

Regionale Nährstoffkreisläufe schließen: Das DreiSATS-Konzept - von der Verbrennung bis zum P-Recycling

Matthias Hoger | Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH
Peter Schöfmann | Carbotechnik Energiesysteme GmbH



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt



Hintergrund und Ziele

- Praxisnahe Erprobung und Demonstration einer innovativen, wirtschaftlich und technisch tragfähigen Prozesskette zur dezentralen, thermischen Klärschlammverwertung mit Phosphorrecycling und Produktverwertung für die Modellregion „Mitteldeutsches Dreiländereck“



 VEOLIA



Klärschlamm-trockner Zorbau

 Fraunhofer
IKTS

 LTC
LUFTECHNIK

 pontes
pabuli
Rückgewinnung von
Nährstoffen

 MPA
life cycle
material engineering.

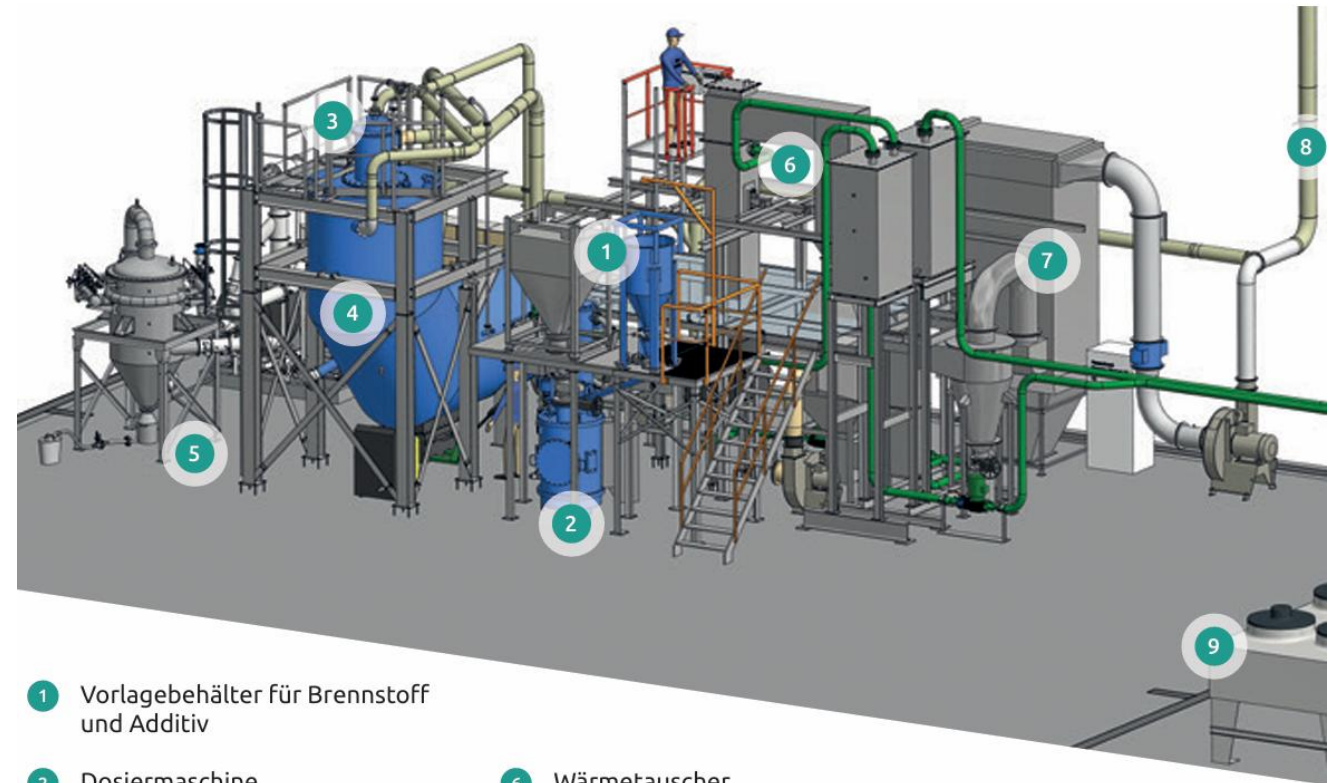
Staubfeuerung: Betriebsergebnisse

1-MW-Pilotanlage in Magdeburg

- zur dezentralen thermischen Klärschlammverwertung für kontinuierlichen Realbetrieb
- Ausgelegt für rund 8.000 t/a mechanisch entwässerten Klärschlamm

