

## **Wirkung aufbereiteter Klärschlammasche als P-Dünger zu Raps und Mais**

S. von Tucher, M. Fleschhut, R. Zeindl, U. Schmidhalter  
Lehrstuhl für Pflanzenernährung, TU München, Freising

### **1. Einleitung**

Obwohl Schätzungen über die Reichweite wirtschaftlich abbaubarer P-Reserven großen Unsicherheiten unterliegen, ist er weltweite Vorrat an Rohphosphaten aus Lagerstätten in guter Qualität zur Herstellung mineralischer P-Düngemittel begrenzt (Cordell et al., 2009). Es ist zudem zu erwarten, dass der globale Bedarf an P-Düngemitteln in den nächsten Jahren weiter ansteigen wird.

Klärschlammaschen stellen eine nicht unbedeutende Ressource für das Recycling von Phosphor dar. Untersuchungen mit Klärschlammaschen zeigten jedoch oft eine unzureichende P-Verfügbarkeit für Pflanzen (Cabeza et al., 2011), da sie Phosphate geringer Löslichkeit enthalten (Sturm et al., 2010). Um Phosphor aus Klärschlammaschen zurückzugewinnen, sind derzeit bereits eine Reihe von Verfahren in der Entwicklung bzw. Erprobung (Römer, 2012). Durch die Aufbereitung der Aschen mit Säuren ist ein höherer Anteil an wasserlöslichem P zu erwarten, was zu einer besseren Pflanzenverfügbarkeit führt (Schick et al., 2008). Dies trifft insbesondere auf die Aufbereitung mit Phosphorsäure zu, wodurch zusätzlich eine Erhöhung und Standardisierung der P-Gehalte erreicht werden kann. Mit dieser Technologie konnte ein Verfahren zur Herstellung eines P-Düngemittels entwickelt werden, das allen Vorgaben der Düngemittelverordnung hinsichtlich der Gehalte an Metallen, Metalloiden und perfluorierten Verbindungen entspricht (Weigand et al., 2012).

Ziel der vorliegenden Versuche war es, die Wirkung dieses P-Düngemittels zu prüfen, das auf der Basis von mit Phosphorsäure aufbereiteten Klärschlammaschen beruht. Hierzu wurden Gefäßversuche mit Raps und Mais auf zwei Böden mit unterschiedlichen pH-Werten durchgeführt. Zusätzlich wurde das Düngemittel in einem kürzlich umgestellten Langzeitgefäßexperiment zu Weizen geprüft.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Experiment 1: Kultur-/Bodenvergleich**

Der Versuch wurde mit zwei P-armen Böden, beide schluffige Lehme, mit unterschiedlichen pH-Werten durchgeführt (Boden 1: pH 5,5, 1,3 mg CAL-P/100 g; Boden 2: pH 7,5, 0,9 mg CAL-P/100 g). Prüfdünger war eine aufbereitete Klärschlammasche der Firma Recophos® mit einem Gesamt-P-Gehalt von 29,7 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (12,97 % P), davon 20,5 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> wasserlöslich (entspricht 69 % vom Gesamt-P) und einer Granulatgröße bis 2 mm. Als Vergleichsdünger diente das Salz Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. Die gedüngten Mengen beliefen sich auf 250 und 500 mg P/Gefäß (Inhalt 5-Liter; 6,5 kg Boden 1/Gefäß; 7,5 kg Boden 2/Gefäß) für den Prüfdünger und 0, 175, 250 und 500 mg P/Gefäß für den Vergleichsdünger. Die Zumischung zum gesamten Boden erfolgte vor der Saat. Folgende weitere Mineralstoffe wurden gedüngt: 0,9 g (Raps) bis 1,9 g (Mais) N; 1,7 g K; 0,3 g Mg; 0,4 g S/Gefäß. Raps und Mais wurden von November bis Januar für 58 Tage unter Gewächshausbedingungen mit Zusatzbelichtung kultiviert.

Nach der Ernte von Raps wurde eine erneute Aussaat von Mais ohne weitere P-Zufuhr jedoch mit einer Düngung von 1,1 g N/Gefäß durchgeführt. Die Kulturdauer betrug hier 48 (Boden 1) bzw. 42 Tage (Boden 2).

