

## Nährstoffversorgung von Ackerbohnen im Ökologischen Landbau

Seehuber, C.<sup>1</sup>, Goldbach, H. und Scherer, H.

*Keywords: Vicia faba, Nährstoff-Gehalt, Düngung, Direktsaat, Schwefel, N<sub>2</sub>-Fixierung*

### Abstract: Nutrient supply of faba bean in Organic Agriculture

*Inadequate nutrient supply frequently limits biological nitrogen fixation (BNF), plant growth and grain yield of legumes. Under no-till conditions, root growth may be restrained and therefore reduce nutrient uptake. Our studies were carried out to assess the nutrient status of Vicia faba L. (particularly at the onset of bloom) in Germany by using newly created DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) norm values, Critical Nutrient Levels (CNL), and the optimum nutrient range. In a field experiment in 2010 at 4 sites (Klein-Altendorf, Wiesengut & 2 organic farms) the applied fertilizers were fermentation residues, compost, pomace, meat-bone-meal, rock-phosphate, sodium-molybdate, potassium sulphate, and borax. Nutrient elements measured in leaf samples were: C, N, S, K, Ca, P, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B and Mo. As S was detected to be deficient, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (35 kg S/ha) had a significantly positive effect on plant growth, yield and symbiosis.*

### Einleitung und Zielsetzung

Um zu überprüfen, welche Nährstoffe in welchem Verhältnis für eine hohe N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung besonders wichtig sind, wurden Düngeversuche mit Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) durchgeführt und deutschlandweit Blattproben für DRIS (Diagnosis & Recommendation Integrated System) gesammelt. Ziel der Untersuchungen war die Optimierung der Düngung auf organisch bewirtschafteten Standorten zur Verbesserung der N-Bilanzen. Gleichzeitig sollte überprüft werden, ob Sekundär-Rohstoff-Dünger (SeRo-Dünger) Lücken in der Nährstoffversorgung schließen können. Es werden Teilergebnisse 3 ausgewählter Versuchsstandorte vorgestellt.

### Methoden

Die Ackerbohnen der Sorte Fuego wurden im trockenen Jahr 2010 mit einer Semeato-Einzelkorn-Direktsaat-Maschine in unbearbeiteten Boden mit einer Mulchschicht von 6 t Stroh/ha (Wiesengut & zwei ökologisch wirtschaftende Praxisbetriebe), in 30 cm tief gegrubberten Boden (Versuchsgut Klein-Altendorf) und in gepflügten Boden (integrierter Versuch von Massucati, Wiesengut) gesät. Es wurden die Mineraldünger: Rohphosphat als Unterfußdüngung, Kaliumsulfat (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), Borax (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> · 10 H<sub>2</sub>O) und Natrium-Molybdat sowie die SeRo-Dünger: Kompost, Fleischknochenmehl (FKM) und Gärückstand breitwürfig ausgebracht (Tab. 1). Die Kontrolle wurde nicht gedüngt. Zu 3 BBCH-Entwicklungsstadien, mit Schwerpunkt auf Beginn bis Mitte Blüte, wurden Blattproben der jüngsten, ausgewachsenen Blätter genommen, bei 50 – 60 °C bis zur

<sup>1</sup> Institut für Nutzpflanzenkunde und Ressourcenschutz – INRES, Pflanzenernährung, Karl-Robert-Kreiten-Str. 13, D-53115 Bonn, Deutschland, [cseehube@uni-bonn.de](mailto:cseehube@uni-bonn.de), <http://www.ipe.uni-bonn.de>

Gewichtskonstanz getrocknet und nach Standardmethoden auf die Gehalte von C, N, S, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, B und Mo analysiert. Als Vergleich dienten vor allem

**Tab. 1: Ausgebrachte Nährstoff- und Düngermengen (kg ha<sup>-1</sup>)**

Dünger	Menge (FM)	K	P	N	S	B	Mo	Mg
1. Rohphosphat	286,0	0	40	0	0	0	0	~ 0,9
2. Na-Molybdat	2,6	0	0	0	0	0	1	0
3. K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	194,0	80	0	0	35	0	0	0
4. Borax	7,6	0	0	0	0	1	0	0
5. Volldüngung*	490,0	80	40	0	35	1	1	0
6. Gärrückstand	23843,0	80	12	55	n. a.	n. a.	n. a.	10
7. Kompost	12947,0	80	19	107	54	n. a.	n. a.	37
8. FKM	560,0	Wenig	40	39	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.

n. a. = nicht analysiert; Roh-P enthält 30 – 45 % Ca und ca. 14 % P

Volldüngung = 1. + 2. + 3. + 4. -> 40 kg P/ha + 80 kg K/ha + 35 kg S/ha + 1 kg Mo/ha + 1 kg B/ha

CNL-Werte und Normalspannen aus Bergmann 1983 und Fageria *et al.* 1997.

