

## Eignung von *Bradyrhizobien*-Impfpräparaten zur Inokulation von Sojabohnen

Zimmer, S.<sup>1,3</sup>, Meßmer, M.<sup>2</sup>, Haase, T.<sup>3</sup>, Mindermann, A.<sup>3</sup>, Schulz, H.<sup>3</sup>, Wilbois, K.-P.<sup>4</sup>, Heß, J.<sup>3</sup>

*Keywords:* Sojabohne, Stickstoff-Fixierung, Inokulation, *Bradyrhizobium japonicum*

### Abstract

*In Europe soybean (Glycine max (L.) Merr.) has gained attention due to its ability to produce high quality protein for human and animal consumption. Under low temperature conditions in Central Europe the inoculation with different Bradyrhizobia inoculants has lead to unsatisfying nodulation results. The aim of this study was to test the ability of commercially available inoculants under cool growing conditions in Central Europe. In 2011 and 2012 four Bradyrhizobia inoculants were tested on three early soybean varieties in a field trial in Germany. The number of nodules was assessed six weeks after sowing and at flowering. Yield and protein content were determined at harvest. Product 1 was inefficient to produce nodules, resulting in a severe reduction in soybean yield and protein content compared to the inoculation with other products. Inoculation with Product 4 resulted in the highest number of nodules for all three varieties in both years. In the first year inoculation with product 4 showed the highest yield and protein content for each of the three varieties (data for year 2 not yet available). A positive correlation between the number of nodules and yield and between the number of nodules and protein content was identified in the first year. The results show the importance of selecting inoculants adapted to cool growing conditions for successful soybean cultivation in Central Europe.*

### Einleitung und Zielsetzung

Aufgrund ihrer Fähigkeit hochwertiges Eiweiß für die Humanernährung und für die Tierfütterung zu produzieren hat die Sojabohne (*Glycine max (L.) Merr.*) in den letzten Jahren in Europa an Aufmerksamkeit gewonnen. Wie jede andere Leguminose, kann auch die Sojabohne mit Hilfe von Soja-spezifischen Knöllchenbakterien (*Bradyrhizobium japonicum*) Luft-Stickstoff binden. Da die *Bradyrhizobien* jedoch natürlicherweise nicht in den mitteleuropäischen Böden vorkommen, müssen die Samen der Sojabohne mit kommerziell verfügbaren *Bradyrhizobien*-Impfpräparaten inokuliert werden. Beim Anbau hat sich in den letzten Jahren jedoch gezeigt, dass die Inokulation vor allem in kühleren Klimaregionen bei einzelnen Präparaten zu unzuverlässiger Knöllchenbildung und damit ungenügender Stickstoffbindung führen kann. Ziel dieser Arbeit ist es, die Eignung kommerziell verfügbarer *Bradyrhizobien*-Impfpräparate zur Inokulation der Sojabohne in kühlen Anbaugebieten in Mitteleuropa zu prüfen.

---

<sup>1</sup> Institut für Biologische Landwirtschaft und Agrarkultur Luxemburg (IBLA), Munsbach; zim-mer@ibla.lu, www.ibla.lu

<sup>2</sup> Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick

<sup>3</sup> Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau (FÖL), Universität Kassel, Witzenhausen

<sup>4</sup> Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frankfurt

## Methoden

Der Versuch wurde 2011 und 2012 auf der „Hessischen Staatsdomäne Frankenhäuser“ dem Lehr- und Versuchsgut der Universität Kassel (51,4°N, 9,4°O, 240 m ü. NN, 650 mm Niederschlag, 8,5°C, Bodenart: mittlerer toniger Schluff, ökologisch bewirtschaftet seit 1998) als Spaltanlage (Großteilstück: Impfpräparat; Kleinteilstück: Sorte) mit vier Wiederholungen angelegt. Es wurden drei frühreife Sojabohnen-Sorten (Merlin, Bohemians, Protina) mit vier kommerziell verfügbaren *Bradyrhizobien*-Impfpräparaten (Produkte 1 bis 4) und einer unbehandelten Kontrolle auf Feldern getestet, auf denen bisher keine Soja angebaut wurde. Die Sojabohnen wurden am 28.04.2011 bzw. 08.05.2012 mit 65 Körnern/m<sup>2</sup> in einer Reihenweite von 37,5 cm ausgesät und am 05.10.2011 geerntet. Die Ernte 2012 steht noch aus. Die Parzellengröße betrug 1,5 x 10 m. Es wurden zwei Knöllchenbonituren durchgeführt: Die erste Bonitur sechs Wochen nach Aussaat (BBCH 13) und die zweite zum Blühende (BBCH 69). Hierbei wurde die Knöllchenzahl pro Pflanze aller aktiven Knöllchen (Innere Knöllchenfarbe rot) bestimmt. Neben dem Ertrag (dt/ha bei 91 % TM), wurde der Proteingehalt (% N bei 100 % TM) mittels NIRS ermittelt. Im zweiten Versuchsjahr wurde Produkt 1 in unverdünnter Form angewandt (20-fach konzentrierter als im ersten Versuchsjahr) aufgrund unzureichender Ergebnisse im ersten Versuchsjahr. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms SAS Version 9.1.

