

Auswirkungen eines neuen Phosphatdüngers auf die Versorgung und den Ertrag von Weizen

Aurélien Roger^{1,2}, Sylvain Pluchon², Jean-Claude Yvin², Mohammed Benbrahim³, Laurent Kremer³ und Sokrat Sinaj¹

¹Agroscope, Institut für Pflanzenbauwissenschaften IPB, 1260 Nyon, Schweiz

²Groupe ROUILLER – Centre Mondial d'Innovation, 35800 Dinard, Frankreich

³RITMO Agroenvironnement, ZA Biopôle, 68000 Colmar, Frankreich

Auskünfte: Sokrat Sinaj, E-Mail: sokrat.sinaj@agroscope.admin.ch



Sommerweizen in voller Blüte in einem Gewächshaus-Versuch in Changins.

Einleitung

Phosphor (P) ist ein für die Pflanzenernährung unerlässliches Element. Es spielt eine wichtige Rolle bei zahlreichen Entwicklungsprozessen der Pflanzen, namentlich bei der Photosynthese, der Wurzelentwicklung und der Speicherung von Energie (Marschner 1995). In der Landwirtschaft ist die Phosphatdüngung mit ökonomischen und ökologischen Einschränkungen konfrontiert. Einerseits nehmen die leicht abbaubaren P-Reserven deutlich ab, wodurch die Preise für Phosphatdünger tendenziell steigen (Gilbert 2009). Andererseits birgt eine Phosphatzuführung, die über der für die Versorgung der Kultur erforderlichen Dosis liegt, die Gefahr einer Umweltverschmutzung und wegen Erosions- und Auswaschungs-

prozessen insbesondere das Risiko einer Eutrophierung des Grundwassers (Gillingham und Thorrold 2000; Sharpley *et al.* 2000; Braun *et al.* 2001).

Pflanzen nehmen P in Form von Orthophosphationen (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}) aus der Bodenlösung auf. Je nach Bodentyp und Löslichkeit des zugeführten Düngers, kann sich das im Dünger enthaltene P entweder in der Pflanze befinden oder im Boden, und zwar in assimilierbarer Form in der Bodenlösung oder gebunden an die feste Phase des Bodens. Einfaches Superphosphat (Single Super Phosphate, SSP) gehört zu den in der Schweiz am häufigsten verwendeten Phosphatdüngern und setzt rasch einen grossen Teil des Phosphors in die Bodenlösung frei. Je nach Bodentyp wird das Element mehr oder weniger schnell in die feste Phase des Bodens aufgenommen. Beim Timac-Phosphatdünger (SSP-TIM) handelt es sich um ein Düngergranulat, bei dem natürliches Phosphor zusammen mit einer komplexbildenden Substanz mit einer biostimulierenden Verbindung gemischt ist, die das P nach der Gabe schützt, indem es die Fixierung beschränkt, und die der Pflanze das P schrittweise verfügbar macht. Diese Studie evaluiert die Wirksamkeit des Produkts SSP-TIM für die Phosphatversorgung von Weizen im Vergleich zu herkömmlichem Phosphatdünger (SSP).

Material und Methoden

Probennahme und Vorbereitung des Bodens

Die Bodenproben wurden im Horizont von 0–20 cm aus zwei Parzellen entnommen: aus der Parzelle 10 des Agroscope-Forschungszentrums in Changins und aus einer landwirtschaftlichen Parzelle etwa 40 km südwestlich von Colmar. Nach der Entnahme wurde die Erde bei 40 °C während 48 h getrocknet und anschliessend mit einer Maschenweite von 2 mm gesiebt. Der Boden in Colmar weist einen sauren pH und eine sandige Textur auf, während der Boden in Changins pH-neutral und tonig ist und

eine hohe Kapazität zur Phosphatfixierung besitzt (Sinaj *et al.* 2014).

Düngung mit N, K, S und Mg

Die Mineraldüngung wurde nach den Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF) berechnet (Sinaj *et al.* 2009). Nach den GRUDAF beträgt die erforderliche Gabe für Sommerweizen 120 kg ha⁻¹ N, 70 kg ha⁻¹ K₂O und 10 kg ha⁻¹ Mg. Die Gaben von N, K, S und Mg waren in den beiden Versuchen identisch.

