

## PHOSPHORRECYCLING

# Wie Phosphor regional recycelt werden kann

*Das Projekt DreiSATS demonstriert mit Staubfeuerung und Säureaufschlussgranulierung eine vollständige regionale Phosphor-Kreislaufwirtschaft aus Klärschlamm. Die wissenschaftlich belegten Ergebnisse schaffen die Basis für eine nachhaltige regionale Phosphorrückgewinnung.*

**VON CLAUDYN KIDSZUN, MARC LINCKE UND PETER SCHÖFFMANN**

Regionale Stoffkreisläufe in der Abwasserwirtschaft (insbesondere die Rückgewinnung von Phosphor) gewinnen angesichts von Regulierung und Ressourcendruck zunehmend an Bedeutung. Dezentrale, lokal angepasste Verfahren erhöhen Effizienz und Resilienz über die gesamte Kette vom Klär-

schlammanfall bis zum Absatz der gewonnenen Düngeprodukte. Hier setzt das Verbundprojekt DreiSATS an und entwickelt eine Verfahrenskette, die aus zwei aufeinander abgestimmten Teilbehandlungsschritten besteht. Dabei ist jede Behandlungsstufe so konzipiert, dass sie auch eigenständig betrieben werden kann. Schritt eins ist die Monoverbrennung von Klärschlamm mit der patentierten Staub-

feuerung des Projektpartners Carbo-technik mit integrierter Schwermetallabscheidung und In-Situ-Aschemodifikation. Bei diesem Verfahren kann die Asche je nach Materialinput bereits der Düngemittelverordnung (DüMV) entsprechen. Der zweite Schritt, das Pontes-Pabuli-Verfahren, ermöglicht das Phosphorrecycling aus Klärschlamm-ashen durch einen Säureaufschluss, eine optionale Schwermetallabtren-

**ERFOLG IST... WENN ALLES KLAR IST.**

## FLOTTWEG DEKANTER FÜR WASSER- & KLÄRWERKE

- Energieeinsparung bis zu 30 %
- hohe Entwässerungsleistung
- minimaler Polymerverbrauch
- höchster Trockensubstanzgehalt
- hohe Durchsatzleistungen
- geringere Entsorgungskosten
- mobile Lösungen möglich

