

Ressourcenmanagement

Ein paar Schippchen weniger

Phosphor ist lebensnotwendig. Gleichzeitig ist Phosphat eine begrenzte Ressource, und ein Zuviel in der Umwelt lässt etwa Algen zu sehr blühen. Wissenschaftler erkunden Wege, in der Landwirtschaft an diesem Rohstoff zu sparen.

Seit dem Jahr 2014 steht Phosphat in der Liste der kritischen Rohstoffe der Europäischen Union. Die Panik ist aber erst mal vorbei: Statt wie zunächst gedacht für nur noch wenige Jahrzehnte werden die natürlichen Phosphatvorkommen vermutlich doch für mehrere Jahrhunderte reichen. Das ergaben Schätzungen des International Fertilizer Development Centers im US-amerikanischen Alabama.¹⁾ Aber: „Es wird immer teurer, eine Qualität zu gewinnen, die in der Landwirtschaft einsetzbar ist“, sagt Ulrich Bathmann, Leiter des Leibniz-Instituts fürs Ostseeforschung in Warnemünde und Sprecher des Leibniz-Wissenschaftscampus Phosphorforschung Rostock. „Es werden jetzt komplexere Quellen als früher abgebaut, und diese sind oft mit Uran und Schwermetallen verunreinigt.“

Eine Möglichkeit, um der drohenden Knappheit und den steigenden Preisen zu begegnen, ist es, Phosphor zu recyceln, etwa aus Klärschlamm.²⁾ Eine andere ist, von Anfang an weniger Phosphat einzusetzen. „Lange Zeit bestand die Tendenz, lieber mal ein Schippchen Phosphat mehr ins Tierfutter zu mischen. Davon wird man wegkommen“, sagt Klaus Wimmers, Vorstand des Leibniz-Instituts für Nutztierbiologie (FBN) in Rostock. Das FBN hält etwa 60 Rinder, 800 Schweine sowie 1000 Hühner und erforscht, wie viel Phosphor die Tiere im Futter benötigen, um ausreichend versorgt zu sein – und wie



Schweineversuchsanlage am Leibniz-Institut für Nutztierbiologie in Rostock. Fotos: Brigitte Osterath

sich gleichzeitig verhindern lässt, dass sie überteuert werden und ungenutztes Phosphat über Kot und Urin abgeben (Abbildung oben). Das FBN will die Fütterungsempfehlungen für Landwirte dahingehend aktualisieren und koordiniert das EU-Projekt „Phosphoreffizienz in Huhn und Schwein“ im Rahmen der EU-Initiative „European Research Area Network on Sustainable Animal Production“.

Über eine Knochendichtemessung mit Mikro-Computertomographie lässt sich bestimmen, ob die Tiere ausreichend Phosphor erhalten. Das FBN untersucht zusammen mit der Uni Rostock zudem, inwieweit sich Ferkel bereits an eine niedrige Versorgung mit mineralischem Phos-

phor gewöhnen. Tiere, die weniger Phosphor ins Futter bekommen, passen ihren Stoffwechsel an.³⁾

Phosphor besser nutzen

„Wir haben zwei Stellschrauben“, sagt Wimmers. „Man kann die Fütterung optimieren und Tiere züchten, die den Phosphor besser nutzen.“ Anders als bei Wiederkäuern ist bei Schweinen und Hühnern die Phosphorverdauung problematisch, da ihnen das Enzym Phytase fehlt. Es setzt Phosphat aus Phytat frei, einer pflanzlichen Phosphorverbindung.

Schweine verdauen zirka 15 Prozent des Phosphors etwa aus Kör-

nermais, der Rest wandert ungenutzt ins Freie. Aus Weizen nutzen sie ungefähr 65 Prozent. Wie effizient ein Tier Phosphor umsetzt, hängt also von der Tierart und dem Futter ab.

Nicht nur vom Futter, sagt Henry Reyer vom Institut für Genombiologie des FBN. „Die Phosphoreffizienz hat eine erbliche Komponente“ – das haben Untersuchungen an fast 900 Tieren einer Hausschweinsrasse gezeigt.⁴⁾ Ein Züchter könnte bei der Schweinezucht auf Phosphoreffizienz selektieren. Mit einem Chip prüfen die Forscher bei jedem Schwein 60000 Erbgutmarker; einige hundert sind relevant für die Phosphatkonzentration im Tierblut (Abbildung rechts).