Gemäss Levy Häner *et al.* (2012) liegt die ideale Saattiefe von Sommerweizen bei 450 keimfähigen Körnern pro m². Ausgehend von diesen Daten wurde die erforderliche Menge für einen Topf mit 12 cm Durchmesser (121 cm² Oberfläche, 1 kg getrocknete Erde, 5 Körner pro Topf) für den Versuch in Changins und für einen Topf mit 18 cm Durchmesser (255 cm² Oberfläche, 4,7 kg getrocknete Erde und 20 Körner pro Topf) für den Versuch in Colmar berechnet.

P-Düngung und Umsetzung der Behandlungen

Gemäss Sinaj *et al.* (2009) beträgt die optimale P-Düngung bei Sommerweizen 50 kg P₂O₅ pro Hektare. Es wurden zwei verschiedene P-Dünger eingesetzt: Einfaches Superphosphat (SSP) mit 18% P₂O₅, 4% Mg und 6% S respektive der vom Laboratorium TIMAC-AGRO angebotene Dünger SSP-TIM mit 18% komplexiertem P₂O₅, 0,1% Mg, 13% S und einer biostimulierenden Verbindung. Jeder der beiden P-Dünger wurde in zwei Dosen getestet (0,5 x Norm, d.h. 25 kg P₂O₅/ha bzw. 1 x Norm, d.h. 50 kg P₂O₅/ha). Zu diesen vier Verfahren wurde jeweils eine Kontrollbehandlung ohne Phosphatdünger durchgeführt (negative Kontrolle). Im Versuch Changins umfasste jedes Verfahren 12 Töpfe, im Versuch Colmar waren es acht Töpfe pro Verfahren.

Klimatische Bedingungen und Anordnung der Töpfe im Treibhaus

Im Treibhaus wurde die Temperatur zwischen 10 und 25 °C und die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 50 und 70% gehalten. Die Schwankungen der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit in diesen Grenzen waren auf die Bedingungen im Freien zurückzuführen. Auch die Photoperiode entsprach den lokalen klimatischen Bedingungen. Während des Versuchs wurden die Töpfe täglich mit entmineralisiertem Wasser bewässert, um einen Wassergehalt in der Grössenordnung von 70% der Feldkapazität aufrecht zu erhalten. Jede Woche erfolgte eine Vertauschung der Blocks im Treibhaus, um Verzerrungen durch unterschiedliche Bedingungen innerhalb des Treibhauses zu vermeiden.

Zusammenfassung ■ Phosphor (P) ist ein für das Pflanzenwachstum essentieller Mineralstoff. Da die Reserven an einfach abbaubarem Phosphor weltweit abnehmen und da eine Überdüngung mit diesem Element zu einer Umweltverschmutzung führen kann, ist ein effizienterer Einsatz von Phosphordünger in der Landwirtschaft erwünscht. Zwei unabhängige Versuche wurden bei Agroscope am Standort Changins (Schweiz) und beim Forschungszentrum RITMO in Colmar (Frankreich) durchgeführt, um einen Phosphat-Dünger (SSP-TIM), bei dem komplexiertes Phosphat mit einer biostimulierenden Substanz kombiniert ist, mit dem weit verbreiteten Dünger SSP (einfaches Superphosphat) zu vergleichen. Die Versuche fanden im Treibhaus unter kontrollierten Bedingungen statt. Der Versuch in Colmar wurde auf saurem, sandigem Boden durchgeführt, jener in Changins auf neutralem, tonigem Boden mit hoher Kapazität zur Phosphatfixierung. In beiden Fällen wurden fünf Düngungsverfahren verglichen: eine Kontrolle (keine P-Gabe) und zwei verschiedene Dosen bei jedem der beiden untersuchten Dünger (SSP und SSP-TIM), die 25 kg beziehungsweise 50 kg P₂O₅ pro Hektare entsprachen. Auf saurem Boden konnte mit dem Dünger SSP-TIM bei einer Dosis von 25 kg P₂O₅/ha eine signifikante Steigerung des Gesamtertrags von Weizen im Vergleich zum Dünger SSP erreicht werden. Auch beim tonigen Boden erzielte der Dünger SSP-TIM eine Ertragssteigerung des Weizens, die mit 5% allerdings nicht signifikant war. Für die Schwankungen der Ergebnisse sind verschiedene Faktoren, namentlich das Entwicklungsstadium der Pflanzen und die angewendete Düngerdosis verantwortlich. Diese Studie zeigt, dass der Dünger SSP-TIM in beiden Bodentypen genutzt werden kann, insbesondere wenn die Düngerdosis reduziert ist, was bei zahlreichen Landwirtschaftsbetrieben in der Schweiz zutrifft.