Betriebsverhalten

- Vollautomatischer Anlagenbetrieb
- Prozessintegrierte In-situ-Aschemodifikation als Basis für hochwertige Rezyklate
- Stabile, emissionsarme Verbrennung auch bei stark schwankenden Schlammqualitäten



- 1 Vorlagebehälter für Brennstoff und Additiv
- 2 Dosiermaschine
- 3 Staubbrenner
- 4 Nachbrennkammer mit Zyklon
- 5 Heißgasfilter

- 6 Wärmetauscher
- 7 Rauchgasreinigung
- 8 Kamin
- 9 Tischkühler

Staubfeuerung: Betriebsergebnisse

Regelung & Betriebsstabilität

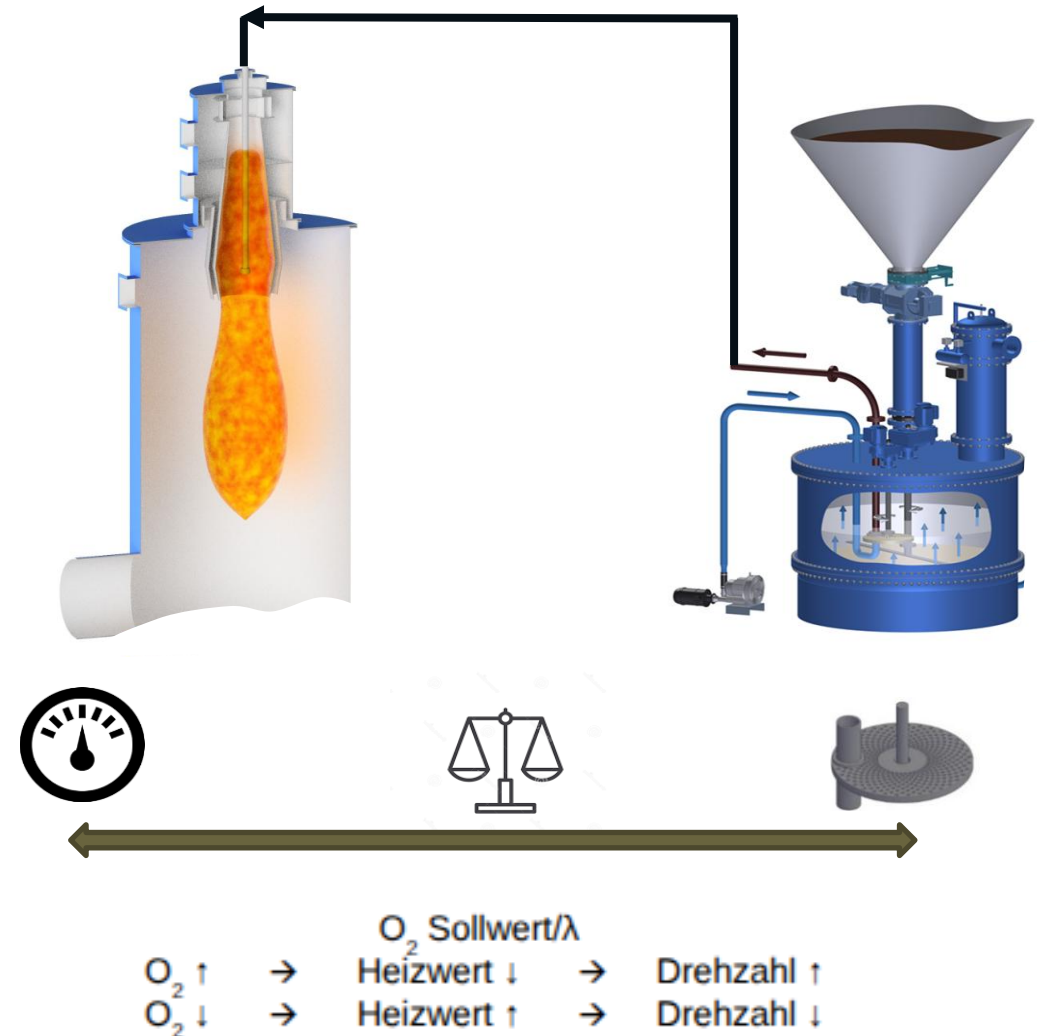
- Automatische Anpassung des Brennstoffeintrags an Heizwert und Aschegehalt
- O₂-geregelte Verbrennungsführung → konstant gleiches Brennstoff-Luftverhältnis
- Sehr schnelle, verzugslose Reaktion der Dosiermaschine
- Keine Versinterungen oder Anbackungen