## Ergebnisse

Im ersten Versuchsjahr wurde eine signifikante Wechselwirkung von Impfpräparat mit Sorte hinsichtlich des Merkmals Ertrag festgestellt (Tab. 1).

**Tab. 1: Ertrag (dt/ha bei 91% TM) in Abhängigkeit von Sorte und Impfmittel im Jahr 2011**

	Kontrolle	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3	Produkt 4
Merlin	21,6 f	21,1 f	28,1 bc	30,8 a	31,8 a
Bohemians	17,5 h	19,5 g	26,6 de	25,8 de	26,8 cd
Protina	16,9 h	17,6 h	25,2 e	25,9 de	28,8 b

Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei  $p < 0.05$ .

Die Sorte Merlin ergab in Kombination mit Produkt 4 und Produkt 3 die höchsten Erträge, gefolgt von Sorte Protina mit Produkt 4. Im Gegensatz dazu erzielten alle drei Sorten, die mit Produkt 1 geimpft wurden, einen deutlich geringeren Ertrag und unterschieden sich nicht signifikant von dem der unbeimpften Kontrolle, mit Ausnahme der Sorte Bohemians.

**Tab. 2: Protein (% N bei 100 %TM) in Anhängigkeit von Sorte und Impfmittel im Jahr 2011**

	Kontrolle	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3	Produkt 4
Merlin	26,7 h	27,7 g	35,6 e	35,7 e	38,0 cd
Bohemians	31,4 f	31,9 f	37,2 d	37,3 d	38,9 c
Protina	34,9 e	35,8 e	42,0 b	41,7 b	43,9 a

Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei  $p < 0.05$ .

Bezüglich des Proteingehaltes der Sojabohnen lagen ebenfalls signifikante Wechselwirkungen vor (Tab. 2). Der höchste Proteingehalt wurde von der Sorte Protina in Kombination mit Produkt 4 erzielt, gefolgt von Produkt 2 und Produkt 3. Die Sorten Merlin und Bohemians erzielten ebenfalls die höchsten Proteingehalte nach Inokulation mit Produkt 4, allerdings waren die Gehalte deutlich geringer als bei Protina. Analog zum Ertrag, wurden die geringsten Proteingehalte bei allen Sorten nach Inokulation mit Produkt 1 bzw. bei der unbeimpften Kontrolle gefunden (Tab. 2).

**Tab. 3: Knöllchenzahl pro Pflanze in Abhängigkeit von der Sorte zum ersten und zweiten Boniturtermin (BBCH 13 bzw. BBCH 69) in den Jahren 2011 und 2012**

Sorte	Knöllchenzahl / Pflanze			
	2011		2012	
	BBCH 13	BBCH 69	BBCH 13	BBCH 69
Merlin	5,51 b	11,48 n.s.	7,22 a	23,07 a
Bohemians	6,90 a	15,47 n.s.	4,64 b	18,92 ab
Protina	6,82 a	12,79 n.s.	6,03 ab	16,54 b

Mittelwerte mit verschiedenen Kleinbuchstaben unterscheiden sich signifikant bei  $p < 0.05$ .

Zum ersten Boniturtermin zeigt sich in beiden Versuchsjahren eine signifikante Wirkung der Sorte auf die Knöllchenzahl pro Pflanze (Tab. 3). 2011 bildeten die Sorten Protina und Bohemians signifikant mehr Knöllchen aus als die Sorte Merlin. Im zweiten Versuchsjahr wies die Sorte Merlin signifikant mehr Knöllchen auf als die Sorte Bohemians.

Zum zweiten Boniturtermin zeigt sich nur im zweiten Versuchsjahr eine signifikante Wirkung der Sorte auf die Knöllchenzahl (Tab. 3). Hier bildete die Sorte Merlin signifikant mehr Knöllchen aus als die Sorte Protina.