Messungen und Analysen

Im Versuch Changins wurden die Messungen und Analysen zu drei verschiedenen Zeitpunkten des Versuchsablaufs vorgenommen: (P1) Bildung der Ähren (Stadium BBCH 45, 50 Tage nach der Aussaat erreicht), (P2) Ende

der Blüte (Stadium BBCH 69, 64 Tage nach der Aussaat erreicht) und (P3) Vollreife (Stadium BBCH 89, 101 Tage nach der Aussaat erreicht). Pro Düngungsverfahren wurden jeweils bei vier Töpfen Proben genommen. Die Produktivität der Kulturen wurde über die Trockensubstanz der oberirdischen Pflanzenteile (getrocknet bei 50 °C während 48 h) und über die Menge der Körner pro Pflanze bestimmt.

Im Versuch in Colmar wurden zuerst vier Töpfe für die Analyse der Wurzelmorphologie entnommen, die zweite Probenahme erfolgte bei weiteren vier Töpfen zum Zeitpunkt der Reife, um den Weizenertrag und den P-Export zu bestimmen. Die Morphologie des Wurzelsystems wurde im Stadium BBCH45 untersucht. Die Wurzeln von zwei Pflanzen pro Topf wurden sorgfältig herausgelöst und mit Leitungswasser abgespült. Die Wurzelsysteme wurden mit Hilfe eines Scanners mit doppelter Lichtquelle und der Software WinRHIZO® ausgemessen. Mit der Bildanalyse-Software WinRhizo® (Regent Instr. Inc) lassen sich die morphologischen Daten der Wurzeln wie die Gesamtlänge und -oberfläche der Wurzeln bestimmen (Arsenault et al. 1995).

In den beiden Versuchen wurde die relative pflanzenbauliche Effizienz (RPE) der Dünger bei den Stadien zu den drei Entnahmezeitpunkt im Versuch Changins beziehungsweise bei der Ernte im Versuch Colmar gemäss folgender Formel berechnet:

$$RPE = \frac{(\text{Pexportiert SSP-TIM} - \text{Pexportiert Kontrolle})}{$$

(Pexportiert SSP – Pexportiert Kontrolle) * 100. Wobei

Pexportiert Kontrolle: Menge des in die Pflanzen exportierten Phosphors im Kontrollverfahren.

Pexportiert SSP: Menge des in die Pflanzen exportierten Phosphors im SSP-Düngungsverfahren.

Pexportiert SSP-TIM: Menge des in die Pflanzen exportierten Phosphors im SSP-TIM-Düngungsverfahren.

Statistische Analysen

Es wurden Varianzanalysen (ANOVA) durchgeführt, um die Gesamtwirkung der Düngungsverfahren auf die untersuchten Variablen (Parameter zur Wurzelmorphologie, Mengen des in den Weizen exportierten Phosphors und produzierte Biomasse) zu testen. Anschliessend wurden Tests zum Vergleich von je zwei Proben (t-Test) durchgeführt, um signifikante Unterschiede zwischen den Düngern SSP-TIM und SSP bei gleicher Dosis festzustellen. Diese Tests wurden ohne Anpassungen vorgenommen und unabhängig davon, ob die Daten normalverteilt waren oder nicht. Die relative pflanzenbauliche Effizienz wurde anschliessend nach Frossard et al. (2004) berechnet. Alle statistischen Analysen wurden mit der Software R 3.0.1 (R Core Team 2013) durchgeführt.