### **2.2 Experiment 2: Platzierung der P-Düngung mit unterschiedlichen Granulatgrößen**

Als Boden wurde schluffiger Lehm mit pH 7,5 und 0,9 mg CAL-P/100 g verwendet. Die beiden Prüfdünger aus aufbereiteter Klärschlammasche der Firma Recophos® mit den beiden Granulatgrößen „fein“ (bis 2 mm; 30,3 % Gesamt-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) und „grob“ (bis 5 mm; 40,0 % Gesamt-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) wurden vor der Saat (1) zum gesamten Boden gegeben oder (2) als Düngerband 3 cm neben und 3 cm unterhalb der Saatreihe in den Mengen 250 und 500 mg P/Gefäß (Inhalt 10-Liter; 13 kg Boden) platziert. Als Vergleichsdünger diente NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, dessen NH<sub>4</sub>-N-Anteil für den Prüfdünger ausgeglichen wurde. Die weitere Düngung belief sich auf 1,35 g N, 1,7 g K, 0,3 g Mg und 0,4 g S/Gefäß. Die Kulturdauer betrug unter Gewächshausbedingungen ab Mitte Februar 72 Tage.

### **2.3 Experiment 3: Langzeitgefäßversuch**

Der seit 2001 bestehende Langzeitversuch wurde mit zwei Böden (Lu) mit unterschiedlichen pH-Werten (Boden 1: pH 4,7; Boden 2: pH 7,5) durchgeführt. Die

P-Düngerformen von 2001 bis 2010 waren Superphosphat, Hyperphosphat und eine nicht-aufbereitete Klärschlammasche (KSA), ab 2012 wurde letztere Düngerform durch ein Recophos®-Produkt (29,7%  $P_2O_5$ ; Granulatgröße bis 2 mm) ersetzt. Aufgrund der unterschiedlichen Vorgeschichte betragen die Boden-CAL-P-Gehalte im Boden 1: 0,44 (ohne P), 2,2 (Super-P), 1,75 (Hyper-P), 1,34 (KSA) mg/100 g Boden und im Boden 2: 1,25 (ohne P), 4,99 (Super-P), 1,42 (Hyper-P) und 1,42 (KSA) mg P/100 g Boden. Die jährlich gedüngte P Menge betrug 218 mg P (entspr. 500 mg  $P_2O_5$ ) pro Gefäß (Inhalt 5-Liter; 7,0 kg Boden 1, 7,0 kg Boden 2). Sommerweizen wurde jeweils ab März unter Bedingungen einer Vegetationshalle bis zur Kornreife unter Zugabe von 0,7 g N, 0,5 g K und 80 mg S kultiviert.

#### 2.4 Analytische Methoden und statistische Auswertung

Zur Berechnung der P-Aufnahme wurden die P-Gehalte der Pflanzen nach Nassveraschung unter geregeltem Druck im Mikrowellenofen nach Zugabe von  $HNO_3$  und  $H_2O_2$  mittels ICP-OES bestimmt. Die Messung der P-Gehalte im Boden erfolgte kolorimetrisch im CAL-Extrakt.

Für die statistische Auswertung der P-Aufnahmen wurden einfaktorielle Varianzanalysen durchgeführt (SPSS Statistics 19). Der Mittelwertsvergleich erfolgte mittels Tukey-Test bei  $p \leq 0,05$ .

### 3. Ergebnisse

Die P-Aufnahme von Raps zeigte in beiden Böden bis zu einer Zugabe von 500 mg P/Gefäß eine deutliche Abhängigkeit von der P-Düngung (Abb. 1). Sowohl im Boden 1 mit pH 5,5 als auch im Boden 2 mit pH 7,5 erreichte die aufbereitete Klärschlammasche (KSAa) auf beiden P-Düngestufen mindestens die gleiche P-Aufnahme wie voll wasserlösliches  $Ca(H_2PO_4)_2$ . Im neutralen Boden mit 500 mg P/Gefäß lag sie mit KSAa sogar signifikant über dem Vergleichsdünger. Ein ähnliches Bild zeigte sich für die P-Aufnahme von Mais im sauren Boden (Abb. 2), wo KSAa und  $Ca(H_2PO_4)_2$  in beiden P-Düngestufen zu vergleichbaren P-Aufnahmen führten. Auf dem neutralen Boden dagegen lag die P-Aufnahme von Mais mit KSAa in beiden Düngestufen nur bei etwas über 60 % im Vergleich zur entsprechenden Menge an  $Ca(H_2PO_4)_2$ .

