



BMBF-Fördermaßnahme

# Regionales Phosphor-Recycling

Statusseminar

03./04. Mai 2023 | DECHEMA-Haus | Frankfurt am Main

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**FONA**

Forschung für Nachhaltigkeit

## Impressum

### Herausgeber

Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft und Klimazukunft an der RWTH Aachen (FiW) e. V.

Kackertstraße 15–17 | 52072 Aachen

Fon +49 241 80 2 68 25 | Fax +49 241 80 2 28 25

transphor@fiw.rwth-aachen.de

### Redaktion

TransPhoR – Vernetzungs- und Transfervorhaben der BMBF-Fördermaßnahme

### Fotonachweise (wenn nicht am Bild vermerkt)

Titel: Kläranlage © Ruhrverband, Blühende Landschaft ©

Christian Schwier/adobestock.com, Industriepark © 360de-

greeAerial/shutterstock.com

### Layout

FiW e. V., Aachen | design@fiw.rwth-aachen.de

### Bezug über

Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft und Klimazukunft an der RWTH Aachen (FiW) e. V.

Download: [www.bmbf-rephor.de](http://www.bmbf-rephor.de)

### Beiträge

Koordinatorinnen und Koordinatoren der RePhoR-Verbundprojekte, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Vernetzungs- und Transfervorhabens TransPhoR

### BMBF-Fördermaßnahme

#### „RePhoR – Regionales Phosphor-Recycling

#### Ansprechpartner beim BMBF

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

#### Thomas Bartelt

Referat 726 – Ressourcen, Kreislaufwirtschaft;

Geoforschung | 53170 Bonn

#### AnsprechpartnerIn beim Projektträger

Projektträgerschaft Ressourcen, Kreislaufwirtschaft;

Geoforschung (PTRKG), Projektträger Karlsruhe (PTKA),

Wassertechnologie, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Hermann-von-Helmholtz-Platz 1 | 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

#### Dr.-Ing. Carsten Jobelius

carsten.jobelius@kit.edu

#### Dr.-Ing. Thu Nguyen

le.nguyen@kit.edu

#### Dr. Thomas Deppe

thomas.deppe@kit.edu

### Auflage

1. Auflage, Mai 2023

# Inhalt

<b>Die BMBF-Fördermaßnahme RePhoR</b>	<b>4</b>
<b>Wissenschaftliches Begleitvorhaben TransPhoR</b>	<b>6</b>
<b>Regionen und Untersuchungsstandorte der Verbundprojekte</b>	<b>8</b>
<b>RePhoR-Verbundprojekte</b>	<b>9</b>
<b>AMPHORE</b>	<b>10</b>
Regionales Klärschlamm- und Aschen-Management zum Phosphorrecycling für einen Ballungsraum	
<b>DreiSATS</b>	<b>12</b>
Technologiedemonstration zur Kombination von Staubfeuerung und Säureaufschlussgranulierung mit integrierter Schwermetallabscheidung für das regionale Phosphorrecycling aus Klärschlämmen im „Mitteldeutschen Dreiländereck“ Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen	
<b>KlimaPhoNds</b>	<b>14</b>
Klimaneutrale und reststofffreie Klärschlammverwertung mit Phosphorsäureproduktion in Südost-Niedersachsen	
<b>P-Net</b>	<b>16</b>
Aufbau eines Netzwerks zum ressourceneffizienten Phosphor-Recycling und -Management in der Region Harz und Heide	
<b>RePhoRM</b>	<b>18</b>
Regionales Phosphorrecycling im Rhein-Main-Gebiet unter Berücksichtigung industrieller und agrarischer Stoffkreisläufe	
<b>R-Rhenania</b>	<b>20</b>
Modifiziertes Rhenania Phosphat aus Klärschlammasche für Bayern	
<b>SATELLITE</b>	<b>22</b>
Verfahrenstechniken im Haupt- und Satellitenbetrieb eines interkommunalen Recyclingzentrums für ein optimiertes regionales Nährstoffrecycling	
<b>Querschnittsthemen</b>	<b>24</b>
<b>Querschnittsthema 1 – Produkte, Märkte und rechtliche Aspekte</b>	<b>26</b>
<b>Querschnittsthema 2 – Nachhaltigkeitsbewertung</b>	<b>28</b>
<b>Kontaktdaten der Verbundpartner</b>	<b>30</b>

# Die BMBF-Fördermaßnahme RePhoR

## Regionales Phosphor-Recycling

### Hintergrund und Ziele

Phosphor (P) ist ein essenzieller und nicht substituierbarer Baustein in allen Lebewesen und wird vor allem als Dünger für eine ertragreiche Landwirtschaft gebraucht. Die endlichen Phosphaterz-Reserven sind auf wenige, teilweise politisch instabile Regionen in der Welt begrenzt und zunehmend verunreinigt. Deutschland, wie auch nahezu alle Länder der Europäischen Union (EU), hat keine eigenen Rohphosphatlagerstätten und ist deshalb vollständig auf Importe angewiesen. Eine wichtige Rolle zur Sicherung der zukünftigen Versorgung spielt die Rückgewinnung von Phosphor aus P-reichen Abfallströmen wie Abwasser und Klärschlamm. Die Bundesregierung hat deshalb die Rückgewinnung von Phosphor im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess II) als wichtigen Baustein zur Etablierung einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft verankert und mit der im Oktober 2017 in Kraft getretenen Novellierung der Klärschlammverordnung die gesetzlichen Rahmenbedingungen geschaffen. Diese Entwicklungen unterstreichen den großen Bedarf an wirtschaftlichen und nachhaltigen Lösungen zum P-Recycling.

Vor diesem Hintergrund hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Fördermaßnahme Regionales Phosphor-Recycling (RePhoR) als Teil der BMBF-Strategie „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“ auf den Weg gebracht. Ziel ist es, durch innovative wirtschaftliche Lösungen zum regionalen P-Recycling einen Beitrag zur Umsetzung der neuen Klärschlammverordnung zu leisten. Durch die daraus resultierende verstärkte Nutzung von Sekundärphosphor aus der Kreislaufwirtschaft sollen der Verlust von Phosphor und die Abhängigkeit Deutschlands von Phosphorimporten maßgeblich verringert werden.

In RePhoR werden verschiedene Technologien zur P-Rückgewinnung aus Abwasser, Klärschlamm oder Klärschlammverbrennungsgasche großtechnisch umgesetzt und wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse und praktische Erfahrungen gesammelt. Es wird die Lücke zwischen P-Rückgewinnung und P-Recycling möglichst regional geschlossen und der rückgewonnene Phosphor über die Landwirtschaft in den Nährstoffkreislauf oder als Rohstoff in die Industrie zurückführt.

Die umgesetzten regionalen P-Konzepte innerhalb von RePhoR sollen als Vorbild für andere Regionen mit vergleichbaren Bedingungen dienen und die dortigen relevanten Entscheidungsträger dabei unterstützen, das aus der Klärschlammverordnung resultierende P-Rückgewinnungsgebot in ihrer jeweiligen regionalen Einheit wirtschaftlich und nachhaltig umzusetzen.

### Zeitlicher und inhaltlicher Überblick

Die Förderung innerhalb der Fördermaßnahme RePhoR erfolgt in zwei Phasen. Die 6-monatige erste Phase („Konzeptphase“) mit 19 geförderten Projekten diente der Erstellung der regionalen Konzepte zum P-Recycling und endete im Juli 2019. Daraus wurden sieben Verbundprojekte ausgewählt, die innerhalb der fünf- bis sechsjährigen Umsetzungsphase eine Förderung zur Realisierung ihrer Konzepte erhalten. Die Umsetzungsprojekte starteten ab 01.07.2020 und die Zwischenergebnisse werden in dieser Broschüre vorgestellt. Sie bestehen aus mehreren Teilprojekten und Arbeitspaketen, in denen die Verbundpartner aus Wissenschaft, Wirtschaft und Praxis miteinander folgende inhaltliche Schwerpunkte der Fördermaßnahme umsetzen:



- » **Regionaler Ansatz:** Hierbei werden die örtlichen Gegebenheiten und Infrastrukturen der Abwasserreinigung und Klärschlammverwertung sowie möglichst kurze Transportwege für Klärschlämme, Klärschlammverbrennungsaschen und P-Rezyklate berücksichtigt. Es wird möglichst die gesamte Wertschöpfungskette betrachtet, um den rückgewonnenen Phosphor in die Landwirtschaft oder in die Industrie zurückzuführen. Dabei wird darauf geachtet, dass alle regional relevanten Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft, Verwaltung und Gesellschaft von Anfang an mit eingebunden werden.
- » **Großtechnische P-Rückgewinnung:** Die großtechnische Umsetzung eines Verfahrens zur P-Rückgewinnung aus den Stoffströmen Abwasser, Klärschlamm oder Klärschlammverbrennungsasche ist ein entscheidender Aspekt in den Projekten. Möglich ist auch die sinnvolle Einbindung von bestehenden großtechnischen Anlagen. Mit diesen großtechnischen Umsetzungen werden Erfahrungen unter realen Bedingungen gesammelt, um die Auswirkungen auf den Kläranlagenbetrieb und die Klärschlamm Entsorgung sowie die Produktqualität der P-Rezyklate und deren Nutzung vernünftig beurteilen zu können.
- » **Qualität der P-Rezyklate:** Eine wichtige Voraussetzung für die Akzeptanz der erzeugten P-Rezyklate am Markt ist der Nachweis, dass sie kontinuierlich, in ausreichender Menge und in guter Qualität erzeugt werden können. Je nach Verwendungszweck müssen dabei unterschiedliche Anforderungen erfüllt werden. Bei einer Verwendung als Düngemittel zum Beispiel ist eine gute Pflanzenverfügbarkeit bei gleichzeitiger

Schadstoffarmut entscheidend. Aus diesem Grund sind Qualitätsuntersuchungen der erzeugten P-Rezyklate ein wichtiger Teil des Arbeitsprogramms der RePhoR-Projekte.

- » **Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Bilanzierungen:** Innerhalb der regionalen Konzepte und Umsetzungen sollen möglichst wirtschaftliche und nachhaltige Lösungen zum P-Recycling realisiert werden. Zur Abschätzung werden hierfür Wirtschaftlichkeitsanalysen und Ökobilanzierungen mit etablierten Verfahren innerhalb der Projekte durchgeführt.

### Lenkungskreis

Die Fördermaßnahme RePhoR wird über die gesamte Laufzeit durch einen Lenkungskreis begleitet, der sich aus den Koordinatoren der Verbundprojekte, des Vernetzungsvorhabens sowie Experten aus Wirtschaft, Verbänden, Behörden und Ressorts zusammensetzt. Der Lenkungskreis dient der projektübergreifenden Vernetzung zwischen den Forschungsprojekten sowie der Diskussion übergreifender Fragestellungen. Dabei werden unter anderem Querschnittsthemen definiert, an denen alle Umsetzungsprojekte im Verlauf der Fördermaßnahme gemeinsam zusammenarbeiten. Außerdem werden gemeinsame Aktivitäten zur Verwertung und praktischen Umsetzung der Projektergebnisse und zur Öffentlichkeitsarbeit geplant.



# Wissenschaftliches Begleitvorhaben TransPhoR

## Transfervorhaben zum Regionalen Phosphor-Recycling

### Kurzbeschreibung

Die Fördermaßnahme wird über die gesamte Laufzeit vom Vernetzungs- und Transfervorhaben TransPhoR begleitet. Das Konsortium setzt sich aus dem Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft und Klimazukunft an der RWTH Aachen (FiW) e. V., dem Institut für Nachhaltigkeit im Bauwesen der RWTH Aachen sowie der HGoTECH GmbH zusammen. Im Unterauftrag unterstützt die TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft für Wasser-, Abwasser- und Energiewirtschaft mbH.

TransPhoR beschäftigt sich mit der Synthese der Ergebnisse aus den RePhoR-Verbundprojekten, mit begleitenden fachlichen Fragestellungen und der Aufbereitung der analysierten Ergebnisse für spezifische Anwendergruppen. Es werden projektübergreifende Fragestellungen identifiziert und gemeinsam mit den Verbundprojekten innerhalb von Querschnittsthemen bearbeitet, sowie Kriterien zur Gewährung der Vergleichbarkeit der Verbundprojekte definiert. Weiterhin sollen die projektübergreifende Vernetzung, u. a. mit regelgebenden Verbänden, nationalen und internationalen Aktivitäten, sowie die öffentliche Wahrnehmung der Problematik und Thematik gestärkt werden.

### Arbeitsschwerpunkte



Wissensaustausch und Vernetzung der Verbundvorhaben sowie der Fördermaßnahme mit internationalen und nationalen Akteuren, wie der Deutschen Phosphor-Plattform, der European Sustainable Phosphorus Platform, dem Phosphornetzwerk Schweiz und der DWA.



Erkenntnisanalyse und individuelle systematische Aufbereitung der analysierten Ergebnisse für spezifische Adressaten.



Entwicklung allgemeiner Kriterien zur vergleichenden Beurteilung der Wirtschaftlichkeit und Ökobilanz im Zuge einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbetrachtung der regionalen Phosphor-Recycling-Ansätze.



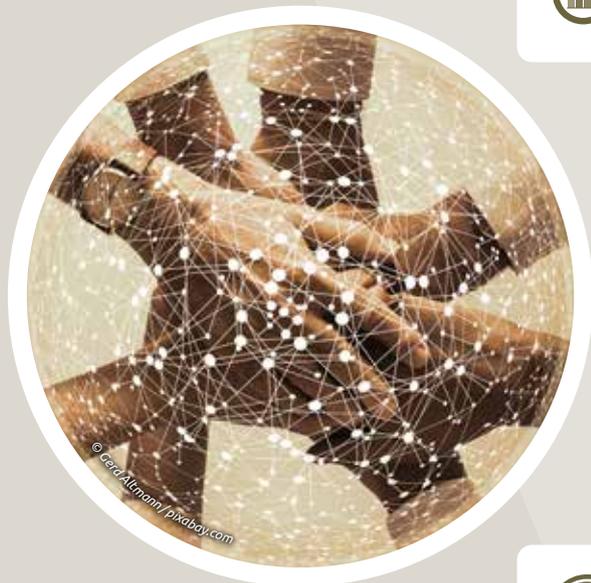
Organisation bzw. Koordination von Arbeitstreffen, Statusseminaren und Diskussionsforen – Online-Auftaktveranstaltung 2020, Hybrid-Workshop 2022, Rechtsworkshops 2021 und 2022, Zwischenkonferenz 2023 und regelmäßigen Lenkungs-kreissitzungen.