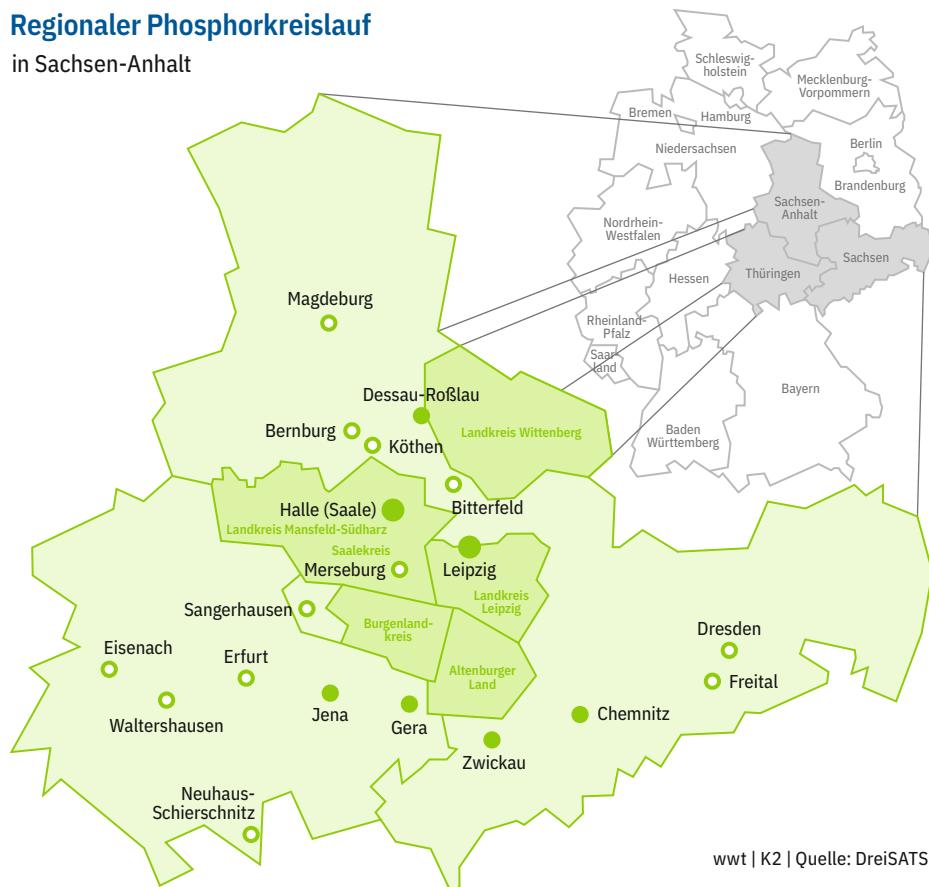


**Flottweg**

Engineered For Your Success

## Regionaler Phosphorkreislauf

in Sachsen-Anhalt



nung und eine anschließende Granulierung. Durch den Säureaufschluss und die Überführung des Phosphats in eine pflanzenverfügbare Form können hochwertige, marktfähige Düngemittel hergestellt werden. So werden regionale Nährstoffbedarfe aus lokalen Quellen gedeckt und Transporte minimiert. Die Umsetzung erfolgt im Rahmen des BMBF-Programms RePhoR und unterstützt die Vorgaben der Klärschlammverordnung (AbfKlärV). Das Projektteam umfasst als Koordinator die Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH (Veolia) sowie die Carbotechnik GmbH, Lufttechnik Crimmitzschau GmbH (LTC) und Pontes Pabuli GmbH. Als Forschungspartner sind das Fraunhofer Institut für keramische Technologien und Systeme IKTS und die MFPA Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus Universität Weimar beteiligt.

Eine regionale Analyse bestätigte sowohl die Potenziale des Phosphorrecycl-

lings als auch den Bedarf in Mitteleuropa. Berechnungen zeigen, dass etwa 60 % des regionalen Phosphatbedarfs durch Recyclate aus kommunalen Klärschlammern gedeckt werden könnten. Gleichzeitig ließe sich der gesamte anfallende Klärschlamm in aufbereiteter Form regional verwerten.

### DREISATS – DAS ZIEL DES VERBUNDPROJEKTS

Das Verbundprojekt DreiSATS entwickelt und demonstriert eine dezentrale, wirtschaftlich tragfähige Prozesskette zur thermischen Klärschlammverwertung mit integriertem Phosphorrecycling. Ziel ist die praxisnahe Erprobung im technisch relevanten Maßstab und die Herstellung standardisierter Düngemittel in konstanter Qualität und Menge. Der Ansatz reduziert Transporte, erhöht die regionale Wertschöpfung und adressiert Akzeptanzfragen.

Die erste Stufe nutzt die Carbotechnik-Staubfeuerung ab 2.000 t TS/a. Durch

## Die Autoren

**Claudyn Kidzun** leitet die Abteilung Forschung und Entwicklung bei der Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH und ist die Projektkoordinatorin von DreiSATS.

**Marc Lincke** hat die Gruppenleitung „Biomassekonversion und Nährstoffrecycling“ am Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS inne.

**Peter Schöffmann** ist Abteilungsleiter Technik bei der Carbotechnik Energiesysteme GmbH.

thermochemische Prozessführung werden Schwermetalle volatilisiert und über einen Heißgasfilter mit keramischen Filterkerzen (entwickelt von LTC/IKTS) abgetrennt. Eine gezielte Additivierung unterstützt die Schwermetallabtrennung und verbessert die Phosphorverfügbarkeit. Die Entwicklung wird an der TRL-7-Versuchsanlage in Magdeburg validiert.

