

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 für die Nahrungsmittelproduktion unverzichtbar, aber er ist begrenzt, regional konzentriert und wird unter schädlichen Bedingungen abgebaut. Aufgrund seiner Bedeutung und hohen Importabhängigkeit steht er seit 2014 auf der Liste der kritischen Rohstoffe der EU. Rund 90 % des Phosphors im Abwasser werden im Klärschlamm zurückgehalten - in Österreich fast 7.000 Tonnen und in der Tschechischen Republik 8.000 Tonnen pro Jahr.

Klärschlamm wird unterschiedlich genutzt: In der Tschechischen Republik dominiert nach wie vor die Landwirtschaft, während in Österreich der größte Teil des Klärschlammes verbrannt wird und in Wien eine Monoverbrennung stattfindet. In Österreich wird ab 2033, abseits von Vorortlösungen, die Klärschlammverbrennung für größere Kläranlagen verpflichtend, wobei 80 % des Phosphors aus der Asche zurückgewonnen werden müssen. Die Tschechische Republik plant strengere Gesetze, die die landwirtschaftliche Nutzung einschränken, und drängt auf eine alternative Klärschlamm Entsorgung, wobei die thermische Verwertung die wichtigste Option darstellt.

Aktueller Stand der Forschungsarbeiten in Arbeitspaket 1

Verbesserte Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm

Um ein umfassendes und detailliertes Bild der Klärschlammzusammensetzung in den für das Projekt relevanten Regionen – tschechische Bezirke wie Jihomoravský und Vysočina sowie österreichische Bundesländer – Oberösterreich, Niederösterreich und Wien – zu erhalten, wurden Proben aus 13 tschechischen und 10 österreichischen Kläranlagen entnommen. Mit Hilfe moderner Analyseverfahren wie ICP, XRD und Elementaranalyse sowie traditioneller Methoden wie Kalorimetrie und Immediatanalyse wurde eine detaillierte Datenbank über die Zusammensetzung von Makro- und Mikroelementen, Brennstoffeigenschaften und anderen Schlüsselparametern für insgesamt 23 Proben erstellt.

Auf der Grundlage dieses Datensatzes wählte das Konsortium die Klärschlammproben mit den vielversprechendsten Eigenschaften für weitere Untersuchungen im Hinblick auf die Rückgewinnung von Phosphor zur Entwicklung eines geeigneten Düngemittels aus. Zu den wichtigsten Auswahlkriterien gehörten ein mindestens durchschnittlicher Phosphorgehalt, ein hoher Trockensubstanz- und Aschegehalt sowie signifikante Restkonzentrationen an Schwermetallen. Während Schwermetalle im Klärschlamm eine Herausforderung für die Behandlung und die Qualität darstellen können, da sie dazu neigen, neben Phosphor biologisch ausgewaschen zu werden, bieten Proben mit höheren Schwermetallgehalten das größte Potenzial, die Wirkung des Verfahrens zu erkennen und das beste Potenzial für Verbesserungen durch gezielte Behandlungsmaßnahmen.

Eine im Rahmen von Arbeitspaket 1 durchgeführte Literaturrecherche diente als Grundlage für die Auswahl vielversprechender Additive, die die Verflüchtigung von Schwermetallen erleichtern. Ziel war es, weniger kontaminierte Asche als Zwischenprodukt der thermischen Behandlung zu erzeugen, die die erste Stufe des Phosphor-Rückgewinnungsprozesses bildet. In Laborversuchen an der Technischen Universität Brunn (BUT) wurden die Auswirkungen verschiedener Additive – darunter Hydrate von AlCl_3 , MgCl_2 , MgSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, CaSO_4 sowie nicht hydratisiertes CaCl_2 , CaSO_4 , FeCl_3 und NaCl – unter Verwendung eines modernen Versuchsplanungsansatzes untersucht. In diesen Versuchen wurde im Labormaßstab untersucht, wie verschiedene Arten von Additiven, Konzentrationen und Verbrennungstemperaturen die Phosphorrückhaltung und die Restkonzentrationen von Schwermetallen in der resultierenden Asche beeinflussen. Die ersten Chargen von Proben wurden hergestellt (von BUT) und mittels ICP und XRD analysiert (von der Masaryk Universität). Die Daten werden derzeit ausgewertet.

Scaling Up: Tests im Pilotmaßstab und Prozessüberprüfung

Parallel dazu verbesserte und modifizierte BUT ihre Technologie im Pilotmaßstab, einschließlich eines Rotationstrockners und eines Drehrohrofens, um Klärschlamm zu verarbeiten und Asche in größerem Maßstab für die Projektpartner zu produzieren. Eine wichtige Entwicklung war die Konstruktion und Implementierung eines maßgeschneiderten SchlammDOSIERERS (Abb. 1A), der die Herausforderung der Handhabung von entwässertem Schlamm – einem komplexen Material in Bezug auf die Fließeigenschaften – in einem Rotationstrockner löst. Das neue System ermöglicht die Herstellung kleiner Ascheklumpen mit großer spezifischer Oberfläche (Abb. 1D), die sich ideal für die Biolaugung eignen.

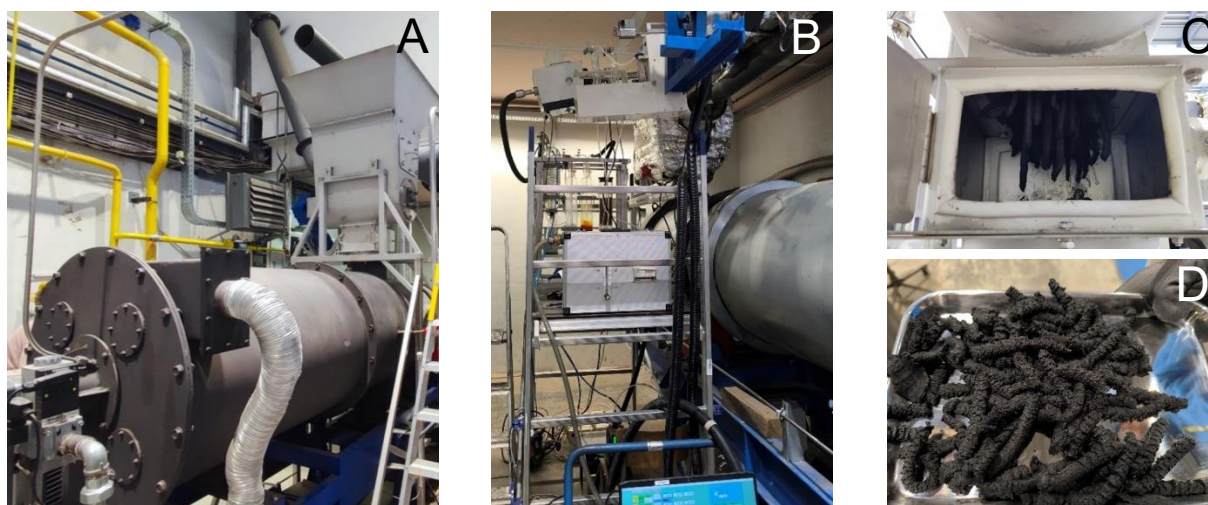


Abbildung 1 (A – D): A) Rotationstrockner im Technikumsmaßstab, modifiziert durch einen kunden-spezifischen VersuchsschlammDOSIERER, B) Schlammverbrennung mit Emissionsmessung (zu sehen sind vor allem Messgeräte zur Schwermetall- und Chlorbestimmung), C) VersuchsschlammDOSIERER im Einsatz, D) Entstandene Schlammstücke vor der Trocknung.

Die ersten Versuche im Pilotmaßstab, die industriennahe Bedingungen simulieren, wurden erfolgreich durchgeführt. Insgesamt wurden 0,75 Tonnen Schlamm verarbeitet, aufgeteilt in drei Varianten: eine ohne Additive, eine mit MgSO_4 -Hydraten und eine mit MgCl_2 -Hydraten. Diese groß angelegten Versuche lieferten beträchtliche Aschemengen, die für Biolaugungsversuche geeignet sind, wobei die Zugabe von Magnesium auch die anschließende Struvitherstellung unterstützt. Darüber hinaus lieferten die Versuche wichtige Daten über die Mobilisierung von Schwermetallen aus festen Schlämmen in die Gasphase. Die gewonnenen Ascheproben und die Emissionsdaten der Pilotanlage werden derzeit weiter analysiert.

Dieser Fortschritt ist ein wichtiger Beitrag zur Optimierung der Klärschlammbehandlung für die Phosphorrückgewinnung bei gleichzeitiger Reduzierung der Schwermetallbelastung. Bleiben Sie dran, um mehr zu erfahren, wie es mit der Forschung im Projekt weitergeht.

Disseminationsaktivitäten

K1-MET präsentierte das Projekt PHOS4PLANT im Rahmen des nationalen Netzwerktreffens „vemETzt im Donauraum – Verbindungen schaffen, Zukunft formen“, das am 10. und 11. März 2025 in Linz, Österreich, stattfand.

Die Technische Universität Brunn (BUT) hat erfolgreich Studenten in die Forschungsbereiche des Projekts eingebunden. Ein gutes Beispiel dafür ist eine Bachelorarbeit mit dem Titel "Der Schatz im Schlamm: Phosphorrückgewinnung durch innovative Biolaugung von Klärschlamm-asche", die direkt auf die Projektziele ausgerichtet ist. Die Arbeit steht kurz vor dem Abschluss, die Bachelorprüfung ist für diesen Sommer geplant.

Im Rahmen eines Projekts an der Masaryk-Universität wurde eine neue Methodik entwickelt, die die gleichzeitige Analyse von Bakterien und Archaeen in verschiedenen Arten von Umweltproben wie Klärschlamm- oder Bioreaktorproben ermöglicht und zur Veröffentlichung in einer renommierten Fachzeitschrift eingereicht. Ein herausragender Gymnasiast beteiligte sich auch an der Auswertung von Metagenomsequenzierungsdaten aus Bodenproben und erreichte mit diesem Projekt die nationale Runde des Wettbewerbs „Stockholm Junior Water Prize“, der von der Mendel-Universität in Brunn organisiert wird. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse der Studie zur Limitierung der bakteriellen Schwefeloxidation auf der 6. Internationalen Wissenschaftlichen Konferenz „Biotechnology and Metals“ präsentiert, die am 10. und 11. Oktober 2024 in Stará Lesná in der Hohen Tatra stattfand. Der Abstract wurde anschließend im Tagungsband „Biotechnology and Metals 2024“ veröffentlicht.

Die BOKU University organisierte einen Stakeholder-Dialog mit den industriellen Kofinanzierungspartnern (Land Niederösterreich, EVN und Timac Agro) und diskutierte die Verwertung der Ergebnisse in der Interreg AT-CZ Region.

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.