

(Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität für Bodenkultur, Wien, Vorstand: o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. P. Ruckebauer)

Einfluß von symbiontischem, organischem und anorganischem Stickstoff auf Ertrag und Qualität von Sojabohnen

Von R. GRETZMACHER, N. SCHAHBAZIAN und H. POURDAVAI

(Mit 8 Abbildungen)

Zusammenfassung

Unter semiariden Klimabedingungen des Versuchsstandortes Karaj im Iran wurde der Einfluß einer dreistufigen organischen und mineralischen Düngungssteigerung in Kombination dreier verschiedener Knöllchenbakterienpräparate auf den Ertrag und die Ertragskomponenten der Sojabohnensorte Williams untersucht. Die Abstufung der mineralischen Stickstoffdüngung betrug 0, 30 und 60 kg N/ha, die der organischen Düngung 0, 5 und 10 t/ha. Als organischer Dünger wurde einstreuloser, verrotteter Kuhmist verwendet. Bei den Bakterienpräparaten kamen Helibioagri, Grip und Azofix zum Einsatz. Eine Variante wurde ohne Bakterienimpfung angelegt.

Die Ergebnisse der Auswertung der Ertragskomponenten zeigen einerseits einen deutlichen Unterschied im Verhalten der Faktorwirkungen innerhalb der Jahre als auch zwischen den beiden Versuchsjahren 1992 und 1993. Die Inoculierung hatte den größeren Erfolg.

Das Bakterienimpfpräparat Helibioagri verursachte 1992 den höchsten Ertrag mit 3446 kg/ha (180 % der Variante ohne Bakterienimpfung), während im Jahr 1993 Azofix mit 4180 kg/ha (255 % zur Variante ohne Bakterienimpfung) das beste Ergebnis erzielte. Die Unterschiede zwischen beiden Versuchsjahren dürften vorwiegend auf die ungewöhnlich kühl-feuchte Witterung bis Juni im Versuchsjahr 1992 und den verzögerten Anbau zurückzuführen sein. Eine steigende mineralische Düngung verursachte im Jahr 1992 einen Ertragsabfall, während zunehmende organische Düngung im Jahr 1993 eine Ertragssteigerung erbrachte.

Die Wirkung auf die Inhaltsstoffe Protein und Öl war durch den Einsatz von Inoculierungsmittel am stärksten. So brachte die Beimpfung 1992 einen bis zu 9,2 % und 1993 einen bis zu 10,3 % höheren Proteingehalt. Die Extremwerte lagen zwischen 25,6 % und 36,4 %. Der Ölgehalt wurde konträr beeinflusst, die zwischen 20,8 % und 24,9 % liegenden Werte nahmen durch die beste Inoculierung um 15 % bzw. 12 % ab.

Zwischen dem Ertrag und den Ertragskomponenten (Hülsenzahl, Knotenzahl

und Tausendkornmasse) bestehen in beiden Jahren gleichartige Zusammenhänge.

Die Beeinflussung der Hülsenzahl zeigt auf deutlich verschiedenen jahresbedingten Niveaus dieselbe Tendenz. Bei der Knotenzahl folgen aber alle Werte derselben Regressionsgeraden.

Schlüsselworte: Sojabohne, Iran, Inoculum, organische Düngung, Stickstoff.

Influence of symbiotic, organic and mineral nitrogen on yield and quality of soybean

Summary

Under semiarid conditions of Karaj/Iran the influence of manure and fertilizer, each in three entries, in combination with inoculum on yield and yield components of the soybean variety Williams was tested. Fertilizer was applied at 0, 30 and 60 kg N/ha and manure at 0, 5 and 10 t/ha. A rotted, very dry cow dung was used. Inoculants Helibioagri, Grip and Azofix were used besides an uninoculated control.

The results were heavily influenced by the climate of the two years of experiments. The first year – 1992 – was unusually wet and cold, and the planting delayed. The influence of manure and nitrogen fertilizer shows controversial effects on yield in the two years, which was also found for most yield components.

The greatest influence could be reached by the different treatments with inoculum. The highest yield was found with Helibioagri with 3446 kg/ha (180 % of uninoculated) in 1992 and with Azofix with 4180 kg/ha (255 % of uninoculated) in 1993.

With increasing amount of fertilizer 1992 the yield decreased while 1993 the manure application showed a gain in yield. The most visible influence on protein and oil content was reached by inoculation. The inoculation outyielded the control by 9.2 % and 10.3 % in the two years, with a spectrum between 25.6 % and 36.4 %. The adversely influenced oil content shows values between 20.8 % and 24.9 % with a decrease of 15 % and 12 % due to inoculation.

A similar correlation between yield and yield components (number of pods and nodes and thousand kernel weight) was found in both years.

The same trend, but on quite different levels in the two years shows the influence of the number of pods. But the number of nodes follow the same regression in both years.

Key-words: soybean, Iran, inoculum, manure, nitrogen.

1. Einleitung

Die Sojabohne (*Glycine max.* L.) besitzt eine unverzichtbare und zunehmende Bedeutung in der Fett- und Eiweißproduktion und somit der direkten und indirekten (Tierproduktion) Ernährungsversorgung der Weltbevölkerung. Die weltweite Anbaufläche beläuft sich derzeit auf 54,6 Mio. ha bei einem Durchschnittsertrag von 2080 kg/ha (FAO 1993).

Im Iran betrug die Anbaufläche, mit stark steigendem Trend, im Jahr 1992 ca. 60.000 ha bei einem durchschnittlichen Ertrag von 1917 kg/ha (FAO 1993). Trotzdem herrscht im Iran noch immer ein großer Mangel in der Produktion proteinhaltiger Nahrungs- und Futtermittel. Der Bedarf an Fett kann aus eigener Produktion nur zu ca. 20 % gedeckt werden. Ein wirtschaftlich interessan-

ter Anbau der Sojabohne im Iran zur Behebung dieser Mangelsituation ist dann möglich, wenn dieser Anbau großteils mit standortgegebenen Ressourcen (Gründüngung, Stallmist, Bakterienimpfung, Saatgut) durchgeführt werden kann. Diese Ressourcen müssen, um die ökonomische Produktion zu gewährleisten und zu verbessern, optimal eingesetzt werden.

Um den Ertrag der Sojabohne wirtschaftlich optimal zu steigern, sind mehrere ertragswirksame Faktoren von Bedeutung. Dies betrifft vor allem die Nährstoffversorgung mittels der vor Ort zur Verfügung stehenden organischen Dünger und die Sicherstellung der Stickstoffsynthese durch die Zugabe von Rhizobienimpfmateriale zum Saatgut.