## Ergebnisse und Diskussion

**Boden:** Alle Standorte waren gut mit K und P versorgt; der Praxisbetrieb war sogar besonders mit P überversorgt (Tab. 2). Alle K- und P-Gehalte sowie der pH-Wert lagen vor Versuchsbeginn im März/April auf gleichem Niveau wie nach dem Versuch Anfang August. Der pH-Wert, der um 6 schwankte, war für Ackerbohnen recht niedrig, da die Rhizobieninfektion der Wurzeln u. a. bei pH 7 – 8 begünstigt ist. Die N<sub>min</sub>-Werte der ökologisch-betriebenen Standorte lagen deutlich niedriger als die des konventio-

**Tab. 2: Bodentypen und Nährstoffkonzentrationen in 0 – 30 cm Tiefe**

Versuchs-Standort	Bodenart (Ackerzahl)	Vegetations Niederschlag	mg K/100 g Boden	mg P/100 g Boden	pH (CaCl <sub>2</sub> )	N <sub>min</sub> (kg/ha) im Mai
Wiesengut	Brauner Auenboden, IU bis sU	225 mm	19,5 (D)	4,4 (C)	6,3	15
Praxisbetrieb	Sandiger Lehm (60 – 80)	187 mm	19,9 (D)	15,3 (E)	6,0	14
Klein-Altendorf	Löß-Lehm (85 – 90)	191 mm	13,7 (C)	7,2 (C)	5,9	32

(Versorgungsstufe C = optimal, D = hoch, E = sehr hoch); P- & K-Bestimmung nach CAL-Methode

nell-bewirtschafteten Klein-Altendorfs. Die S<sub>min</sub>-Werte (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), die von der Mineralisationsrate der Thiobakterien abhängen (jährlich 10 – 20 kg S<sub>min</sub>/ha), wurden nicht ermittelt. Nach Leisen & Hof-Kautz 2011 und Fischinger *et al.* 2011 liegen die S<sub>min</sub>-Werte bei Ökobetrieben zwischen nicht nachweisbar und 23 kg/ha in 0 - 60 cm Tiefe. Das C:S-Verhältnis im Boden war nicht geeignet, um S-Mangel in Klee gras zu diagnostizieren, da trotz vorgefundenen S-Mangels das C:S-Verhältnis < 200 war.

**Blattproben:** Aufgrund des reduzierten Ackerbohnenwachstums und hellerer Blätter mit einer suboptimalen S-Konzentration in der Kontrollvariante am Wiesengut und Praxisbetrieb wurde auf S-Mangel geschlossen. Eine S-Zufuhr in Form von K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> erhöhte die S- und somit die N-Konzentration über eine verbesserte N<sub>2</sub>-Fixierung. Auch der Ertrag, der durch Trockenstress generell niedrig war, wurde signifikant gesteigert (Tab. 3). So erhöhte auch eine S-Gabe an Luzerne-Klee gras den N-Flächenertrag um bis zu 70 % (Fischinger & Becker 2011) und den Protein-Gehalt von Winterwicken um 210 % (Leisen & Hof-Kautz 2011). Das N:S-Verhältnis der mit S gedüngten Ackerbohnen sank im Vergleich zur Kontrolle, blieb mit 17 aber stets über der oberen Schwelle von 15, die Leisen & Hof-Kautz (2011) als Indikator für S-Mangel verwen-

deten. Das N:S-Verhältnis allein erlaubt keine Diagnose. Die  $\text{SO}_4^{2-}$ -Gabe unterdrückte kompetitiv die Aufnahme des Molybdat-Anions ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) (Marschner 1995, Stout *et al.*

