

Vom Abfall zur Ressource – Recycling von Klärschlamm- Asche zu phosphatreichem Pflanzendünger

Wie kann der im Klärschlamm enthaltene Phosphor genutzt werden, um den Phosphorkreislauf besser zu schließen.



Motivation

Phosphor ist ein essenzieller Dünger in der Landwirtschaft, kommt aber nur begrenzt und regional konzentriert vor und wird unter umweltschädlichen Bedingungen abgebaut. Aufgrund seiner Bedeutung und der hohen Importabhängigkeit steht er seit 2014 auf der Liste der kritischen Rohstoffe der EU. Rund 90 % des Phosphors im Abwasser verbleiben im Klärschlamm – fast 7.000 Tonnen jährlich in Österreich und 8.000 Tonnen in der Tschechischen Republik.

Die Klärschlammverwertung unterscheidet sich in den beiden Ländern: Während in der Tschechischen Republik die landwirtschaftliche Nutzung dominiert, wird in Österreich der größte Teil des Klärschlammes verbrannt, wobei Wien die Monoverbrennung einsetzt. In Österreich wird ab 2033, abseits von Vorortlösungen, die Klärschlammverbrennung für größere Kläranlagen verpflichtend, wobei 80 % des Phosphors aus der Asche zurückgewonnen werden muss. Die Tschechische Republik plant strengere Gesetze zur Begrenzung der landwirtschaftlichen Nutzung und fördert alternative Entsorgungsmethoden für Klärschlamm, wobei die thermische Verwertung die Hauptoption darstellt.

Die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammasche ist aufgrund der gleichzeitigen Belastung mit Schwermetallen herausfordernd. Darüber hinaus macht die Verwendung von kommerziellen Säuren zur Laugung und anschließenden Fällung den Prozess wirtschaftlich und ökologisch anspruchsvoll. PHOS4PLANT erforscht alternative Verfahren zur Verbrennung von Klärschlamm, zur Laugung und Fällung von Phosphor, die eine umweltfreundliche Alternative für die Gewinnung von hochwertigem Dünger auf Basis von biologischen Prozessen darstellen könnten.

Aktueller Stand der Forschungsarbeiten in Arbeitspaket 2

Anreicherung acidophiler Bakterien aus Klärschlamm

Um im Klärschlamm vorhandene Mikroorganismen zu gewinnen, die sich für die biologische Laugung eignen, wurde eine Probe Belebtschlamm aus einer Kläranlage in Niederösterreich entnommen. Die im Belebtschlamm enthaltenen Organismen wurden für die biologische Laugung von Phosphor aus der Klärschlammasche angereichert.

Es wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, um ein Kulturmedium auszuwählen, in dem gängige Mikroorganismen für die biologische Laugung kultiviert werden können. Durch die Wahl dieses Mediums war es möglich, die Hauptnährstoffzusammensetzung konstant zu halten und lediglich die Komponenten hinsichtlich der verschiedenen Substrate zu variieren, die notwendig sind, um Mikroorganismen mit unterschiedlichen Eigenschaften anzureichern, wie z. B. Schwefeloxidierer, Eisenoxidierer, gemischte Schwefel- und Eisenoxidierer sowie auch heterotrophe Mikroorganismen.

Es wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, um ein Kulturmedium auszuwählen, in dem gängige Mikroorganismen für die biologische Laugung kultiviert werden können. Durch die Wahl dieses Mediums war es möglich, die Hauptnährstoffzusammensetzung konstant zu halten und lediglich die Komponenten hinsichtlich der verschiedenen Substrate zu variieren, die notwendig sind, um Mikroorganismen mit unterschiedlichen Eigenschaften anzureichern, wie z. B. Schwefeloxidierer, Eisenoxidierer, gemischte Schwefel- und Eisenoxidierer sowie auch heterotrophe Mikroorganismen.



Abbildung 1: Probenahmestelle für die Anreicherung von Bioleaching-Mikroorganismen.

Weitere Vorteile des ausgewählten Kulturmediums für die Anreicherung waren die optimierte Nährstoffnutzung, da notwendige Nährstoffe in Kulturmedien oft im Überschuss zugesetzt werden. Darüber hinaus bot das Kulturmedium geeignete Bedingungen für acidophile Anreicherungskulturen. Die Mikroorganismen wurden durch wiederholtes Überimpfen in frisches Medium in drei Kultivierungsrunden selektiv angereichert.

In einem ersten Schritt wurden die Organismen drei Wochen lang kultiviert. Dies gab den Mikroorganismen ausreichend Zeit, sich an das Medium und an die Temperatur anzupassen, die sich von ihrer natürlichen Umgebung im Belebtschlamm unterscheiden.

Die erfolgreich angereicherten Mischkulturen aus Klärschlamm wurden anschließend an der BOKU als Lebendkulturen für die weitere Verwendung in den nachfolgenden biologischen Laugungstests aufbewahrt. Die vorbereiteten Proben wurden zur molekularbiologischen Analyse und Identifizierung an die MU geschickt. Dort wurden die Anreicherungskulturen anschließend charakterisiert. Beispielsweise zeigten die Ergebnisse der 16S-RNA-Analyse der schwefeloxidierenden Anreicherungsexperimente nach drei Anreicherungen mit mindestens 14 Tagen, dass die Familie der *Eubacteriaceae* (Klasse *Clostridia*) mit einem Anteil von 24,4 % dominant war. Diese Bakterien können zusammen mit den fünf am häufigsten vorkommenden Mikroorganismen in der Schwefeloxidierer-Anreicherung als typische Vertreter in Kläranlagen beschrieben werden. Neben den typischen Organismen der Abwasserbehandlung wurde das Bakterium *Desulfovibrio desulfuricans* mit einer Häufigkeit von 2,3 % gefunden. Laut Literatur besitzt dieser Organismus einen dominanten Schwefelstoffwechsel.