Weiterentwicklung standardisierter Prüfverfahren und Produktkriterien für die produzierten Phosphor-Rezyklate.



Öffentlichkeitsarbeit und Außendarstellung – Einrichtung und Betrieb der RePhoR-Homepage, Erstellung von Kurzfilmen für die breite Öffentlichkeit, Präsentation der Fördermaßnahme auf verschiedenen Tagungen und Konferenzen, wie der ESSENER TAGUNG für Wasserwirtschaft, den DWA-Klärschlammtagen, Sonderformaten im Rahmen der IFAT-Messe, dem DPP-Forum, der 4th ESPC, der European Wastewater Management Conference & Exhibition etc.





© Fritz the Cat / pixabay.com

## Ziele

TransPhoR unterstützt die Verbundvorhaben der Fördermaßnahme RePhoR dabei, die wissenschaftlichen Erkenntnisse und praktischen Erfahrungen zur Phosphor-Rückgewinnung auf großtechnischen Anlagen in die (Fach-) Öffentlichkeit zu transferieren. Durch die Novellierung der Klärschlammverordnung ist eine Entscheidungshilfe auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse bei der Wahl einer geeigneten Phosphor-Rückgewinnungsmethodik für die zukünftige Umsetzung der Anforderungen der Klärschlammverordnung besonders relevant geworden. Dabei soll TransPhoR insbesondere die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleisten und deren Verwertung durch die Verbundvorhaben unterstützen. Diese beiden Kriterien spielen vor allem bei der Nachhaltigkeitsbewertung unter Berücksichtigung von ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekten eine große Rolle.

Die Fördermaßnahme RePhoR wird hierzu kontinuierlich begleitet und die Verbundvorhaben in ihrer Arbeit direkt durch Leitlinien zur Nachhaltigkeitsbewertung der Phosphor-Rezyklate und die Förderung des inhaltlichen Austauschs unterstützt. TransPhoR soll somit helfen, Antworten auf den zukünftigen Umgang mit einer der wichtigsten Ressourcen im Bereich Abwasser und der Einhaltung der neuen Rückgewinnungspflichten der Klärschlammverordnung zu bündeln.

Durch die unterschiedlichen Interessen und Anforderungen der verschiedenen Stakeholder-Gruppen bzgl. der Thematik ist eine adressatenspezifische Aufbereitung der Projekthalte und Ergebnisse erforderlich. Diese werden von TransPhoR im Rahmen von projektübergreifenden Vernetzungsaktivitäten sowie mittels der Öffentlichkeitsarbeit und Außendarstellung abgedeckt. So wurden im Rahmen des Vorhabens verschiedene Formate zum Wissensaustausch und Wissensvermittlung entwickelt und durchge-

führt, bspw. die Rechtworkshops, Querschnittsthementreffen, eine Hybrid-Veranstaltung im Mai 2022. Auch die Wissenschaftskommunikation wird mit der Erstellung von Kurzfilmen zur Vermittlung der Problematik der Ressourcenknappheit verfolgt. Hierdurch sollen Forschungsergebnisse auch der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden und langfristig die Akzeptanz und Unterstützung für Rezyklat-Produkte gesteigert werden.

Weitere Informationen können der Internetseite der Fördermaßnahme RePhoR entnommen werden:

**[www.bmbf-rephor.de](http://www.bmbf-rephor.de)**

### Kontakt

**Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft und Klimazukunft an der RWTH Aachen (FiW) e. V.**

Kackertstraße 15–17  
52072 Aachen

**Prof. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp**

Tel.: +49 241 80 2 52 07  
pinnekamp@fiw.rwth-aachen.de

**Dr.-Ing. Kristoffer Ooms**

Tel.: +49 241 80 2 68 22  
ooms@fiw.rwth-aachen.de

**Dr.-Ing. Daniel Bastian**

Tel.: +49 241 80 2 68 21  
bastian@fiw.rwth-aachen.de

**Sophia Schüller, M.Sc.**

Tel.: +49 241 80 2 68 17  
schueller@fiw.rwth-aachen.de

# Regionen und Untersuchungsstandorte der Verbundprojekte



- 1 **AMPHORE**  
Bottrop
- 2 **DreiSATS**  
Magdeburg, Markranstädt
- 3 **KlimaPhoNds**  
Northeim
- 4 **P-Net**  
Gifhorn, Braunschweig
- 5 **RePhoRM**  
Frankfurt am Main – Höchst
- 6 **R-Rhenania**  
Altenstadt
- 7 **SATELLITE**  
Hildesheim, Pattensen,  
Landkreis Nienburg, Göttingen

# RePhoR- Verbundprojekte

# AMPHORE

## Regionales Klärschlamm- und Aschen-Management zum Phosphorreycling für einen Ballungsraum



Abb. 1: Baufortschritt in Bottrop

© Jürgen Steffensky/ Ecoly

### Zielsetzung

Ziel in AMPHORE ist es, ein ganzheitliches Konzept für eine zukunftssichere Gestaltung der Phosphor-Rückgewinnung für einen Ballungsraum mit rd. 7 Mio. Einwohnern zu entwickeln. Neben technischen Herausforderungen rund um die Demonstration der Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm-Aschen stehen damit einhergehende Fragestellungen im Fokus. Dies sind insbesondere die regionale Verwertung der Produkte und der Umgang mit Reststoffen, die ökonomische und ökologische Bewertung, ein Konzept zum Klärschlamm-(KS) und Aschen-Management sowie die Betrachtung möglicher Zukunftsszenarien der Phosphor-Rückgewinnung.

### Stand der Arbeiten

Zum 1. Juli 2022 ist das AMPHORE-Vorhaben in die sog. zweite Projektphase gestartet. Dafür wurde die Förderung vom Bundesministerium für Bildung und Forschung auf insgesamt rd. 8,7 Mio. Euro aufgestockt.

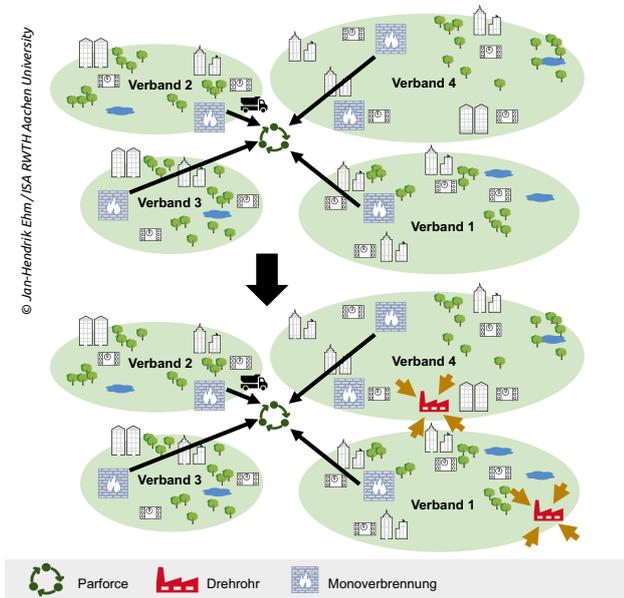
Zur Erarbeitung der Grundlagen und Rahmenbedingungen wurde eine gemeinsame Datenbank aufgebaut, die Informationen über die im Projektgebiet anfallenden Klärschlämme sowie Verbrennungsaschen enthält (Datensätze seit 2019). Zusätzlich wurden zwischen September 2020 und Dezember 2022 mehrere Probenahmereinheiten an ausgewählten Kläranlagen und den vier Monoverbrennungsanlagen durchgeführt und mittels ICP-OES sowie RFA analysiert (AP 2.1). Aus den Untersuchungen lässt sich erkennen, dass die Aschen des Projektgebiets teilweise hohe Metall- (insbesondere Fe und Al) sowie Schwermetallgehalte und/oder niedrige Phosphor-Gehalte aufweisen. Für die zukünftige Nutzung des RFA-Messgeräts an der Pilot-

anlage wurde dieses mit Hilfe der bisherigen Messungen kalibriert und ein Messprozedere entwickelt. Dabei stehen die In-situ-Messung der Klärschlamm-Asche und des Ascherückstandes im Fokus.

Basierend auf den erhobenen Daten (z.B. KS-Mengen und -Zusammensetzung, Verbrennungskapazitäten oder Standorte) wurde ein Stoffstrommodell für die Projektregion erstellt (AP 2.2). Mit diesem wurden unterschiedliche Varianten für ein ganzheitliches KS- und Aschen-Management zur Bewertung entwickelt. Die Varianten zeigen unterschiedliche Maßnahmen auf, die dazu beitragen könnten, die zukünftige Phosphor-Rückgewinnung ganzheitlich zu optimieren (Abb. 2).

Grundsätzlich ist für den Bau zukünftiger Phosphor-Rückgewinnungsanlagen die Frage zu beantworten, ob sich zentrale oder dezentrale Strukturen räumlich, infrastrukturell, logistisch und finanziell günstiger darstellen. Neben verbandseigenen Standorten auf Kläranlagen oder Klärschlammverbrennungsanlagen kommen externe Standorte, bspw. Chemieparks oder die „grüne Wiese“ in Betracht. Im Rahmen von AMPHORE wurden konkrete Standortoptionen im Projektgebiet identifiziert und eine Vorauswertung über Ausschlusskriterien vorgenommen (AP 2.3). Nachfolgend wurde ein Tool in ArcGIS konzipiert, welches zukünftig alle zur Standortbewertung erforderlichen Informationen enthalten und daraus die günstigsten Standortoptionen ausweisen soll.

Für den Bau der Pilotanlage am Kläranlagenstandort Bottrop (EG) nach der PARFORCE-Technologie wurde im Juni 2022 der finale Genehmigungsantrag eingereicht (AP 3.1). Mitte März 2023 wurde die Genehmigung zum Bau und Betrieb der Anlage durch die Bezirksregierung Münster er-



**Abb. 2: „Basisvariante“ und ausgewählte Variante zum KS- und Aschen-Management**

teilt. Parallel zu den Detailplanungen der Anlagentechnik wurden Schnittstellen mit dem Betriebsstandort und zu der Halle (Abb. 1), die aktuell errichtet wird, abgestimmt. Der Montagestart wurde vorbereitet.

Mit dem Betrieb der Phosphor-Rückgewinnung fallen neben der Phosphorsäure weitere Produkte (u. a. Metallsalz-Lösungen) sowie Reststoffe (u. a. silikatischer Rückstand) an (AP 4.1 und 4.2). Zur Ermittlung der Anforderungen potenzieller Abnehmer (z. B. bzgl. Produktqualitäten) und möglicher Erlöse wurden Fachgespräche mit unterschiedlichen Akteuren durchgeführt. Thematisiert wurden auch Anwendungsfelder für die Nebenprodukte sowie Lösungen für den Umgang mit den Reststoffen. Generell hängt die Zusammensetzung der (Neben-)Produkte stark von den eingesetzten Aschen und Hilfsstoffen ab. Die sehr volatile Marktpreisentwicklung (z. B. für Phosphorsäure), die stark von aktuellen geopolitischen Ereignissen beeinflusst wird, lässt noch keine konkrete Aussage für die zukünftige Erlössituation zu. Zur Entwicklung eines Notfall- und Zwischenlagerkonzepts (AP 4.3) wurden unterschiedliche Ausfall- und Überbrückungsszenarien definiert. In einem ersten Schritt wurden verbandseigene Standorte und deren Zwischenlagerkapazitäten identifiziert. Für die Umsetzung des Notfall- und Zwischenlagerkonzepts werden auch relevante externe Akteure einbezogen.

Im Rahmen der Variantenanalyse und eines Szenarienprozesses wurde eine umfangreiche, interne Workshop-Reihe gestartet (AP 5.1). Zunächst wurden Faktoren, die Einfluss auf die unterschiedlichen Varianten (s. AP 2.2) haben können, identifiziert und gewichtet. Ziel ist es, diejenigen Varianten hervorzuheben, die unter bestimmten Annahmen und Randbedingungen die robustesten Lösungen zur Phosphor-Rückgewinnung im Projektgebiet darstellen. Im Rahmen der Arbeiten zur ökologischen Bewertung wurde ein Stoffstrommodell aufgebaut und parametrisiert, welches das Rückgewinnungsverfahren abbildet (AP 5.3). Basierend auf den bisher verfügbaren Daten und Erkenntnissen zum Verfahren wurden Stellschrauben im Prozess herausgearbeitet, die signifikanten Einfluss auf die ökologische Bewertung haben und die in die verfahrenstechnische Optimierung einfließen sollen.

## Ausblick

Aktuelle äußere Umstände haben dazu geführt, dass sich die Errichtung der großtechnischen Anlage zur Phosphor-Rückgewinnung deutlich verzögert. Nach aktuell avisiertem Montagestart der Anlagentechnik im Mai 2023 sollen die Arbeiten innerhalb eines Jahres abgeschlossen werden. Im Anschluss folgen die Inbetriebnahme und der Versuchsbetrieb. In diesem werden Klärschlammaschen unterschiedlicher Qualitäten aus dem Projektgebiet in nacheinander folgenden Kampagnen zur Phosphorsäure-Gewinnung verwertet. Parallel zur Errichtung der Anlage wird vorbereitend ein umfassendes Untersuchungskonzept erarbeitet, welches wichtige Erkenntnisse u. a. für die verfahrenstechnische Optimierung und die ökologische sowie ökonomische Bewertung des Verfahrens liefern soll.

Die bereits gestarteten Untersuchungen zu den einzelnen Arbeitspaketen werden fortgeführt und um weitere Aspekte, die für den Erfolg des Umsetzungskonzeptes (z. B. rechtliche und organisatorische Randbedingungen) maßgeblich sind, erweitert. Durch die Bewertung und Zusammenführung der einzelnen Untersuchungsergebnisse soll eine (ggf. mehrere) konkrete Vorzugsvariante definiert werden. Für diese soll weiterführend ein Konzept zum Scale-Up und Roll-Out sowie zur Übertragbarkeit auf andere Regionen erarbeitet werden.