Im Iran fehlten bisher Erfahrungen über Menge und Zeitpunkt der Ausbringung des organischen Düngers und die kurz- und langfristige Wirkung auf den Boden und die Sojapflanze (SAADAT und FIRUZEH 1976). Die gegenständliche Arbeit leitete sich unter anderem von Fragestellungen eines in Österreich über den Zeitraum von fünf Jahren gelaufenen Projektes ab, bei dem neben der Wasserversorgung die Versorgung der Sojabohne mit den richtigen Rhizobionten eine wichtige Rolle spielte (GRETZMACHER und WOLFSBERGER 1990).

Die Knöllchenbakterien (Bradyrhizobien) sind streng artspezifisch und müssen daher, um die bakterielle Stickstoffsynthese für die Sojabohne verfügbar zu machen, in den Boden eingebracht werden, was durch Vermischen des Saatgutes mit dem Bakteriensubstrat (Impfung) geschieht. Dies ist besonders auf Böden notwendig, auf denen noch nie Sojabohnen angebaut worden sind.

Einige Untersuchungen belegen sogar höhere Erträge bei Impfung vor jedem Anbau auf derselben Fläche. Eine wiederkehrende Beimpfung kann wegen neuer selektierter und besser adaptierter Stämme zu besseren Fixierungsraten führen (SCOTT und ALDRICH 1983).

Die Bakterien können mehrere Jahre in vegetativer Form im Boden überdauern, für die Fixierung von Stickstoff benötigen sie aber die Symbiose mit einer speziellen Leguminose.

Die im Laufe einer Vegetationsperiode fixierten Stickstoffmengen werden wesentlich vom Stickstoffgehalt des Bodens beeinflusst, der wiederum zum Teil von der Fruchtfolge abhängt. Dieser wichtige Zusammenhang wurde bereits an zwei Standorten in Österreich in Diplomarbeiten untersucht (BUCHINGER 1990, RATH 1992).

2. Material und Methoden

Versuchsstandort

Der Versuch wurde auf Flächen des „Seed and Plant Improvement Institute“ in Karaj, 45 km westlich von Teheran durchgeführt. Der Standort des Versuches liegt auf einer Seehöhe von 1280 m, bei 35° 48' nördlicher Breite und 50° 58' östlicher Länge.

Der Versuchsstandort ist klimatisch zur warmgemäßigten subtropischen Zone mit sommertrockenem und winterfeuchtem Steppenklimate zuzuordnen. In Abbildung 1 und 2 sind die langjährigen Temperatur- und Niederschlagsmittel im Vergleich zu den beiden Versuchsjahren dargestellt.

Boden

Beim Bodentyp handelt es sich um einen Lithosol (Gesteinsrohboden), die Bodenart ist sandiger Ton.

Der pH-Wert des Bodens der Versuchsflächen lag zwischen 7,6 und 7,9. Der Humusgehalt in der oberen Bodenschicht (0 bis 20 cm) betrug 0,6 bis 0,9 % und der Tongehalt lag bei ca. 20 %.

Die Fruchtfolge der Versuchsflächen

Die ortsübliche Fruchtfolge besteht aus dem Wechsel von Brache und Getreide. Die Versuchsfläche der beiden Jahre folgte jeweils auf Brache.

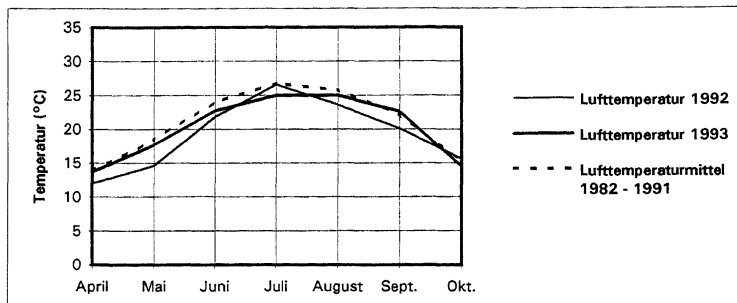


Abb. 1: Vergleich des Verlaufes der mittleren Lufttemperaturen der beiden Versuchsjahre 1992 und 1993 mit dem langjährigen Mittel.

Das Wetter beider Versuchsjahre im Vergleich zum langjährigen Mittel

Die Witterung während der Vegetationsperioden 1992 und 1993:

Das erste Versuchsjahr (1992) war bis zum Mai durch ein im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt extrem kühles und feuchtes Wetter geprägt, wodurch sich auch der Anbau der Sojabohne verzögerte. Im Vergleich zum zweiten Versuchsjahr (1993) lagen die Monatsmittelwerte der Lufttemperatur im April um 1,7 °C und im Mai sogar um 3,1 °C niedriger (Abb. 1).

Auch der Juni war im Jahr 1992 noch um 0,9 °C kühler als 1993. Im Vergleich zum langjährigen Mittel der Durchschnittstemperatur von April bis Juni (18,8 °C) lag diese 1992 (um 2,7 °C) und auch 1993 (um 0,8 °C) niedriger.

Nur die Durchschnittstemperatur des Juli übertraf im Jahr 1992 den Mittelwert des Juli 1993 um 1,6 °C und lag genau im langjährigen Durchschnitt. Von August bis September lagen die Temperaturen des Jahres 1992 wieder leicht unter denen des zweiten Versuchsjahres und auch unter dem langjährigen Durchschnitt (Abb. 1).

1993 lag die monatliche Durchschnittstemperatur von Mai bis August leicht unter dem Durchschnitt.

Die Niederschläge übertrafen von April bis Juni 1992 bei weitem jene des Jahres 1993 (Abb. 2). Besonders der Mai 1992 wies für die örtlichen Verhältnisse mit 65 mm außergewöhnlich viel Niederschlag auf (Mai 1993: 7,5 mm). Im Vergleich zum langjährigen Mittel der Summe der Niederschläge von April bis Juni (59,7 mm) lagen diese 1992 um ca. 60 mm höher, 1993 um ca. 30 mm niedriger.

In den restlichen Monaten waren in beiden Jahren, dem langjährigen Durchschnitt entsprechend, fast keine Niederschläge zu verzeichnen (Abb. 2).

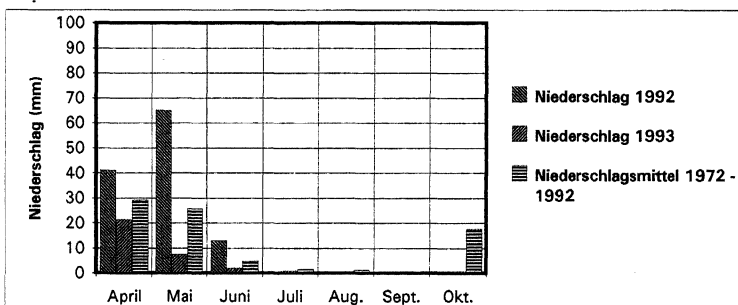


Abb. 2: Vergleich der monatlichen Niederschläge der beiden Versuchsjahre 1992 und 1993 mit dem langjährigen Mittel.