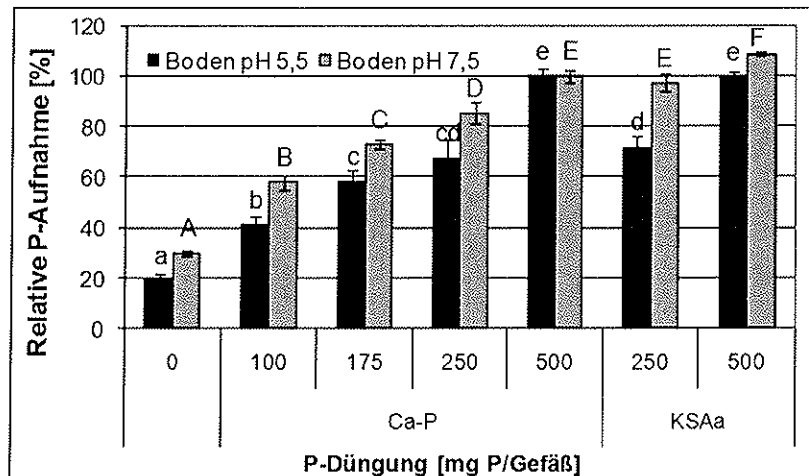


Abb. 1: Wirkung einer P-Düngung mit  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  und aufbereiteter Klärschlammasche (KSAa) auf die relative P-Aufnahme von **Raps** in zwei Böden ( $500 \text{ mg Ca-P} = 100\%$ )

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Dünge­stufen bei  $p \leq 0,05$  im Boden mit pH 5,5 (Kleinbuchstaben) und im Boden mit pH 7,5 (Großbuchstaben)

Wurde Mais ohne erneute P-Düngung als Nachfrucht nach Raps kultiviert, erreichten die mit KSAa erzielten Erträge nicht nur im sauren sondern auch im neutralen Boden auf beiden P-Stufen mindestens das Niveau des voll wasserlöslichen Düngers (ohne Abb.).

Nach einer Bandapplikation von KSAa mit Granulatgrößen bis  $\varnothing 2 \text{ mm}$  („fein“) und bis  $5 \text{ mm}$  („grob“) ergaben sich für die P-Aufnahme von Mais im Boden mit pH 7,5 auf beiden Dünge­stufen keine Unterschiede im Vergleich mit dem voll wasserlöslichen  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  (Abb. 3). Eine vergleichsweise geringere P-Aufnahme war nur zu beobachten, wenn das gröbere Granulat zum gesamten Boden zugemischt wurde.

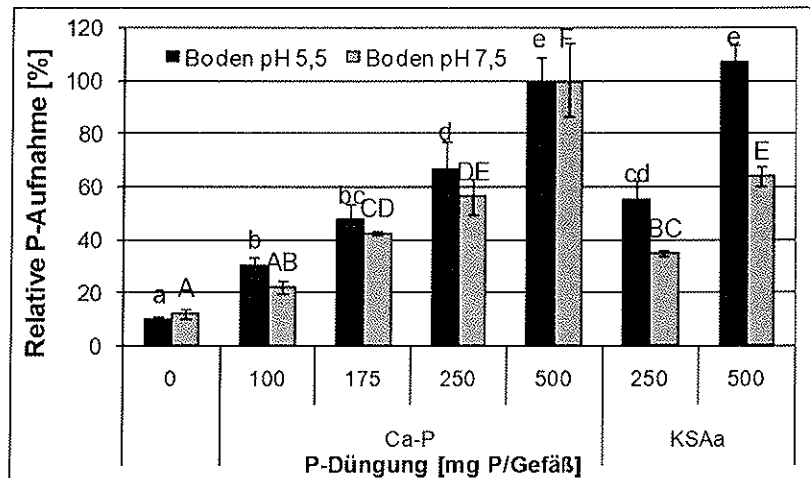


Abb. 2: Wirkung einer P-Düngung mit  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  und aufbereiteter Klärschlammmasche (KSAa) auf die relative P-Aufnahme von **Mais** in zwei Böden (500 mg Ca-P = 100 %) (Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Düngestufen bei  $p \leq 0,05$  im Boden mit pH 5,5 (Kleinbuchstaben) und im Boden mit pH 7,5 (Großbuchstaben))