Untersuchungsstandort  
**Bottrop**



### Koordination

#### Ruhrverband

Kronprinzenstraße 37  
45128 Essen

#### Hanna Evers, M. Sc.

Tel. +49 201 178-2380  
hev@ruhrverband.de

### Verbundprojekt-Webseite

[www.ruhrverband.de/wissen/projekt-amphore/](http://www.ruhrverband.de/wissen/projekt-amphore/)

### Laufzeit

01.07.2020 – 30.06.2025

# DreiSATS

Technologiedemonstration zur Kombination von Staubfeuerung und Säureaufschlussgranulierung mit integrierter Schwermetallabscheidung für das regionale Phosphorrecycling im „Mitteldeutschen Dreiländereck“ Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen



Abb. 1: Kontrolle der Korngröße der Düngergranulate in der Pontes Pabuli Versuchsanlage am Standort der Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH (VKD)

## Zielsetzung

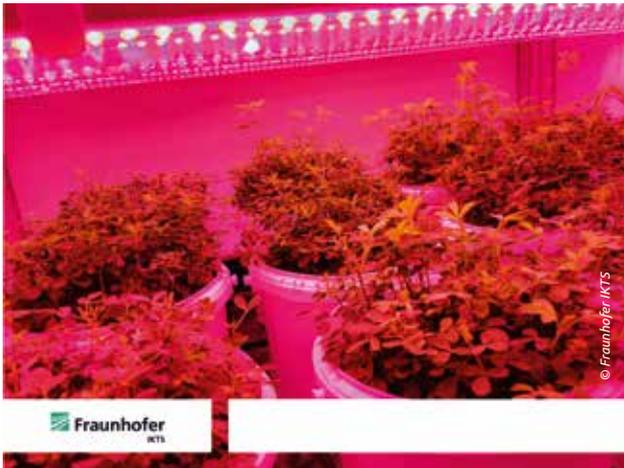
Ziel des Verbundprojektes DreiSATS ist die praxisnahe, prototypische Erprobung und Demonstration einer innovativen, wirtschaftlich und technisch tragfähigen Prozesskette zur thermischen Klärschlammverwertung mit Phosphorrecycling und Produktverwertung für die Modellregion „Mitteldeutsches Dreiländereck“. Beteiligt sind die Partner Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH (VKD) und die Projektpartner Carboteknik GmbH, LTC Lufttechnik Crimmitschau GmbH, Pontes Pabuli GmbH sowie die Forschungseinrichtungen Fraunhofer-IKTS und Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar (MFPA Weimar)

## Stand der Arbeiten

Kernelement des dezentralen Ansatzes ist die Verbrennung des Klärschlammes in Staubfeuerungsanlagen von Carboteknik mit integrierter Heißgasfiltration zur Schwermetallabscheidung. Dieses wird auf einer Versuchsanlage in Magdeburg im technischen Maßstab erprobt. Neben dem Nachweis der prinzipiellen Machbarkeit der Klärschlammverbrennung in einer Staubfeuerung konnten durch Untersuchungen die Prozessbedingungen (z. B. Brennstoff-Luftverhältnis, Zündverhalten, pneumatische Dosierung, etc.), Abgasnachbehandlung sowie die Aschequalitäten bewertet werden. Die Verbrennungsanforderungen gemäß 17. BImSchV wurden für kommunalen Klärschlamm eingehal-

ten. In der Bilanz zwischen Schadstoffeintrag und der Aschequalität unterhalb der Nachbrennkammer konnte eine teils signifikante Schadstoffentfrachtung festgestellt werden. Die positiven Effekte der Schwermetallentfrachtung und Verbesserung der Phosphorlöslichkeit sollen durch Additivzugabe und Integration einer Heißgasfiltereinheit mit keramischen Filterelementen weiter verbessert werden. Für erste Bestimmungen geeigneter Additive wurden Verbrennungsversuche in einem Laborrohrreaktor des Fraunhofer IKTS durchgeführt. Durch die Zugabe von Ammoniumchlorid konnten die im Schlamm enthaltenen Schwermetalle deutlich reduziert werden. Außerdem wurden weitere Additive, deren Menge und Additivkombinationen getestet, um deren Wirkung vergleichend zu betrachten. Durch LTC erfolgte die Konstruktion und Fertigung der Module Heißgasfiltration und Additivzugabe. Aktuell erfolgt der Einbau dieser in die Versuchsanlage in Magdeburg.

Im Rahmen des Projektes wurde das Pontes Pabuli-Verfahren aus dem laborativen Maßstab in den technischen Maßstab überführt werden. Hierzu wurden verschiedene Einzelaspekte des Pontes Pabuli-Verfahrens aus dem laborativen Maßstab skaliert. Im Ergebnis erfolgte am 28. März 2022 die Inbetriebnahme der Versuchsanlage am Standort der Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH in Markranstädt (Abb. 1). An der Versuchsanlage wurden z. B. das Löse- und Reaktionsverhalten von ausgewählten Verbrennungsaschen untersucht und ein umfassendes Versuchsprogramm zur Untersuchung der Fest-/Flüssigtrennung durchgeführt. Als Mineralsäuren wurden Schwefel- und



**Abb. 2: PhytoTox-Stand**

Salpetersäure eingesetzt. Variiert wurden die technischen Parameter bei der Fest-/Flüssigtrennung, wie Durchflussgeschwindigkeit, Pumpendruck, Membrandruck oder Art des Filtermaterials. Die experimentellen Untersuchungen und notwendigen Analysen führte der Partner MFPA Weimar durch. Als Ergebnis aus diesen Untersuchungen standen Erkenntnisse zur rezeptur- und produktspezifischen Prozessführung zur Verfügung, die zum einen belastbare Aussagen zur Filterpresseneinstellung in den einzelnen Säuresystem zulassen; zum anderen resultierten Informationen zur Abtrennwirkung bei unterschiedlichen Prozessparametern. Im Ergebnis dieser bisher durchgeführten Versuche liegen nun fundierte Kenntnisse zum Löseverhalten der Modellasche aus der Staubfeuerung vor. Dadurch ist es möglich, gezielt die Löseparameter so auszuwählen, dass das Phosphat weitgehend vollständig und die relevanten Schwermetalle im erforderlichen Maße in Lösung übergehen. Dies stellt die Voraussetzung für die nachfolgende Schwermetallanreicherung dar. Ebenso erfolgten systematische Untersuchungen zum Granulationsverhalten. Es konnte nachgewiesen werden, dass am Granulierteller ausreichend runde und stabile Granulatkügelchen erzeugt werden können.

Um den Einsatz von ressourcenschonend hergestellten Rezyklaten in landwirtschaftlichen Produktionssystemen zu ermöglichen, ist es notwendig, die Umweltauswirkungen zuverlässig zu beschreiben und zu bewerten. Dazu sind Methoden zur Einbeziehung und ganzheitlichen Bewertung von chemisch-physikalischen Analysedaten und die Kombination von explorativen und deskriptiven Datensätzen aus biologischen Nachweisen erforderlich. Am Fraunhofer IKTS wurde deshalb ein entsprechendes Verfahren etabliert. In einer standardisierten Versuchsanlage (Abb. 2) können Toxizitäts- und Nährstoffverfügbarkeitstests in substratgebundenen Systemen unabhängig von Jahreszeiten durchgeführt werden. Durch die etablierte Methode und Forschungsinfrastruktur können Vorgänge, die im Freiland oder Gewächshaus längere Zeiträume beanspruchen, durch die standardisierten Umgebungsparameter reproduzierbar abgebildet werden. Es wurde eine Möglichkeit geschaffen,

Böden, Erden, Substrate, Düngemittel, Bodenhilfsstoffe und biogene Reststoffe für den Einsatz in Landwirtschaft und Gartenbau im Rahmen von Qualitätssicherung, Risikobewertung und den verschiedenen Stufen der Produktentwicklung zu testen und bewerten.

## Ausblick

In der 2. Projektphase werden die Versuchsanlagen im Dauerbetrieb gefahren. Entwicklungsgegenstand ist dabei der Betrieb der Staubfeuerungsanlage mit Heißgasfiltermodul zur Ascheabtrennung im Heißgasbereich und Additividosierung.

Die erzeugten schwermetallabgereicherten Aschen werden zum Säureaufschluss und Granulierung in der Technikuksanlage des Pontes Pabuli Verfahren beim Projektpartner Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH eingesetzt. Die dabei entstehenden gebrauchsfertigen Düngemittel werden chemisch charakterisiert. Außerdem sind weitere Pflanzversuche der erzeugten Düngerezepturen am Fraunhofer IKTS sowie im Gewächshaus und der Freilandversuchsflächen der Veolia Klärschlammverwertung geplant. Das Fraunhofer IKTS wird die Methodenkompetenz im Bereich der Bioassays in einer weiteren Versuchsanlage ausbauen, um Düngemittelprodukte auch in suspensierter Form bewerten zu können. Zudem wird das GIS Modul zur Standortwahl für die großtechnische Umsetzung finalisiert.

Untersuchungsstandorte  
**Magdeburg,  
Markranstädt**



### Koordination

#### **Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH**

Nordstraße 15

04420 Markranstädt

#### **Matthias Hoger**

Tel.: +49 34205 738-19

matthias.hoger@veolia.com

#### **Claudyn Kidszun**

Tel.: +49 163 73800-28

claudyn.kidszun@veolia.com

### **Verbundprojekt-Webseite**

[www.dreisats.de](http://www.dreisats.de)

### **Laufzeit**

01.07.2020 – 30.06.2025

# KlimaPhoNds

## Klimaneutrale und reststofffreie Klärschlammverwertung mit Phosphorsäureproduktion in Südost-Niedersachsen



### Zielsetzung

Das Verbundprojekt KlimaPhoNds zielt auf die technische Demonstration einer dezentralen Phosphorrückgewinnung. Am Beispiel der Kläranlage Northeim soll gezeigt werden, dass die zukünftige Rückgewinnungspflicht klimafreundlich und ressourceneffizient erfüllt werden kann. Die Klimafreundlichkeit beruht auf einer innovativen, nahezu wärmenutralen Trocknung von Klärschlamm und dessen energetischer Verwertung. Die verbesserte Ressourceneffizienz wird durch eine reststofffreie Klärschlammverwertung sowie durch Stoffkreisläufe für Phosphor, Ammoniumstickstoff und Magnesium erreicht.

### Stand der Arbeiten

Die genannten Ziele sollen erreicht werden durch Entwicklungsarbeiten in drei Schwerpunkten:

- » Optimales P-Rückgewinnungskonzept für Grenzwertunterschreitung
- » Neue Verdampfungstechnologie für Klärschlamm-trocknung
- » Neue Veredelungstechnologie für MAP

Das entwickelte P-Rückgewinnungskonzept ist in Abb. 1 gezeigt und beinhaltet eine Phosphatrücklösung aus Überschussschlamm sowie eine Phosphatfällung aus Schlammwasser als Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP). Für die Rücklösung der im Schlamm gebundenen Phosphate wurde eine thermisch intensivierte Schlammversäuerung entwickelt, die unter optimierten Bedingungen eine Rücklösung von über 70 % der Phosphorfracht in das Schlammwasser ermöglicht. Auf Kläranlagen mit anteiliger chemischer P-Elimination kann eine ausreichende Rücklösung durch die Zugabe von Zitronensäure erreicht werden. Der versäuerte Schlamm wird so entwässert, dass mehr als 80 % der rückgelösten P-Fracht mit dem Schlammwasser abgetrennt werden.

Die Phosphatfällung wurde soweit optimiert, dass über 95 % der Phosphate als MAP aus dem Schlammwasser gefällt werden. Die Besonderheit liegt darin, dass im Schlammwasser sehr hohe Phosphatkonzentrationen von 1.000 bis 1.200 mgPO<sub>4</sub>-P/L vorliegen. Infolge der optimierten P-Rücklösung und -fällung aus reinem Schlammwasser wurden für das gewonnene MAP nur geringe Verunreinigungen festgestellt. Die Verfahrensoptimierungen haben sich über Bilanzrechnungen als zielführend ergeben für eine Abreicherung des P-Gehalts im entwässerten Klärschlamm der Kläranlage Northeim auf kleiner als 20 g P/kg TM.

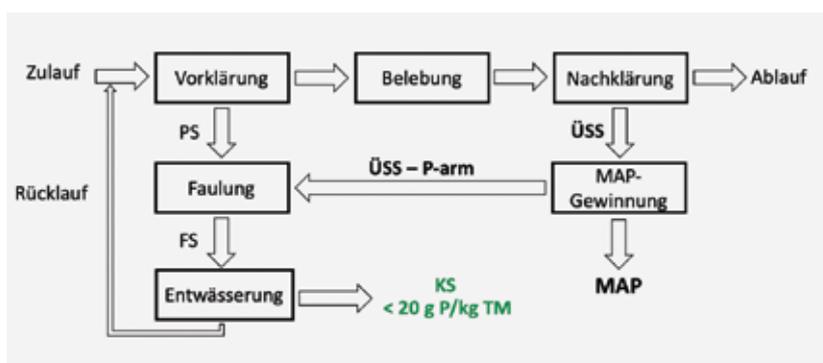
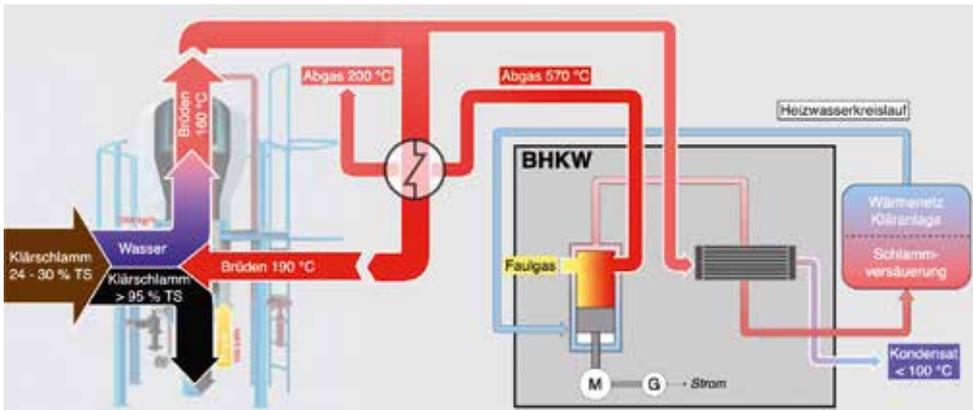


Abb. 1: Konzept der P-Rückgewinnung

Die Planungen für den Umbau der Kläranlage auf das entwickelte P-Rückgewinnungskonzept sind abgeschlossen. Die Anlagen zur P-Rücklösung und P-Fällung befinden sich aktuell in der Ausschreibungs- bzw. Bauphase.