**Tab. 3: Nährstoffe im Ackerbohnenblatt (TM) nach Direktsaat (BBCH 61 – 65)**

Standort	Variante	Ertrag (dt/ha) <sup>1</sup>	N (g/kg)	S (g/kg)	N:S	K (g/kg)	P (g/kg)	Cu (mg/kg)	B (mg/kg)	Mo (mg/kg)
Optimale Element-Konzentrationen			> 50	3 - 5	10 – 19	22 – 39	3,4 – 5,2	10 - 18	20 – 45	1 - 3
Wiesen- gut	Pflug, ungedüngt	21,4	56	2,6	21,5	27	4,4	16,5	15,4	0,31
	Kontrolle	20,0	57	2,5	22,8	33	5,3	16,7	17,1	1,4
	Roh-Phosphat	24,5	59	2,6	22,7	32	4,9	16,8	17,2	1,3
	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	<b>35,2</b>	<b>62</b>	<b>3,6</b>	17,2	35	5,3	19,8	17,0	<b>&lt; 0,25</b>
	Na-Molybdat	26,4	56	2,8	20,0	34	5,3	17,8	18,6	<b>13,0</b>
	Volldüngung**	<b>32,5</b>	<b>62</b>	<b>3,6</b>	17,2	35	4,4	17,7	18,8	1,8
GD 5 % (Tukey-Test)		4,03	2,0	0,23	1,27	2,18	0,62	1,6	1,48	3,04
Signifikanz, F-Wert		**	**	**	**	**	*	**	**	**
Praxis- betrieb	Kontrolle	9,0	55	2,3	23,9	32	4,3	16,7	29,2	7,9
	Roh-Phosphat	10,9	49	2,1	23,3	29	4,0	15,1	25,4	7,3
	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	13,1	58	<b>3,3</b>	17,6	29	3,6	17,1	18,6	<b>1,2</b>
	Volldüngung <sup>2</sup>	12,2	52	<b>3,3</b>	15,8	28	3,3	15,2	<b>34,7</b>	<b>10,3</b>
GD 5 % (Tukey-Test)		3,3	4,8	0,32	1,69	2,9	0,6	1,48	4,42	2,09
Signifikanz, F-Wert		+	**	**	**	*	*	*	**	**
Klein- Altendorf	Kontrolle	30,1	50	2,8	17,9	28	4,0	16,0	25,5	0,6
	Kompost	27,1	53	3,1	17,1	36	4,3	15,5	25,0	0,6
	Gärrückstand	26,9	53	2,9	18,3	33	4,2	15,9	27,3	0,5
	Volldüngung**	28,4	51	3,1	16,5	34	4,3	15,7	25,1	<b>5,1</b>
GD 5 % (Tukey-Test)		4,8	3,5	0,33	1,23	5,3	0,64	1,2	3,98	4,6
Signifikanz, F-Wert		n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.	n. s.	n. s.	**

<sup>1</sup> bei 14 % Feuchte  
TM = Trockenmasse

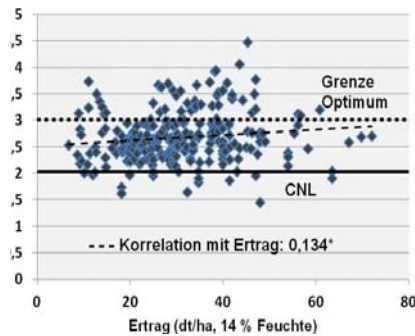
n. s. = nicht signifikant  
+ = signifikant bei P = 10 %

\* = signifikant bei P = 5 %  
\*\* = signifikant bei P = 1 %

1951, Pasricha *et al.* 1977). Trotzdem blieb die Mo-Versorgung meist im optimalen Bereich. Die alleinige Düngung von 1 kg Mo/ha hingegen führte zu einem signifikanten Anstieg der Mo-Blattkonzentration. Die B-Düngung führte nur beim Praxisbetrieb zu höheren Blattkonzentrationen. Es wird angenommen, dass die B-Konzentration der Blätter erst bei Sättigung der Knöllchen steigt, da diese bevorzugt mit B versorgt werden (Marschner 1995). Je nach Zusammensetzung enthält auch Kompost genügend Spurenelemente. Besonders eigneten sich Kompost und Gärrückstand aber als K-Quelle. Nicht so gut war die P-Düngewirkung des FKM, obwohl dessen Phosphat besser pflanzen-verfügbar war als Rohphosphat. Keinen Einfluss auf die Nährstoffverfügbarkeit hatte die Direktsaat. Z.B. erzielten die beiden ungedüngten Varianten „Pflug“ und „Kontrolle-Direktsaat“ beide optimale 83 mg Mn/kg TM (nicht dargestellt). Nicht nur eine optimale Versorgung besonders mit P, K u. Cu (u. a. Effekt auf Photosystem I + Atmung) sind unerlässlich für ein gutes Wachstum mit hoher N<sub>2</sub>-Fixierung, sondern auch mit S. Denn S-Mangel stört die N<sub>2</sub>-Fixierung direkt und indirekt (Pacyna 2005). Die Leghämoglobin-Synthese sinkt (Scherer *et al.* 2008), wodurch der freie Sauerstoff-Gehalt in den Symbionten ansteigt und hemmend auf die Nitrogenase wirkt. Zusätzlich steht weniger Ferredoxin für den e<sup>-</sup>-Transport zur Verfügung. Eine gestörte Proteinsynthese durch Cystein- u. Methionin-Mangel senkt über verminderten Chlorophyll-Gehalt und Photosynthese die N<sub>2</sub>-Fixierung. Folglich erhalten die Symbionten weniger Energie aus Saccharose und Glucose. Dies resultiert in reduziertem O<sub>2</sub>-Verbrauch bzw. im Anstieg des freien O<sub>2</sub>, das die Nitrogenase hemmt.