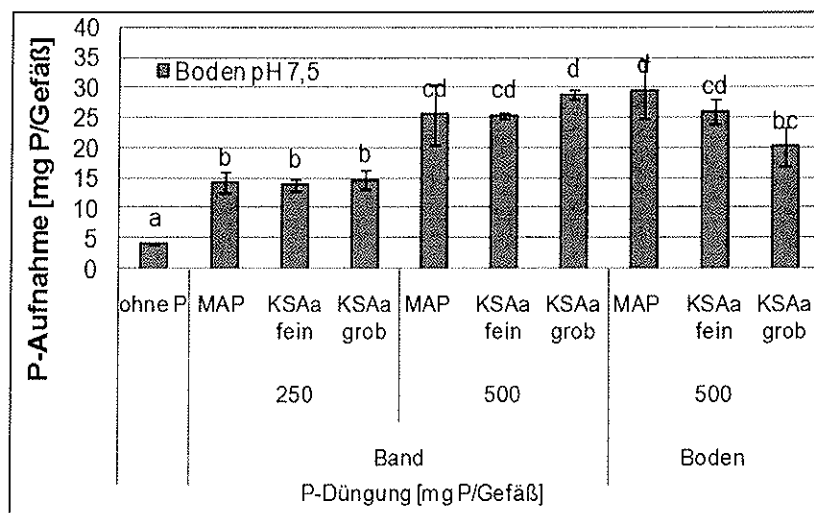


Abb. 3: P-Aufnahme von Mais nach Düngung mit aufbereiteter Klärschlammmasche (KSAa) als Banddüngung bzw. zum gesamten Boden; Granulatgröße „fein“  $\leq 2$  mm, „grob“  $\leq 5$  mm (Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen bei  $p \leq 0,05$ )

In dem seit 2001 bestehenden Langzeitgefäßversuch mit zwei Böden, in dem über einen Zeitraum von 10 Jahren eine nicht aufbereitete Klärschlammasche (KSA) mit den Düngern Superphosphat und Hyperphosphat verglichen wurde, zeigte Weizen im 10. Versuchsjahr mit KSA eine deutlich geringere P-Aufnahme im Vergleich zu Superphosphat (Abb. 4A). Mit 43 % gegenüber Superphosphat (als 100 % gesetzt) lag die P-Aufnahme nach KSA-Düngung im sauren Boden noch unter Hyperphosphat, im neutralen Boden war die P-Aufnahme mit KSA nur wenig über dem sehr niedrigen Niveau nach der Düngung mit Hyperphosphat. Wurde aufbereitete Klärschlammasche (KSAA) eingesetzt (Versuchsjahr 2012), erhöhte sich die P-Aufnahme von Weizen im Vergleich zu Superphosphat auf 96 % im sauren Boden und auf 79 % im neutralen Boden (Abb. 4B).

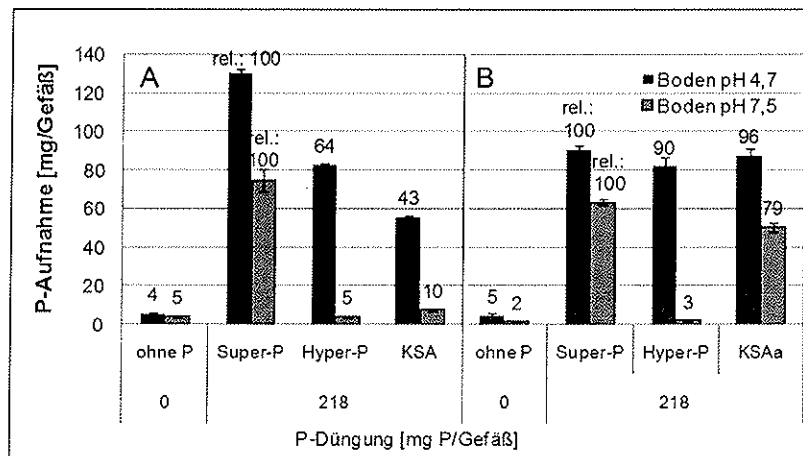


Abb. 4: P-Aufnahme von Sommerweizen nach Düngung mit unterschiedlichen P-Düngern in zwei Böden (A: im 10. Jahr der Anwendung; B: im 12. Jahr, 1-jährige Anwendung von KSAA). Super-P: Superphosphat, Hyper-P: Hyperphosphat, KSA: Klärschlammasche nicht aufbereitet, KSAA: Klärschlammasche aufbereitet; Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung)