Für den Entwicklungsschwerpunkt der Klärschlamm-trocknung wurde erstmalig eine Pilotanlage mit der innovativen Verdampfungstechnologie geplant und konstruiert. Aktuell findet die Fertigung und Montage von Komponenten und Anlagenteilen statt. Die Pilotanlage musste



**Abb. 2. Wärme-  
managementkonzept  
mit „wärmeneutraler“  
Trocknung**

aus Kostengründen verkleinert werden, ist aber trotzdem noch in der Lage, ca. 60% des gesamten Klärschlammes der Kläranlage Northeim zu trocknen.

Die Planung der Wärmeströme für ein integriertes Wärme-managementkonzept in Abb. 2 verdeutlicht, dass die gesamte für die Volltrocknung genutzte Wärme zurück an die „Heizzentrale“ des Klärwerks gegeben wird. Die Trocknung erfolgt mit überhitztem Wasserdampf bei ca. 150–200°C und ist als Wirbelschichtreaktor konzipiert. Statt Abluft wird Wasserdampf abgezogen und in einer zweiten Heizstufe des Warmwasserkreislaufes bei ca. 90–100°C vollständig kondensiert.

Für den Entwicklungsschwerpunkt MAP-Veredelung wurden optimale Kalzinierungstemperaturen in Abhängigkeit von der Organik-Belastung des MAP ermittelt, um optimale Bedingungen für die Phosphorsäure- und Magnesiumchlorid-Produktion zu schaffen. Unter optimalen Bedingungen können bis zu 95% des Phosphors als Phosphorsäure und ca. 90% des Magnesiums als Magnesiumchlorid zurückgewonnen werden.

Zusammenfassend ergaben die Untersuchungen zur MAP-Veredelung, dass organische Verunreinigungen höhere Kalzinierungstemperaturen erfordern, während metallische Verunreinigungen wie Eisen etc. den Chemikalienbedarf des PARFORCE-Verfahrens erhöhen und die Reinheit der erzeugten Phosphorsäure mindern bzw. ist ein zusätzlicher Aufwand zur Entfernung von Eisen erforderlich.

Für eine spätere technische Umsetzung sind die wirtschaftlichen Erkenntnisse des Demonstrationsbetriebes abzuwarten. Allerdings macht eine Veredelung von MAP nur an zentraler Stelle Sinn, so dass das MAP von vielen Kläranlagen zu einer zentralen Aufbereitung transportiert werden sollte.

## Ausblick

Die Umbauarbeiten auf der Kläranlage sollen Mitte 2024 fertiggestellt sein. Daran schließt sich nach einer Phase der Inbetriebnahme mit Anpassungen und Optimierungen eine Demonstrationsphase mit Messprogramm an. Die MAP-Gewinnung erfolgt großtechnisch im vollintegrierten Kläranlagenbetrieb und soll eine sichere Unterschreitung des Grenzwertes von 20gP/kgTR im entwässerten Klär-

schlamm im gesamten Jahresverlauf aufzeigen. Die Trocknung des Klärschlammes erfolgt im Bypass und kann jederzeit ein- und ausgeschaltet werden.

Für den erfolgreichen technischen Nachweis der MAP-Veredelung wird ein Teil des großtechnisch gewonnenen MAPs, d.h. ca. 10 t MAP zunächst zu Ammoniumwasser und Magnesiumphosphat (Prozess der Kalzinierung) und anschließend von Magnesiumphosphat zu Phosphorsäure und Magnesiumchlorid (Parforce Verfahren) aufgearbeitet. Während Ammoniumwasser und Phosphorsäure als „Produkte“ zur Abgabe an die Industrie hinsichtlich ihrer Qualität bewertet werden, wird mit dem zurückgewonnenen Magnesiumchlorid ein technischer Kreislauf zur Kläranlage realisiert. Dieser Kreislauf soll dreimal erfolgen, so dass die Qualität des MAP aus recyceltem Magnesiumchlorid, aber auch der Kläranlagenbetrieb mit recyceltem Magnesiumchlorid bewertet werden kann.

Untersuchungsstandort  
**Northeim**



**Koordination**  
**CUTEC-Forschungszentrum der TU Clausthal**  
 Leibnizstraße 23  
 38678 Clausthal-Zellerfeld  
**Prof. Dr.-Ing. Michael Sievers**  
 Tel.: +49 5323 72-6243  
 michael.sievers@cutec.de

**Verbundprojekt-Webseite**  
[www.klimaphonds.de](http://www.klimaphonds.de)

**Laufzeit**  
 01.10.2020 – 30.09.2023  
 01.10.2023 – 30.09.2025 (beantragt)

# P-Net

## Aufbau eines Netzwerks zum ressourceneffizienten Phosphor-Recycling und -Management in der Region Harz und Heide



Abb. 1: Zwischenernte von Winterweizen im Exaktversuch

### Zielsetzung

P-Net hat sich zum Ziel gesetzt, die Probleme, offenen Fragestellungen und Verfahrenslimitierungen der Phosphorverwertung über Struvit aufzugreifen und zu bearbeiten. Um dieses Ziel zu erreichen, sollen bereits bestehende Struvit-Anlagen zur P-Rückgewinnung so weit optimiert werden, dass sie in wirtschaftlicher Betriebsweise zukünftig auch die Anforderungen der novellierten Klärschlammverordnung erfüllen. Darüber hinaus sollen ein regionales Netzwerk zum P-Recycling sowie ein Struvit-Hub etabliert werden, die auf den P-Rezyklaten basieren, die heute schon erzeugt werden, aber bisher nicht den Weg zurück in den Markt finden. Hierbei müssen u. a. Hemmnisse identifizieren und erforderliche institutionelle Arrangements entwickeln werden. Ein regionaler und europäischer Austausch und Wissenstransfer bzgl. der Struvit-Schiene soll etabliert und weiterführende Handlungsempfehlungen erarbeitet werden.

### Stand der Arbeiten

Nach knapp drei Jahren Projektarbeit ist P-Net diesen Zielen einen großen Schritt nahegekommen. So konnte im Bereich der verfahrenstechnischen Untersuchungen sowohl im Technikums- als auch im großtechnischen Maßstab gezeigt werden, dass unter Einsatz von leicht verfügbaren Kohlenstoffquellen (C-Quellen) P-Rücklöseraten von über 70 % des gesamten, im Belebtschlamm befindlichen Phosphors erreichbar sind. Als C-Quelle kann ein Anteil des kläranlageneigenen Primärschlammes eingesetzt werden. Durch diese biologische Remobilisierung wird Phosphor im Vergleich zu (thermo-)chemischen P-Rücklöseverfahren

umweltfreundlich und ressourceneffizient für die Rückgewinnung mittels Struvit-Fällung verfügbar gemacht. Ergänzend wurde in großtechnischen Anlagen die Struvit-Fällung untersucht und bzgl. eines erhöhten Struvit-Outputs optimiert. Hierbei stehen eine hohe P-Entfrachtung sowie ein hoher Feststoffrückhalt im Fokus. So kann ein Betrieb der Fällungsanlage mit reduziertem Chemikalienverbrauch und ohne Einbußen in der P-Entfrachtung gewährleistet werden. Zur weiteren Ertüchtigung der Verwertung des Phosphors in Form von Struvit wurde bereits in einem ersten großtechnischen Versuch die Eignung von Gelbwasser als weiterer anderer Stoffstrom untersucht.

Auch im Bereich der landwirtschaftlichen Arbeiten konnten große Fortschritte erzielt werden. Es ist gelungen, verschiedene Struvitdünger in Form von Pellets und Granulaten herzustellen. Diese wurden 2022 in Exakt- und On-Farm-Versuchen erprobt und dabei mit der betriebseigenen Technik der Landwirte zu Körnermais, Silomais, Stärkekartoffeln und Winterweizen ausgebracht. Die Struvitdünger ließen sich sowohl mittels Düngerstreuer als auch als Unterfußdünger bei der Aussaat ausbringen. Die aufgrund der vergleichsweise niedrigen P-Gehalte hohen Struvitausbringungsmengen stellen in einigen Fällen noch eine Herausforderung dar.

Eine Struvitdüngung führte an vier Untersuchungsstandorten vor allem unter sauren Bodenbedingungen zu vergleichbaren oder in der Tendenz sogar höheren Trockenmasseerträgen als die Düngung mit einem herkömmlichen mineralischen, gut wasserlöslichen P-Dünger. Geringere Erträge wurden ausschließlich auf zwei Standorten mit neutralem pH-Wert gemessen. Wurde ein Teil des P (meist ~60 %) über Gärrest gedüngt, ergab eine Struvitdüngung



**Abb. 2: Im Rahmen des Projektes von der SF-SoepenberG GmbH konfektioniertes Struvit-Pellet (li) und -Granulat (re)**

vor allem bei neutralem Boden-pH-Wert und auf tonigen oder schluffigen Flächen einen vergleichbaren oder tendenziell höheren Trockenmasseertrag (vier Standorte). Die kombinierte Düngung von Gärrest und Struvit führte verglichen mit einer mineralisch-organischen Kontrollvariante in erster Linie auf drei sandigen Standorten mit saurem oder neutralem Boden-pH-Wert zu geringeren Erträgen.

Die parallel angelegten Arbeiten zur Vermarktung der Struvitdünger sind ebenfalls angelaufen. Hier zeigte sich, dass Landwirte in den Zielgruppen der defizitär Überzeugten und innovativen Optimierer interessiert an dem Dünger sind. Das primäre Konkurrenzprodukt ist DAP in der Unterfußdüngung. Der Hauptfokus liegt auf den Kulturen Mais und Kartoffeln. Die Aufnahme von Struvit in die EU-Verordnung zur ökologischen Landwirtschaft hat einen großen Schritt bewirkt, da es hier nur wenige verfügbare P-Dünger gibt.

Auch mit Blick auf die Verallgemeinerung der Struvitfragestellung wurden wichtige Schritte unternommen. So ist es gelungen, ausreichend Kläranlagenbetreiber für die Struvitwerkstätten zu gewinnen. Bisher konnten mit ihnen drei Werkstätten durchgeführt werden, die sich neben dem allgemeinen Kennenlernen und der Interessensklärung mit verfahrenstechnischen Fragestellungen als auch Aspekten der Wirtschaftlichkeit und dem Markt für Struvit beschäftigten.

Formen der guten Zusammenarbeit zwischen den Akteuren und Institutionen konnten entlang einer Verallgemeinerung der bestehenden Zusammenarbeit in Braunschweig sowie einer Ausarbeitung für den Ökolandbau gefunden werden. Dabei wurde auch ein Rechtsgutachten erstellt, welches sich der Frage annimmt, wie die Herstellung und Inverkehrbringung von Struvitdünger rechtssicher gestalten werden kann. Struvit tangiert dabei ja verschiedenste Rechtsbereiche von der Ausfällung auf der Kläranlage bis zur Ausbringung auf dem Feld. Mit Blick auf die institutionellen Gegebenheiten kann festgestellt werden, dass durch die bereits unternommenen Aktivitäten in der Region Harz & Heide schon ein sehr belastbares Netz entstanden ist, das auch über P-Net hinaus weiterbestehen kann. Dazu haben die verschiedenen Aktivitäten in der Region wie Struvitdüngerherstellung/Hubetablierung, Freilandversuche, Experteninterviews, und Struvitwerkstätten als auch die Aktivitäten innerhalb des AVB und seinem bestehenden nextGen-Dialog beigetragen.

## Ausblick

Zur weiteren Optimierung der P-Rückgewinnung werden auf Basis bisheriger Ergebnisse andere Betriebsbedingungen und deren Einfluss auf die P-Rücklösung untersucht. Außerdem werden die Untersuchungen zur Verbesserung der Fällung und Kristallisation weitergeführt, um sowohl die P-Entfrachtung, als auch das Kristallwachstum weiter zu optimieren.

Im Bereich der landwirtschaftlichen Applikation und Untersuchung der Produkte ist das weitere Ziel, mindestens drei der im Projektverlauf konfektionierten Struvit-Düngemittel auf praxisüblich bewirtschafteten Flächen auf ihre Düngewirkung im Vergleich zu einem betriebsüblichen mineralischen Referenzdünger zu untersuchen.

Zur Vermarktung der Struvitdünger ist aktuell die Marketingstrategie in Erarbeitung, die im nächsten Schritt dann erprobt werden wird. In Bezug auf die Verallgemeinerung der Struvitfragestellung und die Weiterentwicklung des Struvit-Hubs besteht der Fokus in den kommenden Aktivitäten auf der Stärkung des etablierten Netzes durch weitere wichtige Forschungsergebnisse für die dauerhafte Etablierung und die Forcierung des Austauschs, z. B. durch weitere Struvitwerkstätten.

Untersuchungsstandort  
**Gifhorn,  
Braunschweig**



### Koordination

**Technische Universität Carolo-Wilhelmina  
zu Braunschweig  
Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISWW)**

Pockelsstr. 2a

38106 Braunschweig

**Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Dockhorn**

Tel.: +49 531 391 7937

t.dockhorn@tu-braunschweig.de

### Verbundprojekt-Webseite

<https://p-net.tech/>

### Laufzeit

01.07.2020 – 30.06.2023

01.07.2023 – 30.06.2025 (beantragt)

# RePhoRM

## Regionales Phosphorrecycling im Rhein-Main-Gebiet unter Berücksichtigung industrieller und agrarischer Stoffkreisläufe

### Zielsetzung

Ziel des BMBF-Verbundprojektes RePhoRM ist es, ein regionales Phosphorrecycling aus Klärschlammasche (KSA) in der Metropolregion FrankfurtRheinMain zu etablieren. Im Rahmen des Vorhabens wird daher die PHOS4green-Technologie zur Erzeugung eines Düngemittelgranulats aus KSA um die Möglichkeit zur Schwermetallentfrachtung erweitert. Das Verfahren wird im Industriepark Höchst im Pilotmaßstab geprüft und anschließend dort großtechnisch umgesetzt. Neben einer ökonomischen und ökologischen Untersuchung des Phosphorrecyclings wird die Verbundlösung rechtlich bewertet sowie organisatorisch ausgestaltet.

