockenmasse mit einem N-Gehalt von 0,9 % oder die Wurzelmasse (Tab. 8). Außerdem ist abgestorbene Stengelmasse verglichen mit Blattmasse wesentlich stärker verholzt. Vermutlich unterliegen Anteile der Blattmasse als Bestandesabfall bereits einige Wochen vor dem Drusch beginnender Zersetzung.

Aufgrund von Untersuchungen bei verschiedenen Arten sehen SINCLAIR und DE WIT (1975, 1976) enge Zusammenhänge zwischen der Akkumulation hoher

Tabelle 8

Trockenmasse und C:N-Verhältnis verschiedener vegetativer Fraktionen der Erntereste von Ackerbohnen, Standort Ihinger Hof 1991 ($\bar{x}$ -Werte über Reihenweiten)

Fraktion	Trockenmasse (dt/ha)	C-Gehalt (%)	N-Gehalt (%)	C:N-Verhältnis
Blatt ¹	33,4	35 ²	2,2	15,9
Stengel	24,3	38 ³	0,9	42,2
Wurzeln	6,7	50 ³	1,4	35,7

¹ einschließlich Bestandesabfall

² Schätzwert

³ Nach Angaben von KLIMANEK (1990 a, b, 1991)

N-Mengen in vegetativen Pflanzenorganen und der Ausbildung hoher Kornerträge. Die Ergebnisse aus den Ackerbohnenbeständen des Versuchsjahres 1991 deuten in die gleiche Richtung. Die Befunde der Probenahmen, beginnend vor dem Blattfall, lassen im Standort- und im Variantenvergleich bereits eine positive Beziehung zwischen der Stickstoffakkumulation in der vegetativen Masse und dem Kornertragsniveau erkennen (Abb. 2). Trotz bestandesbezogener Translokationsdifferenzierungen und des hohen Anteils N-freier Produkte am Kornertrag resultierten positive Beziehungen zwischen der N-Menge in der vegetativen Restmasse und der N-Menge in der Kornmasse bzw. dem Kornertrag mit Bestimmtheitsmaßen von $r^2 = 0,60$ bzw. $0,54$ (Tab. 7). Die Beziehungen kommen auf der Basis der unterschiedlichen Bedingungen für die Stoffproduktion in den einzelnen Versuchen zustande. Die Variation der N-Rückstände wurde damit zu etwa 60 % vom Kornertrag bestimmt. Bedingungen, die die Entwicklung hoher Kornerträge ermöglichen, tragen damit auch in erheblichem Maße zu hohen Rest-N-Mengen bei, da sie – jedenfalls bei den hier geprüften Sortentypen – die Bildung einer entsprechenden vegetativen Masse voraussetzen. In diesem Rahmen liegen keine Hinweise auf die Verknüpfung niedriger Rest-N-Mengen mit hohen Kornerträgen bzw. der Akkumulation hoher N-Mengen in der Kornmasse vor.