## Schlussfolgerungen

In Deutschland wird oft zu wenig Wert auf eine angemessene S-Versorgung gelegt. 40 % der Proben lagen im Bereich des Critical Nutrient Levels (CNL) und nur 20 % waren optimal versorgt (Abb. 1). Nach der LWK NRW sollte der  $S_{\min}$ -Gehalt für Leguminosen mind. so hoch sein wie für Getreide, sprich 35 kg/ha. Auch viehhaltende Betriebe müssen trotz der Nährstoffrückführung (Stallmist enthält im Ø 9 kg S/100 dt und Gülle 5 kg S/10 m<sup>3</sup>) mit S-Mangel, vorzugsweise auf auswaschungsgefährdeten Sandböden, rechnen. Da  $SO_2$ -Einträge von ~ 40 kg S/ha über sauren Regen der Vergangenheit angehören – heute sind es ~ 6 – 10 kg S/ha u. Jahr – bedarf der Boden S-Düngung. Optimal gedüngt sind Ackerbohnen mit 30 – 45 kg S/ha als leicht lösliches  $K_2SO_4$  (18 % S), Mg-Sulfaten wie Kieserit (20 % S), Bittersalz (13 % S) zu Vegetationsbeginn (oder Gips/Ca-Sulfat (14,5 % S), Dolosul (7 % S), elementarem S, die erst nach Mineralisation wirken.)



**Abb. 1: Schwefel-Status bei deutschen Ackerbohnen**

## Literatur

- Bergmann W. (1983): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen – Entstehung und Diagnose. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1. Auflage
- Fageria N. K.; Baligar V. C. & Jones C. A. (1997): Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. Second edition. Marcel Dekker, Inc. New York, 624 S.
- Fischinger S. A.; Becker K. & Leithold G. (2011): Auswirkungen unterschiedlicher S-Versorgungszustände auf den N-Flächenertrag eines Luzerne-Klee grasbestandes. Band 1 des Tagungsbandes der 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 183-184 [http://orgprints.org/17658/3/Fischinger\\_17658.pdf](http://orgprints.org/17658/3/Fischinger_17658.pdf) (Abruf 24.11.2012).
- Leisen E. & Hof-Kautz C. (2011): Schwefelmangel bei Grünland und Klee gras? Praxistest und Status-quo-Analyse. Leitbetriebe Ökologischer Landbau Nordrhein-Westfalen 166-170
- Marschner H. (1995): Mineral Nutrition of Higher Plants. Second edition, Academic Press, 889 S.
- Pacyna S. G. M. (2005): Bedeutung des Schwefels für den Ferredoxin- und Leghämoglobin-Gehalt sowie die Energieversorgung in  $N_2$ -fixierenden Leguminosen. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn, Bonner Agrikulturchemische Reihe, Band 22
- Pasricha N. S.; Nayyar V. K.; Randhawa N. S. & Sinha M. K. (1977): Influence of sulphur fertilization on suppression of molybdenum uptake by berseem (*Trifolium alexandrinum*) and oats (*Avena sativa*) grown on a molybdenum-toxic soil. Plant Soil 46, 245-250
- Scherer H. W.; Pacyna S.; Spoth K. (2008): Low levels of ferredoxin, ATP and leghemoglobin contribute to limited  $N_2$  fixation of peas (*Pisum sativum* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) under S deficiency conditions. Biol Fertl Soils 44, 909-916
- Stout P. R.; Meager W. R.; Pearson G. A. & Johnson C. M. (1951): Molybdenum nutrition of crop plants. I. The influence of phosphate and sulfate on the absorption of molybdenum from soils and solution cultures. Plant Soil 3, 51-87