### Stand der Arbeiten

#### AP 1: Datenerfassung

Drei Betreiber von Klärschlammverbrennungsanlagen sind am Projekt RePhoRM beteiligt: die Stadtentwässerung Frankfurt (SEF), die Thermische Verwertung Mainz GmbH (TVM) und die InfraServ GmbH & Co. Höchst KG (ISH). Die SEF verbrennt in ihrer Verbrennungsanlage ausschließlich Klärschlamm aus ihren beiden Kläranlagen Niederrad und Sindlingen. Die KSA wird fortlaufend seit über einem Jahrzehnt in Monatsmischproben vom Umweltamt Frankfurt analysiert. Die Verbrennungsanlage der TVM hat Mitte 2022 den Routinebetrieb aufgenommen und wird durch ein Messkampagne im Projekt begleitet. Die ISH verbrennt neben wechselnden kommunalen Klärschlämmen auch Industrieschlämme. Die Abschätzung des zukünftigen Kontingents an kommunalen Klärschlämmen und deren Zusammensetzung gestaltet sich schwierig, da der Entsorgungsmarkt in den letzten Jahren starke Veränderungen

erfahren hat und auch in Zukunft weitere Veränderungen erfahren wird.

Zum Abgleich der Schwermetallanalytik von KSA wurde ein Ringversuch durchgeführt. Teilgenommen haben vier der RePhoRM-Beteiligten, welche eigene Möglichkeiten zur Analytik nutzen. Darüber hinaus haben sich das Umweltamt Frankfurt, die ALBO-tec GmbH, das SGS Institut Fresenius und das hessische Landeslabor an diesem Ringversuch beteiligt.

Die KSA wird anhand der Schwermetallgehalte in DüMV-konform und nicht DüMV-konform eingeteilt. Für nicht DüMV-konforme KSA ist eine Vorbehandlung zur Schwermetallabreicherung vor dem PHOS4green-Prozess vorgesehen.

#### AP 2: Technische Umsetzung des Phosphorrecyclings

Verfahren zur Schwermetallabreicherung wurden im Labormaßstab erfolgreich erprobt und somit der erste Meilenstein des Projekts erreicht. Drei Varianten der Vorbehandlung für verschiedene belastete KSA wurden entwickelt. Eine Selektivvariante, eine Optionsvariante und eine Universalvariante. Die Selektiv- und die Universalvariante der Abreicherung sind in Abbildung 1 als Blockschema dargestellt. Bei der Selektivvariante werden die Extraktionsbedingungen so gewählt, dass möglichst viele Schwermetalle gelöst werden. Die extrahierten Metalle werden durch Filtration von den Feststoffen getrennt. Durch Zugabe von Fällmittel in das Filtrat bilden sich elementspezifisch unlösliche Metallsalze, welche wiederum mittels Filtration abgetrennt werden. Das schwermetallarme Filtrat und der Filterkuchen gehen in den PHOS4green-Prozess und somit in das Düngemittelprodukt über. Bei der Universalvariante werden die Extraktionsbedingungen so gewählt, dass möglichst wenig Schwermetalle, aber ausreichend Phosphor

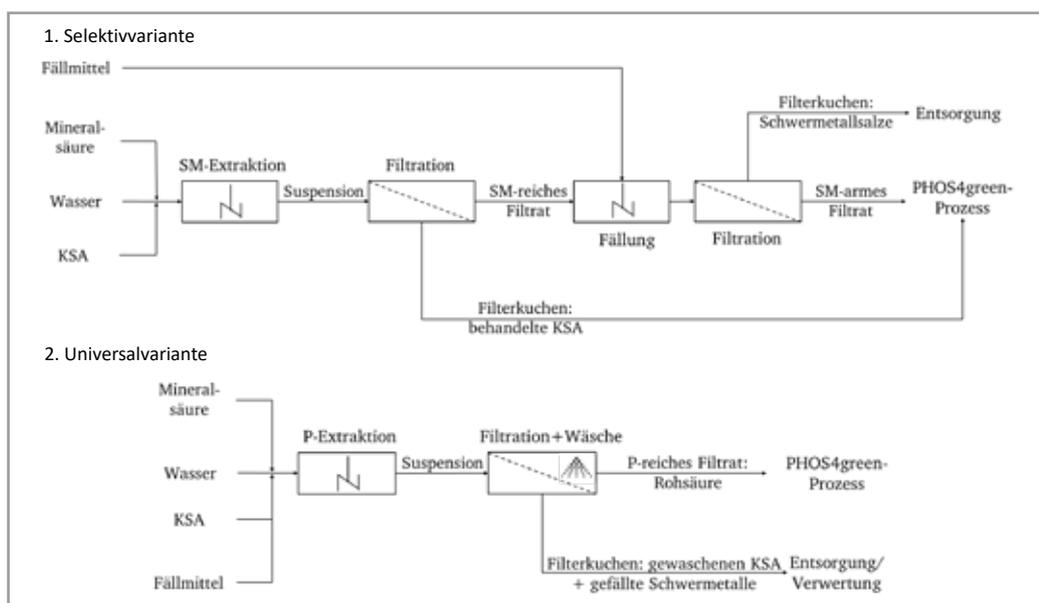


Abb. 1: Blockschema der Vorbehandlung schwermetallbelasteter Klärschlammaschen



**Abb. 2: Geplante großtechnische Anlage des PHOS4green®-Prozesses mit integrierter Schwermetallabreicherung**

gelöst werden. Dennoch gelöste Metalle können noch vor der Filtration durch Fällmittel teilweise in unlösliche Metallsalze überführt werden. In der nicht dargestellten Optionsvariante entfällt dieser Schritt. Der extrahierte Phosphor wird durch Filtration von den Feststoffen getrennt. Um die geforderten 80% Rückgewinnungsrate zuverlässig einhalten zu können ist eine Wäsche des Filterkuchens notwendig. Nur die schwermetallarme und phosphorreiche Rohsäure geht in den PHOS4green-Prozess und somit in das Düngemittelprodukt über.

Seit Februar 2022 wird die Pilotanlage zur Schwermetallabreicherung geplant und gebaut. Die Lieferung der Pilotanlage zum Einsatzort im Industriepark Höchst ist für den September 2023 terminiert. Erste Absprachen mit dem zuständigen Regierungspräsidium haben stattgefunden, da dieses bei den Genehmigungsprozessen sowohl der Pilotanlage als auch der großtechnischen Anlage informiert und beteiligt wird.

### AP 3: Ganzheitliche Bewertung des Recyclingverbunds

Auf Basis der Laborergebnisse wurden mehrere Ökobilanzszenarien zur Schwermetallabreicherung entwickelt und überprüft. Die Daten der Vorversuche wurden dazu auf die industrielle Ebene hochskaliert, um einen Vergleich mit der bestehenden PHOS4Green-Technologie zu ermöglichen. Die prozessspezifischen und nutzungsphasenspezifischen Umweltauswirkungen wurden simuliert. Auch die Möglichkeit verschiedener Produktionsrouten wurde analysiert.

Die qualitative ökonomische Bewertung in Form eines Business Case wird projektbegleitend aktualisiert und detailliert.

Die Phosphorverfügbarkeit des im PHOS4Green-Verfahren hergestellten Düngemittelrezyklats wurde sowohl im Rahmen von TransPhoR (HGoTECH GmbH) als auch durch Pflanzversuche des hessischen Landeslabors bestätigt.

### AP 4: Rechtliche sowie organisatorische Prüfung und Ausgestaltung des P-Recyclingverbunds

Zur Gründung einer Rückgewinnungsgesellschaft wurde die Absichtserklärung von den zukünftigen Gesellschaftern (SEF, TVM und ISH) unterschrieben und damit ein weiterer Meilenstein des Vorhabens erreicht. Mit Unterstützung der Becker Büttner Held PartGmbH wird nun an der Ausgestaltung der Gesellschaftsform und aller dafür relevanten Verträge gearbeitet.

## Ausblick

Der dritte Meilenstein „Bestätigung des Verfahrens durch die Demonstrationsphase“ soll Ende 2024 erreicht werden. Im Anschluss ist die Zeichnung der Vorverträge zum Recyclingverbund und der Beginn der großtechnischen Umsetzung vorgesehen. Somit entsteht voraussichtlich ab 2026 im Industriepark Höchst die erste Düngemittelfabrik für 60.000 t/a qualitätsgesichertes Düngemittelgranulat aus Sekundärrohstoffen in der Metropolregion Frankfurt-RheinMain. Neben Phosphorsäure aus KSA können auch andere Nährstoffrezyklate beziehungsweise Zwischenprodukte, wie z. B. thermochemisch behandelte KSA, Calciumphosphate, Struvit und Ammoniumsulfat in das Düngemittelprodukt eingebunden werden.

Mit der Umsetzung des Verbundvorhabens RePhoRM als Leuchtturmprojekt wird für eine der wichtigen Metropolregionen Deutschlands mit bereits gut entwickelter Infrastruktur zur Monoverbrennung von Klärschlamm die nachhaltige Nutzung der Ressource Phosphor gestärkt. RePhoRM festigt durch intensive Zusammenarbeit die Vernetzung privater und kommunaler Akteure im Ascheverbund. Die entstehende Phosphor-Recycling-Gesellschaft bietet für die Beteiligten eine sichere und ökonomisch vorteilhafte Verarbeitung der KSA.

Untersuchungsstandort  
**Frankfurt am Main – Höchst**



### Koordination

**Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR**  
**Fachgebiet Abwassertechnik**

Franziska-Braun-Straße 7  
64287 Darmstadt

**Prof. Dr.-Ing. Markus Engelhart**

Tel. +49 6151 16 20301

m.engelhart@iwar.tu-darmstadt.de

### Verbundprojekt-Webseite

<https://www.iwar.tu-darmstadt.de/rephorm>

### Laufzeit

01.07.2020 – 30.06.2026

# R-Rhenania

## Modifiziertes Rhenania Phosphat aus Klärschlammasche für Bayern



Abb. 1: Standort der Emter GmbH in Altenstadt und Blick in AshDec-Drehrohrofen (links unten)

### Zielsetzung

Im Verbundprojekt R-Rhenania wird eine industrielle Demonstrationsanlage am Standort der Monoverbrennungsanlage Altenstadt der Firma Emter errichtet und im Jahr 2024 den Betrieb aufnehmen. Die vorhandene Monoverbrennung wird so umgebaut, dass ein neues thermochemisches Verfahren integriert werden kann, welches hochwirksame und schadstoffarme Dünger produziert. Die thermochemisch erzeugten Produkte werden in Gefäß- und Feldversuchen im ökologischen Landbau auf ihre Düngewirkung untersucht. Die Umweltverträglichkeit der Demonstrationsanlage wird eingehend untersucht, wie auch die Übertragbarkeit des Verfahrens auf weitere Regionen.

### Stand der Arbeiten

Die Klärschlammmonoverbrennung der Firma Emter am Standort Altenstadt verarbeitet etwa 40.000 Tonnen Klärschlamm (Trockensubstanz) pro Jahr. Die dabei anfallenden 15.000 Tonnen Klärschlammasche enthalten geringe Gehalte an Schwermetallen, die unterhalb der Grenzwerte der Düngemittelverordnung liegen. Aufgrund der schlechten Phosphor-Düngewirkung, wie es bei allen gängigen Klärschlammaschen der Fall ist, wird am Standort Altenstadt die Aufbereitung der Asche zu einem wirksamen Düngemittel angestrebt. Im Rahmen des Projekts R-Rhenania sollte diese Klärschlammasche mit dem nachgeschalteten thermochemischen AshDec-Verfahren behandelt werden, wobei die schlecht pflanzenverfügbaren Phosphate in gut verwertbare Phosphatverbindung umgewandelt und gleichzeitig die Gehalte an Schwermetallen reduziert werden.

Bereits kurz nach dem Projektstart wurde im Jahr 2020 eine Versuchskampagne des AshDec-Prozesses im Industriemaßstab durchgeführt. Mit der Produktionskampagne konnte die Firma Emter sich absichern, dass der Prozess auch bei ausschließlichem Einsatz der eigenen Klärschlammasche sehr gute Ergebnisse erzielt. Des Weiteren wurden in der Produktionskampagne mit 2 Tonnen AshDec-Produkt auch bereits ausreichende Mengen an Dünger erzeugt, welcher direkt für Gefäß- und Feldversuche bei den Projektpartnern Universität Bonn, FEHS und der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) eingesetzt wurde.

Aufgrund der seit 2021 stark gestiegenen Erdgaspreise wurde im Projekt R-Rhenania an einer energieeffizienteren Variante des AshDec-Verfahrens geforscht. Um die Kosten für die Beheizung des Prozesses mit Erdgas zu reduzieren, wurde untersucht ob und wie das nachgeschaltete thermochemische AshDec-Verfahren direkt in die Verbrennung integriert werden kann. Dafür wurde eine 4-tägige Versuchskampagne im Jahr 2022 in der Monoverbrennungsanlage Altenstadt mit einem Durchsatz von ca. 300 Tonnen Klärschlamm und unter kontinuierlicher Probenahme und analytischer Auswertung durchgeführt. Das im AshDec-Verfahren verwendete Alkaliadditiv wurde mit dem Klärschlamm vermischt und direkt in die Verbrennungsanlage eingebracht. Für die Umsetzung des thermochemischen Prozesses mussten auch die Parameter der Verbrennung angepasst werden. In den Produkten konnte sowohl für die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphats als auch für die Entfernung der flüchtigen Schwermetalle As, Cd und Pb eine Vergleichbarkeit mit den Produkten aus dem nachgeschalteten Drehrohrofenprozess gezeigt werden.

Die thermochemischen Produkte aus den Versuchskampagnen werden an der Universität Bonn und dem FEHS auf die



**Abb. 2: Ergebnisse von Gefäßversuchen der Universität Bonn, Feldversuche im ökologischen Landbau der LfL**

Verfügbarkeit der Phosphate und weitere Nährstoffe untersucht. Es wurden bereits Gefäßversuche mit Mais und Weizen mit zwei Düngestufen auf vier verschiedenen Böden durchgeführt (sandig (pH 6,6, 13 mg PCAL/kg); sauer schluffig (pH 4,8; 17 mg PCAL/kg); neutral schluffig (pH 6,7, 48 mg PCAL/kg); lehmig (pH 6,5, 17 mg PCAL/kg)). Neben den thermochemischen Produkten werden immer auch unbehandelte Klärschlammasche (KSA), Rohphosphat (RP), Struvit und Triplesuperphosphat (TSP) vergleichend untersucht.