Literatur

- CABALLERO, R., 1987: The effects of plant population and row width on seed yield and yield components in field beans. *Research and Development in Agriculture* 4, 147–150.
- ENGEL, T. und L. REINER, 1990: Stickstoff im Frühjahr nicht messen, sondern berechnen. *DLG-Mitt.* 105, 12–25.
- FIEGENBAUM, A., 1993: Die Wirkung pflanzenbaulicher Maßnahmen auf die Stickstoffdynamik im System Boden – Pflanze nach Ackerbohnen. Dissertation Universität Hohenheim.
- GEISLER, G., 1988: Pflanzenbau. Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg.
- GUTSER, R. und K. VILSMEIER, 1985: N-Umsatz von verschiedenem Pflanzenmaterial im Boden in Gefäß- und Feldversuchen. *Z. Pflernährung und Bodenkde* 148, 597–606.
- HAUSER, S., 1987: Schätzung der synthetisch fixierten Stickstoffmenge von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) mit erweiterten Differenzmethoden. Dissertation Universität Göttingen.
- HILL-COTTINGHAM, D. G. and C. P. LLOYD-JONES, 1980: The influence of nitrate supply on nitrogen fixation during growth of field bean (*Vicia faba*) in sand. *Physiol. Plant* 48, 116–120.
- HOSTRUP, S. B. and K. G. MOLLE, 1975: Barley, oats and field bean with undersown italian ryegrass. *Tidsskrift for Planteavl* 79, 643–669.
- HUBER, R., 1988: Biologische N-Fixierung der Ackerbohnen und deren Auswirkungen auf den N-Haushalt des Bodens im Rahmen getreidebetonter Fruchtfolgen. Dissertation ETH Zürich.
- JUSTUS, M. und U. KÖPKE, 1990: Drei Strategien zur Reduzierung von Nitratverlusten beim Anbau von Ackerbohnen. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 3, 187–190.
- KAGE, H., 1990: Zur Entstehung hoher Restnitratmengen im durchwurzelten Bodenraum während der Vegetationszeit von Ackerbohnen. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 3, 183–186.
- KLIMANEK, E.-M., 1990a: Umsetzungsverhalten von Ernterückständen. *Arch. Acker-Pflanzenbau, Bodenkde* 34, 559–567.
- KLIMANEK, E.-M., 1990b: Umsetzungsverhalten der Wurzeln landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten. *Arch. Acker-Pflanzenbau, Bodenkde* 34, 569–577.
- KLIMANEK, E.-M., 1991: Umsetzungsverhalten der Wurzeln landwirtschaftlicher Pflanzenarten in Abhängigkeit vom Vegetationsstadium. *Arch. Acker-Pflanzenbau, Bodenkde* 35, 121–128.
- KONDRA, Z. P., 1975: Effects of row spacing, seeding rate and date of seeding on faba beans. *Canadian Journal of Plant Science* 55, 211–214.

- LÜTKE ENTRUP, N., K. H. BLOME und G. STEMANN, 1989: Körnerleguminosen ohne Nitratprobleme anbauen. DLG-Mitteilung 104, 182–191.
- PILBEAM, C. J., P. D. HEBBLETHWAITE and A. S. CLARK, 1989: Effect of different inter-row spacing on faba beans of different form. Field Crop Research 21, 203–214.
- SAXENA, M. C., 1982: Symbiotic dinitrogen fixation by rainfed faba beans in northern Syria. FABIS newsletter 4, 24–25.
- SINCLAIR, T. R. and C. T. DE WIT, 1975: Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. Science 189, 565–567.
- SINCLAIR, T. R. and C. T. DE WIT, 1976: Analysis of carbon and nitrogen limitations to soybean yield. Agron. J. 68, 319–324.
- SPRENT, J. I. and A. M. BRADFORD, 1977: Nitrogen fixation in field beans (*Vicia faba*) as affected by population density, shading and its relationship with soil moisture. J. Agric. Sci. Camb. 88, 303–310.
- STÜTZEL, H. and W. AUFHAMMER, 1991a: Light interception and utilization in determinate and indeterminate cultivars of *Vicia faba* under contrasting plant distributions and population densities. J. Agric. Sci. 116, 395–407.
- STÜTZEL, H. and W. AUFHAMMER, 1991b: Canopy development of a determinate and an indeterminate cultivar of *Vicia faba* L. under contrasting plant distributions and densities. Ann. appl. Biol. 118, 185–199.
- STÜTZEL, H. and W. AUFHAMMER, 1992: Grain yield in determinate and indeterminate cultivars of *Vicia faba* with different plant distribution patterns and population densities. J. Agric. Sci. 118, 343–352.
- ZAPATA, F., S. K. A. DANSO, G. HARDARSON and M. FRIED, 1987: Nitrogen fixation and translocation in field-grown faba beans. Agron. J. 79, 505–509.

(Manuskript eingelangt am 26. April 1994, angenommen am 11. Juli 1994)

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Walter AUFHAMMER, Dr. Andreas FIEGENBAUM und Dr. Ernst KÜBLER, Institut für Pflanzenbau und Grünland (340), Universität Hohenheim, Fruwirthstraße 23, D-70593 Stuttgart