Versuchsanlage und Varianten

Unter Berücksichtigung der drei Versuchsfaktoren organische Düngung, mineralischer Stickstoff und Bakterienpräparate wurde der Versuch in Form einer Strip-Split-Plot-Anlage in vierfacher Wiederholung angelegt. Die Größe der Bruttoparzellen beträgt 14,4 m², wobei eine Parzelle vier Reihen mit einer Reihenweite von 60 cm umfaßt.

Der vertikale Faktor ist Stickstoff (A) mit drei Varianten. Der horizontale Faktor ist die organische Düngung (B) mit ebenfalls drei Varianten.

In den Sub-plots sind die verschiedenen Bakterienpräparate (C) in vier Varianten angelegt.

Die Faktoren und deren Versuchsstufen lauten:

- A 1 = Mineralische Stickstoffdüngung 0 kg/ha
- A 2 = Mineralische Stickstoffdüngung 30 kg/ha
- A 3 = Mineralische Stickstoffdüngung 60 kg/ha
- B 1 = Organische Düngung 0 kg/ha
- B 2 = Organische Düngung 5.000 kg/ha
- B 3 = Organische Düngung 10.000 kg/ha
- C 1 = Kein Bakterienpräparat
- C 2 = Bakterienpräparat „Helibioagri“
- C 3 = Bakterienpräparat „Grip“
- C 4 = Bakterienpräparat „Azofix“

Sortenbeschreibung

In beiden Versuchsjahren wurde die amerikanische, weißblühende Sojabohnensorte „Williams“ angebaut, die ein gelbes Korn mit braunem Nabel aufweist. Diese Sorte gehört nach der internationalen Klassifikation der Reifeklasse III an. In den letzten Jahren fand sie starke Verbreitung im Iran.

Beschreibung des Inoculums

Für eine optimale N-Fixierung durch Knöllchenbakterien ist es notwendig, daß bei Leguminosen, die erstmals in einer Region angebaut werden, eine Beimpfung des Bodens bzw. des Saatgutes durchgeführt wird (STROMMER 1986, ZWATZ und WODICKA 1988).

Die Knöllchenbakterien sind wirtschaftsspezifisch (SCHLEGEL 1976) und werden danach in Arten eingeteilt. Für die N-Fixierung bei Sojabohne sind Bakterien der Art *Bradyrhizobium japonicum* bzw. *Rhizobium japonicum* verantwortlich (ETTLINGER 1983).

Man kann zwischen einzelnen Serogruppen von *Rhizobium japonicum* unterscheiden, welche ihr Optimum unter jeweils verschiedenen Umweltbedingungen (Bodencharakteristika, Klima, Wirtspflanze) haben. Das primäre Ziel der Rhizobienforschung ist die Selektion der besten Abstammungen mit der höchsten N-Fixierung unter bestimmten Umweltbedingungen (WEBER und MILLER 1976).

Grip ist ein kanadisches Produkt der Firma TITRE Inc., Ontario, und stellt eine hochwirksame Formulierung von *Rhizobium japonicum* dar. Es ist in Säcken von 210 g Nettogewicht im Handel erhältlich, wobei diese Menge für 80 kg Saatgut bzw. 1 ha Anbaufläche ausreicht. Die Anwendung ist einfach, da die Packung das Bindemittel schon enthält und dadurch sehr benutzerfreundlich ist. Die beimpften Samen sind vor Sonnenlicht zu schützen und innerhalb von vier Stunden auszusäen.

Als weiteres Präparat wurde Helibioagri verwendet. Eine Packung Helibioagri enthält 150 g Bakteriensubstrat und reicht für 25 kg Saatgut. Dieses italienische Produkt soll nach neuesten Informationen weitgehend dem Präparat Nitragin entsprechen.

Azofix ist ein Saatgutbehandlungsmittel italienischer Herkunft mit einer Bradyrhizobienkonzentration von 10^9 CFU/g. Als Trägermittel fungiert steriler Torf mit einer Zusammensetzung aus 70 % Torf, 3,9 % CaCO_3 und ca. 26 % Wasser. Das Kulturmittel für die Bakterien enthält Hefe-Extrakt, Manoit, MgSO_4 , NaCl, CaCO_3 , K_2HPO_4 . Der pH-Wert des Präparates beträgt 6,8 (BLAIMAUER 1991). Eine Packung Azofix enthält 400 g Inoculierungsmittel und reicht für 70 bis 100 kg Saatgut (ca. 1 ha Anbaufläche).

Organischer Dünger

Beim verwendeten organischen Dünger handelt es sich um einen ein Jahr alten Kuhmist. Er wurde gleich nach dem Ausmisten getrocknet und anschließend in einer Miete aufbewahrt. Die Art der Lagerung dieses Stallmistes ist eine „Wilde Miete“, die als ungeordnete Lagerung von Festmist entsteht.

Eigenschaften des organischen Düngers:

- inhomogen: wegen fehlender Mischung des Materials, zum anderen wegen fehlender Belüftung ist der Zersetzungsprozeß ungleichmäßig abgelaufen, außerdem fehlte die Einstreu.
- Im Jahr 1993 wurde der Mist zusätzlich gesiebt, um Verbrennungen der Pflanzen durch größere Stücke zu vermeiden, wie dies 1992 der Fall war.

Nährstoffanalyse des organischen Düngers 1992:
(Forschungsanstalt für Boden und Wasser, Teheran)

Stickstoff: durchschnittlich 1,6 kg N/100 kg
Phosphor: durchschnittlich 0,6 kg P/100 kg
Kalium: durchschnittlich 0,3 kg K/100 kg
Trockensubstanz: 85 %

Nährstoffanalyse des organischen Düngers 1993:

Stickstoff: durchschnittlich 2,1 kg N/100 kg
Phosphor: durchschnittlich 0,7 kg P/100 kg
Kalium: durchschnittlich 2,9 kg K/100 kg
Trockensubstanz: 85 %

Zum Ausgleich der Zusammensetzung des organischen Düngers wurden bei den mineralischen Düngungsvarianten von 0, 30 und 60 kg N/ha, 0, 80 und 160 kg Phosphor/ha und 0, 15 und 30 kg Kali/ha auf das Feld ausgebracht.