Auf dem neutralen schluffigen Boden mit den höchsten P-Gehalten unterschied sich die Düngewirkung zwischen den untersuchten Materialien nicht. Bei den drei P-armen Böden konnten höhere Düngewirkungen des thermochemischen Produktes AshDec, Struvit und TSP gegenüber der Klärschlammasche und des Rohphosphates sowohl in der Trockenmasse als auch in der P-Aufnahme festgestellt werden. Mit den nur sehr eingeschränkt wasserlöslichen Recyclingphosphaten (AshDec, Struvit) konnten gleichwertige Düngewirkungen zu dem vollständig wasserlöslichen TSP erzielt werden.

Die Feldversuche im ökologischen Landbau werden von der LfL an drei Standorten durchgeführt: Viehhausen (nähe Freising); Triesdorf (Weidenbach) und Landsberg (Lech). Aus Viehhausen und Triesdorf wurde auch Bodenmaterial in den Gefäßversuchen eingesetzt. Aktuell laufen die zwei dreijährigen Durchgänge (2021–23; 2022–24) mit der jeweiligen dreijährigen Fruchtfolge Mais, Winterroggen und Kleegras. Als Dünger werden das AshDec-Produkt, Struvit und TSP eingesetzt.

Für Untersuchungen zur Übertragbarkeit des thermochemischen Verfahrens auf andere Standorte werden Klärschlammaschen aller Monoverbrennungsanlagen in Deutschland (mindestens drei Monatsproben) und einiger Anlagen aus Europa analysiert. Ausgewählte Aschen mit erhöhter Schwermetallbelastung werden mit einer Modifikation des AshDec-Verfahrens thermochemisch behandelt. Neben dem erprobten Einsatz von  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  werden Chlorid-haltige Additive bei der Firma Outotec und der BAM getestet, um bei gleichbleibend hoher Pflanzenverfügbarkeit weitere Schwermetalle wie Cu und Zn zu entfernen.

## Ausblick

In der zweiten Projektphase wird der thermochemische Aufschluss in die Monoverbrennungsanlage in Altenstadt integriert. Die Heißinbetriebnahme der Demonstrationsanlage ist ab dem Sommer 2024 geplant. Nach erfolgreicher Inbetriebnahme werden pro Jahr bis zu 17.000 Tonnen des thermochemischen Produktes als Düngemittelausgangsstoff hergestellt. Der Betrieb der Anlage wird wissenschaftlich begleitet, optimiert und die Qualität der Produkte kontinuierlich untersucht. Die Firma sePura wird den aschebasierten Sekundärrohstoff konfektionieren, zu einem marktfähigen Düngemittel verarbeiten und den regionalen Vertrieb vorbereiten.

Die Produkte aus der Demonstrationsanlage als auch Produkte aus der thermochemischen Behandlung stärker schwermetallbelasteter Aschen, werden in Gefäßversuchen auf Düngewirkung und Pflanzengesundheit untersucht. Die Umweltverträglichkeiten der Demonstrationsanlage als auch modifizierter thermochemischer Verfahren für belastete Aschen, werden vom Kompetenzzentrum Wasser Berlin ökobilanziell bewertet.

Untersuchungsstandort  
**Altenstadt**



### Koordination

**Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)**

**Fachbereich 4.4 Thermochemische Reststoffbehandlung und Wertstoffrückgewinnung**

Richard-Willstätter-Straße 11  
12489 Berlin

### Projektleitung

**Dr.-Ing. Christian Adam**

Tel. +49 30 8104 5670  
christian.adam@bam.de

### Projektbearbeitung

**Hannes Herzel**

Tel. +49 30 8104 5680  
hannes.herzel@bam.de

### Verbundprojekt-Webseite

<https://www.bam.de/r-rhenania>

### Laufzeit

01.07.2020 – 30.06.2026

# SATELLITE

## Verfahrenstechniken im Haupt- und Satellitenbetrieb eines interkommunalen Recyclingzentrums für ein optimiertes regionales Nährstoffrecycling

### Zielsetzung

Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl der dem Rückgewinnungsprozess vor- und nachgelagerten Verfahren auf den zuliefernden Kläranlagen, mit dem Ziel, eine für das zentrale Recyclingzentrum optimale Klärschlammqualität (Heizwert, P-Gehalt) zum optimalen Zeitpunkt (gleichmäßige Auslastung) mit dem geringsten Umweltimpact (Transport) bereitzustellen, bei gleichzeitig positiver Bilanz für die anliefernden regionalen Satelliten, durch optimal abgestimmte Anlagenanpassungen bei der Schlamm-entwässerung, Energiebilanz, regionalen Wertstoffrückführung und Unterstützung bei der Bewirtschaftung.

### Stand der Arbeiten

Die ersten Projektjahre zeigen, dass die Projektziele eine hohe Übereinstimmung mit den aktuellen Fragestellungen der Anlagenbetreiber haben. Insbesondere die nachhaltige zukunftsorientierte Anlagenumgestaltung ist mit den zunehmenden Anforderungen an technik- und sektorübergreifende kommunale Planung (Fernwärmenutzung, Biogaserzeugung aber auch Wasserbereitstellung und Kreislaufschließung) ein deutschlandweit relevantes Thema. Der Nutzung einer modellbasierten Entscheidungsunterstützung, die die Szenarienanalyse im Sinne einer strategischen Planung nach dem ersten Aufbau wiederholbar und als Strategie-Kontrollinstrument erlaubt, wird in SATELLITE für die Abwasserbehandlung und Schlammensorgung durch Verfahrenserprobung und Entwicklung von anwenderorientierten Planungswerkzeugen vorbereitet.

Mit Abschluss der Phase 1 liegen als Basis des Verbundmodells semistatische Bilanzmodelle aller Kläranlagen im Verbund vor (dynamisch für verschiedene Betriebs- und Belastungszustände und Verfahrenskombinationen) und sind beispielhaft zu einem übergeordneten Schlammbewirtschaftungsmodell vernetzt. Das Basismodell wurde dazu zu einem GIS-basierten Tool-Prototyp (OptiNETZ) weiterentwickelt, welches die Berechnung von Schlamm- und Schlammqualitäten, Betriebs- und Transportkosten sowie der anfallenden CO<sub>2</sub>e-Emissionen ermöglicht und bereits auch für andere Verbünde genutzt werden kann.

Das Tool bietet die Möglichkeit zur optimierten Planung und später auch Bewirtschaftung interkommunaler Netzwerke der Klärschlammverwertung u. a. im Hinblick auf Investitionsentscheidungen im Verbund, ein optimiertes Trocknungs- und Entwässerungskonzept, Nährstoffrückgewinnungspotentiale (P, N) und Entwicklung von Logistikkonzepten (Abb. 1). Hierfür wurden für eine große Bandbreite an verschiedenen Verfahren Daten durch versuchs-technische, halbtechnische oder großtechnische Untersuchungen erhoben:

- » Abwasserreinigung: i) Annahmestrategie Industrieabwasser, ii) Deammonifikation und Brüdenbehandlung, iii) Anlagenumstellung von aerober Voll- auf Teilstabilisierung
- » Schlammbehandlung: i) Co-Substratzugabe, ii) Hochlastfäulung thermophil und mesophil, iii) Klärschlamm-entwässerung und -trocknung, iv) PS-Abtrennung und PS-versäuerung
- » Nährstoffrückgewinnung: i) Ammoniakstrippung, ii) kontinuierliche Stufeneindampfung, iii) Flüssigdüngerbereitstellung und -lagerung aus Rezyklaten, iv) Bio-P-Elimination und P-Ausschleusung (Phosphorsäure, CSH, MAP)

Auf Basis der Datenerhebungen erfolgte die Erstellung von Verfahrenssteckbriefen und Überführung der erhobenen Kennzahlen in verfahrensspezifische Modellmodule zur Anlagenauslegung und Ermittlung von Betriebswerten in Abhängigkeit von verschiedenen Betriebsweisen und Belastungszuständen.

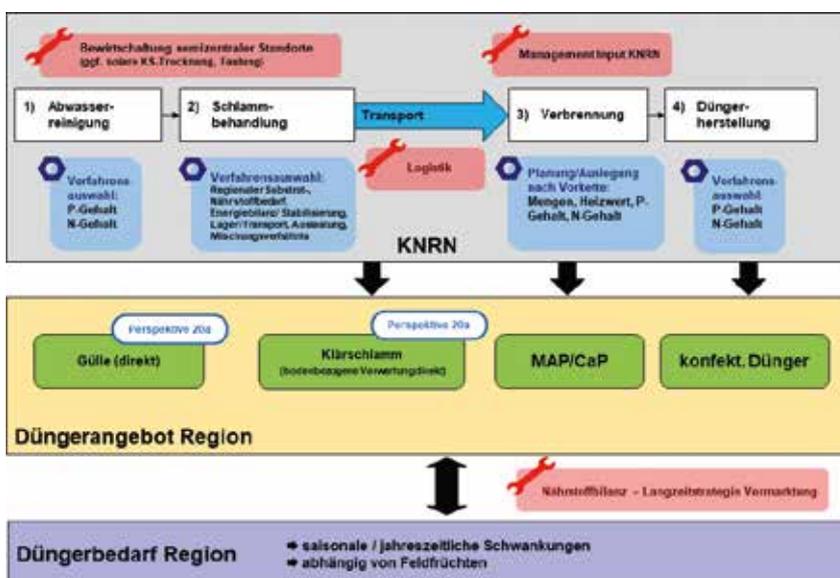
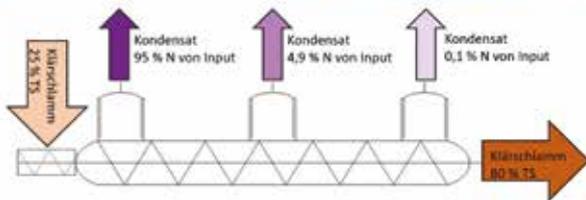


Abb. 1: Prozessschritte und Betrachtungsebenen der Entscheidungsunterstützung, die im Rahmen von SATELLITE durch Tools und Methodenentwicklung unterstützt werden (Investition und Betrieb)



**Abb. 2: Prototyp Stufeneindampfung für KS-Trocknung**

In einer Modulbibliothek stehen die verifizierten Leistungs- und Verbrauchsindikatoren somit für Szenarienanalyse mit dem Planungs- und Managementtool zur Verfügung.

Als weitere Planungs- und Bewirtschaftungsunterstützung wurde ein erster Prototyp eines Energie-/Wärme-/CO<sub>2</sub>e-Modells erstellt, das sowohl zur Bewertung anlagenspezifischer Verfahrensketten der Schlammbehandlung genutzt werden kann (z. B. optimaler Teiltrocknungsgrad und angepasster Betrieb der Entwässerung oder Bewertung einer erhöhten Primärschlammausschleusung) sowie für die Potentialanalyse regionaler Zusammenschlüsse – hier in Vorbereitung auf ein lokales Energiemanagement beispielhaft für die Modellregion.

Durch die landwirtschaftliche Prägung der Modellregion lassen sich zudem Konzepte zur Nährstoffrückführung beispielhaft betrachten. In Vorbereitung auf den Aufbau eines detaillierten rechnergestützten regionalen Nährstoffmanagements unter Verwendung vorliegender Daten aus der Landwirtschaft erfolgte in Phase 1 die Auswahl und Zusammenstellung relevanter und verfügbarer Betriebs- und Kenndaten zu Nährstoffanfall und -bedarf für die landwirtschaftlichen Betriebe und Flächen sowie einer Systematik der Verknüpfung der verschiedenen Erhebungen zur Frachtprognose. Die in SATELLITE um den Nährstoff Stickstoff erweiterte Planungs- und Bewirtschaftungsfrage ist dabei nicht nur in Bezug auf den Umgang mit möglichen Rückbelastungen (Brüden) von Interesse, sondern auch im regionalen Management bzgl. des Potentials, bei der technischen Erweiterung der Kläranlagen zur P-Rückgewinnung die Stickstoffausschleusung aus Wirtschaftssubstraten einzubinden, indem auch für diese Fraktion ein lagerfähiges Rezyklat erzeugt wird. Die SF SoepenberGmbH betreibt dazu eine Versuchsanlage zur Herstellung eines Düngemittels on-demand. Diese wird zurzeit erfolgreich mit Ammoniakwasser und P-Säure betrieben – die BIORESTEC GmbH erprobt das Konzept der Stufeneindampfung für die Schlamm-trocknung (Abb. 2).

## Ausblick

Die besondere Verwertbarkeit der Projektergebnisse besteht im Modellcharakter und der Übertragbarkeit des Gesamtkonzeptes eines Recyclingnetzwerks im kommunalen Verbund auf andere Regionen. Die Entwicklungen von unterstützenden Werkzeugen sowie Verfahrenserprobungen zur Ermittlung planungsrelevanter Kennwerte erfolgten in Phase 1 beispielhaft im Rahmen der strategischen Investitionsplanungen des regionalen Unterverbunds (regionales Schlamm-, Nährstoff-, Energiemanagement) sowie den KA Hildesheim (optimaler Faulungsbetrieb – Co-Substrate/Entwässerung, anlagenspez. N- und P-Bilanzierung und -bewirtschaftung), Göttingen (Einbindung einer Trocknung und Transportlogistik) und Pattensen (Umstellung auf Teilstabilisierung, zentrale Faulung). Zur weiteren Stärkung der Übertragbarkeit wird in den letzten beiden Projektjahren neben der Begleitung und Erprobung der Verfahren im groß- und halbertechnischen Maßstab ein besonderer Schwerpunkt auf die Weiterentwicklung der entscheidungs- und betriebsunterstützenden modellbasierten Werkzeuge gelegt. Das Anwendungswerkzeug OptiNETZ-Tool wird dabei zu einem Basismodell „optimierter Betrieb“ weiterentwickelt mit der Tool-Perspektive OptiNETZ-Tool #live. Ergänzend werden für die Umsetzung der Netzwerk- und Anlagenstrukturen verfahrens- und nutzungsspezifische Kostenverteilungsmodelle erarbeitet und eingebunden.