Allerdings warnt Reyer davor, dahingehend zu züchten. „Erst müssen wir untersuchen, welche Wirkungen das Merkmal Phosphoreffizienz etwa auf das Immunsystem mit sich bringt.“ Es ist zu prüfen, wie viel Phosphor ein Tier aufnimmt, wie viel es im Knochen einlagert und wieder daraus mobilisiert. Da die Immunvorläuferzellen im Knochenmark entstehen, könnte eine veränderte Phosphorversorgung des Tiers unerwünschte Effekte auf sein Immunsystem und damit seine Gesundheit haben.

Weniger aufs Feld

„In den viehhaltungsintensiven Regionen Nordrhein-Westfalens sind manche Böden so gut mit Phosphor versorgt, dass man dort je nach Ackerkultur für die nächsten 20 bis 40 Jahre komplett auf Phosphatdüngung verzichten könnte – und das ohne Ertragsverluste“, sagt Heiner Goldbach, emeritierter Professor am Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz der Uni Bonn. Die Düngeverordnung aus dem Jahr 2017 schreibt den Landwirten vor, den Phosphateintrag in die Umwelt zu reduzieren.

Die Ausbeute eines Ackers hängt nicht direkt von der ausgebrachten

Menge an Phosphatdünger ab, ergab eine Metaanalyse von 30 Düngungsfeldversuchen in Deutschland und Österreich.⁵⁾ Viel hilft demnach nicht unbedingt viel. Entscheidend für den Ertrag ist vielmehr, wie pflanzenverfügbar der Phosphor im Boden ist, welchen pH-Wert und wie viel organische Substanz der Boden hat, welchen Dünger der Landwirt einsetzt und was auf dem Feld wächst.

Genauso wie Tiere lassen sich Pflanzen für die P-Aufnahme optimieren, sodass sie mit spärlicher vorhandenem Phosphor besser zu recht kommen. „Die Wurzelbiologie gewinnt an Bedeutung“, sagt Christel Baum, wissenschaftliche Mitarbeiterin an der agrar- und umweltwissenschaftlichen Fakultät der Uni Rostock. Unter den bisherigen überdüngten Bedingungen spielte die Wurzel bei der Pflanzenzucht keine Rolle, es lohnt sich aber vermutlich, beispielsweise Pflanzen mit längerem und voluminöserem Wurzelwerk zu züchten, das Phosphor aus dem Boden besser aufnimmt.

Mikroorganismen können hier helfen. Viele Nutzpflanzen, darunter Mais, gehen eine Symbiose mit Pilzen im Boden ein, den Mykorrhizapilzen. Sie helfen der Pflanze dabei, das Phosphat im Boden zu erreichen und setzen es zudem aus den Phytaten und aus Calciumphosphaten frei. „Die Bedeutung dieser Symbiose steigt, wenn weniger gedüngt wird“, sagt Baum. Die Symbiosebildung mit Mykorrhizapilzen im Boden sei in den Jahren der starken Düngung zurückgegangen, lässt sich aber fördern. Dazu gehört unter anderem flacheres und weniger intensives Pflügen. Auch sollten Landwirte ein Feld möglichst durchgängig kultivieren und nicht brach liegen lassen.

Leguminosen wie Lupinen eignen sich als Zwischenfrucht besonders gut, um Phosphate besser verfügbar zu machen: Mit ihren bis zu 1,5 Meter langen Pfahlwurzeln erschließen sie Phosphat auch aus dem Unterboden und machen es für Folgekulturen leichter erreichbar.



SNP-Chip, der zeigt, welche Erbgut-Variationen ein Schwein hat (Einzelnukleotid-Polymorphismus, single nucleotide polymorphism, SNP). Er analysiert insgesamt 60000 Genorte.

Vom Aquarium ins Gewächshaus

An der Uni Rostock, am einzigen Lehrstuhl für Aquakultur in Deutschland, arbeiten Wissenschaftler an einer weiteren Möglichkeit, Phosphat besser zu nutzen. In ihrem Fischglashaus bewässern sie Hydrokulturen mit Prozesswasser aus der Fischzucht nebenan. Aquaponik nennt sich diese Koppelung von Aquakultur und Pflanzenproduktion in Hydrokultur, der Hydroponik.

Die Forscher ziehen Afrikanische Raubwelse (*Clarias gariepinus*) groß (Abbildungen S. 40). Sobald diese 1,5 Kilogramm schwer sind, gehen sie als Speisefische in den Handel. ▶

AUF EINEN BLICK

Die natürlichen Phosphatvorkommen sind immer schwerer auszubeuten und enthalten Schwermetalle.

