

## Rohphosphatmobilisierung von Sommerweizen, Weißer Lupine und Ackerbohne in einer Fruchtfolge

### Rock phosphate mobilization by summer wheat, white lupin, and faba bean in a crop rotation

D. Steffens<sup>1</sup>, R. Stamm<sup>1</sup>, F. Yan<sup>2</sup>, G. Leithold<sup>3</sup>, S. Schubert<sup>1</sup>

**Key words:** rock phosphate, phosphorus, nutrition, white lupin, faba bean

**Schlüsselwörter:** Rohphosphat, Phosphat, Ernährung, Weiße Lupine, Ackerbohne

#### Abstract:

*In organic farming rock phosphate is used as a mineral P fertilizer, although the agronomic efficiency is limited. The objective of this study was to investigate in field and pot experiments the mobilization of rock phosphate by P-efficient plants (white lupin and faba bean) and the P availability for P-inefficient plants (spinach and maize) during a crop rotation in 2002/2003 and 2003/2004. The P uptake of spinach was higher in a crop rotation with white lupin and faba bean than in a crop rotation with summer wheat. In pot experiments the application of new basic slag phosphate (CaHPO<sub>4</sub>) resulted to a higher P uptake of the plants than rock phosphate.*

#### Einleitung und Zielsetzung:

Seit geraumer Zeit ist die P-Verfügbarkeit im Organischen Landbau, insbesondere auf Standorten mit einem pH-Wert von über 6,5 und bei viehloser Bewirtschaftung kritisch zu beurteilen, da durch die geringe Protonenaktivität und die hohe Ca<sup>2+</sup>Konzentration die Löslichkeit von weicherdigem Rohphosphat stark eingeschränkt ist. Untersuchungen von STEFFENS (1987) zeigen, dass weicherdige Rohphosphate auch nach zehnjährigem Umsatz im Boden nur in geringem Umfang in CAL extrahierbares Phosphat umgewandelt werden. Ferner ist zu berücksichtigen, dass in Europa nur noch P-arme Eisenerze verhüttet werden, so dass kein Thomasphosphat aus der Stahlindustrie für die P-Düngung mehr zur Verfügung steht. Das neue Thomasphosphat (CaHPO<sub>4</sub>) ist im Organischen Landbau nicht zugelassen. Ziel unserer Gefäß- und Feldversuche ist es, die Rohphosphataneignung von P-effizienten Pflanzen (Weiße Lupine und Ackerbohne) zu ermitteln und herauszufinden ob diese P-effizienten Pflanzen Phosphat für P-ineffiziente Pflanzen (Spinat und Mais) mobilisieren können.

#### Methoden:

Die Gefäßversuche, angesetzt in kleinen Mitscherlich-Gefäßen (6 kg Boden) unter natürlichen Lichtbedingungen auf der Gefäßversuchsstation des Instituts für Pflanzenernährung, wurden mit den Böden der Feldversuchsstandorte durchgeführt. Bei den Böden handelt es sich um Löß-Parabraunerden. Die P-Versorgung der Böden lag mit 4,3 mg P/100 g Boden in der Gehaltsstufe B des VDLUFA.

Die Anlage des Feldversuches erfolgte für die Fruchtfolge 2002/2003 (Boden-pH 6,7) sowie 2003/2004 (Boden-pH 6,3) auf dem Gladerbacherhof, Versuchsbetrieb der Professur für Organischen Landbau. Im Feldversuch wurden 2002 zur Aussaat von Sommerweizen (*Triticum aestivum* L., cv. Triso), Weiße Lupine (*Lupinus albus* L., cv. Amiga) sowie Ackerbohne (*Vicia faba* L., cv. Condor) 110 kg P ha<sup>-1</sup> als Gafsa-Phosphat, ein weicherdiges Rohphosphat (12% Gesamt-P), sowie Patentkali zur

---

<sup>1</sup> Institut für Pflanzenernährung, IFZ, Justus-Liebig-Universität, Heinrich-Buff-Ring 26-32, D-35392 Gießen, E-mail diedrich.steffens@ernaehrung.uni-giessen.de

<sup>2</sup> Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität, Ludwigstr. 23, D-35390 Gießen.

