Interreg Österreich – Tschechien

Kofinanziert von der Europäischen Union



Vom Abfall zur Ressource: Recycling von Klärschlammasche in phosphatreichen Pflanzendünger

Wie der im Klärschlamm enthaltene Phosphor genutzt werden kann, um den Phosphorkreislaufs zu stärken.

Motivation

Phosphor stellt einen unverzichtbaren Bestandteil von landwirtschaftlichen Düngern dar, der jedoch begrenzt sowie regional konzentriert vorkommt und aktuell unter umweltschädlichen Bedingungen abgebaut wird. Aufgrund seiner Bedeutung und hohen Importabhängigkeit der EU wird Phosphor seit 2014 auf der Liste der kritischen Rohstoffe geführt. Etwa 90 % des Phosphors im Abwasser werden im Klärschlamm zurückgehalten – in Österreich jährlich fast 7.000 Tonnen und in der Tschechischen Republik 8.000 Tonnen.

Der Verwertung von Klärschlamm unterscheidet sich zwischen der Tschechischen Republik und Österreich: Während in der Tschechischen Republik die direkte Feldausbringung in der Landwirtschaft weiterhin dominiert, wird in Österreich ein Großteil des Klärschlamms verbrannt, wobei künftig primär Klärschlammmonoverbrennungsanalagen zum Einsatz kommen sollen. Bis 2033 muss in Österreich, neben Vor-Ort-Lösungen, die Verbrennung von Klärschlamms aus größeren Kläranlagen durchgeführt werden, wobei 80 % des Phosphors aus der Asche zurückgewonnen werden muss. Auch die Tschechische Republik plant strengere Gesetze zur Begrenzung der landwirtschaftlichen Nutzung des Klärschlamms und setzt auf alternative Entsorgungsarten, wobei die thermische Verwertung priorisiert wird.

Die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammasche stellt aufgrund der Kontamination mit Schwermetallen eine große Herausforderung dar. Darüber hinaus macht der Einsatz industrieller Säuren zur Auswaschung und der daraus resultierenden Fällung den Prozess wirtschaftlich und ökologisch anspruchsvoll. In PHOS4PLANT werden alternative Methoden zur Verbrennung von Klärschlamm, Auslaugung und Phosphorausfällung erforscht, die eine umweltfreundliche Alternative zur Gewinnung des Phosphors für hochwertigen Dünger auf Basis biologischer Prozesse darstellen könnten.

Der aktuelle Forschungsstand in Arbeitspaket 1

Qualitative Verbesserung der Asche: Additivierungs- und Verbrennungsversuche

Im Arbeitspaket 1 werden Klärschlammaschen für weitere Tätigkeiten im Projekt PHOS4PLANT hergestellt. Aus diesen soll in weiterer Folge Phosphor ausgelaugt und nachfolgend Phosphor-Recyklate mit geringen Schwermetalllasten hergestellt werden. Zwei Aktivitäten zielen auf die Reduktion des Kontaminationsgrad des Materials und die Optimierung des Chemikalieneinsatzes ab – die Optimierung der Additivierung und Pilotverbrennung im Pilotstadium am BUT (Aktivität 1.2) sowie die Karbonatisierung der entstehenden Asche an der BOKU (Aktivität 1.3).

Die Aktivitäten am BUT basieren auf einem Design-of-Experiment-(DOE)-Ansatz, durch welchen der Einfluss mehrerer Prozessparameter wie Additivart, Dosierung, Verbrennungstemperatur und ausgewählter Verweilzeit, gleichzeitig statt einzeln bewertet wurden. Die Studien wurden bisher hauptsächlich mit der tschechischen Klärschlammasche CZ6 durchgeführt, die während der früheren Screening-Kampagne ausgewählt wurde.