Ergebnis

- Stabile Verbrennung auch bei stark schwankenden Schlammqualitäten
- Grundlage für emissionsarmen Betrieb und hohe Aschequalität

Technische Reife

- Verfahren im kontinuierlichen Realbetrieb erprobt
- Regelgüte und Prozess Stabilität mehrfach nachgewiesen
- Belastbare Datenbasis für die Anlagenauslegung



Staubfeuerung: Betriebsergebnisse

Prozessprinzip

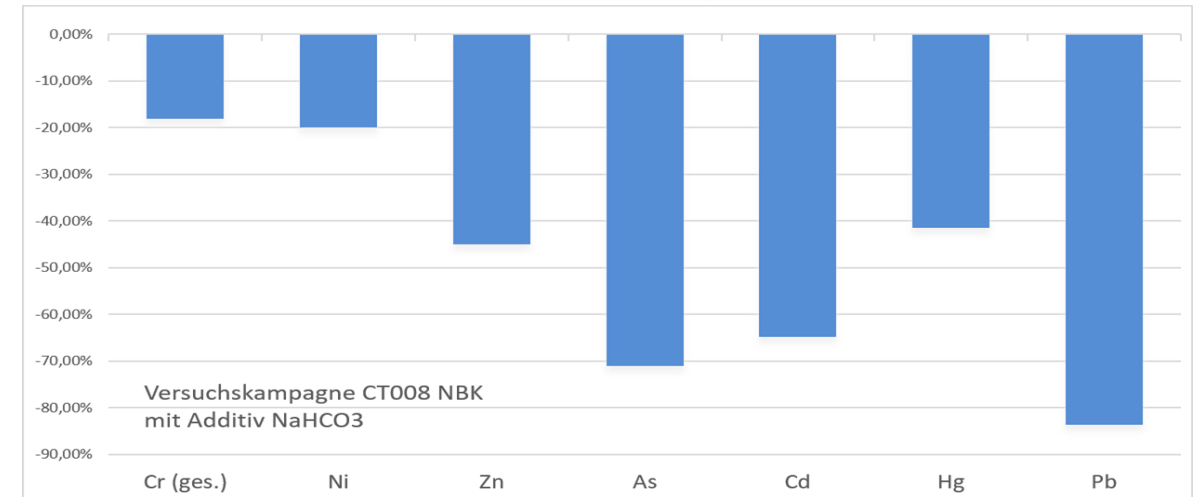
- Additivierung direkt im Brennraum → gezielte chemische Reaktion während der Verbrennung
- Hohe Temperaturen und turbulente Strömung fördern Abreicherung leichtflüchtiger Schwermetalle

Aschequalität

- Feinkörnige, homogene Asche ohne Agglomerate
- Deutlich reduzierte Schadstoffgehalte
- Sehr gute Phosphorlöslichkeit
- Erfüllt bei geeigneten Inputs die DüMV-Anforderungen

Technische Reife

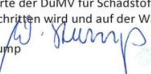
- Liefert Aschen mit großer spezifischer Oberfläche
- Optimale Ausgangsbasis für Säureaufschluss wie bei Pontes Pabuli



Feinkörnige Asche aus der Staubfeuerung



Granulierte Asche aus der Staubfeuerung (Vorversuch)