Die Düngeverordnung aus dem Jahr 2017 schreibt vor, den Phosphateintrag in die Umwelt zu reduzieren.

Tiere und Pflanzen, die wenig Phosphor bekommen, passen ihren Stoffwechsel an.

Wie alle Tiere scheiden Afrikanische Welse Phosphat aus. Das Wasser aus den Becken pumpen die Forscher ins Gewächshaus. Dort wachsen Pflanzen und entziehen dem Wasser dabei Phosphat, Nitrat und andere Nährstoffe (Abbildung unten). Das derart gereinigte Wasser geht anschließend zurück. „Wir müssen nur noch 10 Prozent Frischwasser zuführen“, sagt Fischereibiologe Adrian Bischoff-Lang. Bei gewöhnlichen Aquarien ohne Kreislaufführung sind es im Durchschnitt 20 bis 30 Prozent.

Solche geschlossenen Kreislaufsysteme sind dem Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) zufolge umweltfreundli-

cher als eine offene Aquakultur im Meer. Diese schädigt mit ihren phosphat- und nitratreichen Abwässern etwa die Ökosysteme von Küstengewässern.

Wels-Basilikum-Kreislauf

Klassische Nutzpflanze in der Aquaponik war lange die Tomate. „Aber bei den vielen Gewächshäusern in den Niederlanden, die Tomaten anziehen, ist das nicht wirtschaftlich“, sagt Harry Palm, Fischereibiologe und Professor für Aquakultur. „Gut funktioniert stattdessen der Anbau von Basilikum und Minze. Für Kräuter gibt es in Deutschland einen gu-

ten Markt.“ Laut Palm wirkt das Wasser, das aus der Basilikumzucht wieder zurück ins Fischhaus gepumpt wird, positiv auf das Wohlbefinden der Fische. „Sie haben dann weniger Bisswunden, also weniger Stress. Wir wissen aber bisher nicht, woran das liegt.“ Palm tippt auf Phytohormone oder auf das Mikrobiom in der Basilikumwurzel, die mit dem Kreislaufwasser die Fischbecken erreichen.

Zwischen 10 und 16 Prozent des Phosphors, der über das Tierfutter ins Fischbecken gelangt, ist hinterher gelöst im Prozesswasser, ergab eine Bewertung des Elementkreislaufs.⁶⁾ Den größten Teil, bis zu 64 Prozent, nehmen die Welse auf. „Im Filet, das in den Restaurants landet, sind allerdings nur 42 Prozent“, sagt Palm. „Viel Phosphor steckt in den Karkassen, in den Knochen beispielsweise, und in den festen Ausscheidungen der Fische.“ Die Universität Rostock forscht im Rahmen des Phosphor-Wissenschaftscampus daran, den Phosphor aus dem Fischkot nutzbar zu machen.

Neuestes Projekt der Gruppe um Harry Palm ist das Aquaponik-Farming. Dabei gelangt nach wie vor das Prozesswasser aus der Fischzucht ins Gewächshaus. Statt in Hydrokultur wachsen die Pflanzen dann aber in Erde. Erste Versuche im Fischglashaus der Uni Rostock laufen mit Weizengras. Grundsätzlich wäre es zudem denkbar, mit dem Prozesswasser eine Apfelbaumplantage oder ein Maisfeld zu bewässern. <<



Fischzucht an der Universität Rostock. Fischereibiologe Adrian Bischoff-Lang mit Afrikanischem Raubwels.



Gewächshaus am Institut für Aquakultur der Universität Rostock. Hier bereiten Forscher Versuche zum Aquaponik-Farming vor.

Die promovierte Chemikerin **Brigitte Osterath** berichtet als Wissenschaftsjournalistin nicht nur aus Deutschland. www.writingscience.de

- 1) S. van Kauwenbergh, World Phosphate Rock Reserves and Resources, *International Fertilizer Development Center, Alabama*, 2010
- 2) J. Krämer, M. Bertau, *Nachr. Chem.* 2019, 67(5), 26
- 3) C. Gerlinger, M. Oster, L. Borgelt et al, *Nutrients* 2019, 11, 436
- 4) H. Reyer, M. Oster, D. Wittenburg et al., *Front. Genet.* 2019, 10, 590
- 5) U. Buczko, M. van Laak, B. Eichler-Löbermann et al., *Ambio* 2018, 47, 50
- 6) S. M. Strauch, L. C. Wenzel, A. Bischoff et al, *Sustainability* 2018, 10, 1805