Die Anbau- und Entwicklungsdaten (Entwicklungsphasen nach FEHR und CAVINESS 1980) in den beiden Versuchsjahren 1992 und 1993 sind zum Vergleich im folgenden gegenübergestellt:

	1992	1993
Anbau	31. 05.	16. 05.
Keimung	08. 06.	22. 05.
VE	15. 06.	26. 05.
V1	23. 06.	06. 06.
V2	30. 06.	13. 06.
V3	04. 07.	20. 06.
Vn	13. 07.	29. 06.
R1	17.-21. 07.	13. 07.
R2	07. 08.	25. 07.
R3	09. 08.	02. 08.
R4	25. 08.	11. 08.
R5	03. 09.	18. 08.
R6	16. 09.	29. 08.
R7	26.-30. 09.	21. 09.
R8	14.-26. 10.	29. 09. (C1 und C2)
		02. 10. (C3 und C4)
Ernte	27. 10.	10. 10.

Die Wasserversorgung der Pflanzen wurde in beiden Versuchsjahren durch Furchenbewässerung in regelmäßigen Abständen bedarfsgerecht sichergestellt.

Die erfaßten Bonituren und Ergebnisse wurden varianzanalytisch mit dem Programm PLABSTAT (Universität Hohenheim) ausgewertet.

3. Ergebnisse und Diskussion

Für die Vorstellung der Versuchsergebnisse wurden der Ertrag, einzelne Ertragskomponenten und die Inhaltsstoffe Eiweiß und Öl ausgewählt.

3.1 Kornertrag

Einfluß der mineralischen Düngung:

Hier zeigt im Jahr 1992 die Variante A1 (ohne mineralische Düngung) den signifikant höchsten Ertrag von 2905 kg/ha (A2: 2576 kg/ha, A3: 2642 kg/ha). Im Jahr 1993 läßt sich an den Mittelwerten kein Trend zu höherem Ertrag bei höherer mineralischer Düngungsstufe erkennen.

Im Jahr 1992 zeigt der Trend einen abnehmenden Ertrag bei steigender mineralischer Düngungsstufe, was in dem üppigen vegetativen Wachstum aufgrund

Tabelle 1
Kornertrag der Sojabohne in den Jahren 1992 und 1993
Mittelwerte der Faktorkombinationen

		C1 kg/ha	C2 kg/ha	C3 kg/ha	C4 kg/ha
1992					
A1	B1	1665	3506	3811	2912
	B2	1735	3493	3128	3289
	B3	1587	3719	2947	3065
A2	B1	1603	3358	3092	2427
	B2	2170	3350	2386	2490
	B3	1799	3310	2846	2082
A3	B1	2162	3487	2964	1971
	B2	2437	3275	2359	2568
	B3	1990	3507	2927	2048
1993					
A1	B1	1020	2442	3721	3685
	B2	2047	3012	4012	4453
	B3	1466	2723	4023	4608
A2	B1	1480	2224	3534	4017
	B2	2109	2795	3619	4066
	B3	1644	2336	4098	4204
A3	B1	1581	2120	3800	3789
	B2	1890	2481	3879	3969
	B3	1529	2095	5113	4828

A=Mineralische Stickstoffdüngung: 1=Keine, 2=30 kg/ha, 3=60 kg/ha
B=Organische Düngung: 1=Keine, 2=5 t/ha, 3=10 t/ha
C=Bakterienpräparat: 1=Keines, 2=Helibioagri, 3=Grip, 4=Azofix

Tabelle 2
Tabelle der Varianzanalyse des Kornertrages in den beiden Versuchsjahren 1992 und 1993

Faktor	FG	F-Wert 1992	F-Wert 1993	GD (p=5 %) 1992	GD (p=5 %) 1993
A	2	19,43**	1,61 ns	113,26	111,38
B	2	1,54 ns	39,87**	113,26	111,38
C	3	48,18**	83,98**	264,41	375,34
AB	4	0,20 ns	5,56**	196,17	192,91
AC	6	3,70**	0,88 ns	457,98	650,10
BC	6	2,33*	1,36 ns	457,98	650,10

A=Mineralische Düngung **=hoch signifikant
B=Organische Düngung * =signifikant
C=Bakterienpräparat ns=nicht signifikant

des sehr späten Anbautermins und der extrem kühl-feuchten Witterung von April bis Mai seine Ursache hat (schlechtere N-Mobilisierung). Am Versuchsstandort Karaj konnte von SAADAT und FIRUZEH (1976) für ein größeres Spektrum von Sojabohnensorten Anfang Mai als optimaler Saatzeitpunkt bestimmt werden. Wurde der Anbau um einen Monat verzögert, zeigt die untere Stickstoffdüngungsvariante von 40 kg N/ha keinen positiven Effekt mehr. Andererseits reduziert ein verspäteter Anbau auf Kosten des Längenwachstums den Kornertrag (SCOTT und ALDRICH 1983).

Einfluß der organischen Düngung:

Die organische Düngung hat dem Trend nach im Jahr 1992 praktisch keine Auswirkung auf den Kornertrag. Dies könnte ebenfalls in der Witterung begründet sein.

Bei den organischen Düngungsvarianten im Jahr 1993 zeigen die Varianten B2 und B3 gegenüber B1 mit 2784 kg/ha (ohne organische Düngung) einen signifikanten Mehrertrag von 15 % bzw. 16 %.

Zusammenfassend könnte damit – wegen der günstigeren Witterung – eine bessere Nährstoffmobilisierung im Jahr 1993 abgeleitet werden.

Einfluß der Bakterienpräparate:

In beiden Versuchsjahren schnitten die Varianten ohne Bakterienimpfung signifikant am schlechtesten ab.

Der absolute Ertragsunterschied zwischen dem besten Bakterienpräparat und der Variante ohne Bakterienimpfung war 1993 wesentlich größer (1993: 2539 kg/ha, 1992: 1540 kg/ha).

Ein deutlicher Unterschied ist zwischen den Bakterienpräparaten gegeben. Dabei ergab sich, daß im Jahr 1992 das Bakterienpräparat Helibioagri (C2) mit 180 % der Nullvariante die besten Ergebnisse lieferte (3446 kg/ha), gefolgt von Grip mit 154 % und Azofix mit 133 %. Die Nullvariante C1 (ohne Bakterien) erbrachte einen Ertrag von 1906 kg/ha.

Einen gewissen Anteil an der Ursache des höheren Ertragsniveaus des Jahres 1993 hat neben den günstigeren klimatischen Voraussetzungen auch die im zweiten Versuchsjahr um etwa 22 % höhere Pflanzenzahl/m². Daß eine Zunahme der Bestandesdichte höhere Erträge verursacht, konnte schon wiederholt nachgewiesen werden (GRETZMACHER 1978). Die Versuche mit einem wesentlich geringeren Ertragsniveau des österreichischen Standortes ergaben bei Steigerung der Bestandesdichte im vergleichbaren Dichtebereich Ertragszunahmen von bis zu 20 %.

Im Jahr 1993 zeigten die beiden Präparate Grip (3978 kg/ha) mit 242 % der Nullvariante und Azofix (4180 kg/ha) mit 255 % die besten Ergebnisse. Die Nullvariante C1 lag bei 1641 kg/ha. Helibioagri übertraf die Nullvariante C1 lediglich um 51 %.

Die Bakterienpräparate Grip und Azofix lieferten 1993 im Vergleich zu 1992 einen Mehrertrag von über 1000 kg/ha, während Helibioagri einen um ca. 1000 kg/ha geringeren Ertrag lieferte.

Es zeigte sich also in den beiden Versuchsjahren ein unterschiedliches Verhalten der Bakterienpräparate zueinander, was größtenteils auf die unterschiedliche Witterung zurückgeführt werden kann. Ein weiterer Einflußfaktor könnte auch eine unterschiedliche Vitalität der zugekauften Bakterienpräparate in den beiden Versuchsjahren gewesen sein.

An den Mittelwerten läßt sich erkennen, daß das Ertragsniveau 1993 bei Behandlung mit Grip und Azofix weitaus besser ist als 1992. Die Varianten ohne Behandlung und jene mit Helibioagri zeigen 1993 jedoch schlechtere Ergebnisse.

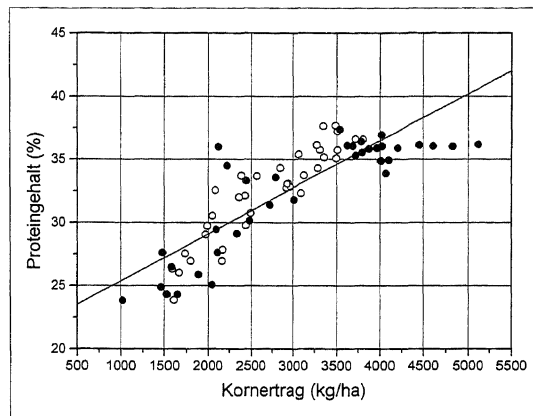
Grip liegt im Ertragsergebnis 1993 sehr nahe bei Azofix an zweiter Stelle und ist im Jahr 1992 etwas besser als Azofix.

Die niedrigsten Erträge von Einzelvarianten lagen 1992 bei 1906 kg/ha und 1993 bei 1641 kg/ha jeweils bei den Varianten ohne Bakterienimpfung. Die höchsten Kornerträge der besten Kombinationen wurden 1992 und 1993 mit Grip (1992: 3812 kg/ha, 1993: 5113 kg/ha) erzielt.

3.2 Proteingehalt

Der Proteingehalt reagiert in ähnlicher Weise auf die verschiedenen Faktoren wie der Ertrag. Zwischen Ertragsniveau und Proteingehalt besteht in beiden Versuchsjahren ein deutlicher positiver Zusammenhang.

Abb. 3: Beziehung zwischen Korn-
ertrag und Proteingehalt in beiden
Versuchsjahren ($Y=21,68+0,0037x$,
 $r=0,852$). Kreise für 1992, Punkte
für 1993.



Einfluß der mineralischen Düngung:

Die mineralische Düngung hatte nur im Jahr 1992 einen zwar signifikanten, aber mit maximal 0,9 % Gehaltsunterschied kaum nennenswerten Einfluß auf den Proteingehalt. Die Variante A2 erbrachte den signifikant niedrigsten Gehalt (31,9 %), (A1: 32,8 %; A3: 32,4 %).

Einfluß der organischen Düngung:

Die organische Düngung zeigt in beiden Versuchsjahren einen signifikanten, jedoch ähnlich wie beim Ertrag einen gegenläufigen Einfluß. Hier ergab sich 1992 ohne organische Düngung ein signifikant niedrigerer Proteingehalt (B1: 31,8 %, B3: 32,6 %).

Im Jahr 1993 gab es einen signifikanten, umgekehrten Trend. Hier erzielte die höchste organische Düngungsstufe (B3) den niedrigsten Proteingehalt (31,6 %), B1 den höchsten Gehalt mit 33,3 %. Die Unterschiede sind allerdings maximal 0,8 % Gehaltswert im Jahr 1992 und 1,9 % im Jahr 1993 eher gering.

Wahrscheinlich übt hier die Witterung und deren Einfluß auf die Nährstoffmobilisierung und anderen, vielleicht physiologischen Vorgängen einen entscheidenden Einfluß aus.

Einfluß der Bakterienpräparate:

Die Wirkung der einzelnen Bakterienpräparate zeigt ein analoges Verhalten zum Ertrag mit den größten Unterschieden von allen Faktoren in beiden Versuchsjahren:

1992 unterscheiden sich alle Präparate in ihrer Wirkung auf den Ertrag signifikant, wobei Helibioagri (C2) die besten (36,4 %) und Azofix (C4) die schlechtesten Ergebnisse (32,3 %) lieferte. Die Variante ohne Bakterienimpfung (C1) erbrachte nur 27,2 % Protein. Der größte Unterschied im Gehaltswert lag zwischen der Nullvariante und dem Präparat Helibioagri mit 9,2 %.

Im Jahr 1993 schneidet Azofix (35,9 %) am besten und Helibioagri (32,2 %) am schlechtesten ab. Grip (C3) nimmt in beiden Jahren wie auch beim Ertrag eine Mittelstellung ein, wobei Grip 1993 sehr nahe an Azofix kommt (35,8 %). C1 kommt 1993 nur auf 25,6 %.

Im zweiten Versuchsjahr steigt der Unterschied zwischen unbeimpft und der besten Bakterienvariante (Azofix) auf 10,3 %.

Das unterschiedliche Verhalten der Bakterienpräparate in den beiden Ver-

suchsjahren dürfte, wie auch beim Ertrag, auf den Witterungseinfluß und die Vitalität zurückzuführen sein.

Beim Durchschnitt aller Varianten gibt es im Proteingehalt zwischen beiden Versuchsjahren keinen Unterschied (je 32,4 %).

3.3 Ölgehalt

Allgemein besteht zwischen Ertragsniveau und Ölgehalt in beiden Versuchsjahren ein negativer Zusammenhang.

Einfluß der mineralischen Düngung:

Die mineralische Düngung zeigt nur 1992 einen Einfluß, wobei nur die höchste Düngungsstufe (A3) mit dem niedrigsten Ertrag einen höheren Ölgehalt (22,8 %) aufweist (A1+A2: 22,1 %).

Einfluß der organischen Düngung:

In beiden Jahren zeigt die organische Düngung einen signifikanten Einfluß auf den Ölgehalt. Dabei zeigt sich in beiden Jahren der Trend eines steigenden Ölgehaltes mit steigender organischer Düngung. Die höchsten Werte liegen 1992 bei 22,5 % (B3) und 1993 bei 23,1 % (B2).

Bei der Kombination von organischer und mineralischer Düngung gibt es in beiden Jahren einen signifikanten Unterschied zwischen guter und schlechter Nährstoffversorgung. Dieser Trend, bei besserer Düngung steigender Ölgehalt, ist im Jahr 1992 deutlicher ausgeprägt (höchster Wert: A3 B3 mit 23,23 %).

Einfluß der Bakterienpräparate:

Die größten Unterschiede zeigen jedoch die Varianten mit den Bakterienpräparaten. Die Ölgehalte sind mit dem Ertrag der C-Varianten eindeutig negativ korreliert.

1992 liefert Helibioagri mit dem höchsten Ertrag auch den niedrigsten Ölgehalt (20,8 %), während die Variante ohne Bakterienimpfung und dem niedrigsten Ertrag auch den höchsten Ölgehalt zeigt (24,5 %). Das schlechteste Bakterienpräparat ist Azofix (22,3 %). Grip nimmt wie auch bei den anderen Ertragsfaktoren eine Mittelstellung ein.

1993 liefern Grip und Azofix mit dem höchsten Ertrag die niedrigsten Ölgehalte (21,9 % bzw. 21,6 %). Die Variante C1 lag mit 24,9 % am höchsten.

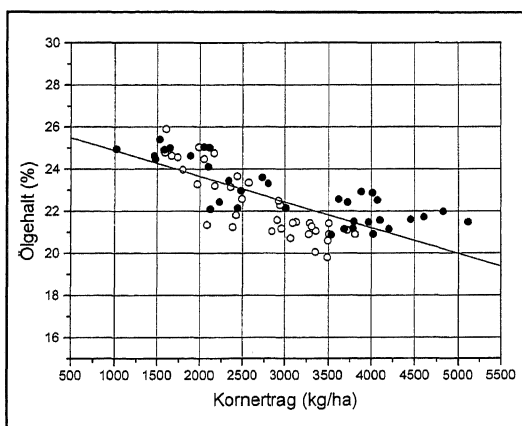


Abb. 4: Beziehung zwischen Ertrag und Ölgehalt in beiden Versuchsjahren ($Y=26,03-0,001x$, $r=-0,741$). Kreise für 1992, Punkte für 1993.

1992 liefern die Kombinationen mit Helibioagri, 1993 jene mit Grip die niedrigsten Ölgehalte.

Beim Durchschnitt aller Varianten gibt es zwischen beiden Versuchsjahren keinen signifikanten Unterschied im Ölgehalt (1992: 22,3 %; 1993: 23,1 %).

Der Versuch brachte bei einem Anstieg des Proteingehaltes durch Inoculierung im Vergleich zur unbeimpften Variante einen gleichzeitigen Rückgang des Ölgehaltes von 24,5 auf 22,3 % bzw. 24,9 auf 21,6 %. Dieses Verhalten bestätigen auch andere Versuche. BUCHINGER (1990) fand durch Inoculation einen Anstieg des Rohproteingehaltes um 5,4 % bei gleichzeitiger Abnahme des Ölgehaltes um 2,1 % bei den wesentlich kühleren österreichischen Wachstumsbedingungen.

3.4 Hülsenanzahl pro Pflanze

Beim Durchschnitt aller Varianten gibt es zwischen beiden Versuchsjahren einen großen Unterschied im Hülsenansatz (1992: 41,2; 1993: 27,3). Dies kann vor allem auf die im Jahr 1992 niedrigere Bestandesdichte zurückgeführt werden. Es besteht aber in beiden Jahren ein positiver Zusammenhang zwischen der Hülsenanzahl und dem Kornertrag (Abb. 5 a, 5 b).

Durch das Vereinzeln im Jahr 1992 auf nur 32 Pflanzen/m² wurde Ertragspotential verschenkt. Im Vergleich zum zweiten Versuchsjahr mit 39 Pflanzen/m² ergab sich eine Reduktion der durchschnittlichen Hülsenzahl je Pflanze auf 66,3 %. Vergleichbare prozentuelle Rückgänge konnten bei der Produktionsleistung der Einzelpflanze bei mehreren Sorten in einem dreijährigen Versuch bei ähnlichen Bestandesdichten festgestellt werden (GRETZMACHER 1978).

Die mineralische Düngung verursachte für sich alleine nur 1993 einen signifikanten Unterschied im Hülsenansatz, wobei dieser mit steigender Düngung zunimmt (A 1: 25,5; A 3: 28,6).

Ein gleichartiger Trend mit signifikanten Unterschieden läßt sich in beiden Jahren bei der organischen Düngung erkennen. In beiden Jahren nimmt der Hülsenansatz mit steigender organischer Düngung signifikant zu. Im Jahr 1993 zeigten sich dabei die größeren Unterschiede (B 1: 24,4; B 3: 31,0).

Die Bakterienpräparate haben in beiden Versuchsjahren eine signifikante, aber keine stärkere Auswirkung auf den Hülsenansatz als die organische Düngung. Helibioagri und Grip erbringen im Jahr 1992 und Azofix und Grip im Jahr 1993 die besten Leistungen. Die Varianten ohne Bakteriendüngung haben in jedem Jahr den niedrigsten Hülsenansatz (1992: 37,8; 1993: 19,4).

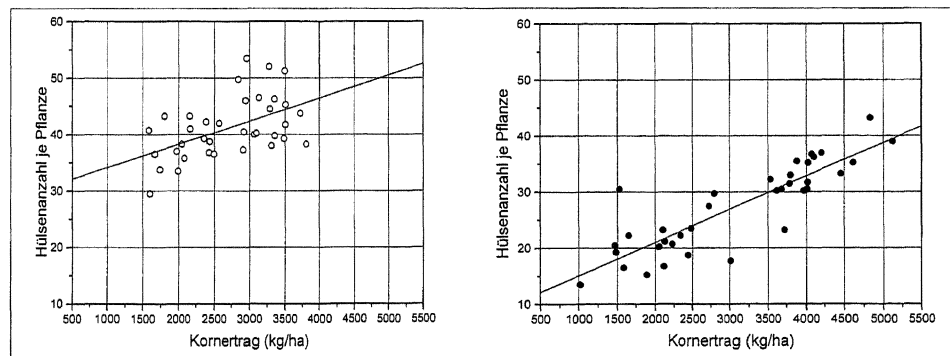


Abb. 5 a (links): Beziehung zwischen dem Hülsenansatz und dem Kornertrag im Versuchsjahr 1992 ($Y = 30,08 + 0,004x$, $r = 0,513$). – Abb. 5 b (rechts): Beziehung zwischen dem Hülsenansatz und dem Kornertrag im Versuchsjahr 1993 ($Y = 9,18 + 0,006x$, $r = 0,864$)

3.5 Knotenanzahl pro Pflanze

Im Gegensatz zum Merkmal Hülsenzahl zeigen sich hier keine durch die Versuchsjahre bedingten Unterschiede.

Bei der mineralischen Stickstoffdüngung zeigt sich nur 1993 ein Einfluß auf die Ausprägung dieses Merkmales, die Beeinflussung folgt aber nicht der Steigerungsreihe. Den höchsten Wert weist die Variante A2 (11,7 Knoten/Pfl.), den niedrigsten die Variante A1 (10,6 Knoten/Pfl.) auf.

Die organische Düngung verursacht nur im Jahr 1992 einen signifikanten Unterschied, wobei mit steigender organischer Düngung die Knotenanzahl pro Pflanze abnimmt (B1: 11,3; B3: 10,5).

Bei der kombinierten Wirkung der organischen und mineralischen Düngung zeigt sich im Jahr 1993 eine signifikante Abnahme der Knotenanzahl bei sinkender Düngungsstufe.

Die Bakterienpräparate verursachen in beiden Versuchsjahren einen signifikanten Unterschied. 1992 ergaben Helibioagri (11,4) und Grip (11,4) die besten Resultate, 1993 Grip (12,8) und Azofix (12,6). Helibioagri sank 1993 fast auf das Niveau der Nullvariante C1 (9,4). C1 ergab im Jahr 1992 den Wert 10,1 und war in beiden Jahren die schlechteste Variante.

Der Ertragsrahmen, ausgedrückt in der Knotenzahl oder auch nur in der Wuchshöhe, ist mit dem Ertrag sehr eng korreliert, wie die Ergebnisse eines zehnjährigen Versuches zeigen. Mit einem Korrelationskoeffizienten von $r=0,817$ konnte in diesem Versuch von der Bestandeshöhe auf den Ertrag geschlossen werden (GRETZMACHER und WOLFSBERGER 1990).

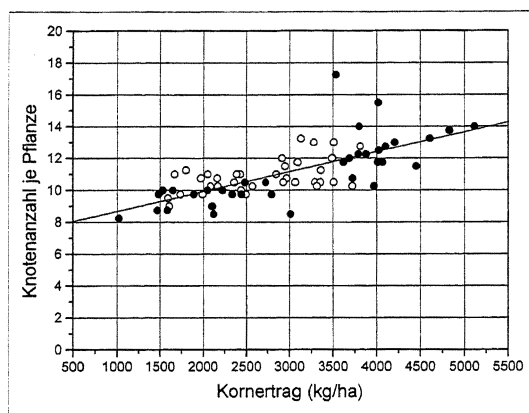


Abb. 6: Beziehung zwischen der Knotenanzahl pro Pflanze und dem Kornertrag in den beiden Versuchsjahren ($Y=7,43+0,001x$, $r=0,708$). Kreise für 1992, Punkte für 1993.

3.6 Tausendkornmasse

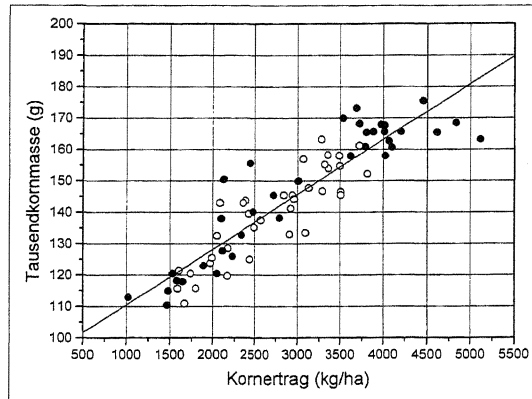
Zwischen der Tausendkornmasse und dem Kornertrag besteht eine deutliche positive Beziehung.

Die mineralische Düngung zeigte in beiden Versuchsjahren einen signifikanten Einfluß auf die TKM.

In beiden Jahren zeigt sich auch die selbe Beeinflussungsrichtung, nämlich abnehmende TKM bei steigender mineralischer Düngungsstufe, allerdings mit einem relativen Unterschied von nur 1 bis 2 %.

Auch die organische Düngung zeigt in beiden Jahren einen signifikanten Einfluß auf die TKM, allerdings mit einem uneinheitlichen Trend. Die größten Unterschiede ergaben sich 1992 mit 2 % zwischen der Variante B1 (ohne organische Düngung) mit einem TKG von 136,4 und der Stufe B2 mit 142 g.

Abb. 7: Beziehung zwischen der Tausendkornmasse und dem Kornertrag in den beiden Versuchsjahren ($Y=93,02+0,017x$, $r=0,906$). Kreise für 1992, Punkte für 1993).



1993 lag der größte Unterschied zwischen B2 (149,6 g) und B3 (145,6 g) bei 4 %. 1993 läßt sich also mit steigender organischer Düngung noch ein abnehmender Trend erkennen.

Die Bakterienpräparate üben einen sehr deutlichen signifikanten Einfluß auf die TKM – analog zum Ertrag – aus.

1992 zeigt sich bei der TKM eine Überlegenheit der für den Ertrag besten Bakterienvariante, nämlich Helibioagri (155,2 g, das sind 129 % der Variante ohne Bakterien mit 120,4 g).

1993 zeigen die Bakterienpräparate Azofix und Grip, also jene mit dem höchsten Ertrag auch die höchste Tausendkornmasse (167,6 g oder 141 % bzw. 163,9 g oder 139 % gegenüber der Nullvariante mit 118,5 g).

Die Faktoren zeigen eine ähnliche Auswirkung auf die TKM, wie es beim Ertrag zu sehen war.

Neben der Hülseanzahl zeigt sich auch bei der Tausendkornmasse ein Jahreseinfluß (1992: 139,6 g; 1993: 148 g), welcher vorwiegend auf die unterschiedliche Bestandesdichte zurückzuführen sein dürfte (1992: 32 Pfl./m², 1993: 39 Pfl./m²).

4. Schlußfolgerungen

Die Ergebnisse der Auswertung der Ertragskomponenten zeigen einerseits einen deutlichen Unterschied der Faktorwirkungen innerhalb der Jahre als auch zwischen den beiden Versuchsjahren 1992 und 1993. Diese Unterschiede dürften vorwiegend auf die ungewöhnlich kühl-feuchte Witterung bis Juni im Versuchsjahr 1992 zurückzuführen sein. So waren in den Monaten April bis Mai 1992 um ca. 80 mm mehr Niederschlag gefallen als im selben Zeitraum 1993 (28,8 mm). Die monatlichen Durchschnittstemperaturen lagen 1992 in den ersten drei Monaten im Vergleich zu 1993 um 2 bis 3 °C niedriger (April 1993: 13,7 °C, Mai 1993: 17,7 °C).

Die Unterschiede der einzelnen Ertragskomponenten zwischen den Varianten sind 1993 beträchtlich größer und leichter absicherbar als 1992.