<sup>3</sup> Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II, Professur für Ökologischen Landbau, Karl-Glöcknerstr. 21 C, D-35394 Gießen.

Sicherung der K- ( $360 \text{ kg K ha}^{-1}$ , S- ( $260 \text{ kg S ha}^{-1}$ ) und Mg- ( $86 \text{ kg Mg ha}^{-1}$ ) Ernährung gedüngt. Für die Rotation 2003/2004 wurden die P- sowie die Patentkali-Düngung auf die Hälfte reduziert. Die Versuchspartellen, angeordnet in einer Spaltanlage, waren  $3 \times 10 \text{ m}$  groß.

In den Gefäßversuchen, angelegt für die Fruchtfolge 2003/2004, wurde neben dem Gafsa-Phosphat das neue Thomasphosphat (19 % Gesamt-P) geprüft ( $100 \text{ mg P kg}^{-1}$  Boden). In einer weiteren Variante wurde kein Phosphat gedüngt. Nach der Ernte von Sommerweizen, Weißlupine und Ackerbohne in den Gefäß- und Feldversuchen erfolgte die Einarbeitung der Vorfruchtreste und die Aussaat von Spinat (*Spinacia oleracea* cv., Falcon) nach jeder der genannten Hauptfrüchte, um die N-Auswaschung zu reduzieren. Ferner wurde eine Variante ohne Bewuchs eingerichtet. Zur Aussaat von Mais (*Zea mays* L., cv. Agadir) wurde die Winterzwischenfrucht eingearbeitet. In den Feldversuchen wurde kein mineralischer Stickstoff verabreicht. Im Gefäßversuch wurden mit Ausnahme von Weißer Lupine und Ackerbohne die Pflanzen ausreichend mit Stickstoff in Form von  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  sowie mit K ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) und Mg ( $\text{MgSO}_4$ ) gedüngt.

Die bei  $105^\circ\text{C}$  getrockneten Pflanzenproben wurden gemahlen, bei  $550^\circ\text{C}$  im Porzellantiegel verbrannt und die Asche in  $5 \text{ M HNO}_3$  gelöst. In dieser Aschelösung wurde die P-Konzentration mit der Ammoniumvanadat-Molybdat-Gelbmethode von GERI-CKE und KURMIES (1952) analysiert. Die Versuchsergebnisse wurden mit dem Statistikprogramm Statgrafics plus Version 3 verrechnet (zwei-faktorielle Varianzanalyse).

## Ergebnisse und Diskussion:

### Gefäßversuche:

Tab. 1: Einfluss einer Düngung mit Rohphosphat (RP) und neuem Thomasphosphat ( $\text{CaHPO}_4$ ) auf den Kornertrag von Sommerweizen, Weißer Lupine und Ackerbohne im Gefäßversuch 2003. P0: Variante ohne P-Düngung

	Weizen	Weiße Lupine g TM Gefäß <sup>-1</sup>	Ackerbohne
P0	58,4 <sup>a</sup>	50,2 <sup>a</sup>	56,4 <sup>a</sup>
RP	59,6 <sup>a</sup>	49,1 <sup>a</sup>	59,6 <sup>a</sup>
$\text{CaHPO}_4$	63,0 <sup>b</sup>	50,5 <sup>a</sup>	64,6 <sup>a</sup>

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikanten Unterschied

Infolge der P-Düngung stieg der Kornertrag beim Sommerweizen an, wobei das neue Thomasphosphat besser auf den Kornertrag wirkte als das Rohphosphat. Bei der Ackerbohne und Weißen Lupine zeigte die P-Düngung keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den Kornertrag (Tab. 1). Dieser Befund bestätigt das gute Vermögen der Ackerbohne sich Boden-P und apatitisches Dünger-P anzueignen. Die P-Aneignung der Ackerbohne beruht auf einer Nettoprotonenabgabe der Wurzeln (SCHUBERT et al., 1990), die der Weißen Lupine auf einer Nettoprotonenabgabe und Ausscheidung von organischen Anionen (YAN et al., 2002). Die in der Tab. 2 dargestellte P-Aufnahme der Pflanzen spiegelt die Löslichkeit der P-Düngemittel wider. Die höchste P-Aufnahme wurde bei allen Pflanzen in der Variante mit dem neuen Thomasphosphat ermittelt.