Resultate und Diskussion

Morphologie der Weizenwurzeln

Die Analyse der Wurzelmorphologie im Versuch Colmar ergab keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamtlänge und -oberfläche der Wurzeln und ebenso wenig auf die Anzahl vorhandener Wurzelspitzen. Dennoch wurde eine Zunahme dieser Parameter beim Dünger SSP-TIM verglichen mit dem Verfahren ohne Phosphatdüngung festgestellt. Umgekehrt zeigten die Weizenpflanzen bei der Gabe von SSP-Dünger eine leichte Verminderung dieser Parameter im Vergleich zur Kontrolle und eine noch grössere, aber immer noch nicht signifikante Verminderung im Vergleich zum Verfahren SSP-TIM. Von den untersuchten Parametern ergab die Gesamtlänge der Wurzeln mit einem Durchmesser von 1 bis 1,5 mm einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Phosphatdünger-Formen (Tab. 1).

P-Aufnahme durch den Weizen

Abbildung 1 zeigt die gesamten zu den verschiedenen Zeitpunkten von den Pflanzen exportierten P-Mengen im Versuch Changins nach den fünf Düngungsverfahren. Wenn die halbe P-Düngernorm angewendet wurde (25 kg P₂O₅ pro ha), waren die Mengen des von den Pflanzen exportierten Phosphors zum Zeitpunkt der ersten Entnahme (Anschwellen des Stängels, 50 Tage nach der Aussaat) bei beiden Düngerformen gleich und liessen sich nicht von der Kontrolle unterscheiden. Bei der zweiten Entnahme (Ende der Blüte, 64 Tage nach der Aussaat) exportierten die mit SPP-TIM gedüngten Pflanzen dagegen signifikant mehr P als die mit SSP gedüngten Pflanzen oder die Pflanzen ohne P-Düngung. Bei der Schlussernte (101 Tage nach der Aussaat) waren die durchschnittlichen Mengen des exportierten P bei den gedüngten Pflanzen (Düngungsverfahren SSP-TIM und SSP) gleich, lagen aber über den von den Kontrollpflanzen exportierten P-Mengen. Bei Gabe der halben

Tab. 1 | Einfluss der Phosphatdünger-Form (bei einer Dosis von 50 kg P₂O₅/ha) auf die Morphologie des Wurzelsystems von Weizen im Stadium BBCH 47 (Referenz ist das Kontrollverfahren)

Eigenschaften der Wurzeln	SSP	SSP-TIM	ANOVA
	%		
Gesamtlänge der Wurzeln (mm)	–19	0	ns
Länge der Wurzeln mit 1 bis 1,5 mm Durchmesser (mm)	–31	27	p < 0,05
Gesamtvolumen der Wurzeln (mm ³)	–3	55	ns
Gesamtzahl der Wurzelspitzen	–6	10	ns

Tab. 2 | Relative pflanzenbauliche Effizienz (RPE) der Dünger SSP und SSP-TIM bei Weizenkulturen: Beobachtung der Dynamik bei pH-neutralem Boden (Versuch Changins)

Dosis	Dünger	Anschwellen des Stängels (50 Tage nach Aussaat)	Blüte (64 Tage nach Aussaat)	Ernte (101 Tage nach Aussaat)
25 kg P ₂ O ₅ /ha	SSP-TIM	3,15%	14,13%	19,40%
	SSP	4,62%	7,87%	18,62%
50 kg P ₂ O ₅ /ha	SSP-TIM	2,16%	12,45%	15,26%
	SSP	4,82%	7,01%	11,45%

Tab. 3 | Relative pflanzenbauliche Effizienz (RPE) der Dünger SSP und SSP-TIM bei Weizenkulturen auf saurem Boden (Versuch Colmar)

Dosis	25 kg P ₂ O ₅ /ha			50 kg P ₂ O ₅ /ha		
	SSP	SSP-TIM	Anova	SSP	SSP-TIM	Anova
RPE	6,90%	7,30%	ns	5,03%	5,73%	ns

Düngungsnorm hatte die Art des Düngers also keinen Einfluss auf die Gesamtmenge des von den Pflanzen exportierten P, er veränderte allerdings die Dynamik der Entnahme: Beim Dünger SSP-TIM erfolgte die P-Aufnahme früher. Die durchschnittliche exportierte P-Menge der mit SSP gedüngten Pflanzen war bei der Ernte mit 25 kg/ha erstaunlich hoch. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass zwei der vier geernteten Pflanzen unerwartet hohe P-Konzentrationen aufwiesen.

