

# Schon heute einer Verknappung entgegenwirken

## Phosphor optimal einsetzen, Teil 1

Die Anwendung phosphorhaltiger Düngemittel erregt nicht erst im Zug der neuen Düngeverordnung die Aufmerksamkeit staatlicher Behörden, vieler Umweltverbände sowie weiter Teile der Gesellschaft. Hierbei stehen besonders die Auswirkungen des Phosphor (P) für naturnahe Ökosysteme an Land und insbesondere im Wasser im Rampenlicht. Wie die P-Anwendung weiter optimiert werden kann, erläutert Dr. Jochen Brust.



Nur bei guter Bodenstruktur können Pflanzen Phosphor effizient im Boden erschließen.

Die Anwendung von Phosphor in der Landwirtschaft geschieht nicht grundlos, sondern ist seiner bedeutenden Rolle im Stoffwechsel der Pflanzen geschuldet. Dort nimmt Phosphor als essentieller Bestandteil von Erbinformationen, Zellwänden und Enzymen sowie als entscheidender Energieträger aller Stoffwechselfvorgänge eine unerlässliche Funktion ein, wodurch er maßgeblich für Ertragshöhe und -sicherheit verantwortlich ist. P-Mangel ist unter anderem an einem kümmerlichen Spross- und Wurzelwachstum, einer Starrtracht der Pflanze sowie den charakteristisch erst dunkelgrün dann rötlich-violett verfärbten Blättern erkennbar.

Anders als etwa Stickstoff oder Schwefel wird Phosphor nicht über die Luft ein- oder ausgetragen, weshalb der ursprüngliche Gehalt eines Standortes von den vorhandenen sowie im Zuge der Bodenbildung umgewandelten Mineralien abhängt. Eine nennenswerte Zufuhr findet somit nur durch den Menschen in Form von organischen sowie anorganischen Düngemitteln statt.

Aufgrund weltweit schwindender P-Reserven ist bereits in wenigen Jahren mit einem starken Rückgang der Fördermengen und infolgedessen mit einer Verteuerung zu rechnen.

### Mit Bodenbearbeitung Verdichtungen beseitigen

Diese Gründe machen es notwendig, die P-Ausnutzung im Ackerbau weiter zu steigern, um auch zukünftig eine ökonomisch rentable und ökologisch verträgliche Pflanzenproduktion zu sichern. Voraussetzung hierfür ist jedoch die Kenntnis grundlegender Einflussfaktoren, von welchen die P-Ausnutzung abhängt.

Pflanzen nehmen Phosphor in wasserlöslicher Form als Hydrogenphosphat ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) oder Dihydrogenphosphat ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) aus der Bodenlösung auf. Wasserlöslicher Phosphor beginnt sich im Boden jedoch binnen weniger Tage in unlösliche Verbindungen umzuwandeln, deren Verlagerung nur noch durch Diffusion erfolgt und auf einen Radius von etwa zwei bis fünf

Zentimeter begrenzt ist. Da Temperatur und Wassergehalt des Bodens maßgeblich die Diffusion beeinflussen, ist die P-Verfügbarkeit bei Temperaturen unter  $14\text{ }^\circ\text{C}$  sowie bei Trockenheit stark eingeschränkt. Selbst unter günstigeren Bedingungen muss die Pflanze zum Phosphor hinwachsen, weshalb nur gut durchwurzelbarer Boden mit einer intakten Struktur ohne Schadverdichtungen zur P-Versorgung beitragen kann.

### Pflugsohlen vermeiden, Durchwurzelung fördern

Die Vermeidung von Schadverdichtungen ist somit Voraussetzung für eine optimale P-Ausnutzung, weshalb Überfahrten nur bei tragfähigem Boden mit angepasster Achslast und ausreichend dimensionierter Bereifung erfolgen sollten. Die Lockerung von Schadverdichtungen kann nur bei tiefreichend trockenen Bedingungen mit schmalen, wenig mischenden Zinken erfolgen. Anschließend muss eine biologische Verbauung den verdichtungsempfindlichen Boden durch mehrjährige Futterpflanzen, Wintergras oder Zwischenfrüchte stabilisie-



Ein kräftiges Wurzelsystem ist Voraussetzung für Erschließung, Freisetzung und Aufnahme von Phosphor.



*Pflugsohlen verhindern die Durchwurzelung des Unterbodens, wodurch der aufnehmbare P-Vorrat des Standortes stark reduziert wird.*

ren, was allerdings nur in Kombination mit einer nachfolgend veränderten Bewirtschaftung langfristigen Erfolg verspricht.