Die zweite Stufe, das Pontes-Pabuli-Verfahren, nutzt einen Säureaufschluss mit anschließender Granulierung. Das Phosphat wird in diesem Verfahrensschritt aufgeschlossen und zu marktfähigen Düngern mit einstellbaren Nährstoffgehalten verarbeitet. Die Schwermetalle können selektiv entfernt werden. Die Inbetriebnahme der TRL-6-Versuchsanlage fand bereits im März 2022 in Markranstädt bei Veolia statt.

Datenauswertungen belegen kläranlagenspezifische und saisonale Schwankungen bei Stoffeigenschaften sowie Nähr- und Schadstoffgehalten, die bei Auslegung und Betrieb berücksichtigt werden müssen. Häufige Grenzwertüberschreitungen bei den Elementen Blei (Pb), Kupfer (Cu), Cadmium (Cd), Zink (Zn) und Nickel (Ni) machen eine prozessintegrierte Schwermetallentfernung erforderlich.

### REGIONALES KONZEPT ALS ANSPRUCH UND CHANCE

Das DreiSATS-Konzept basiert auf regionaler, dezentraler Klärschlamm-

verbrennung mit geringerer thermischer Leistung und vorgeschalteter Trocknung. Dies reduziert den Transportaufwand und damit zusammenhängende Emissionen gegenüber zentralen Anlagen erheblich. Die Staubfeuerung ermöglicht wirtschaftlichen Betrieb bereits bei kleineren Anlagengrößen als die konventionelle Wirbelschichttechnologie. Voraussetzung ist die Trocknung auf 90 % TS-Gehalt und entsprechende Aufbereitung des Klärschlamm. Trocknungs- und Verbrennungsanlagen werden energetisch gekoppelt, um regionale Nährstoffkreisläufe nachhaltig zu schließen (S. 28, oben).

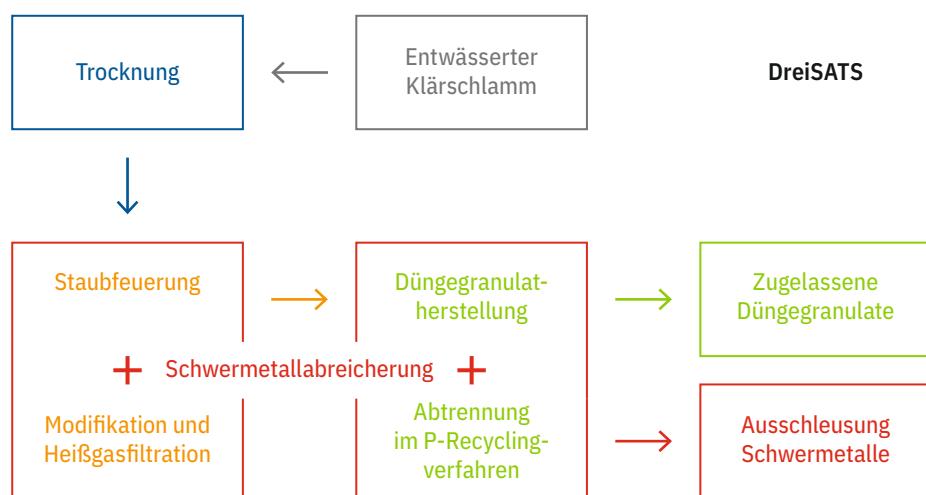
Aus den anfallenden Aschen werden anschließend standardisierte Düngemittel für die regionale Landwirtschaft erzeugt, die konventionelle Dünger anteilig ersetzen können. Das hierfür eingesetzte P-Rückgewinnungsverfahren von Pontes Pabuli ist ausreichend flexibel, um die Prozessführung an die typischen chemischen und physikalischen Schwankungen der Asche anzupassen.