Durch die bisherigen Ergebnisse wurden Additive ausgewählt. Sulfatbasierte Additive, die in frühen Experimenten als vielversprechend angesehen wurden, erwiesen sich in der Praxis als ungeeignet, da deren Einsatz mit einem deutlichen Anstieg der SO_2-Emissionen einhergingen, welche im industriellen Maßstab ungünstig sind. Daher wurden die Untersuchung auf andere Additivtypen verlagert, die einen günstigeren Einfluss auf die Schwermetallentfernung versprechen, während Phosphor in der Asche verbleiben soll. Die resultierenden Ascheserien werden gemeinsam mit der Masaryk-Universität (MU) analytisch untersucht (ICP und XRD). Parallel dazu wurden auch weitere österreichische Klärschlamme an der BUT sowie MU charakterisiert.

Nachbehandlung der Asche: Karbonatisierung zur Senkung des Säurebedarfs

Bioleaching mit *Acidithiobacillus thiooxidans* erweist sich am effizientesten in einem initialen pH-Bereich von 2,0 bis 3,5. Klärschlammaschen in wässriger Lösung weisen aber meist einen alkalischen pH auf, weshalb die Asche zunächst in ein saures Milieu gebracht werden muss. In Aktivität 1.3 wird die Neutralisierung der Asche durch die Behandlung mit Kohlendioxid untersucht, wodurch CO_2 gebunden werden und der Einsatz von Säure für die Senkung des pH-Wertes reduziert werden kann. Die BOKU untersuchte dafür zwei Aschetypen aus der ersten Pilotverbrennung an der BUT – eine additivierte und eine nicht additivierte. Die Karbonatisierung wurde zuvor optimiert und jeweils für 48 Stunden in Durchflusskolonnen mit reinem CO_2 und Umgebungsluft bei einem Flüssigkeits-Feststoff-Verhältnissen zwischen 0,0 und 0,8 untersucht.

Karbonatisierte Aschen wurden titriert, um den Säurebedarf zu bestimmen der für das anschließende Bioleaching erreicht werden muss: Die Titration mit 0,5 M Schwefelsäure zeigte, dass das nicht additivierte und unbehandelte Material 3,58 ± 0,32 ml benötigte, um einen pH-Wert von 3,5 zu erreichen, während die gleiche Asche nach der Karbonisierung nur 2,77 ± 0,31 ml benötigte, und somit etwa 20% der Säure einspart. Eine fortgesetzte Säurezugabe brachte jedoch die kohlensäurehaltige und die nicht-karbonisierte Asche praktisch auf den gleichen Endwert von pH 1,85 ± 0,11, was darauf hindeutet, dass der Nutzen der Karbonatisierung auf den Anfang des Auslaugungsprozesses beschränkt ist.

Die tatsächliche Menge an neugebildetem Karbonat fiel verhältnismäßig gering aus. Der gesamte Kohlenstoff in der behandelten Asche blieb zwischen 0,1 und 0,3 % der Trockensubstanz, wobei eine Variation des Flüssigkeits- zu Feststoffverhältnis keinen messbaren Vorteil einbrachte. Auch zwischen dem Einsatz von CO_2 gegenüber Luft wurde kein Unterschied gefunden. Eine wahrscheinliche Erklärung liegt in der Asche selbst, da die Aschen aus dem Drehofen (Prozess des BUT) unerwartet einen leicht sauren bis neutralen pH-Werte (5,9 bis 6,3) aufwiesen, im Gegensatz zu den deutlich alkalischen Aschen, die aus der Verbrennung in der Wirbelschichtanlagen erhalten werden.

Die mit $MgSO_4$ additivierte Asche wies einen deutlich alkalischeren pH-Wert von 8,3 auf. Durch die Karbonatisierung konnte der pH-Wert um 1,8 bis 2,1 Einheiten gesenkt werden, wobei das Material während der Titration so stark pufferte, dass selbst nach der Zugabe von 9,99 mL an 0,5 M Schwefelsäure der Ziel pH-Wert von 3,5 nicht erreicht werden konnte. Bei dieser Asche erhöhte die Additivierung den Säurebedarf eher als das er diesen verringerte.

Auf Grundlage dieser Daten wurden die optimierten Karbonatisierungsparameter auf 20 °C und 100 % CO_2, eine Behandlungszeit von 48 Stunden und ein anfängliches Flüssigkeits- zu Feststoff-Verhältnis von 0,3 festgelegt. Die unter diesen Bedingungen behandelte Asche wird nun für den Projektpartner K1-MET vorbereitet. Ein standardisiertes Betriebsverfahren wurde formuliert, um die Probenvorbereitung und den Säulenbau zwischen den Läufen gleichmäßig zu gewährleisten, und die Zusammenfassung der gewonnenen Karbonatisierungsdaten für die verschiedenen Aschen abgeschlossen.

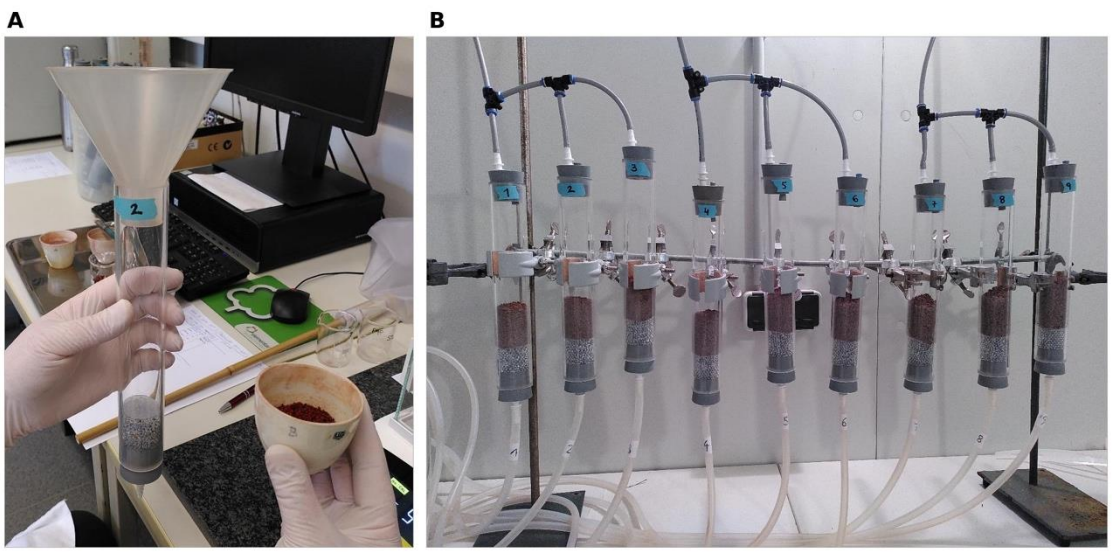


Abbildung 1: Karbonationsversuche an der BOKU an Klärschlammasche, die von BUT produziert wurde. A) Befüllung einer vorbereiteten Säule mit befeuchteter Asche; B) Durchführung der Durchfluss-Karbonatisierungsversuche.

Weiters ist nun geplant eine zweite Pilotkampagne mit ausgewählten Zusätzen in einem zweiten Pilot-Trocknungs- und Verbrennungslauf mit einem österreichischen Klärschlamm durchzuführen, wobei eine frische Aschecharge für weiterführende Untersuchungen hergestellt wird.

Weitere Karbonatisierungsexperimente, mit additivierter und nicht-additivierter Asche, zeigten nur begrenzte Kohlendioxidaufnahme und pH-Reduktion, und im Gegensatz zur typischerweise alkalischen Asche, die bei der Verbrennung in Wirbelschichtöfen entsteht, reagierte die nicht additivierte Asche wenig sauer bis neutral im Wasser. Weitere Pilotversuche mit anderen Arten von Klärschlammaschen könnten geeignete Proben liefern; wenn dort ein höherer anfänglicher pH-Wert erreicht werden kann, könnte auch der potenzielle Einfluss der Karbonatisierung auf die anschließende Auswaschung und Düngemittelproduktion bewertet werden.

Zusammen ergeben die beiden vorgestellten Aktivitäten ein tatsächliches Bild vom Aufbau des Projekts: Die Laborarbeit zielt darauf ab, die für den nächsten Pilotlauf sinnvollen Zusatzstoffe zu identifizieren, während die Karbonatisierungsversuche dazu dienen, das Potenzial zur Reduzierung des Verbrauchs von Säure zu quantifizieren.

Fortsetzung: Zweite Pilotkampagne

In Arbeitspaket 1 wird nun nach der anfänglichen Charakterisierung der zweite optimierte Pilotdurchgang mit optimierter Aschevorbereitungskette vorbereitet. Vier Arbeitslinien werden im aktuellen und in den kommenden Monaten verfolgt:

Die Auswahl des österreichischen Klärschlamms wurden Anhand von Analysen vom BUT und MUT getroffen. Wobei Die Klärschlammasche AT9 insgesamt die günstigste Zusammensetzung für Arbeitspaket 1 aufweist.

Zusatzstoffe aus geeigneten Abfällen, die sich als Additive eignen, wurden auf Basis von kreislaufwirtschaftlichen Prinzipien ausgewählt. Als potentielle Materialien wurden Eierschalen, Solen und Salzlösungen (Aluminiumschlamm) sowie PVC identifiziert. Diese werden im Labormaßstab (BUT und MU) als Ersatz für kommerzielle Reagenzien nun charakterisiert und gescreent.

Disseminationstätigkeiten

An der Masaryk-Universität wurde auf dem 26. Internationalen Biohydrometallurgie-Symposium (IBS 2026), das vom 28. bis 30. September 2026 in Orléans, Frankreich, stattfand, eine Studie zum Schwefeltransport in einem Modell-acidophil schwefeloxidierenden Bakterium vorgestellt. Ein ausführliches Abstract wurde in den Tagungstagen der Konferenz veröffentlicht. Das PHOS4PLANT Projekt wurde auch während der Forschernacht am 25. September 2026 auf dem Universitätscampus in Brünn vorgestellt. Darüber hinaus untersuchte die Oberschülerin Michaela Dvořáková in ihrem Forschungsprojekt PHOSMAG einen biogenen schwertmannit-magnetit-Magnetit-Verbund zur Phosphorrückgewinnung. Ihre Arbeit erreichte die regionale Runde des tschechischen Sekundarschulforschungswettbewerbs (SOČ) 2026 und trug zur Verbreitung projektbezogener Forschung unter jungen Forscher:innen bei.

Die Technische Universität Brno (BUT) nahm am 22. April 2026 am zweiten Projektworkshop teil, der von der BOKU-Universität Wien veranstaltet wurde, und trug mit der Präsentation „Motivation der Phosphorrückgewinnung aus dem Klärschlamm“ von Vladimír Brummer bei. Das von BUT zusammen mit den Projektpartnern erstellte Manuskript mit dem Titel „Eine Pilot-Scale Preparation of Pre-Treated Sickage Sludge Ash for Phosphorus Reclamation“ wird iterativ verbessert und steht kurz vor der Einreichung. Bernadette Goma präsentierte außerdem den Beitrag „Thermochemische Entfernung von Schwermetallen aus Klärschlamm“ auf der 13. Internationalen Konferenz zu Energie, Nachhaltigkeit und Klimakrise, die vom 24. bis 28. August 2026 in Rethymno, Griechenland, stattfand. BUT veranstaltet derzeit außerdem die International Engineering Project Weeks – Herbst 2026 am Institute of Process Engineering, die vom 31. August bis 25. September 2026 zum Thema „Integrierte Abfallmanagement- und Behandlungsprozesse“ stattfinden. Das Programm hat eine Gruppe von Austauschschülern aus Deutschland (Augsburg) nach Brünn gebracht und sie durch betreute Projektarbeit mit verschiedenen Themen bekannt gemacht, darunter Abfallbehandlung und Phosphorrückgewinnung – das Hauptthema des PHOS4PLANT-Projekts.

Die BOKU-Universität präsentierte zuletzt die Ergebnisse zur Karbonatisierung von Klärschlammasche auf der 13. Internationalen Konferenz zum nachhaltigen Abfallmanagement, die vom 24. bis 27. Juni 2026 auf der Insel Kos in Griechenland stattfand. Weiters wurde im Rahmen des zweiten Projektworkshops am 22. April 2026 ein Vortrag mit dem Titel „Current state-of-the-art technologies and LCA implications“ gehalten.

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.

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