Tab. 2: Einfluss einer Rohphosphatdüngung- (RP) und einer Thomasphosphatdüngung ( $\text{CaHPO}_4$ ) auf die P-Aufnahme von Sommerweizen, Weißer Lupine und Ackerbohne im Gefäßversuch 2003. P0: Variante ohne P-Düngung. Angaben in mg P Gefäß<sup>-1</sup>

	Weizen Samen	Stroh	Weiße Samen	Lupine Stroh	Ackerbohne Samen	Stroh
P0	121 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>	169 <sup>a</sup>	25 <sup>a</sup>	167 <sup>a</sup>	25 <sup>a</sup>
RP	125 <sup>a</sup>	18 <sup>a</sup>	174 <sup>a</sup>	28 <sup>a</sup>	186 <sup>a</sup>	28 <sup>a</sup>
$\text{CaHPO}_4$	191 <sup>b</sup>	30 <sup>b</sup>	221 <sup>b</sup>	61 <sup>b</sup>	225 <sup>b</sup>	61 <sup>b</sup>

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikanten Unterschied

Nach dem Einarbeiten der Vorfruchtreste erfolgte der Anbau von Spinat. Nach Anbau von Weißer Lupine und Ackerbohne war die P-Aufnahme von Spinat in der P0- und Rohphosphatvariante höher als nach Anbau von Sommerweizen. Aufgrund der hohen Löslichkeit von  $\text{CaHPO}_4$  ist die P-Aufnahme von Spinat in der Variante mit neuem Thomasphosphat höher als in der P0- und Rohphosphatvariante. Die Vorfrüchte haben in dieser Düngungsvariante einen geringen Einfluss auf die P-Aufnahme von Spinat (Tab. 3).

EL DESSOUGI et al. (2003) beobachten, dass Mais nach Einarbeitung von Ernterückständen der Weißen Lupine weniger P aufgenommen hat als nach Inkorporation von Raps- oder Zuckerrüben-ernterückständen. Die eigenen und die Ergebnisse von EL DESSOUGI et al. (2003) weisen darauf hin, dass eine P-Mobilisierung durch P-effiziente Pflanzen in einer Fruchtfolge auf Stroh- und Rhizosphäreneffekten beruhen kann.

Tab. 3: Einfluss von verschiedenen Vorfrüchten und Düngung mit Rohphosphat (RP) sowie Thomasphosphat ( $\text{CaHPO}_4$ ) auf die P-Aufnahme von Spinat im Gefäßversuch 2003/2004. P0: Variante ohne P-Düngung.

Vorfrucht	Weizen	Weißlupine	Ackerbohne
Düngung		mg P Gefäß <sup>-1</sup>	
P0	34 <sup>a</sup>	47 <sup>b</sup>	37 <sup>a</sup>
RP	57 <sup>a</sup>	73 <sup>b</sup>	61 <sup>a</sup>
$\text{CaHPO}_4$	80 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>	67 <sup>b</sup>

Unterschiedliche Buchstaben zwischen den Vorfruchtvarianten kennzeichnen signifikante Unterschiede

#### Feldversuche:

Unter Feldbedingungen limitiert die N-Verfügbarkeit den Kornertrag von Sommerweizen. Der relativ geringe Ackerbohnen-ertrag ist mit einem starken Pilzbefall zu erklären. Der Ertrag von Weißer Lupine ist im Vergleich zu 2002 im Jahr 2003 relativ hoch. Im Jahr 2003 hat die Weiße Lupine mehr P aufgenommen als Sommerweizen und Ackerbohne, wobei zu erwähnen ist, dass dieses aufgenommene P mit den Körnern vom Feld exportiert wird. Mit dem Stroh verbleibt nur eine geringe P-Menge auf dem Feld (Tab. 4).