Einfluß der Düngung:

Steigende organische Düngung läßt 1992 einen positiven signifikanten Einfluß auf den Proteingehalt erkennen, 1993 ergab sich jedoch eine signifikante Abnahme.

Auch die Hülseanzahl und Knotenanzahl reagieren in den beiden Versuchsjahren auf die mineralische und z. T. auf die organische Düngung entgegengesetzt.

Im feucht-kühlen Anbaujahr 1992 zeigte die mineralische Düngung im Gegensatz zu 1993 eine signifikante negative Auswirkung auf den Ertrag, den Protein- und Ölgehalt.

Das Tausendkorngewicht nahm in beiden Versuchsjahren mit steigender mineralischer Düngung ab. Bei der organischen Düngung ist dies weniger deutlich ausgeprägt. Bei einer Kombination mit dem besten Bakterienpräparat ist dies allerdings nicht der Fall.

Einfluß der Bakterienpräparate:

Die Bakterienpräparate übten in beiden Jahren einen positiven Einfluß auf den Ertrag und die Ertragskomponenten aus, wobei – im Gegensatz zur Düngung – in beiden Jahren ein einheitlicher Trend des Einflusses auf die Ertragskomponenten und dem Ertrag gegeben ist.

Das Ertragsniveau aufgrund der besten Bakterienpräparate (Faktor C) war 1993 viel höher als 1992 (1992: Helibioagri mit 3446 kg/ha, 1993 Azofix mit 4180 kg/ha).

1992 lieferte Helibioagri – wegen der besseren Inoculation – in allen Ertragskomponenten die besten Ergebnisse, 1993 zeigten Grip und Azofix die besten Ergebnisse. Dies könnte ein Hinweis auf eine gute Eignung von Helibioagri in kühl-feuchten Anbaugebieten sein. Die Varianten ohne Bakterienimpfung zeigten in beiden Versuchsjahren bei allen Ertragskomponenten und somit auch beim Ertrag die weitaus schlechtesten Ergebnisse, 1992 aber besser als 1993 (1992: 1906 kg/ha, 1993: 1641 kg/ha im Mittel).

Das höchste Ertragsniveau erreichten Grip und Azofix bei den höchsten Düngungsstufen im Jahr 1993 (Grip: 5113 kg/ha, Azofix 4828 kg/ha jeweils bei A3B3).

Zusammenhang zwischen den Ertragsfaktoren und dem Ertrag:

Der Ertrag wird von den verschiedenen Ertragskomponenten in beiden Jahren gleichartig beeinflusst, trotz der unterschiedlichen Bestandesdichte. Ein positiver Zusammenhang besteht zum Proteingehalt, zum Hülsenansatz, zur Knotenanzahl und zur Tausendkornmasse. Ein negativer Zusammenhang besteht zum Ölgehalt. Deutliche Jahresunterschiede bei den Ertragskomponenten aufgrund der unterschiedlichen Bestandesdichte sind nur beim Hülsenansatz pro Pflanze und weniger ausgeprägt bei der Tausendkornmasse gegeben. Das durchschnittliche Ertragsniveau lag 1993 trotz niedrigerer Hülsenanzahl pro Pflanze höher. Dies ist weitgehend durch die höhere Bestandesdichte (Einfluß durch eine Produktionsmaßnahme) und der trotzdem etwas höheren Tausendkornmasse (Witterungseinfluß) erklärbar.

Danksagung

Die zweijährigen Versuche wurden durch großzügige Unterstützung der Kommission für Entwicklungsfragen bei der österreichischen Akademie der Wissenschaften ermöglicht. Dafür sei herzlichst gedankt. An der Versuchsstelle in Karaj geht der Dank an die Mitarbeiter bei diesem Versuch.

Literatur

- BLAIMAUER, J., 1991: Einfluß unterschiedlicher Saatgut- und Bodenbehandlungsmethoden mit Knöllchenbakterien auf das Ertragsverhalten in den österreichischen Hauptproduktionsgebieten bei Sojabohne (*Glycine max* L. Merr.). Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien.
- BUCHINGER, F., 1990: Inoculation der Sojabohne (*Glycine max* L. Merr.). Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.

- ETTLINGER, L., 1983: Möglichkeiten der Beeinflussung der biologischen Stickstoffbindung. *Die Bodenkultur* 34, 365–375.
- FAO, 1993: *FAO Production Yearbook*, Vol. 46, Rome.
- FEHR, W. und C. E. CAVINESS, 1980: Stages of Soybean Development. Special Report 80, Iowa State University, Iowa.
- GRETZMACHER, R., 1978: Die Reaktion der Sojabohne (*Glycine max* L. Merr.) auf unterschiedliche Bestandesdichten. *Die Bodenkultur* 29, 333–350.
- GRETZMACHER, R. und T. WOLFSBERGER, 1990: Die Bewässerungseffizienz bei Sojabohne (*Glycine max* L. Merr.), untersucht in Groß-Enzersdorf an der Sorte Evans in den Jahren 1980 bis 1989. *Die Bodenkultur* 41, 125–135.
- RATH, J., 1992: Auswirkungen der Beimpfung von Sojabohnen (*Glycine max*) mit Knöllchenbakterien auf agronomische Merkmale. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- SAADAT, N. und P. FIRUZEH, 1976: Der Einfluß der N-Düngung und Aussaatzeit auf den Ertrag und den Öl- und Eiweißgehalt von Sojabohnen an einem semiariden Standort des Iran. *Landwirtsch. Forsch.* 29, 170–176.
- SCHLEGEL, H. G., 1976: *Allgem. Mikrobiologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 329–335.
- SCOTT, W. D. und S. R. ALDRICH, 1983: *Modern Soybean Production*, S & A Publ. Inc., Champaign.
- STROMMER, J., 1986: Versuche über die Methodik der Beimpfung von Erbse (*Pisum sativum* L.) und Pferdebohne (*Vicia faba* L.) mit Knöllchenbakterien. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- WEBER, D. F. und V. L. MILLER, 1976: Effect of soil temperature on *Rhizobium japonicum* serogroup distribution in soybean nodules. *Agron. J.* 64, 796–798.
- ZWATZ, B. und B. WODICKA, 1988: Sojabohne auch unter Krankheitsdruck? *Blick ins Land* 23, 10–12.

(Manuskript eingelangt am 3. Mai 1994, angenommen am 28. Juni 1994)

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Dr. Ralph GRETZMACHER und Dipl.-Ing. Dr. Nastaran SCHAHBAZIAN, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität für Bodenkultur, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 Wien; Dipl.-Ing. Dr. H. POURDAVAI, Director of seed and plant improvement Institute, Mard Abad Street, Karaj, Iran