Wenn die Düngergaben der Düngungsnorm (50 kg P₂O₅/ha) entsprachen, konnten wir ebenfalls bei den mit SSP-TIM gedüngten Pflanzen eine frühere P-Aufnahme beobachten. Zusätzlich stellten wir aber auch einen signifikanten Unterschied zwischen der Anwendung der beiden Dünger bei der Gesamtmenge des von den Pflanzen zum Zeitpunkt der Ernte entnommenen P fest (SSP-TIM > SSP, p = 0,028).

Die relative pflanzenbauliche Effizienz (RPE) der Dünger, die dem Anteil des im Dünger enthaltenen Phosphors entspricht, der von der Pflanze aufgenommen wird, ist in Tabelle 2 für den Versuch Changins aufgeführt. Die wichtigste Erkenntnis aus diesen Ergebnissen ist, dass die RPE für den Dünger SSP-TIM bei der Ernte leicht höher liegt, und beträchtlich höher zum Zeitpunkt der Blüte (praktisch doppelt so hoch bei einer P-Gabe, die der Hälfte der Düngungsnorm entspricht), was die Beobachtungen zur Dynamik der P-Aufnahme bestätigt (Abb. 1).

Im Versuch Colmar wurde die RPE nur bei der Ernte bestimmt (Tab. 3). Die Ergebnisse zeigen, dass sich die RPE für die beiden Dünger am Ende des Versuchs nicht signifikant unterscheiden.

Weizenertrag

Auf saurem Boden (Versuch Colmar) hatte die P-Düngung eine signifikante Erhöhung der Biomasse des Stroh und der Ähren im Stadium BBCH45 zur Folge (Abb. 2). Beim Stroh wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Düngern SSP und SSP-TIM festgestellt. Dagegen ist für beide Dosen die Biomasse der Ähren bei den Verfahren mit SSP-TIM signifikant höher als bei den Verfahren mit SSP.

Im Versuch Changins mit neutralem Boden zeigen die Ergebnisse für die Ernte bei den Düngungsverfahren gegenüber dem Kontrollverfahren eine signifikante Steigerung der Erträge von Körnern und Stroh (Abb. 3). Bei der Dosis 25 kg P₂O₅/ha lässt sich bei der Düngung mit SSP-TIM gegenüber dem Dünger SSP eine tendenzielle Zunahme des Stroh um 10% und des Körnerertrags um 18% beobachten. Bei der Dosis 50 kg P₂O₅/ha lässt sich beim Dünger SSP gegenüber dem Dünger SSP-TIM ein Trend zu einem höheren Strohertrag erkennen.

Weil die Versuche im Treibhaus stattfanden, konnten viel feinere und präzisere Messungen zur P-Aufnahme durch die Pflanzen durchgeführt werden. Durch die Versuchsanordnung im Treibhaus stand den Pflanzen andererseits im Vergleich zu natürlichen Bedingungen nur eine beschränkte Bodenmenge zur Verfügung, was eine Übernutzung des Bodens durch das Wurzelsystem und eine Begrenzung der Biomassenproduktion zur Folge hatte (insbesondere im Versuch in Changins mit den

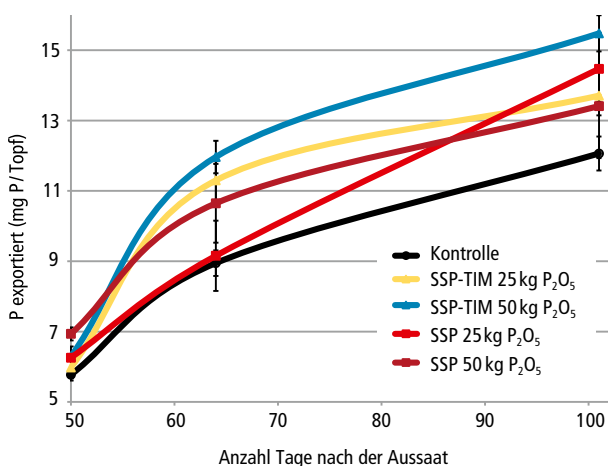


Abb. 1 | Dynamik der P-Aufnahme durch Weizen je nach Dosis und Form des angewendeten Düngers (Versuch Changins, Mittelwerte mit Standardfehler).

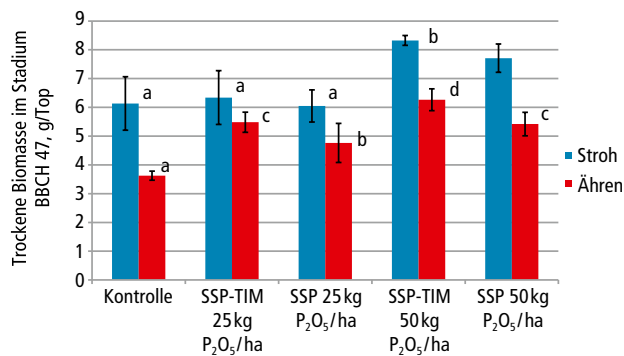


Abb. 2 | Wirkungen der verschiedenen Düngungsverfahren auf die Biomasse von Weizen im Stadium BBCH45 auf saurem Boden (Versuch Colmar, Mittelwerte mit Standardfehler).

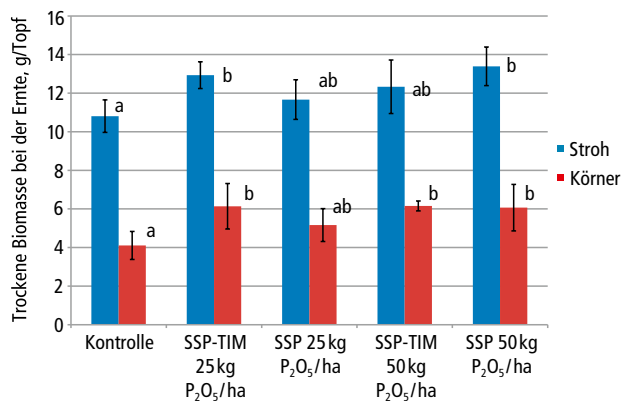


Abb. 3 | Wirkungen der verschiedenen Düngungsverfahren auf die Biomasse von Weizen bei der Ernte, auf neutralem Boden (Versuch Changins, Mittelwerte mit Standardfehler).

kleineren Kulturtöpfen). Die Ergebnisse der Treibhausversuche zum Einfluss der Dünger auf die Weizenenerträge sind deshalb im Sinne von Hinweisen zu interpretieren und für zuverlässigere Ergebnisse wird es unerlässlich sein, einen Freilandversuch durchzuführen.

Mit dieser Studie konnten bestimmte Vorteile des Phosphatdüngers SSP-TIM im Vergleich zum entsprechenden Referenzprodukt festgestellt werden. Diese Vorteile waren jedoch oft nur bei zwischenzeitlich genommenen Proben deutlich und bei der Schlussernte nicht mehr erkennbar. Dieses Phänomen wurde sowohl beim Versuch Changins mit neutralem Boden als auch beim Versuch Colmar mit saurem Boden festgestellt. Die Ergebnisse dieser Studie sind ziemlich eindeutig, was die Mengen des durch die Pflanzen exportierten P betrifft, aber sie sprechen bezüglich der Erträge nicht für eine klare Bevorzugung eines Düngers gegenüber dem anderen. Konkretere Schlüsse lassen die Unterschiede zwischen dem Dünger SSP-TIM und dem Referenzdü-

nger bei der halben Dosis zu: Es lässt sich vermuten, dass der Dünger SSP-TIM durch den Mechanismus zum Schutz und zur langsameren Verteilung des P effizienter ist, gerade bei reduzierter Dosis. Dieses Ergebnis ist insbesondere im Kontext der Schweizer Landwirtschaft interessant, in der zahlreiche landwirtschaftliche Parzellen gut mit P versorgt sind und die erforderliche Dosis an Phosphatdünger oft unter der Düngungsnorm liegt (Roger et al. 2013). Das Ergebnis wird im Übrigen gestützt durch morphologische Analysen der Wurzeln beim sauren Boden. Tatsächlich unterscheiden sich Gesamtlängen und Gesamtoberflächen der Wurzeln zwischen den beiden Düngern nicht signifikant, auch wenn sich tendenziell eine stärkere Entwicklung des Wurzelsystems bei den Anwendungen des Düngers SSP-TIM feststellen lässt (Tab. 1). Das deutet darauf hin, dass die Unterschiede bei der P-Aufnahme hauptsächlich auf die Form des Düngers und nicht auf ein stärker verzweigtes Wurzelsystem zurückzuführen sind, das bei den Mechanismen der P-Aufnahme durch die Getreidepflanzen ein wichtiger Faktor sein kann (Gahoonia et al. 2009). Es ist wahrscheinlich, dass die im Dünger SSP-TIM eingesetzte Technologie eine bessere Bioverfügbarkeit des P ermöglichte. Es wäre interessant die beiden Dünger über ein breiteres Spektrum von Dosen zu vergleichen, um zu bestimmen, welche Mengen des Düngers SSP-TIM dem Referenzdünger SSP entsprechen. Dadurch liesse sich die Effizienz des Düngers SSP-TIM im Vergleich zum Referenzdünger SSP – bei gleichem Ertrag der Kulturen – ermitteln.

Im Zusammenhang mit den gegenwärtigen weltweiten Bestrebungen zum Schutz nicht-erneuerbarer Ressourcen, zu denen auch das P gehört, muss der Untersuchung von Technologien, welche eine bessere Effizienz von Düngern und damit eine Reduktion der Düngergaben ermöglichen, eine hohe Priorität eingeräumt werden.

Schlussfolgerungen

Dieser Versuch zeigt, dass der Schutz von P im Dünger SSP-TIM die Nutzung des P durch die Sommerweizenkulturen verbessert, indem er eine frühere Assimilation sicherstellt. Dagegen liess sich mit diesem Versuch nicht bestätigen, dass der Dünger SSP-TIM Vorzüge im Hinblick auf den Weizenenertrag aufweist. Vor dem Hintergrund der weltweiten P-Problematik, einer Agrarpolitik in der Schweiz, die eine ökologisch verträgliche Landwirtschaft fördert, und des P-Versorgungsstands in den Schweizer Böden, könnte die beim Dünger SSP-TIM eingesetzte Technologie eine interessante Alternative zu herkömmlichen P-Düngern darstellen. ■

Riassunto**Effetti di un nuovo concime fosfatico sull'alimentazione e sulla resa del grano**

Il fosforo (P) è un elemento minerale essenziale per la crescita delle piante. Poiché la riserva mondiale di fosforo facilmente estraibile è in diminuzione e una fertilizzazione eccessiva di questo elemento può costituire una fonte di inquinamento, occorre migliorare l'efficacia dei concimi fosfatici nell'agricoltura. Due esperimenti indipendenti sono stati condotti presso la sede di Agroscope a Changins (Svizzera) e a RITTMO-Colmar (Francia) per confrontare l'efficacia di un concime che combina un fosfato complesso con una sostanza ad azione biostimolante (SSP-TIM) con quella di un concime fosfatico normalmente utilizzato: il superfosfato semplice (SSP). Ciascun esperimento si è svolto in serra in condizioni controllate. L'esperimento realizzato a Colmar è stato condotto su un suolo acido e sabbioso, quello a Changins su un suolo neutro, argilloso con una forte capacità di fissazione del fosforo. In entrambi i casi sono stati comparati cinque procedimenti: un controllo (senza apporto di P) e due dosi differenti per ognuno dei due concimi (SSP e SSP-TIM) equivalenti a 25 e a 50 kg di P₂O₅ per ettaro. Sul suolo acido, il concime SSP-TIM con la dose di 25 kg P₂O₅ per ettaro ha consentito un aumento significativo del 19 per cento del rendimento totale del grano rispetto al concime SSP. Sul suolo argilloso, anche il concime SSP-TIM ha comportato un aumento positivo, ma non significativo, del 5 per cento del rendimento del grano. I risultati variano a seconda di vari fattori tra cui lo stadio di sviluppo della pianta e la dose di concime applicata. Questo studio mostra che il concime SSP-TIM può essere valorizzato sui due tipi di terreni, soprattutto quando la dose del concime è ridotta, il che corrisponde a molte situazioni dell'agricoltura svizzera.