Da *D. desulfuricans* nicht zur Schwefeloxidation fähig ist, wird mindestens ein weiterer Mikroorganismus für den Schwefelstoffwechsel benötigt, um die für die Phosphorlaugung erforderliche pH-Wert-Senkung durch die biogene Säureproduktion zu erreichen. In diesem Zusammenhang könnte *Alicyclobacillus disulfidooxidans* mit einem Anteil von 0,6 % in der mikrobiellen Gemeinschaft den notwendigen Stoffwechselweg für die vollständige Oxidation des elementaren Schwefels bereitstellen.

Die Anreicherung acidophiler Bakterien aus Klärschlamm in Form von Belebtschlamm nutzt die Fähigkeit der bereits im Klärschlamm vorhandenen Mikroorganismen zur Phosphorlaugung von Klärschlammmasche.

Disseminationsaktivitäten

K1-MET nahm an der 9. Konferenz der International Society for Microbial Electrochemistry and Technology (ISMET) teil, die vom 16. bis 19. September 2025 in Leipzig stattfand. Diese internationale Konferenz bringt die wissenschaftliche Community im Bereich der mikrobiellen elektrochemischen Technologien zusammen und bietet eine Plattform für den Austausch von Innovationen und Forschungsergebnissen. Marianne Haberbauer präsentierte das Projekt in Form eines Posters mit dem Titel „Bioelectrochemical Precipitation of Struvite from Synthetic Leachate Using Electroactive Microorganisms in a Two-Chamber System“.

Außerdem nahm Frau Haberbauer am 8. Mai 2025 am International Life Science Meeting 2025 am IMC Krems teil. Ihr Vortrag mit dem Titel „Bioelectrochemical systems for recycling processes“ bot die Gelegenheit, die Ziele von PHOS4PLANT vorzustellen.

Die Masaryk Universität stellte das Projekt PHOS4PLANT während der Veranstaltung „Scientists' Night“ am 26. September 2025 auf dem Universitätscampus in Brunn vor.

Die Technische Universität Brunn bereitet derzeit den ersten Projektworkshop mit dem Titel „Phosphorus and Beyond: Circular Approaches in Waste Management“ vor. Dieser wird am 26. November 2025 in Brunn stattfinden.

Die BOKU nahm am 20. Internationalen Symposium über Abfallwirtschaft, Ressourcenrückgewinnung und nachhaltige Deponierung (Sardinia Symposium 2025) teil und präsentierte die neuesten Fortschritte des Projekts. In den Konferenzberichten wurde ein Beitrag zu diesem Vortrag veröffentlicht.

Beteiligte Forschungsinstitutionen



Die K1-MET GmbH verfügt über eine ausgewiesene Expertise in der Entwicklung von Verfahren zur Behandlung von Reststoffen und Recyclingmaterialien mit dem Ziel der Wertstoffrückgewinnung und der Schließung von Stoffkreisläufen. Die Aufgaben von K1-MET sind die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammaschen durch indirektes Bioleaching bzw. mit Säuren und die anschließende Herstellung eines phosphatreichen Pflanzendüngers. Damit verbunden ist die Abtrennung von Störstoffen wie Metallen. K1-MET hat die Konsortialführung des Projekts.



Die Masaryk-Universität (MU) ist die zweitgrößte Universität in der Tschechischen Republik. An dem Projekt sind das Department für Biochemie, das Department für Chemie und das Department für Geologische Wissenschaften beteiligt. Das Team verfügt über langjährige Erfahrung auf dem Gebiet der acidophilen Mikroorganismen, der molekularen Mechanismen der Pflanzen-Mikroorganismen-Interaktionen, der Struktur-Funktionsanalyse mikrobieller Gemeinschaften, der Metallanalytik und der Analyse von Biomolekülen.



Ein Team des Departments „Thermische Prozesse und Gasreinigung“ des Instituts für Verfahrenstechnik ist am Projekt beteiligt. Das Team verfügt über umfangreiche Erfahrungen auf dem Gebiet thermischen Prozesse und Emissionsbehandlung. Sie sind im Projekt für die Herstellung der Klärschlammasche verantwortlich. Das Institut verfügt unter anderem über einen Trommeltrockner und einen Drehrohrofen. Zudem steht eine analytische Infrastruktur zur Verfügung, die die Messung von Brennstoff- und Abfalleigenschaften sowie die Abgasanalytik ermöglicht.



Das Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft (ABF-BOKU) beschäftigt sich mit der sicheren Entsorgung und der Rückführung von Abfällen in den Wirtschaftskreislauf, um das Abfallaufkommen zu reduzieren und Ressourcen in der Primärproduktion einzusparen. Ihre Aufgaben im Projekt sind die Vorbehandlung der stark basischen Aschen, welche die biologische Laugung des Materials behindern, das Bioleaching der Klärschlammaschen und die Identifizierung von acidophilen Bakterien aus Klärschlämmen. Zusätzlich wird die gesamte Prozesskette mittels LCA bewertet.



Kofinanziert von der Europäischen Union



PHOS4PLANT



Das Projekt PHOS4PLANT (ATCZ00043) wird aus den Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) im Programm Interreg Österreich – Tschechien 2021 – 2027 kofinanziert.