Untersuchungsstandorte  
**Hildesheim, Pattensen,  
Landkreis Nienburg,  
Göttingen**



### Koordination

**ISAH Leibniz Universität Hannover**

Welfengarten 1  
30167 Hannover

**Dr.-Ing. Maike Beier**

Tel. +49 762 2898

beier@isah.uni-hannover.de

### Verbundprojekt-Webseite

<https://satellite-rephor.de/>

### Laufzeit

01.07.2020 – 30.06.2025



# Querschnittsthemen

# Querschnittsthema 1

## Produkte, Märkte und rechtliche Aspekte



### Zielsetzung des QSTs

- » Je nach geplanten und/oder vorhandenen Verfahren sollen die geforderten Qualitäten der verschiedenen Produkte angesprochen und Kriterien festgelegt werden, soweit diese nicht bereits über die entsprechenden nationalen und europäischen Verordnungen geregelt sind.
- » Neben der Aufstellung von Bewertungskriterien für Zertifizierungsoptionen der Rezyklate im Ökolandbau sollen ebenfalls problematische Verunreinigungen (wie Schwermetalle u. a.) für eine (bio-)landwirtschaftliche Verwendung identifiziert werden.
- » Identifikation übergreifender rechtlicher Fragestellungen aus den Verbundprojekten zu Themen der Zulassung von Produkten, der Unterscheidung zwischen europäischem und deutschem Recht, der Organisations- und Rechtsformen in der interkommunalen Zusammenarbeit und weiterer Fragen.
- » Es sind Preisgestaltung und Qualitätskriterien für entsprechende industrielle Rohstoffe zu betrachten und in welchem Umfang und mit welchem Aufwand die Recyclingverfahren diese Kriterien in absehbarer Zeit erfüllen können.
- » Erarbeitung eines Vorschlags zu einem Workflow zur Zulassung von Anlagen und P-Rezyklaten unter Berücksichtigung der verschiedenen Rechtsprechungen.

## Stand der Arbeiten

Im Schwerpunkt „Produkte und Märkte“ werden zwei verschiedene Verwertungswege und Produktlinien betrachtet:

- » Die landwirtschaftliche und möglichst regionale Verwertung als Düngemittel. Derzeit machen phosphorhaltige Düngemittel über 80% des gesamten P-Verbrauchs in Deutschland aus. Standardisierbare Versuche zur Bestimmung der Bioverfügbarkeit werden entwickelt und zur Bewertung der Produkte herangezogen.
- » Die industrielle Verwertung in u. a. der Metallurgie und Oberflächenbehandlung, Medizintechnik, Lebensmittelindustrie sowie Tierfutter-Herstellung und mehr. Insgesamt werden hier weniger als 20% des gesamten P-Verbrauches eingesetzt, für industrielle Anwendungen etwas über 10%, während Nahrungs- und Futtermittelindustrie zusammen weniger als 10% verbrauchen.

Im Schwerpunkt „Rechtliche Aspekte“ wurden in den bislang durchgeführten Rechtsworkshops und Arbeitstreffen“ verschiedene Themen und Herausforderungen bei der technischen und organisatorischen Umsetzung des Phosphor-Recyclings gesammelt und diskutiert. Ein Rechtsworkshop im April 2021 fokussierte mit Fachvorträgen und in der anschließenden Diskussion auf Organisations- und Rechtsformen, die Gebührenfähigkeit sowie rechtliche Vorgaben bei großtechnischen Umsetzungen von Anlagen (Planung, Bau, Betrieb und Genehmigungsverfahren). In einem zweiten Rechtsworkshop im April 2022 lag der Schwerpunkt auf dem Vollzug der Klärschlammverordnung aus der Perspektive der Bundesländer, den Rahmenbedingungen auf europäischer Ebene sowie dem Abfallende und dem Rezyklateinsatz.

Die Unterscheidung zwischen Wasser- und Abfallrecht ist zwar klar geregelt, kann jedoch je nach Einzelfall unterschiedlich ausfallen. Auch die Unterscheidung zwischen europäischem und deutschem Recht gestaltet sich weiterhin komplex, insbesondere in Bezug auf die Einhaltung von Grenzwerten im Ausgangsstoff. Die Umsetzung der Klärschlammverordnung auf Länderebene wird teilweise heterogen gehandhabt. Eine einheitliche Definition oder standardisierte rechtliche Rahmenbedingungen auf EU-Ebene zum Ende der Abfalleigenschaft in Bezug auf phosphorhaltige Stoffströme, Phosphor-Rezyklate und (Neben-)Produkte fehlen derzeit noch. So müssen nach deutschem Recht bspw. Grenzwerte auch von den Ausgangsstoffen für Düngemittel, also z. B. der Klärschlammmasche, eingehalten werden. Eine offene Frage ist hier, ob daher das Düngemittelprodukt auch nach Schwermetallanreicherung ggf. nicht nutzbar wäre. Die Zulassung von Rezyklaten hängt von regulatorischen Anforderungen ab, welche sich ebenfalls voneinander unterscheiden können. Es gibt nur wenige Stellen, an denen eine Zertifizierung der Produkte europaweit erfolgen kann und in Deutschland aktuell gar

keine. Auch im öffentlichen Preisrecht gibt es Herausforderungen, jedoch auch potentielle Stellschrauben, durch welche Anreize geschaffen werden können.

## Nächste Themenschwerpunkte

Die bislang gesammelten und teilweise auch schon diskutierten Themen sollen im nächsten Schritt mit Input der Verbundprojekte und externer Expertinnen weiter geschärft werden. Dazu gehören:

- » Begrifflichkeiten und Klassifizierungen von Abfällen und (Neben-)Produkten
- » Umsetzung der Klärschlammverordnung auf Länderebene
- » Organisations- und Rechtsformen für öffentlich-rechtliche Träger sowie privatwirtschaftliche Akteure, Gebührenfähigkeit des P-Recycling, rechtliche Vorgaben bei der Umsetzung einer Anlage sowie Herausforderungen bei Genehmigungsverfahren
- » Rechtliche Anforderungen an P-Rezyklate auf deutscher und europäischer Ebene

## Ausblick

- » Aufbereitung von gewonnenen Ergebnissen aus den Rechtsworkshops für die RePhoR-Verbundprojekte wie auch die Fachöffentlichkeit in Form eines Leitfadens zu Rechtsfragen
- » Intensivierung der Zusammenarbeit mit der Deutschen Phosphor-Plattform e.V. bei Stellungnahmen zum deutschen Düngemittelrecht
- » Einbindung von Projekten und Experten außerhalb der Fördermaßnahme in die Aktivitäten/Veranstaltung des Querschnittthemas und Vernetzung mit regelgebenden Akteuren
- » Begleitung und Monitoring von Markteintrittsbarrieren und -hemmnissen, aber auch potentiellen Treibern

### Kontakt

**HGoTECH GmbH**  
**Prof. em. Dr. Heiner Goldbach**  
Tel.: +49 228 38 75 60 81-1  
Tel.: +49 172 8602617  
goldbach@hgotech.de

**Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)**  
**Dr.-Ing. Christian Adam**  
Tel.: +49 30 8104 5670  
christian.adam@bam.de

# Querschnittsthema 2

## Nachhaltigkeitsbewertung



### Zielsetzung des QSTs

#### Sicherstellung der Vergleichbarkeit der Ökobilanzstudien der Teilprojekte

- » Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Recyclingtechnologien ist eine einheitliche Definition der funktionellen Einheit, von Systemgrenzen sowie weiterer Annahmen z. B. zu verwendeten Datensätzen für Stoffströme und Energien oder auch Transportannahmen erforderlich. Diese Rahmenbedingungen werden im engen Austausch mit den Teilprojekten diskutiert, abgestimmt und anschließend in einem Kriterienkatalog zusammengefasst.

#### Studie zur sozialen Akzeptanz der Sekundärdünger

- » Der aus dem Klärschlamm resp. der Klärschlamm- asche zurückgewonnene phosphathaltige Sekundärdünger wird auf dem freien Markt mit Primärdünger konkurrieren müssen. Zur Vorbereitung eines erfolgreichen Markteintrittes soll im Rahmen einer Sozialstudie frühzeitig die Akzeptanz des Marktes/ der Marktteilnehmer\*innen erforscht werden, um Hindernisse in der Markteinführung zu identifizieren und geeignete Maßnahmen anzustoßen.

#### Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

- » Der zukünftige Preis des Sekundärdüngers wird mitentscheidend sein, ob sich das Produkt auf dem Markt durchsetzt. Für eine vergleichbare Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Rückgewinnungstechnologien müssen einheitliche Standards und Kriterien entwickelt werden, die sowohl Investitionskosten (Planung, Bau, Reinvestition etc.) als auch laufende Kosten (Personal, Energie, Betriebsmittel, Kosten aus gesetzlichen Anforderungen, Ausgangsstoffe etc.) berücksichtigen.

## Stand der Arbeiten

Im Rahmen des Querschnittsthemas wurden zahlreiche sowohl bilaterale als auch projektübergreifende Gespräche geführt und ein Workshop zum Thema der Ökobilanzierung durchgeführt. Die unterschiedlichen Bewertungsansätze wurden darüber hinaus über eine Fragebogenaktion zusammengestellt, um die wesentlichen Prozessschritte der Verfahrensansätze zu identifizieren, die einer projektübergreifenden Abstimmung bedürfen. Aus den Auswertungen der Fragebögen, der Gespräche sowie insbesondere des Workshops haben sich einige Punkte herauskristallisiert, die im weiteren Projektverlauf harmonisiert werden müssen. Hier sind beispielsweise die Düngewirkung der Sekundärdünger, die potenzielle Berücksichtigung der Ausbringung der Sekundärdünger, die Festlegung der Systemgrenzen unter Berücksichtigung von Übergabestellen zu Down- und Upstream-Prozessen oder auch die Vergabe von Gutschriften für den Phosphordünger und weitere Sekundärprodukte zu nennen.

Zudem wurde eine bereits durchgeführte Befragung im Wesentlichen unter Landwirten, Kläranlagenbetreibern und Händlern zur sozialen Akzeptanz der Phosphorrückgewinnung bzw. des Einsatzes von Sekundärdünger aus Klärschlamm weiter ausgewertet. Erkenntnisse aus den Fragebögen waren z. B., dass ein Großteil der Befragten noch nicht in dem Maße bezüglich der Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm(-asche) informiert war, wie es für die Umsetzung der gesetzlichen Vorgabe wünschenswert wäre. Sehr positiv wurde der Aspekt der Regionalität bei der Rückgewinnung von Phosphor auf Kläranlagen bewertet. Dennoch war die Bereitschaft, einen höheren Preis für den Sekundärdünger zu bezahlen insbesondere unter den konventionellen Landwirten gering. Lediglich die ökologisch geprägten bzw. die zertifizierten Biolandwirte gaben an, ggf. einen Aufpreis zu akzeptieren. Noch wichtiger als den Preis schätzen die Befragten die Qualität des Produktes ein, wobei beispielsweise auf mögliche Kontaminationen bzw. unerwünschte Rückstände oder auch auf Schwankungen im Produkt hingewiesen wurde.

## Nächste Themenschwerpunkte

Aktuell werden konkrete Aspekte des Kriterienkataloges zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Ökobilanzen in regelmäßigen online-Workshops diskutiert. Der erforderliche, projektübergreifende Austausch wird über einen RePhoR-Server organisiert. Dort werden Informationen gesammelt und zur Diskussion gestellt, die von den Teilprojekten bei der Erstellung der Ökobilanzen zum Einsatz kommen. Das Ziel ist es, die unterschiedlichen Ansätze zu sammeln und einvernehmlich, im Sinne von Referenzannahmen, zu standardisierten Vorgaben zu verdichten.

## Ausblick

Die Erstellung des Kriterienkataloges stellt auch weiterhin eine große Herausforderung dar. Einige standardisierte Vorgaben können bereits vor der Umsetzungsphase in den Teilprojekten erfolgen. Die eigentliche ökobilanzielle Bewertung basierend auf primären Messdaten wird jedoch erst in der Einsatzphase der unterschiedlichen Technologien erfolgen. Einige Vorgaben müssen dann ggf. ergänzt oder angepasst werden. So sind weitere Gespräche geplant, um in enger Abstimmung mit den Teilprojekten einen gemeinsamen Nenner für die grundlegende Struktur der Ökobilanzen zu identifizieren. Der dafür erforderliche projektübergreifende Austausch wird in Online-Workshops fortgeführt. Der Kriterienkatalog wird auch über die Fördermaßnahme RePhoR hinaus anwendbar sein. Die Struktur, die über die Vorgabe von konkreten Aspekten in der Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm bzw. Klärschlammasche hinausgeht, eröffnet zukünftigen Anwendern eine Vorlage, wie große verfahrenstechnische Unterschiede in einem übergeordneten Themenbereich dennoch im Rahmen einer vergleichenden Ökobilanz bewertet werden können.

### Kontakt

**Institut für Nachhaltigkeit im Bauwesen (INaB),  
RWTH Aachen University  
Dr.-Ing. Roland Meyer**  
Tel.: +49 241 80 22762  
roland.meyer@inab.rwth-aachen.de



# Kontakt daten der Verbundpartner

# Kontakt Daten der Verbundpartner

## TransPhoR

**Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft und Klimazukunft an der RWTH Aachen (FiW) e. V.**  
Kackertstr. 15–17  
52072 Aachen

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp**  
pinnekamp@fiw.rwth-aachen.de  
**Dr.-Ing. Kristoffer Ooms**  
ooms@fiw.rwth-aachen.de  
**Dr.-Ing. Daniel Bastian**  
bastian@fiw.rwth-aachen.de  
**Sophia Schüller, M.Sc.**  
schueller@fiw.rwth-aachen.de

**HGoTECH GmbH**  
Karlrobert-Kreiten-Straße 13  
53115 Bonn  
**Prof. Dr. Heiner Goldbach**  
goldbach@hgotech.de  
**Dipl.-Ing. Christian Heck**  
heck@hgotech.de

**INAB der RWTH Aachen University Institut für Nachhaltigkeit im Bauwesen**  
Mies-van-der-Rohe-Str. 1  
52074 Aachen  
**Univ.-Prof. Dr. Ing. Marzia Traverso**  
marzia.traverso@inab.rwth-aachen.de  
**Dr.-Ing. Roland Meyer**  
roland.meyer@inab.rwth-aachen.de  
**Anna Luthin, M.Sc.**  
anna.luthin@inab.rwth-aachen.de

**TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft für Wasser-, Abwasser- und Energiewirtschaft mbH**  
Bismarckstrasse 2-8  
52066 Aachen  
**Prof. Dr.-Ing. Markus Schröder**  
m.schroeder@tum-ingenieure.de

## AMPHORE

**Ruhrverband**  
Kronprinzenstraße 37  
45128 Essen  
**Hanna Evers, M.Sc.**  
hev@ruhrverband.de

**Emschergenossenschaft/ Lippeverband**  
Kronprinzenstraße 24  
45128 Essen  
**Dirk Bogaczyk**  
bogaczyk.dirk@eglv.de

**Wupperverband**  
Untere Lichtenplatzer Str. 100  
42289 Wuppertal  
**Catrin Bornemann**  
bor@wupperverband.de

**Linksniederrheinische Entwässerungs-Genossenschaft**  
Friedrich-Heinrich-Allee 64  
47475 Kamp-Lintfort  
**Helle Dorothee Wischer**  
wischer.h@lineg.de

**Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen University (ISA)**  
Mies-van-der-Rohe-Str. 1  
52074 Aachen  
**Dr.-Ing. David Montag**  
montag@isa.rwth-aachen.de

**Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)**  
Breslauer Straße 48  
76139 Karlsruhe  
**Dr.-Ing. Jutta Niederste-Hollenberg**  
jnh@isi.fraunhofer.de

**Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH (ifeu)**  
Wilckensstr. 3  
69120 Heidelberg  
**Horst Fehrenbach**  
horst.fehrenbach@ifeu.de  
**Joachim Reinhardt**  
joachim.reinhardt@ifeu.de

**PhosRec Phosphor-Recycling GmbH**  
In der Welheimer Mark 190  
46238 Bottrop  
**Dr.-Ing. Yvonne Schneider**  
ysc@ruhrverband.de  
**Prof. Dr.-Ing. Torsten Frehmann**  
frehmann.torsten@eglv.de  
**Dr.-Ing. Dennis Blöhse**  
bloehse.dennis@eglv.de

**Emscher Wassertechnik GmbH**  
Brunnenstraße 37  
45128 Essen  
**Dr.-Ing. Tim Fuhrmann**  
fuhrmann@ewlw.de

**WiW – Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH**  
Untere Lichtenplatzer Str. 100  
42289 Wuppertal  
**Dr.-Ing. Gerd Kolisch**  
kol@wupperverband.de

## ASSOZIIERTE PARTNER

**BETREM GmbH**  
Sturmshof 20  
46238 Bottrop  
**Dagmar Dörtelmann**

**Compo Expert GmbH**  
Krögerweg 10  
48155 Münster  
**André Leise**

**INNOVATHERM Gesellschaft zur innovativen Nutzung von Brennstoffen mbH**  
Frydagstraße 47  
44536 Lünen  
**Falko Lehrmann**

**WFA Elverlingsen GmbH**  
Auf der Mark 1  
58791 Werdohl  
**Dierk von Felde**

**Chemische Fabrik Wocklum | Gebr. Hertin GmbH & Co. KG**  
Glärbach 2  
58802 Balve  
**Thorsten Löchter**

**SF-SoepenberG GmbH**  
Emil-Fischer-Straße 14  
46569 Hünxe  
**Martin Teloo**

**Yara GmbH & Co. KG**  
Hanninghof 35  
48249 Dülmen  
**Dr. Marina Ettl**

**WKW Aktiengesellschaft**  
Siebeneicker Straße 235  
42553 Velbert  
**Volker Stange**

## DreiSATS

### **Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH**

Nordstraße 15  
04420 Markkranstädt

#### **Matthias Hoger**

matthias.hoger@veolia.com

#### **Claudyn Kidszun**

claudyn.kidszun@veolia.com

### **Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS**

Winterbergstraße 28  
01277 Dresden

#### **Marc Lincke**

marc.lincke@ikts.fraunhofer.de

### **Carbotechnik Energiesysteme GmbH**

Lauterbachstraße 12  
82538 Geretsried

#### **Peter Schöfmann**

schoefmann@carbotechnik.de

### **Pontes Pabuli GmbH**

Harkortstraße 8  
04107 Leipzig

#### **Dr. Lars Leidolph**

l.leidolph@pontes-pabuli.de

### **LTC – Lufttechnik Crimmitschau GmbH**

Gewerbering 24  
08451 Crimmitschau

#### **Holger Ullmann**

holger.ullmann@ltc-crimmitschau.com

### **Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar (MFPA Weimar)**

Coudraystraße 9  
99423 Weimar

#### **Timon Echt**

timon.echt@mfpa.de

## KlimaPhoNdS

### **Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum CUTEC – Abteilung Abwasser- verfahrenstechnik**

Leibnizstraße 23  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
**Prof. Dr.-Ing. Michael Sievers**  
michael.sievers@cutec.de

### **CUTEC – Abteilung Thermische Prozesstechnik**

Leibnizstraße 23  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
**Dr.-Ing. Stefan Vodegel**  
stefan.vodegel@cutec.de

### **CUTEC – Abteilung Ressourcentechnik und -systeme**

Leibnizstraße 23  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
**Dipl.-Umweltwiss. Jan Schlecht**  
jan.schlecht@cutec.de

### **PARFORCE Engineering & Consulting GmbH**

Am St.-Niclas-Schacht 13  
09599 Freiberg  
**Dr. Peter Fröhlich**  
peter.froehlich@parforce-technologie.de

### **LUKSON AG**

Geyener Str. 1  
50259 Pulheim  
**Dipl.-Ing. Franz Hormes**  
f.hormes@lukson.de

### **KNOKE Industrie-Montagen GmbH**

Gesellensteig 48  
38229 Salzgitter  
**Adam Bardosi**  
bardosi@knoke-salzgitter.de  
**Kevin Piel**  
piel@knoke-salzgitter.de

### **Eigenbetrieb Abwasserbeseitigung der Stadt Northeim**

Scharnhorstplatz 1  
37154 Northeim  
**Dipl.-Ing. Olaf Hagenow**  
hagenow@northeim.de

### **ASSOZIIERTE PARTNER**

#### **BMA – Braunschweigische Maschinenbauanstalt AG**

Am Alten Bahnhof 5  
38122 Braunschweig  
**Dr. Andreas Lehnberger**  
andreas.lehnberger@bma-de.com

#### **Schwenk Zement KG**

Hindenburgring 15  
89077 Ulm  
**Dr. Hendrik Möller**  
moeller.hendrik@schwenk.de

#### **HeidelbergCement**

Berliner Straße 6  
69120 Heidelberg  
**Dirk Kastner**  
dirk.kastner@heidelbergcement.com

# Kontakt Daten der Verbundpartner

## P-Net

**Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISWW), Technische Universität Braunschweig**

Pockelsstraße 2a  
38106 Braunschweig

**Prof. Dr.-Ing. Thomas Dockhorn**  
t.dockhorn@tu-braunschweig.de

**Abwasserverband Braunschweig (AVB)**

Celler Straße 22  
38176 Wendeburg

**Dr.-Ing. Franziska Gromadecki**  
franziska.gromadecki@  
abwasserverband-bs.de

**Abwasser- und Straßenreinigungsbetrieb Stadt Gifhorn (ASG)**

Winkeler Straße 4  
38518 Gifhorn

**Dipl.-Ing. Hans-Oskar Baron**  
baron@asg-gifhorn.de

**ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung**

Hamburger Allee 45  
60486 Frankfurt am Main

**Dr.-Ing. Martina Winker**  
winker@isoe.de

**Julius-Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI)**

Erwin-Baur-Straße 27  
06484 Quedlinburg

**Dr. Elke Bloem**  
elke.bloem@julius-kuehn.de  
**Dr. Sylvia Kratz**  
sylvia.kratz@julius-kuehn.de

**PFI-Planungsgemeinschaft**

Karl-Imhoff-Weg 4  
30165 Hannover

**Prof. Dr.-Ing. Johannes Müller-Schaper**  
mueller-schaper@pfi.de

**SF-SoepenberG GmbH**

Emil-Fischer-Straße 14  
46569 Hünxe

**Dr. Joachim Clemens**  
j.clemens@soepenberG.com

**Stadtentwässerung Braunschweig GmbH (SE|BS)**

Postfach 45 10  
38035 Braunschweig  
Taubenstraße 7  
38106 Braunschweig

**Dipl.-Ing. Andreas Hartmann**  
andreas.hartmann@se-bs.de

## RePhoRM

**Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR, Fachgebiet Abwassertechnik**

Franziska-Braun-Straße 7  
64287 Darmstadt

**Prof. Dr.-Ing. Markus Engelhart**  
m.engelhart@iwar.tu-darmstadt.de  
**Peter Kuhn**

**Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR, Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft**

Franziska-Braun-Straße 7  
64287 Darmstadt

**Prof. Dr. rer. nat. Liselotte Schebek**  
l.schebek@iwar.tu-darmstadt.de

**Dr. Sc. Vanessa Zeller**  
**Chunyu Miao**

**Becker Büttner Held Rechtsanwälte Wirtschaftsprüfer Steuerberater PartGmbH**

Magazinstraße 15-16  
10179 Berlin

**Beate Kramer**  
beate.kramer@bbh-online.de

**Dr. Anna Alexandra Seuser**  
**Frank Licht**  
**Oliver Eifertinger**

**Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS**

Brentanostraße 2a  
63755 Alzenau

**Bettina Trojanowski**  
bettina.karin.trojanowski@  
iwks.fraunhofer.de

**Infraserv GmbH & Co. Höchst KG**

Industriepark Höchst  
65926 Frankfurt am Main

**Björn Krix**  
bjoern.krix@Infraserv.com

**Thorsten Appel**  
**Dr. Thomas Wessel**

**Glatt Ingenieurtechnik GmbH**

Nordstraße 12  
99427 Weimar

**Dr. Johannes Buchheim**  
johannes.buchheim@glatt.com  
**Jan Kirchhof**

**TVM Thermische Verwertung Mainz GmbH**

Industriestraße 70  
55120 Mainz

**Dipl.-Ing. Herbert Hochgürtel**  
herbert.hochguertel@stadt.mainz.de  
**Dr. Michael Walk**

**Stadt Frankfurt am Main – Stadtentwässerung Frankfurt am Main**

Goldsteinstraße 160  
60528 Frankfurt am Main

**Dr. Susanne Schmid**  
susanne.schmid@stadt-frankfurt.de  
**Dr. Rolf Götz**

**Abwasserverband Langen/Egelsbach/Erzhausen**

Prinzessin-Margaret-Allee 1  
63225 Langen

**Eva-Maria Frei**  
eva.frei@avlee.de

## R-Rhenania

### **Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)**

Unter den Eichen 87  
12200 Berlin  
**Christian Adam**  
christian.adam@bam.de

### **Outotec GmbH & Co. KG**

In den Schwarzwiesen 13  
61440 Oberursel  
**Tanja Schaaf**  
tanja.schaaf@mogroup.com

### **Emter GmbH**

Alpenstraße 50  
86972 Altenstadt  
**Johann Emter**  
info@emter-gmbh.de

### **sePura GmbH**

Raiffeisenstraße 1  
97209 Veitshöchheim  
**Dieter Leimkötter**  
dieter.leimkoetter@sepura.de

### **Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH (KWB)**

Cicerostraße 24  
10709 Berlin  
**Fabian Kraus**  
fabian.kraus@kompetenz-wasser.de

### **Universität Bonn**

Karlrobert-Kreiten-Str. 13  
53115 Bonn  
**Jürgen Burkhardt**  
j.burkhardt@uni-bonn.de

### **FEHS-Institut für Baustoff-Forschung e. V.**

Bliersheimer Straße 62  
47229 Duisburg  
**Hans-Peter König**  
hp.koenig@fehs.de

### **Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)**

Vöttinger Straße 38  
85354 Freising  
**Peer Urbatzka**  
peer.urbatzka@lfl.bayern.de

## SATELLITE

### **Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover (ISAH)**

Welfengarten 1  
30163 Hannover  
**Dr.-Ing. Maïke Beier**  
beier@isah.uni-hannover.de

### **Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML)**

Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2 – 4  
44227 Dortmund  
**Frederic Veit**  
frederic.veil@iml.fraunhofer.de

### **Landwirtschaftskammer Niedersachsen**

Vor dem Zoll 2  
31582 Nienburg  
**Hauke Ahnemann**  
hauke.ahnemann@  
lwk-niedersachsen.de

### **Kommunale Nährstoffrückgewinnung Niedersachsen GmbH (KNRN)**

Kanalstr. 50  
31137 Hildesheim  
**Dr.-Ing. Jens Manthey**  
j.manthey@knrn.de

### **Göttinger Entsorgungsbetriebe (GEB)**

Rudolf-Wissel-Str. 5  
37079 Göttingen  
**Carsten Keunecke**  
c.keunecke@gottingen.de

### **Stadtentwässerung Hildesheim Kommunale AöR (SEHi)**

Kanalstraße 50  
31377 Hildesheim  
**Dr.-Ing. Erwin Voß**  
Erwin.Voss@sehi-hildesheim.de

### **Kreisverband für Wasserwirtschaft Nienburg**

Am Wall 2  
31582 Nienburg  
**Axel Brause**  
brause@kvwasser-nienburg.de

### **Stadt Pattensen – Kläranlage**

Rathausplatz 1  
30982 Pattensen  
**Jörg Hinrichsen**  
hinrichsen@pattensen.de

### **Ingenieurbüro Dr. Breitenkamp**

Hansastr. 45  
32257 Bünde  
**Dr.-Ing. Sabrina Breitenkamp**  
breitenkamp@ressourcen-effizienz.pro

### **BIORESTEC GmbH**

Karlsruher Str. 20a  
30880 Laatzen  
**Dr.-Ing. Dipl.-Biol. Paul Stopp**  
info@biorestec.de

### **SF SoepenberG GmbH**

Emil-Fischer-Str. 14  
46569 Hünxe  
**Dr. Joachim Clemens**  
j.clemens@soepenberG.com

### **Schlammverbund Nienburg (Modellregion)**

### **Kreisverband für Wasserwirtschaft Nienburg**

Am Wall 2  
31582 Nienburg  
**Axel Brause, KVWW**  
brause@kvwasser-nienburg.de  
**Mirco Matthey, Flecken Steyerberg**  
mirco.matthey@steyerberg.de

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**FONA**  
Forschung für Nachhaltigkeit

[www.bmbf-rephor.de](http://www.bmbf-rephor.de)