#### **KLÄRSCHLAMMVERBRENNUNG MITTELS STAUBFEUERUNG**

Im Projekt soll die Kombination von Trocknern und Staubfeuerungsanlagen mit Verbrennungskapazitäten < 2.000 t TM/a als Alternative zur Wirbelschichtfeuerung entwickelt und erprobt wer-

#### **Verbundprojekt DreiSATS**

Technologiekette



wwt | K2 | Quelle: DreiSATS

den. Die stationäre Wirbelschichtfeuerung ist das zurzeit am weitesten verbreitete Verfahren zur thermischen Klärschlammbehandlung. Ein wirtschaftlicher Betrieb ist meist erst ab einer Feuerungswärmeleistung von 10 MWth (entspricht ca. 20.000 t<sub>TM</sub>/a und etwa 5.000 Lkw-Ladungen pro Jahr) realisierbar.

Bei der Staubfeuerung wird getrockneter, gemahlener Brennstoff pneumatisch in den Impulsbrenner eingeblasen. Ein radial geführter Primärluftstrom erzeugt ein stark verwirbeltes

Strömungsfeld mit zentraler Heißgasrezirkulation (S. 29, unten). Dadurch mischen sich Brennstoff und Luft optimal, die Flamme bleibt stabil und die Muffel wird durch Luftsichten innen und außen gekühlt.

Der integrierte Zündbrenner zündet einmalig, die Rückströmung sorgt für permanente Nachzündung, eine Stützflamme ist über den gesamten Lastbereich nicht erforderlich. Die Einheit benötigt keine feuerfeste Ausmauerung, Aufheiz- und Abkühlphasen entfallen. Bettmaterialien, wie sie in

## **DOOSAN Lentjes**

### **Ihr zuverlässiger Partner für die thermische Verwertung von Abfall und Klärschlamm**

Wir unterstützen unsere Kunden bei der thermischen Verwertung von Abfall und Klärschlamm. Mit unseren firmeneigenen Verfahren für Verbrennung, Dampferzeugung sowie Rauchgasreinigung liefern wir maßgeschneiderte Teilanlagen und führen Ihr Projekt zum Erfolg.

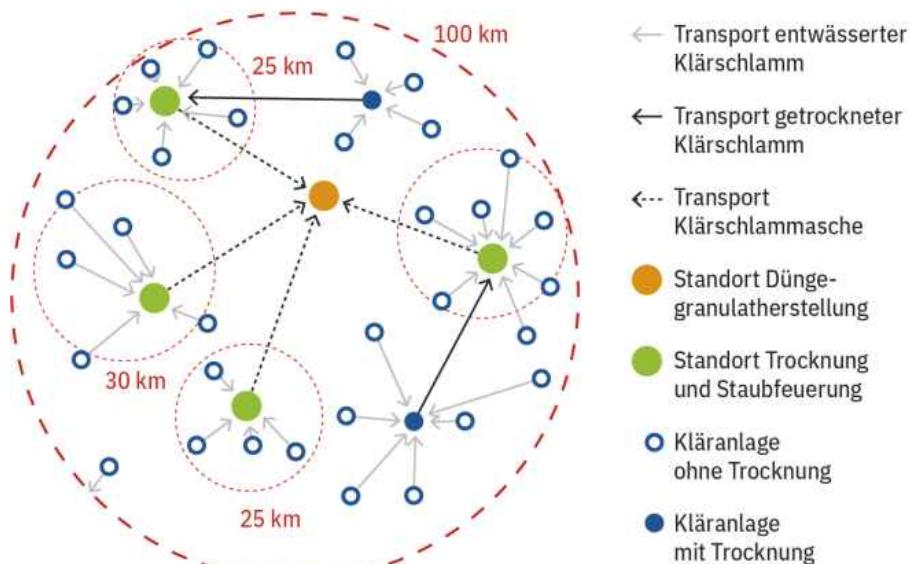
**Erfahren Sie mehr – kontaktieren Sie uns unter:**  
Tel: +49 2102 166 0 Email: [DL.Info@doosan.com](mailto:DL.Info@doosan.com)  
[www.doosanlentjes.com](http://www.doosanlentjes.com)



Wirbelschichtverfahren eingesetzt werden, sind in dem betrachteten System nicht erforderlich. Der Zündvorgang dauert nur wenige Minuten, ein Ausschalten der Anlage ist aus jedem Betriebszustand möglich, ein Notkamin ist nicht erforderlich. An- und Abfahrräder sind nicht zu beachten. Die Brennkammer hält Temperatur und Verweilzeit gemäß 17. BImSchV sicher ein. Eine präzise Regelung gleicht Heizwertschwankungen aus und sorgt für ein gleichbleibendes Brennstoff-Luft-Verhältnis.