Zur Verbesserung der P-Versorgung ist im Zuge jeder Grund- und Saatbettbereitung eine ausreichende Krümelung des Bodens anzustreben, wofür der Boden jedoch den passenden Feuchtezustand aufweisen muss. Insbesondere auf tonigen Böden gilt es, vor der Bearbeitung mit Spaten und Hand zu klären, ob diese überhaupt zum gewünschten Ziel führt. Damit die P-Reserven des Unterbodens ausreichend von den Pflanzen erschlossen werden können, muss die Bildung einer ausgeprägten Pflugsohle vermieden werden, weshalb bei feuchtem oder wassergesättigtem Boden keine Pflugarbeiten erfolgen sollten.

**Erhöhte Wasserinfiltration senkt den P-Oberflächenabfluss**

Im Allgemeinen ist nach einer langjährigen pfluglosen Bewirtschaftung bei fachgerechter Durchführung eine bessere Bodenstruktur sowie Durchwurzelung des Unterbodens festzustellen als auf gepflügten Flächen. Weitere Vorteile pflugloser Bodenbearbeitung sind eine erhöhte Wasserinfiltration sowie Aggregatstabilität, wodurch Erosion und oberflächlich abfließendes Wasser (Runoff), die wichtigsten Verlustpfade für Phosphor, wesentlich verringert werden. Auch wenn bei pflugloser Bewirtschaftung mehr durchgängige Röhren bis in den Unterboden zu finden sind, welche eine schnelle Verlagerung von Wasser und Phosphor ermöglichen, ist dieser

Verlustpfad aufgrund der zügigen Festlegung nur auf sehr gut versorgten Standorten in Kombination mit hohen Sickerwassermengen von Bedeutung.

**P-Effektivität durch Untersaaten und Zwischenfrüchte erhöhen**

Obwohl konservierende Bodenbearbeitung für sich allein schon zu einer verbesserten P-Ausnutzung führt, ist eine weitere Erhöhung durch den Anbau von Zwischenfrüchten sowie Untersaaten möglich. Diese sind durch Bedeckung sowie intensive Durchwurzelung des Bodens während ihres Wachstums ebenfalls in der Lage, Erosion und Oberflächenabfluss zu verringern. Nach dem Ende ihrer Vegetation hinterlassen Zwischenfrüchte eine Mulchschicht an der Bodenoberfläche, die in vegetationslosen Zeiten sowie vor Reihenschluss der nachfolgenden Kultur vorhandenen Phosphor auf der Fläche hält.

Bei entsprechender Artenwahl und ausreichend Vegetationszeit sind Zwischenfrüchte in der Lage, Phosphor aus dem Unterboden zu mobilisieren und diesen in der Krume anzureichern, was eine bessere Versorgung der Nachfrucht ermöglicht. Zusätzlich verhindern sie die Festlegung von Phosphor im Boden, da dieser im Pflanzengewebe bis zu seiner Mineralisierung zwischengespeichert wird. Sind Art und Zeitpunkt der nachfolgenden Bearbeitung richtig gewählt, kann der freigesetzte Phosphor von der anschließenden Kulturpflanze in leicht verfügbarer Form aufgenommen werden.

Zwischenfrüchte und Untersaaten verbessern nicht nur die Ausnutzung des verfügbaren Phosphors, sie können auch bereits festgelegte Anteile wieder freisetzen. Bekannte Beispiele hierfür sind Phacelia oder Buchweizen, die



*Zwischenfrüchte (links) und Untersaaten (r.) können nicht nur verfügbaren Phosphor erschließen und speichern, sondern auch festgelegten freisetzen.*

durch Ausscheidung von Enzymen und Säuren aus ihren Wurzeln organisch- sowie anorganisch gebundenen Phosphor im Boden freisetzen können.

### Mikrobiologie des Bodens positiv beeinflussen

Der Anbau von Zwischenfrüchten und Untersaaten fördert auch indirekt Freisetzung und Verbleib von Phosphor in einer leicht pflanzenverfügbaren Form, durch seine positiven Auswirkungen auf die Mikrobiologie des Bodens. Diese beeinflusst maßgeblich den Umsatz des organisch gebundenen Phosphors, welcher je nach Standort 30 bis 50 Prozent des gesamten Vorrates entspricht. Die den Boden bewohnenden Pilze und Bakterien sind größtenteils in der Lage, durch Enzyme, wie Phosphatasen oder Phytasen, stabile organische Verbindungen, wie das häufig vorkommende Phytin, zu mineralisieren, wodurch dieses erst in eine pflanzenverfügbare Form überführt wird.