			
Auftraggeber:	Carbotechnik Geretsried GmbH Lauterbachstraße 12 82538 Geretsried		
Prüfgegenstand:	Klärschlammasche 325 / NBK		
Prüfziel:	Deklaration nach Düngemittelverordnung		
Typenbezeichnung:	PK – Dünger, fest; 18,9 – 1,1 aus der Verbrennung von Klärschlamm mit den Spurennährstoffen BWS, Fe, K, Cu, MgO, Mn, Na, S, Se, Zn; enthält 76,3 mg/kg TS Ni		
Der Gesamtphosphorgehalt kann bis zu 80 % als pflanzenverfügbar in Ansatz gebracht werden, dies entspricht einer Phosphorfracht von 151 kg Phosphor (P ₂ O ₅) je Kubikmeter / Tonne Frischmasse.			
Die Nährstoffe wie Magnesium und Kalium sind im Rahmen der Fruchtfolge zu 100% anrechenbar.			
Bei einer Aufbringung auf landwirtschaftlichen Flächen sind Anwendungs- und Mengenbeschränkungen aus abfallrechtlichen Vorschriften (AbfKlärV, BioAbfV) zu beachten.			
Die geprüfte Klärschlammasche ist aufgrund des Behandlungsverfahrens als seuchenhygienisch unbedenklich einzustufen.			
Die Parameter Basisch wirksame Stoffe, Kupfer, Zink, Magnesium, Eisen, Mangan, Schwefel, Selen und Natrium überschreiten die Kennzeichnungswerte nach Düngemittelverordnung und sind anzugeben.			
Die Grenzwerte der DüMV für Schadstoffe werden eingehalten, während der Kennzeichnungswert bei Nickel überschritten wird und auf der Warendecklaration anzugeben ist.			
Wolfgang Stump Laborleiter		  	

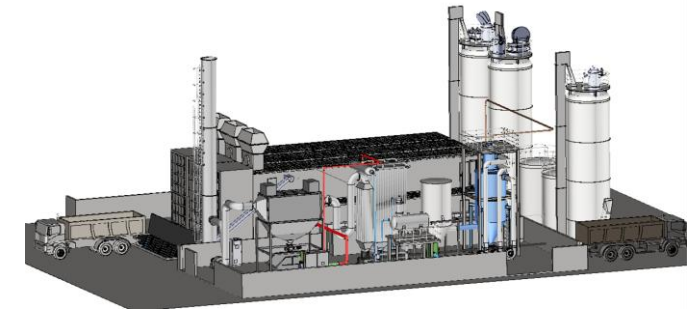
Staubfeuerung: Transfer, Umsetzung und Verstetigung

Weiterbetrieb & Validierung

- Weiterbetrieb der 1-MW-Pilotanlage
- Vertiefende Ascheanalysen (P-Löslichkeiten)

Skalierung & Verstetigung

- Anlagenauslegung für eine dezentrale thermische Verwertung (3 MW)
 - standortgerecht dimensioniert
 - basierend auf belastbaren Betriebsdaten der Pilotanlage
- Prüfung der Substitution von Braunkohlenstaub durch Klärschlamm
 - geeignete Bestandsanlage mit passenden Parametern wurde identifiziert
 - Gespräche mit beiden Betreibern laufen
- Skalierbares Anlagenkonzept
 - standortgerecht dimensionierbar
 - an spezifische Betriebsparameter anpassbar



Phosphorrecycling: Ergebnisse

Versuchsanlage zur Demonstration des Pontes Pabuli-Verfahrens im halbtechnischen Maßstab in Markranstädt

- Inbetriebnahme im März 2022
- Testbetrieb bis Oktober 2022
- seit Oktober 2022 im Versuchsbetrieb
- Durchsatz 35 kg/h Asche

Überblick Versuchsdurchführung und Ergebnisse

- stabile Prozessführung mit 7 unterschiedlichen Aschen und 2 unterschiedlichen Säuresystemen in verschiedenen Konzentrationen
- Nachweis selektive Schwermetallabreicherung in 13 Kreislaufversuchen
- flexible Prozessanpassung für gleichbleibende Qualität mit 4 verschiedenen Verfahrensvarianten
- Nachweis Phosphorrückgewinnungsrate und -verfügbarkeit