#### 4. Diskussion

Das P-Recycling-Produkt aus mit Phosphorsäure aufbereiteter Klärschlamm-asche (KSAA), mit einem Anteil an wasserlöslichem P von ca. 70 %, führte mit Raps, einer Kultur, die eine verstärkte Fähigkeit zur chemischen P-Mobilisierung besitzt (Hoffland et al., 1989), auf beiden Böden zu einer P-Aufnahme, die der nach Düngung mit dem voll wasserlöslichen  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  mindestens vergleich-

bar war. Gleiches galt auf dem sauren Boden für Mais, der in der Jugendphase als eher P-ineffizient gilt. Wurde KSAa zum neutralen Boden zugemischt, wurde im Vergleich zu voll wasserlöslichem P eine etwas geringere P-Aufnahme von Mais beobachtet. Dies konnte jedoch durch die Nutzung des Vorfruchteffekts von Raps wie auch durch eine Bandapplikation von KSAa ausgeglichen werden, da eine geeignete Platzierung von P-Düngern zu einer Erhöhung der P-Konzentration der Bodenlösung, einer höheren Durchwurzelung und in der Folge zu einem höheren P-Influx im Bereich des Düngebands führt (Popp und Claassen, 1995).

Auch zu Weizen zeigte sich mit beiden Boden-pH-Werten eine gute bis sehr gute Wirkung von KSAa, wobei aufbereitete gegenüber nicht aufbereiteter Klärschlammasche deutlich überlegen war. Untersuchungen von Weigand et al. (2012) zur Düngewirkung der KSAa konnten somit bestätigt werden. Die geringe P-Wirkung nicht aufbereiteter KSA stimmt u. a. mit Ergebnissen von Cabeza et al. (2011) überein.

## 5. Zusammenfassende Schlussfolgerungen

Die mit Phosphorsäure aufbereitete Klärschlammasche, die als Produkt unter dem Namen Recophos® im Handel ist, zeigte insgesamt eine sehr gute, meist mit voll wasserlöslichem P-Dünger vergleichbare Düngewirkung, die der nicht aufbereiteten Klärschlammasche deutlich überlegen war. Durch diese Art der Aufbereitung lassen sich standardisierte, wirksame Düngemittel herstellen, die eine unnötige Anreicherung von P mit geringer Düngewirkung im Boden vermeiden helfen.

## 6. Literaturangaben

- Cabeza, R., Steingrobe, B., Römer, W., Claassen, N., 2011: Effectiveness of recycled P products as P fertilizers, as evaluated in pot experiments. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 91, 173-184.
- Cordell, D., Drangert, J.O., White, S., 2009: The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change* 19, 292-305.
- Hoffland, E., Findenegg, G., Nelemans, J., 1989: Solubilization of rock phosphate by rape. II. Local root exudation of organic acids as a response to P starvation. *Plant and Soil* 113, 161-165.

- Popp, M., Claassen, N, 1995: Rationale Grundlagen zur optimalen Platzierung von Düngemitteln. Mittlgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 76, 911-914.
- Römer, W., 2012: Neue Dünger aus Abfällen. DLG Mitteilungen 7, 66-69.
- Schick, J., Kratz, S., Adam, C., Schnug, E., 2008: Zum Düngepotential thermochemisch behandelter Klarschlammmaschen – das EU-Projekt SUSAN. Mitt. Julius Kühn-Inst. 419, 76-82.
- Sturm, G., Weigand, H., Marb, C., Weiß, W., Huwe, B., 2010: Electrokinetic phosphorus recovery from packed beds of sewage sludge ash: yield and energy demand. J. Appl. Electrochem 40, 1069-1078.
- Weigand, H., Bertau, M., Hübner, W., Bohndick, F., Bruckert, A., 2012: RecoPhos: Full-scale fertilizer production from sewage sludge ash. Waste Management, in press,  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.07.009>.