Die hohe Bedeutung der Mikrobiologie für den Phosphorhaushalt lässt sich auch an der Geschwindigkeit dieser Vorgänge ablesen. Unter warmen und feuchten Bedingungen sind bereits nach einer Woche zirka 40 Prozent des Phosphors aus mineralisierten Ernteresten in die organische Fraktion des Bodens eingebunden und hierdurch vor chemischer Festlegung geschützt. Mikroorganismen können jedoch auch die Verfügbarkeit von anorganisch gebundenem Phosphor über die Abgabe von Citraten, Oxalaten und Gluconate erhöhen und auf diese Weise den Düngbedarf reduzieren.

### Mykorrhizapilze helfen der Wurzel bei der P-Erschließung

Zwischenfrüchte und Untersaaten fördern auch ganz entscheidend die Mykorrhizierung, eine Symbiose zwischen Pflanzen und speziellen Pilzen. Hierbei besiedelt der Mykorrhizapilz die Wurzeln der Pflanze, erhält von ihr Kohlenhydrate und verbessert im Gegenzug die pflanzliche Versorgung mit Wasser und insbesondere Phosphor, selbst bei Trockenheit und sehr geringen Bodengehalten. Da die Pilzhyphe einen etwa dreimal geringeren Durchmesser als Wurzelhaare aufweisen, können sie in viel kleinere Poren eindringen und hierdurch ein wesentlich größeres Bodenvolumen erschließen.

Für ein erfolgreiches und schnelles Zustandekommen der Symbiose schon in der Jugend der Kulturpflanze sollte der P-Gehalt des Bodens nicht zu hoch sein, die letzte erfolgreiche Symbiose

erst einige Tage zurückliegen, die Bodenbearbeitung pfluglos erfolgen und der Fungizideinsatz unterlassen oder angepasst werden. Dies alles zu verwirklichen ist keinesfalls einfach, jedoch kann durch die Mykorrhizierung eine ungefähr drei bis fünfmal höhere Versorgung mit Wasser und Phosphor realisiert werden, was gerade bei langanhaltend trockener Witterung die Ertragsfähigkeit sichert.

### Geeignete Fruchtfolge-Maßnahmen

Die Optimierung der Fruchtfolge, nicht nur hinsichtlich des Anbaus von Zwischenfrüchten und Untersaaten, ist der nächste Schritt zu einer verbesserten Nutzung von Phosphor. So sollte bei Anbauplanung und Düngung beachtet werden, dass Kulturpflanzen wie Raps, Zuckerrübe oder Weiße Lupine vorhandenen Phosphor besser nutzen können als Mais oder Sonnenblumen.

Innerhalb der Fruchtfolge sollten längere Brachen vermieden werden, um eine dauerhafte Zirkulation von Phosphor zwischen Pflanzen und Mikroorganismen aufrecht zu halten und hierdurch die P-Festlegung zu verhindern. Ein Wechsel von Blatt- und Halmfrucht sowie flach- und tiefwurzelnden Pflanzen, nach Möglichkeit gemeinsam in einem Mischfruchtanbau (Feldfutterbau, Ganzpflanzensilage), ermöglicht verschiedenste Berei-

che des Bodens sowie unterschiedliche P-Quellen effektiv zu erschließen.

### Trockenheits-tolerante Sorten sind oft auch P-effizient

Innerhalb der Fruchtfolge sollten nach Möglichkeit P-effiziente Sorten angebaut werden. Sorten mit einem wüchsigen und effizienten Wurzelsystem, hoher Wurzelhaardichte und großer Kontaktfläche zum Boden können vorhandenen Phosphor optimal aufnehmen. Andere Sorten sind in der Lage, durch vermehrte Abgabe von Wurzelexudaten (wie Zucker, Aminosäuren oder organische Säuren) die P-Verfügbarkeit überdurchschnittlich zu steigern sowie Mikroorganismen der wurzelnahen Umgebung besser zu stimulieren, was direkt und indirekt die P-Aufnahme verbessert. Auch Sorten die Phosphor sehr effizient in ihrem Stoffwechsel verwerten, tragen zu einer verbesserten P-Nutzung bei.

Da die P-Effizienz während Züchtung und Sortenzulassung nur sehr aufwendig bestimmt werden kann, sind Angaben hierzu schwer zu finden und spiegeln oftmals lediglich Erfahrungswerte wider. Sorten mit einer hohen Toleranz gegenüber Trockenheit, Nematoden oder anderen Wurzelkrankheiten besitzen jedoch oftmals eine erhöhte P-Aneignung, da diese Merkmale ein intaktes, kräftiges und effizientes Wurzelsystem voraussetzen. ■



*Erosion (links) und Runoff (rechts) sind die Hauptquellen für P-Verluste im Ackerbau.*