Die Carbotechnik-Staubfeuerung ermöglicht eine gezielte thermochemische Modifikation der Asche zur Schwermetallreduktion und Verbesserung der Phosphorlöslichkeit. Höhere Temperaturen erhöhen den Partialdruck flüchtiger Metallverbindungen, die in die Gasphase übergehen. Durch gezielte Additivzugabe in die Verbrennung wird die Übergangstemperatur gesenkt, wodurch eine bessere Abscheidung erzielt wird. Um diesen Effekt zu maximieren, wird die Asche unmittelbar im heißen Bereich abgezogen. Die Abtrennung der gasförmigen Schwermetalle erfolgt über den integrierten Zyklon an der Nachbrennkammer sowie durch eine Heißgasfiltration mit keramischen Filter-

## Regionales Phosphorrecycling dezentrales Konzept



wwt | K2 | Quelle: DreiSATS

elementen. Die Aschequalität kann den Anforderungen der DüMV entsprechen. Neben der Möglichkeit, die Asche mit Kalk als landwirtschaftlichen Dünger auszubringen, wurde im Projekt die Weiterverarbeitung zu Düngerprodukten mit dem Pontes-Pabuli-Verfahren untersucht.

## SÄUREAUF SCHLUSSGRANULIERUNG NACH PONTES-PABULI-VERFAHREN

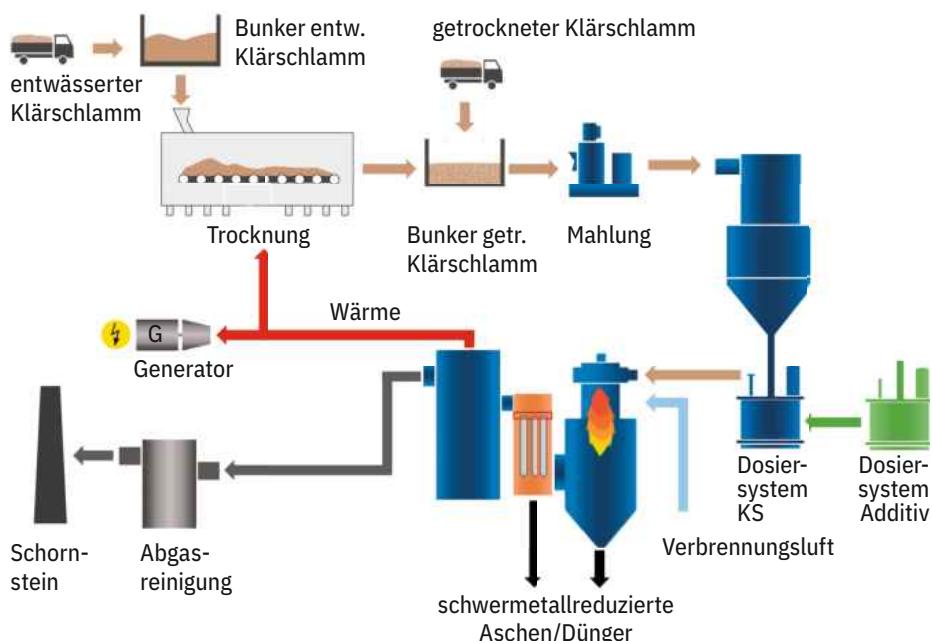
Im Pontes-Pabuli-Verfahren werden phosphathaltige Aschen in hochwertige und standardisierte Düngergranulate überführt. Hierzu erfolgt ein Säureaufschluss der Phosphate, ähnlich wie es bereits in der Düngemittelindustrie mit Rohphosphat praktiziert wird. Im ersten Schritt wird für diesen Zweck aus Asche, Wasser und Säure eine Suspension hergestellt (S. 29, oben). Nach einer entsprechenden Reaktionszeit wird eine mechanische Fest-Flüssig-Trennung durchgeführt.

Die abgetrennte flüssige Phase wird im Kreislauf geführt, während der feuchte Feststoff zu hochwertigen Düngern weiterverarbeitet wird. Die Zusammensetzung der zu erzeugenden Dünger wird dabei durch eine exakte Zusage weiterer Nährstoffkomponenten zielgenau eingestellt.

Dabei richtet sich die Art und Menge der zusätzlichen Nährstoffe nach der Rezeptur des gewünschten Dungertyps. Das dabei erzeugte, optimal für den Nährstoffbedarf der Pflanzen eingestellte Gemisch wird anschließend granuliert und im letzten Schritt getrocknet. Als Produkt resultiert ein gebrauchsfertiger Dünger, der in der

## Klärschlammverbrennung

Trocknung und Staubfeuerung mit Schwermetallabtrennung mittels Heißgasfiltration



wwt | K2 | Quelle: DreiSATS

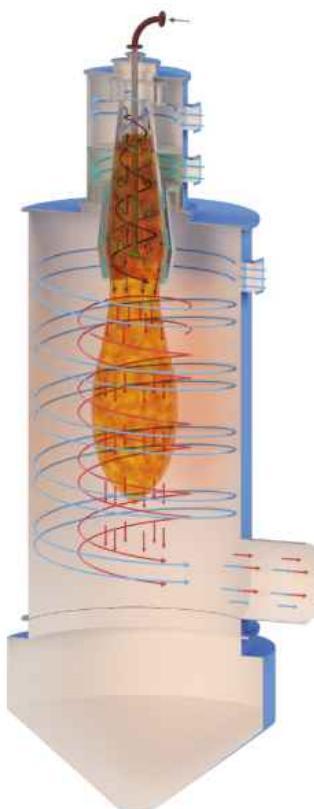
Qualität den heute in der Landwirtschaft eingesetzten Mineraldüngern entspricht.

Im Pontes-Pabuli-Verfahren ist es möglich, Schwermetalle selektiv aus der flüssigen Phase abzutrennen (S. 29, oben). Diese optionale Schwermetallabreicherung, bei Bedarf als Modul in den Prozess einbaubar, sichert zum einen die Einhaltung heutiger als auch zukünftiger gesetzlicher Vorgaben, zum anderen deckt sie die Anforderungen an die Nachhaltigkeit der Prozessführung ab.

Im Rahmen der Projektlaufzeit wurde das Pontes-Pabuli-Verfahren – auch FLEX-Verfahren genannt – weiterentwickelt und optimiert. FLEX bedeutet, dass die Abreicherung von Schwermetallen FLEXibel als Modul zugeschaltet werden kann. Außerdem wurden die Verfahren EcoPLUS und Perfect-CLEAN für verschiedene Aschequalitäten entwickelt. Das EcoPlus-Verfahren eignet sich für hochwertige Klärschlammassen, kommt daher ohne Schwermetallabtrennung aus und ist