**Tab. 4: Knöllchenzahl pro Pflanze in Abhängigkeit vom Impfmittel zum ersten und zweiten Boniturtermin (BBCH 13 bzw. BBCH69) in den Jahren 2011 und 2012**

		Kontrolle	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3	Produkt 4
2011	BBCH13	0,0	0,2	5,9 b	5,3 b	8,0 a
	BBCH69	0,0	0,3	12,8 b	9,2 b	17,8 a
2012	BBCH13	0,1	0,0	3,7 b	3,9 b	10,3 a
	BBCH69	0,0	0,1	16,4 b	12,7 b	29,4 a

Mittelwerte mit verschiedenen Großbuchstaben unterscheiden sich signifikant bei  $p < 0.05$ .

In beiden Versuchsjahren und an allen Boniturterminen hatte das Impfpräparat einen Einfluss auf die Knöllchenzahl pro Pflanze (Tab. 4). Die höchste Knöllchenzahl pro Pflanze wies Produkt 4 auf, während sich Produkt 2 und Produkt 3 statistisch nicht unterscheiden.

Im ersten Versuchsjahr war die Knöllchenzahl pro Pflanze positiv mit  $r_s = 0.75$  mit dem Ertrag und mit  $r_s = 0.78$  mit dem Proteingehalt korreliert (Rangkorrelation  $P < 0.01$ ).<sup>1</sup>

## Diskussion

Salvagiotti *et al.* (2008) identifizierten die Stickstoff-Aufnahme als limitierenden Faktor für den Ertrag von Sojabohnen und errechneten aus einer Vielzahl an Studien, dass im Durchschnitt nur 50-60 % des Stickstoff-Bedarfs der Sojabohne durch biologische N<sub>2</sub>-Fixierung gedeckt wird, in Einzelfällen aber bis zu 100 % erreichen kann. In dieser Studie wurden positive Korrelationen zwischen Nodulierungsrate und Ertrag gefunden. Dies unterstreicht die große Wichtigkeit, welche die biologische Stickstofffixierung und damit das Impfpräparat auf einen erfolgreichen Sojaanbau hat.

In Brasilien führte eine für Klima und Boden angepasste Selektion von *Bradyrhizobien* Stämmen zu einer Steigerung der biologischen Stickstoff-Fixierung und des Ertrags (Alves *et al.*, 2008; Hungria *et al.*, 2005). Die unzureichende Knöllchen-, Protein- und Ertragsbildung aller mit Produkt 1 inokulierten Sorten und die vergleichsweise guten Ergebnisse von Produkt 4 zeigen, dass eine Prüfung und Selektion von in der Praxis geeigneten *Bradyrhizobien*-Impfpräparaten auch unter den kühleren Bedingungen in Mitteleuropa zur erheblichen Steigerung des Ertrags und der Qualität von Sojabohnen beitragen kann. Die signifikante Wechselwirkung von Sorte und Inokulum auf den Ertrag und den Proteingehalt weist darauf hin, dass bei der Auswahl von geeigneten Impfpräparaten die verwendete Sojabohnen Sorte berücksichtigt werden sollte.

Die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres weisen darauf hin, dass die Produkte 2, 3 und 4 zur Inokulation von Sojabohnen geeignet sind wobei Produkt 4 am besten abschneidet. Produkt 1 hingegen kann aufgrund der schlechten Ergebnisse nicht empfohlen werden. Bestätigt sich die Korrelation der Knöllchenzahl pro Pflanze mit dem Ertrag und auf dem Proteingehalt, so müsste 2012 das Produkt 4 aufgrund seiner signifikant höheren Knöllchenzahl pro Pflanze wiederum am besten abschneiden.

## Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass die Prüfung und Selektion geeigneter *Bradyrhizobien*-Impfpräparate zur Inokulation von Sojabohnen von entscheidender Bedeutung für den erfolgreichen Anbau von Sojabohnen in kühleren Klimaregionen in Mitteleuropa ist.

## Danksagung

Das Forschungsprojekt wird im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz sowie vom Fonds National de la Recherche, Luxemburg gefördert.

## Literatur

- Alves B.J.R., Boddey R.M., Urquiaga S. (2003): The success of BNF in soybean in Brazil. *Plant Soil* 252, 1-9.
- Hungria M., Vargas M.A.T. (2000): Environmental factors affecting N<sub>2</sub> fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. *Field Crops Res.* 65, 151-164.
- Salvagiotti F., Cassman K.G., Specht J.E., Walters D.T. Weiss A., Dobermann A. (2008): Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Res.* 108, 1-13.