

Phosphatdünger aus Tiermehlasche gewinnen

Pflanzenverfügbare Phosphor für die Nutzung als landwirtschaftlicher Dünger wird zunehmend knapp. Lässt er sich aus Tierkadaverasche rückgewinnen?

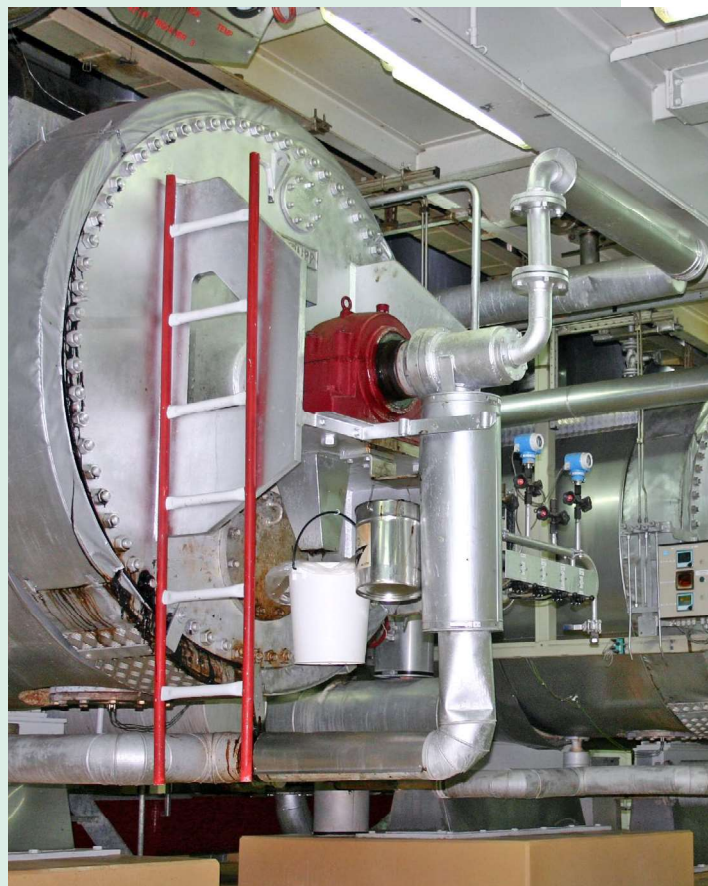
Text: Mario Fontana & Luca Bragazza (Ackerbausysteme und Pflanzenernährung, Agroscope), Raymond Place, Julia Motuzka, Matthias Meier & Jan Lemola (Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL), Georg Herriger (EcoCircular Lyss Seeland)

Bilder: Centravo Holding AG (S. 3) / Jan Lemola (S. 4)

Phosphor ist eines der wichtigsten Elemente für das Leben und ein zentraler Dünger in der Landwirtschaft. Er kann von den Nutzpflanzen über die Wurzeln nur in Form von Phosphat aufgenommen werden. Phosphat ist sowohl am Energiestoffwechsel der Pflanzen als auch an der Bildung von Blüten und Samen beteiligt.

Makronährstoff mit begrenzten Reserven

Weltweit ist das für Mineraldünger verwendete Phosphat eine endliche Ressource, die in wenigen Jahrzehnten erschöpft sein könnte. Die Schweiz ist vollständig auf Importe phosphathaltiger Mineraldünger angewiesen. Gleichzeitig gehen jedes Jahr grosse Mengen potenziell nutzbaren Phosphors durch Deposition verloren.



Anlage der GZM Extraktionswerk AG zur Sterilisation (Bild oben) und Trocknung (Bild unten) tierischer Proteine mit hohem Risiko. Installation de la société GZM Extraktionswerke AG pour la désinfection (image en haut) et le séchage (image en bas) des protéines animales à haut risque.

Die Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (VVEA) schreibt deshalb vor, dass Phosphor ab 2026 aus kommunalem Abwasser, Klärschlamm und tierischen Nebenprodukten zurückgewonnen werden muss, um den Phosphorkreislauf zu schliessen. In Zusammenarbeit zwischen dem Verein EcoCircular Lyss Seeland, der HAFL und Agroscope wurde in einem gemeinsamen Forschungsprojekt überprüft, ob sich das in Tiermehlasche enthaltene Phosphat durch mikrobielle Prozesse in pflanzenverfügbare Form bringen und damit als Dünger nutzen lässt.

Tiermehlasche – eine ungenutzte Ressource

Schlachtnebenprodukte, die aus Sicherheitsgründen nicht mehr in die Nahrungskette gelangen dürfen, werden verbrannt und verbleiben als feine Asche. Diese Asche, Processed Animal Protein Ash (PAPA) genannt, enthält etwa 16 % Phosphor, hauptsächlich in Form von

Calciumphosphat. Da Calciumphosphat nicht wasserlöslich ist, können es Pflanzen nicht direkt aufnehmen. Heute wird PAPA deshalb überwiegend deponiert – ein doppelter Verlust: Zum einen gehen wertvolle Nährstoffe verloren, zum anderen entstehen Entsorgungskosten. Das in PAPA enthaltene Phosphat entspricht rund 15-20 % des in die Schweiz importierten Phosphats in Düngemitteln. Die Projektidee bestand nun darin, zu testen, ob bestimmte Mikroorganismen Phosphat aus PAPA in lösliche Form bringen können.

Mikroorganismen – Helfer bei der Nährstoffrückgewinnung

Gewisse Substrate fallen in grossen Mengen an, werden in der Schweiz aber bislang kaum genutzt, so etwa Baumrinde, Stroh, Kompostsiebreste, Rückstände aus Pilzzuchtsubstraten und Kaffeesatz. In diesen Resten

Erste Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Aktivität der Mikroorganismen während der Inkubation tatsächlich PAPA-Phosphat löslich wurde. Die Wirksamkeit hing jedoch stark vom verwendeten Substrat ab: Einerseits enthalten Substrate selber unterschiedlich viel Phosphat, das sie von sich aus beisteuern. Andererseits sind die Substrate verschieden «gut» oder «schlecht» darin, ein Herauslösen des Phosphats aus der PAPA zu bewirken. Ein Ergebnis war aber sehr ermutigend: Nach der Inkubation mit beimpftem Kaffeesatz waren ca. 40 % des PAPA-Phosphats wasserlöslich. Damit ist erwiesen, dass Mikroorganismen, insbesondere die beimpften Pilze im Kaffeesatz, in der Lage sind, Calciumphosphat aus PAPA in eine pflanzenverfügbare Form umzuwandeln. PAPA könnte somit künftig nicht mehr als Abfall, sondern als wertvolle Phosphatquelle betrachtet werden.



Getrocknete organische Substrate mit (untere Fotos) und ohne (obere Fotos) PAPA nach der Inkubation.
Substrats organiques séchés avec (photos du bas) et sans (photos du haut) PAPA après incubation.

tummeln sich zahllose Mikroben. Im Versuch wurde nun PAPA mit den mikrokenreichen Substraten vermischt, befeuchtet und mehrere Wochen gelagert – ähnlich einem Kompostierungsprozess. Dabei enthielten zwei Substrate Pilzsporen: Der Kaffeesatz wurde mit dem Glänzenden Porling (*Ganoderma lucidum*) beimpft, einem holzzersetzenden Pilz. Die Rückstände des Pilzzuchtsubstrats enthielten von sich aus Sporen des Austernpilzes (*Pleurotus*), der vielen aus der Küche bekannt ist. Nach acht Wochen Inkubation bei 25 °C wurde der Gehalt an löslichem Phosphat bestimmt.

Herausforderungen bis zur praktischen Umsetzung

Trotz dieser Fortschritte ist der Weg zu einer praktikablen Lösung noch weit. Zwar ist die Menge an löslichem Phosphat beachtlich, doch der Phosphatgehalt im Inkubationsprodukt liegt deutlich unter demjenigen eines handelsüblichen Mineraldüngers. Grund ist das im Versuch benutzte Mischverhältnis von bescheidenen 10 % PAPA zu 90 % Substrat. Für eine wirtschaftliche Anwendung im grossen Massstab müssten vergleichbare Ergebnisse mit viel höheren PAPA-Anteilen erzielt werden – etwa 90 %

PAPA und 10 % Substrat. Zudem ist die tatsächliche Mobilisierung von Phosphat im Boden in Feldversuchen zu prüfen. Ebenso muss gezeigt werden, dass Phosphat aus einem Dünger auf Basis inkubierter PAPA tatsächlich von den Pflanzen aufgenommen wird. Auch mögliche Nebeneffekte sind zu berücksichtigen, etwa eine Erhöhung des pH-Werts im Boden durch Calcium aus PAPA (was die Nährstoffverfügbarkeit in vielen Schweizer Böden verbessert) oder eine Förderung der Stickstoffmineralisierung (bessere Stickstoffversorgung für Pflanzen). Da die Pilzimpfungen besonders wirksam waren, stellt sich die Frage, welche Substrate sich für eine Beimpfung eignen, welche nicht und welche Bedingungen die Aktivität der Pilze am stärksten fördern.

Ein Schritt in Richtung Kreislaufwirtschaft

Für die Projektpartner ist klar, dass sich die Weiterentwicklung lohnt. Anstatt wertvolle Nährstoffe dauerhaft zu verlieren, könnten sie künftig wieder in die landwirtschaftlichen Kreisläufe zurückgeführt werden. Dies würde nicht nur die Abhängigkeit von importierten Düngemitteln verringern, sondern auch einen wichtigen Beitrag zur Ressourcenschonung und zur regionalen Kreislaufwirtschaft leisten. Ein zusätzlicher guter Grund zum Weiterforschen: Handelsübliche Phosphatdünger enthalten oft beträchtliche Mengen an bodenbelastendem Cadmium. PAPA weist dagegen nur sehr geringe Konzentrationen an Spurenmetallen auf, wodurch Belastungen vermieden würden.

Der nächste Schritt besteht darin, die Inkubationsprozesse gezielt zu optimieren und gemeinsam mit Partnern praxisgerechte Düngemittelformulierungen zu entwickeln. Dafür soll bei Innosuisse ein Innovationsprojekt eingereicht werden – die Forschenden bleiben also dran.



Der Verein EcoCircular Lyss Seeland wirkt als zentrale Innovations- und Koordinationsstelle für nachhaltige Kreislaufprojekte in und um Lyss. Dieses Projekt wurde durch seine Unterstützung ermöglicht.

L'association EcoCircular Lyss Seeland agit en tant que centre d'innovation et de coordination pour les projets durables liés à l'économie circulaire à Lyss et dans ses environs. Ce projet a été rendu possible avec son soutien.

www.ecocircular.ch

Recyclage de cendres animales en engrais phosphaté

Le phosphore, en forme utilisable pour les plantes, devient de plus en plus rare. Les cendres de farines animales, sont elles de nouvelles sources de récupération ?

Texte: Mario Fontana & Luca Bragazza (Systèmes de grandes cultures et nutrition des plantes, Agroscope), Raymond Place, Matthias Meier & Jan Lemola (Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL), Georg Herriger (EcoCircular Lyss Seeland)
Images: Centravo Holding AG

Le phosphore, un macronutriment dont les réserves sont limitées

Le phosphore est l'un des éléments majeurs pour la vie et est un fertilisant clés de l'agriculture. Il est absorbé par les racines uniquement sous forme de phosphate. Le phosphate participe au métabolisme énergétique des plantes, à la formation des fleurs et des graines. À l'échelle globale, le phosphate utilisé pour les engrais minéraux est une ressource fossile qui pourrait se raréfier d'ici quelques décennies. En Suisse, la totalité des engrais minéraux phosphatés est importée. Comme de grandes quantités de phosphore potentiellement utilisables finissent chaque année dans les décharges, l'Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (OLED) indique que le

phosphore contenu dans les eaux usées communales, les boues d'épuration, les farines animales et poudres d'os devra être recyclé à partir de 2026 en vue de fermer le cycle du phosphore. Une collaboration entre l'association EcoCircular Lyss Seeland (centre d'innovation, de coordination et de communication qui promeut des projets de recherche et de développement visant à réintroduire les déchets, les eaux usées ou la chaleur résiduelle dans les cycles de recyclage des matériaux), la Haute école spécialisée bernoise HAFL et Agroscope a permis de conduire un projet de recherche préliminaire, financé par un chèque d'innovation InnoSuisse, pour tester la possibilité de transformer le phosphate contenu dans des cendres de farines animales (produites lors de l'incinération des sous-produits animaux) en un engrais phosphaté en utilisant l'activité microbienne pour rendre le phosphate disponible.

Les cendres de farines animales, une ressource jusqu'ici inexploitée

Au sein du cercle régional d'écologie industrielle « EcoCircular Lyss Seeland », l'incinération des carcasses animales produit de fines cendres grises. Ces cendres, appelées PAPA (Processed Animal Protein Ash), ne peuvent plus entrer dans la chaîne alimentaire pour des raisons de

sécurité et contiennent environ 16% de phosphore, principalement sous forme de phosphate de calcium, une forme de phosphate qui ne peut pas être directement absorbé par les plantes. En effet, le phosphate peut être absorbé par les racines qu'après avoir été solubilisé et le phosphate de calcium n'est pas soluble à l'eau. Aujourd'hui, le PAPA est donc mis en décharge, ce qui représente une double perte. D'une part, des nutriments précieux sont perdus, d'autre part, des coûts d'élimination sont générés. En effet, le phosphate contenu dans les PAPA représente environ 15-20% du phosphate importé en Suisse dans les engrais phosphatés.

Les micro-organismes, une aide précieuse pour le recyclage

Pour conduire les essais, des sous-produits organiques ont été utilisés: écorce de conifère, paille, refus de compostage, résidus de la production de champignons et marc de café. Certains de ces sous-produits sont présents en grande quantité en Suisse et ne sont, jusqu'à présent, guère valorisés. L'idée du projet est d'exploiter l'activité des micro-organismes contenus dans les substrats organiques pour rendre soluble le phosphate du PAPA. Ainsi, le PAPA a été mélangé avec les différents substrats puis humidifié et laissé en contact plusieurs semaines afin de mobiliser les nutriments à l'image d'une décomposition en milieu aérobie. De plus, le marc de café a été inoculé avec du polypore brillant, un champignon médicinal traditionnel, tandis que le résidu de production de champignons a été inoculé avec des pleurotes en huître, que beaucoup connaissent en cuisine. Ces champignons sont connus pour mobiliser les phosphates difficilement solubles. Après 8 semaines d'incubation à température constante (25 °C), le phosphate soluble des substrats a été analysé.

Des premiers résultats encourageants

L'activité des micro-organismes durant le temps d'incubation a permis de solubiliser du phosphate de PAPA. L'efficacité de l'incubation a été très différente selon le substrat organique utilisé et indépendante de la concentration en phosphate du substrat. Le marc de café inoculé avec du polypore brillant a été le plus efficace car il a permis de rendre soluble à l'eau environ 40 % du phosphate de PAPA tandis que le résidu de la production de champignons inoculé avec des pleurotes a permis d'en solubiliser 15 %.

Ce travail de recherche préliminaire a mis en évidence que les micro-organismes (en particuliers les champignons inoculés) sont capables de transformer le phosphate de calcium de PAPA en une forme immédiatement assimilable par les plantes. De plus, suite à l'incubation, une grande partie du phosphate du PAPA non soluble à l'eau est extractible au citrate. Ceci signifie qu'après une fertilisation, ce phosphate deviendrait progressivement disponible pour les plantes dans un laps temps environ équivalent à une culture. Cela ouvre la possibilité de ne

plus considérer à l'avenir les cendres de farines animales comme des déchets, mais comme une source de phosphate pour l'agriculture.

Défis à relever avant la mise en pratique

Malgré ces progrès, le chemin vers une solution viable reste long. Bien que la quantité de phosphore qui passe effectivement dans une forme utilisable par les plantes soit a priori importante, l'expérience a été faite avec 10 % de PAPA et 90 % de substrat ce qui résulte en une teneur en phosphate bien inférieure comparativement aux engrais minéraux du marché. Pour une application économique à grande échelle il faudrait idéalement obtenir des résultats similaires avec une faible quantité de substrat, par exemple 90 % de PAPA et 10 % de substrat. De plus, la mobilisation du phosphate dans le sol doit encore être étudié in situ. Il s'agirait de mettre en évidence le flux de phosphate transféré depuis un fertilisant à base d'un mélange de substrat organique+PAPA incubé jusqu'à la plante. Parallèlement, des effets secondaires bénéfiques attendus devraient être étudiés, par exemple une augmentation du pH du sol grâce au calcium du PAPA (qui permet d'optimiser la disponibilité de nombreux nutriments dans la plupart des sols agricoles suisses), une augmentation de la minéralisation de l'azote du sol (améliorer la disponibilité de l'azote pour les cultures) et augmenter la teneur en matière organique du sol (grâce à l'apport en carbone contenu dans le substrat organique). Enfin, comme les inoculations de champignons ont été très efficaces, il serait intéressant de savoir quel substrat organique peut être inoculé ou non et quelles conditions favorisent l'activité des champignons capables de solubiliser le phosphate de calcium de PAPA.

Un pas vers l'économie circulaire

Pour les partenaires du projet, il est clair que la poursuite du développement en vaut la peine. Au lieu de perdre définitivement des nutriments précieux dans les décharges, ceux-ci pourraient à l'avenir être réintroduits dans les cycles agricoles. Cela permettrait non seulement de réduire la dépendance vis-à-vis des engrais importés, mais aussi de contribuer de manière importante à la préservation des ressources et à l'économie circulaire régionale. De plus, les engrais minéraux phosphatés sur le marché contiennent du cadmium en quantité non négligeable, ce qui résulte en une contamination des sols sur le long terme. Comme les PAPA ont des concentrations en élément trace métallique très faible, un engrais à base de PAPA éviterait cette problématique qui reste aujourd'hui sans solution. Les partenaires s'accordent à dire que la prochaine étape doit consister à optimiser de manière ciblée les processus d'incubation et à développer, en collaboration avec des partenaires, des formulations de fertilisants à base de PAPA adaptées à la pratique. À cette fin, un projet d'innovation doit être soumis à Innosuisse. Les recherches continuent ...