#### Patenterter Staubbrenner

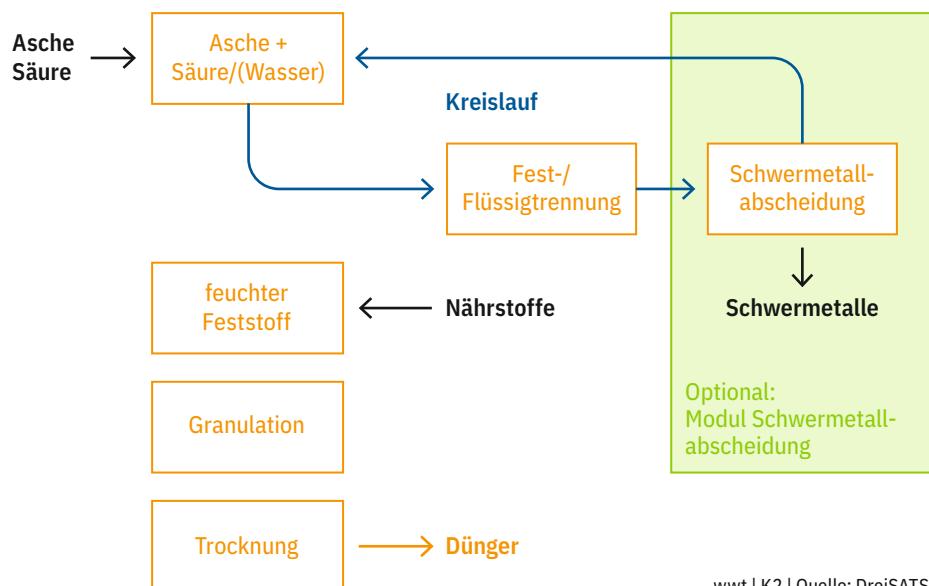
Schematische Darstellung



wwt | K2 | Quelle: DreiSATS

#### Pontes-Pabuli-Flex-Verfahren

mit optionaler Schwermetallabtrennung, Verfahrensschema



wwt | K2 | Quelle: DreiSATS

durch niedrige Betriebs- und Investitionskosten charakterisiert. Mit dem PerfectCLEAN Verfahren können Schwermetalle nach Bedarf größer 90 % abgeschieden und die Phosphatkonzentration auf größer 40 % eingestellt werden. Somit ist es möglich, mit der Technologieplattform Aschen mit verschiedenen Qualitäten zu verarbeiten und hochwertige Düngerprodukte in gleichbleibenden Qualitäten herzustellen.

Im Projekt wurden Aschen aus unterschiedlichen Verbrennungstechnologien eingesetzt. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass die jeweiligen Verfahrensvarianten unabhängig von der Verbrennungstechnik eingesetzt und gleichbleibende Düngerqualitäten sichergestellt werden können. Hierzu wurden umfangreiche Versuchsreihen zur Optimierung und Anpassung aschespezifischer Parameter wie Granulometrie durchgeführt.

Angesichts der Heterogenität der Klärschlämme wurde am Fraunhofer IKTS eine Methodik pflanzenbasierter Bioassays entwickelt, die ein Screening zu Phytotoxizität, Nährstoffverfügbarkeit und Dungewirksamkeit unter standardisierten Bedingungen ermöglicht. Im Rahmen des Projekts wurden selektierende und vergleichende Pflanzen-

versuche in den Laborversuchsständen des Fraunhofer IKTS und im Gewächshaus bei Veolia durchgeführt. Anhand dieser Ergebnisse konnten Rückschlüsse zu den erzeugten Düngerprodukten und der verwendeten Säurespezifika und Verfahrensführung abgeleitet werden. Diese Erkenntnisse wurden im Optimierungsprozess berücksichtigt.

#### DREISATS: BASIS FÜR EINE NACHHALTIGE, REGIONALE PHOSPHORRÜCKGEWINNUNG

Das Projekt DreiSATS demonstriert erfolgreich eine vollständige regionale Phosphor-Kreislaufwirtschaft aus Klärschlamm. Die patentierte Staubfeuerung ermöglicht sichere, regelstabile und emissionskonforme Monoverbrennung für dezentrale Anlagen nach der 17. BImSchV. Die thermochemische Verbrennung mit optionaler Additivierung und Heißgasfiltration liefert definierte Aschequalitäten. Das Pontes-Pabuli-Verfahren produziert standardisierte, DüMV-konforme Dünger durch Säureaufschluss und Granulierung. Labor- und Gewächshausversuche belegen Pflanzenverträglichkeit und Wirksamkeit. Die wissenschaftlich belegten Ergebnisse zu Emissionskontrolle, Schwermetallreduktion und Dungewirksamkeit schaffen die Grundlage für eine nachhaltige regionale Phosphorrückgewinnung.