Phosphorrecycling: Ergebnisse

Versuchsergebnisse

- Säureaufschluss und Filtration
 - im Regelbetrieb
 - chemische Auswertung der Filterkuchen und Filtrate
 - systematische Untersuchungen der Schwermetallfällung
- Trocknung mit Mikrowellen-Bandtrockner
 - im Regelbetrieb
 - Systematische Untersuchung der Trocknungszeit und -grad
- Mahlung und Granulation
 - erfolgreich durchgeführt
- Düngerprodukt
 - Bewertung der Düngerprodukte aus dem kontinuierlichen Betrieb
 - physikalische Auswertung: Kornhärte, TS, Korngrößenverteilung, Siebfähigkeit, Zerfall
 - chemische Analyse
 - Durchführung von Gewächshaus- und Freilandversuchen



Kammerfilterpresse



Siebung



> 2 mm

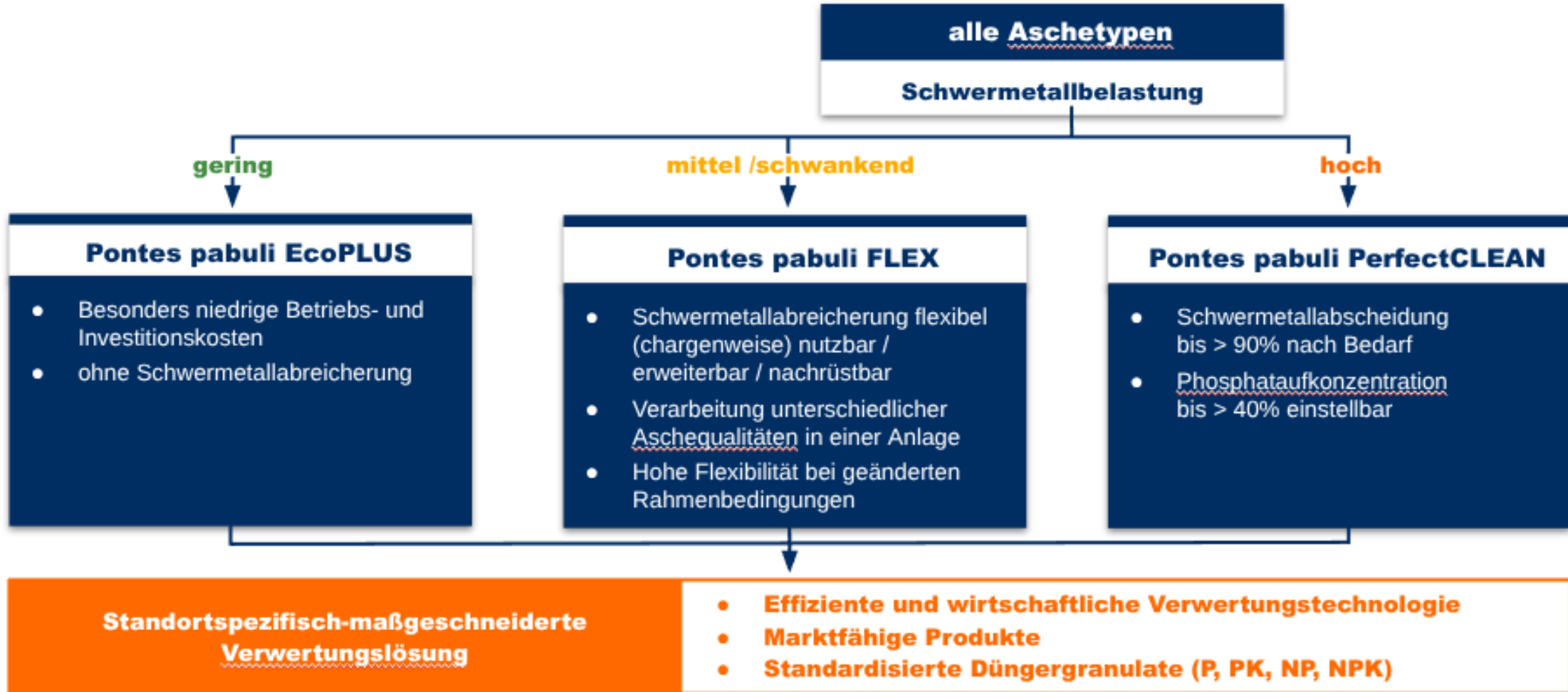


2 - 5 mm



5 mm <

Phosphorrecycling: Ergebnisse

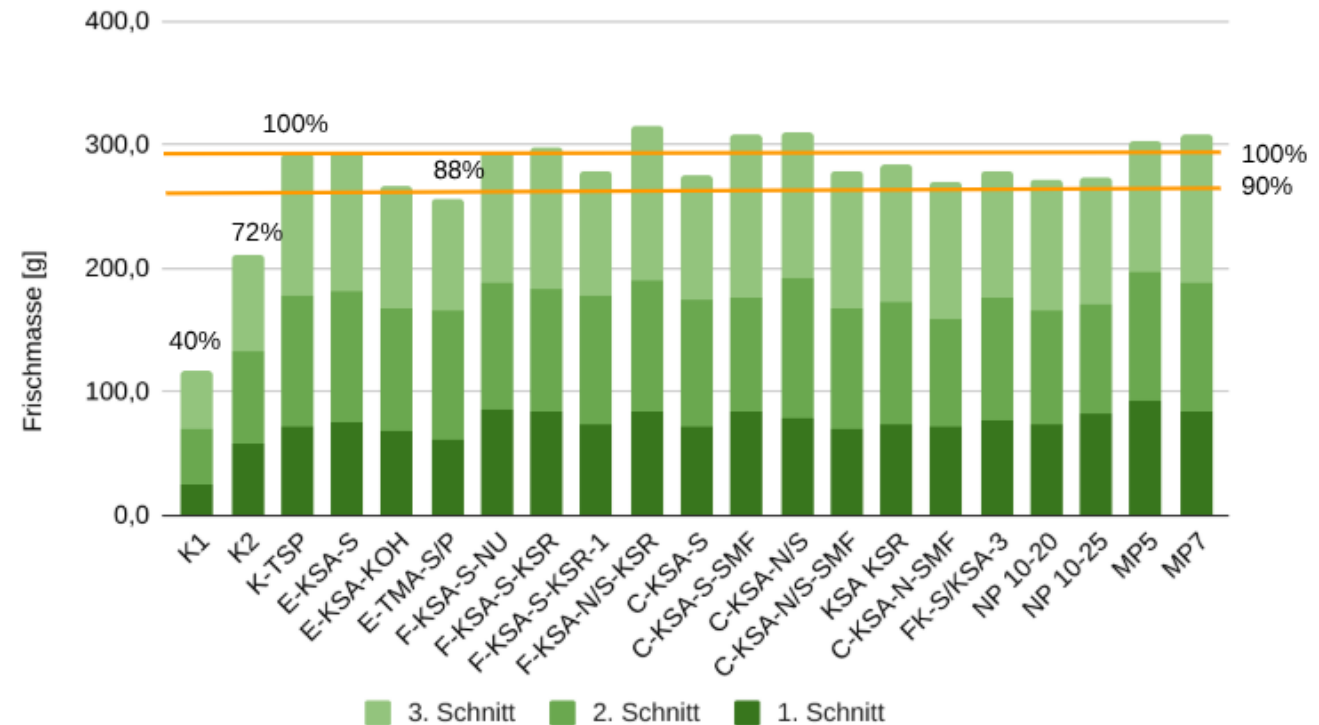


Phosphorrecycling: Ergebnisse - Pflanzversuche

- Versuchskampagnen im Gewächshaus und Freiland mit verschiedenen Pflanzen
- Vierfachbestimmung
- mit TSP vergleichbare Frischmassezuwächse
- gute Pflanzenverträglichkeit