Literatur

- Arsenault J.-L., Pouleur S., Messier C. & Guay R., 1995. *WinRHIZO*, a root-measuring system with a unique overlap correction method. *HortScience* **30**, 906.
- Braun M., Aschwanden N. & Wütrich-Steiner C., 2001. Abschwemmung von Phosphor. *Agrarforschung* **8** (1), 36–41.
- Frossard E., Julien P., Neyroud J.-A. & Sinaj S., 2004. Phosphor in Boden: Standortbestimmung Schweiz, Schriftenreihe Umwelt Nr. 368, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 180 S.
- Gilbert N., 2009. The disappearing nutrient. *Nature* **461**, 716–718.
- Gillingham A. G. & Thorrold B. S., 2000. A review of New Zealand research measuring phosphorus in runoff from pasture. *Journal of Environmental Quality* **29**, 88–96.
- Gahoonia T. S., Nielsen N. E. & Lyshede O. B., 1999. Phosphorus (P) acquisition of cereal cultivars in the field at three levels of P fertilization. *Plant & Soil* **211**, 269–281.

Summary**Effects of a new phosphate fertiliser on wheat nutrition and yield**

Phosphorus (P) is an essential mineral for plant growth. Given that easily extractable global stocks of P are declining and that P over-fertilisation can be a source of pollution, it would appear necessary to improve the efficiency of phosphate fertilisers in agriculture. Two independent experiments were carried out at Agroscope Changins (Switzerland) and RITTMO-Colmar (France) to compare the efficiency of a fertiliser combining a complexed phosphate with a biostimulant (SSP-TIM) to the currently used phosphate fertiliser, the simple superphosphate (SSP). Each experiment was conducted in a greenhouse under controlled conditions. The experiment in Colmar was conducted on an acidic sandy soil, the one in Changins on a neutral clay soil with a high P-fixing capacity. In both cases, five treatments were compared: a control (no P input) and two different doses for each of the two fertilisers (SSP and SSP-TIM) equivalent to 25 and 50 kg of P₂O₅ per hectare, respectively. On the acidic soil, the SSP-TIM fertiliser at the 25 kg P₂O₅/ha dose produced a significant increase in total wheat yield 19% higher than that achieved by the SSP fertiliser. On the clay soil, the SSP-TIM also brought a positive of 5% but not significant increase in wheat yield. Results vary according to the stage of development of the plant and the dose of applied fertiliser, among other factors. This study shows that the SSP-TIM fertiliser can be used to good effect in both types of soil, especially when the dose of fertiliser is reduced, which corresponds to numerous agricultural situations in Switzerland.

Key words: phosphorus, fertilizer, agriculture, wheat, environment.

- Levy Häner L., Collaud J.-F., Schwärzel R., Bertossa M., Hiltbrunner J., Anders M., Stoll P., Weisflog T., Scheuner S., Chassot A. & Zürcher J., 2012. Liste der empfohlenen Getreidesorten für die Ernte 2013. *Agrarforschung Schweiz* **3** (6).
- Marschner H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, 2^e édition, 889 p. Academic Press, London.
- R Core Team, 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Zugang: <http://www.R-project.org>.
- Roger A., Libohova Z., Rossier N., Joost S., Maltas A., Frossard E. & Sinaj S., 2013. Spatial variability of soil phosphorus in the Fribourg canton, Switzerland. *Geoderma* **217**, 218, 26–36.
- Sharpley A., Foy B. & Withers P., 2000. Practical and innovative measures for the control of agricultural phosphorus losses to water: An overview. *Journal of Environmental Quality* **29**, 1–9.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF). *Agrarforschung Schweiz* **16** (2), 98 S.