Tab. 4: Kornertrag und P-Aufnahme von Sommerweizen, Weißer Lupine und Ackerbohne im Feldversuch 2003

	Weizen		Weiße Lupine		Ackerbohne	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003
Kornertrag (dt ha <sup>-1</sup> )	33,6	36,2	29,5	46,9	26,3	37,9
P-Aufnahme Korn + Stroh (kg P ha <sup>-1</sup> )	15,4	16,3	14,9	21,8	20,6	18,5
P-Aufnahme Stroh (kg P ha <sup>-1</sup> )	3,1	2,0	2,5	3,1	3,7	2,1

Tab. 5: Einfluss verschiedener Vorfrüchte auf die Sprossmasse und die P-Aufnahme von Spinat im Feldversuch

	Weizen		Weiße Lupine		Ackerbohne	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004
Sprossmasse (dt ha <sup>-1</sup> )	1,35	15,6	1,69	21,2	2,43	32,5
P-Aufnahme (kg P ha <sup>-1</sup> )	0,56	7,6 <sup>a</sup>	0,74	11,0 <sup>b</sup>	1,00	15,4 <sup>c</sup>

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede.

Im Jahr 2004 wird nach Weißer Lupine und Ackerbohne mehr Spinatsprossmasse geerntet als nach Sommerweizen. Die P-Aufnahme von Spinat ist signifikant höher nach Weißer Lupine und Ackerbohne als nach Sommerweizen im Jahr 2004 (Tab. 5). Dieses Ergebnis weist daraufhin, dass Weiße Lupine und Ackerbohne mehr P für Spinat mobilisierten als Sommerweizen. Da der Spinat in der Vegetation 2002/2003 stark auswinterterte, sind die Einflüsse der Vorfrüchte auf die Spinatsprossmasse sowie die P-Aufnahme kaum zu erkennen (Tab. 5).

Die Ergebnisse der Maisernten im Jahr 2004 sind noch nicht fertig analysiert, so dass die Ergebnisse nachgetragen werden.

#### **Schlussfolgerungen:**

Die Ergebnisse zeigen, dass Weiße Lupine und Ackerbohne schwerfügbares Phosphat in einer Fruchtfolge für Spinat mobilisieren können. Unter Feldbedingungen ist die Rückfuhr an P durch Stroh der Vorfrüchte relativ gering, so dass eine verbesserte P-Aufnahme von Spinat mit Mobilisierungseffekten von Weißer Lupine und Ackerbohne erklärt werden kann. Im Vergleich zum Gefäßversuch beruht das bessere Spinatwachstum im Feld, neben der P-Mobilisierung der Vorfrüchte, auch auf einer erhöhten N-Verfügbarkeit nach dem Anbau von Weißer Lupine und Ackerbohne.

Unter dem Aspekt der begrenzten Phosphatlagerstätten ist auf Böden mit pH-Werten > 6 eine Düngung mit einem aufgeschlossenen P-Düngemittel langfristig effizienter als eine Rohphosphatdüngung.

#### **Literatur:**

El Dessougi H, zu Dreele A, Claassen N (2003) Growth and phosphorus uptake of maize cultivated alone, in mixed culture with other crops or after incorporation of their residues. J. Plant Nutri. Soil Sci. 166: 254-261.

Gericke S, Kurmies B (1952) Die colorimetrische Phosphorsäurebestimmung mit Ammonium-Vanadat-Molybdat und ihre Anwendung in der Pflanzennalyse. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 104: 235-247.

Schubert E, Mengel K, Schubert S (1990) Soil pH and calcium effect on nitrogen fixation and growth of broad bean. Agron. J. 82: 969-972.

Steffens D (1987) Einfluß einer langjährigen Düngung mit verschiedenen Phosphatdüngerformen auf die Phosphatverfügbarkeit in der Rhizosphäre von Raps. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 150: 75-80.

Yan F, Zhu Y, Müller C, Zörb C, Schubert S (2002) Mechanisms responsible for the release of organic acids by highly phosphorus-efficient white lupin (*Lupinus albus* L.). VII Congress of the European Society for Agronomy. 15.-18. Juli 2002, Cordoba, Spanien, Tagungsband, 427-428.

#### **Danksagung:**

Wir danken dem Bundesprogramm Ökologischer Landbau für die Förderung unseres Projektes "Phosphat-Mobilisierung durch Haupt- und Zwischenfrüchte nach Düngung von weicherdigem Rohphosphat im Ökologischen Landbau"-02OE424.