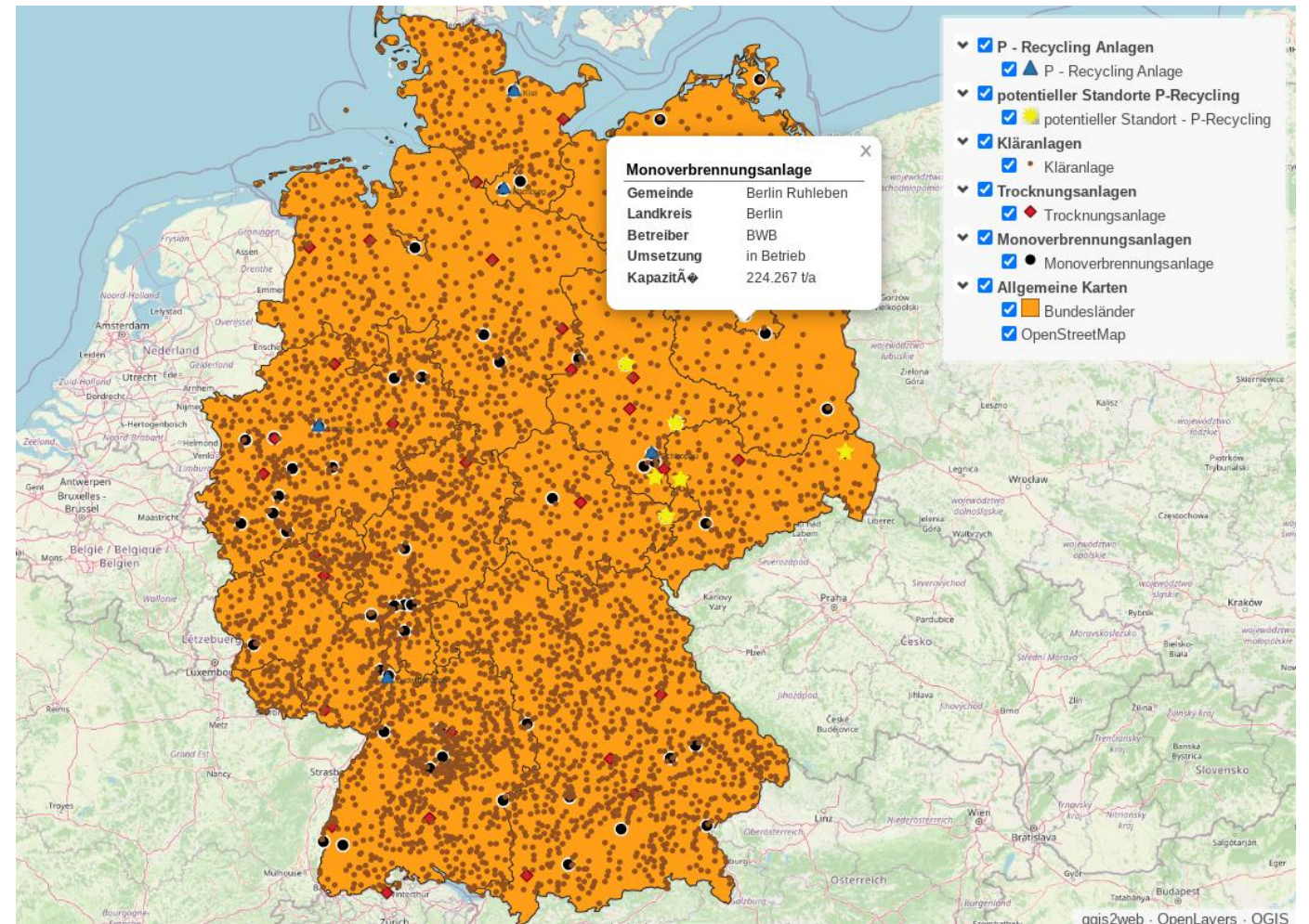
Einblick Gewächshaus



Versuchsergebnisse Luzerne

Ergebnisse: GIS Modul Standortwahl

- Fortlaufende Aktualisierung des GIS-Systems um aktuellen Stand der Monoverbrennungs- und P-Recyclingprojekte sowie Kläranlagenstandorte
- GIS Karte als interaktive Anwendung mit Suchfunktion und Informationen zu Koordinaten verfügbar



Ergebnisse: Stakeholderworkshops und Öffentlichkeitsarbeit



Stakeholderworkshop

- Durchführung Stakeholderanalyse
- Erstellung Bewertungsmatrix
- Identifikation relevanter Stakeholder
- Durchführung von 7 Stakeholderworkshops
- 2 Demonstratorenbesichtigungen
 - P Recycling Anlage Pontes Pabuli
 - Staubfeuerungsanlage
 - Pflanzversuchsstand

Öffentlichkeitsarbeit

- Fachpublikationen (24)
- Vorträge auf Veranstaltungen (Kongressen, Konferenzen, Symposien) (26)
- Messen und Ausstellungen (8)
- Gremienarbeit
- Homepage (1)

Stand der Technik

- kein etablierter Stand der Technik vorhanden
- regionale Einzelprojekte
- Zurückhaltung bei der Hochskalierung weiterer Verfahren

Wirtschaftlicher Rahmen

- hohe und weiter steigende Investitionskosten
- fehlende langfristige Ausschreibungen
- keine Planungssicherheit für Unternehmen
- Auswirkungen des Fachkräftemangels



Regulatorische Unsicherheiten

- ausstehende Novellierung der Düngemittelverordnung
- ungeklärte Dokumentation und Überprüfung der gesetzlichen P-Abscheideraten
- bundeseinheitliche Gebührenfähigkeit nicht abschließend geklärt

Absatzmarkt

- heterogene Produkte aus verschiedenen Verfahren des P-Recyclings
- große Unterschiede der Produkte im Vergleich
- fragliche Akzeptanz der Produkte am Markt

Der Markt für das Phosphorrecycling leidet unter großer Unsicherheit, da Investitions- und Planungsgrundlagen fehlen. Die Pflicht zur Phosphorrückgewinnung kann in der aktuellen Fassung nicht flächendeckend eingehalten werden.

**Stand der
Technik**

**Wirtschaftlicher
Rahmen**

+

**Regulatorische
Unsicherheiten**

**Fehlender
Absatzmarkt**

Was wird für eine erfolgreiche Umsetzung des Phosphorrecyclings benötigt?

- Planungssicherheit und einen klaren gesetzlichen Rahmen für das Vorhaben der Phosphorrückgewinnung
 - langfristige Ausschreibungen
 - Novellierung DüMV
- eine klare politische Ausgestaltung der Übergangszeit nach 2029 bis zum Erreichen der Kapazitäten
- fortlaufende Aufklärungsarbeit bezüglich Klärschlammverordnung bei kommunalen Entscheidungsträgern

1. **Dezentrale Anlagenkonzepte** reduzieren Transportwege, nutzen lokale Wärmepotenziale und stärken regionaler Nährstoffkreisläufe.
 2. **Kleinere, standortgerecht dimensionierte Staubfeuerungsanlagen** vereinfachen Genehmigungen, beschleunigen Projekte und reduzieren Investitionsrisiken.
 3. **Modulare Düngeraufbereitung** mit bedarfsgerechter Schwermetallabtrennung ermöglicht trotz schwankender Aschequalitäten eine konstant hohe, marktfähige Produktqualität bei optimierten Prozesskosten.
-
1. **Pontes Pabuli Technologie** wurde im technischen Maßstab entwickelt. Die Technologieplattform ermöglicht eine standortspezifische Umsetzung für unterschiedliche Aschequalitäten. Umsetzung der Technologie in TRL 6 erreicht. Pflanzenverfügbarkeit- und -verträglichkeit nachgewiesen in Gewächshaus- und Freilandversuchen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH
Dipl. Ing. (BA) Matthias Hoger
Nordstraße 15
04420 Markranstädt
www.veolia.de/vkd-klaerschamm

Carbotechnik Energiesysteme GmbH
Dipl. Ing. (FH) Peter Schöffmann
Lauterbachstraße 12
82538 Geretsried
www.carbotechnik.de

Gefördert durch:

