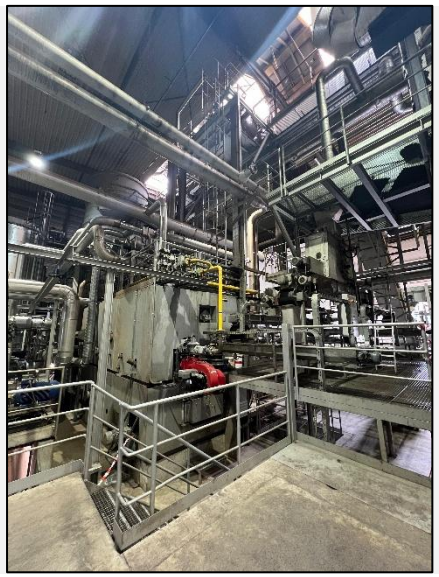
Rhenania

Großtechnische Umsetzung des R-Rhenania Verfahrens zur nachhaltigen Erzeugung von P-Düngemitteln aus Klärschlamm

Christian Adam & Hannes Herzel
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung







Gefördert durch:
Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt
FONA Forschung für Nachhaltigkeit
RePhoR REGIONALES PHOSPHOR-RECYCLING
BAM
EMTER
sePura. Wir machen was draus. Intelligente Lösungen für Industrie und Landwirtschaft
Metso
INSTITUT FÜR BAUSTOFF FORSCHUNG fehs
LfL Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
KWB Kompetenzzentrum Wasser Berlin
UNIVERSITÄT BONN

Hintergrund und Ziele

Klärschlamm

- ca. 1,6 Mio Tonnen pro Jahr (D)
- Hohe P-Gehalte 2-5%
- Schadstoffsenke

  (Medikamente, Schwermetalle PFAS, Mikroplastik, etc.)



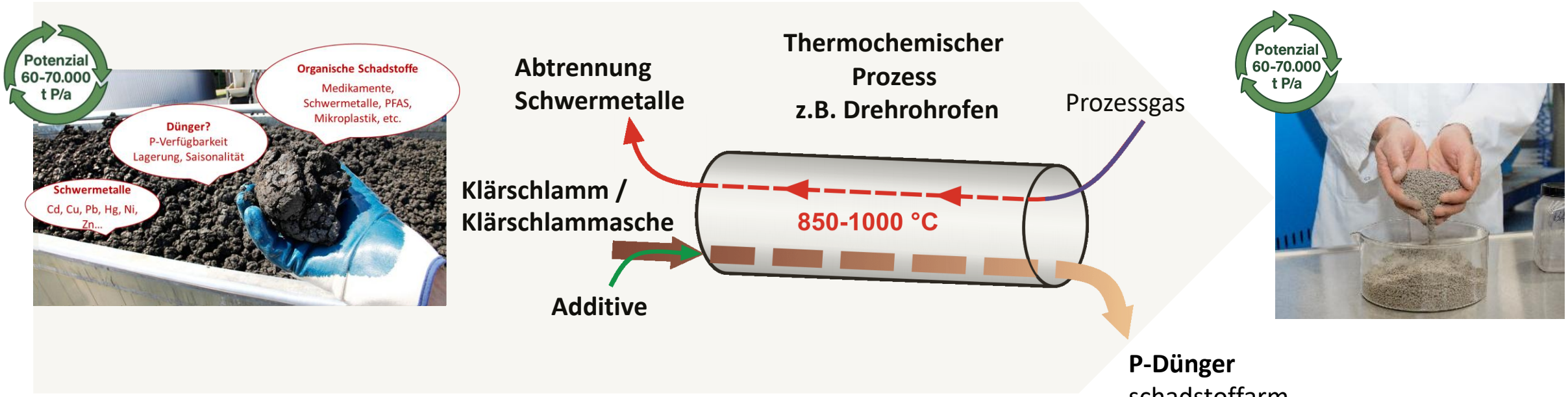
https://www.nw.de/lokal/kreis_minden_luebbecke/espelkamp/22868767_Neue-Klaerschlamm-Anlage-Oekologisch-wertvolle-Flaeche-kann-entstehen.html

- ➢ Klärschlamm ist kein geeigneter Dünger
- ➢ Aber, Kreislaufführung für Phosphat wichtig
- ➢ Neuregelung AbfKlärV ab 2029:
  - KS großer KA nicht mehr auf das Feld
  - P-Rückgewinnung vorgeschrieben

Hintergrund und Ziele

Ansatz Rhenania

- Organische Schadstoffe thermisch zerstören (800 – 1000°C)
- Schwermetalle entfernen (Verdampfung unter reduzierenden Bedingungen oder als Chlorid)
- Lager- und streuffähiges Produkt wie konventionelle Dünger
- Phosphate mit hoher Düngewirkung erzeugen (Bildung von $CaNaPO_4$ – $CaKPO_4$)

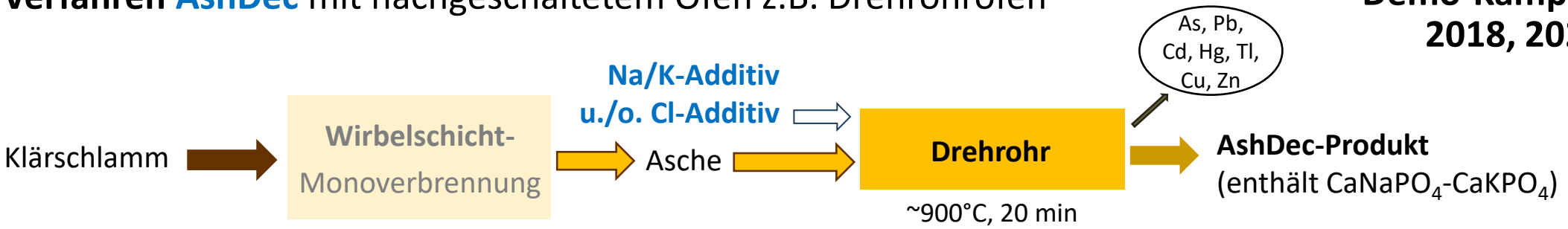


P-Dünger
schadstoffarm,
P für Pflanzen verfügbar

2 Verfahrensansätze

Verfahren AshDec mit nachgeschaltetem Ofen z.B. Drehrohrofen

Demo-Kampagnen 2018, 2020

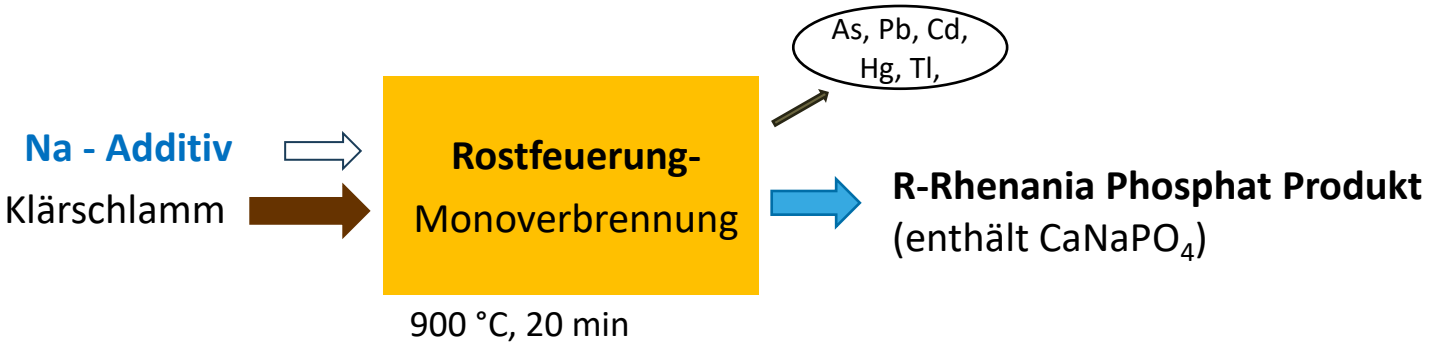


Verfahren R-Rhenania direkt in der Rostfeuerung (Altenstadt)

Demo-Kampagne Mai 2022

Inbetriebnahme 2025

Kampagnenbetriebe März und Juni 2026

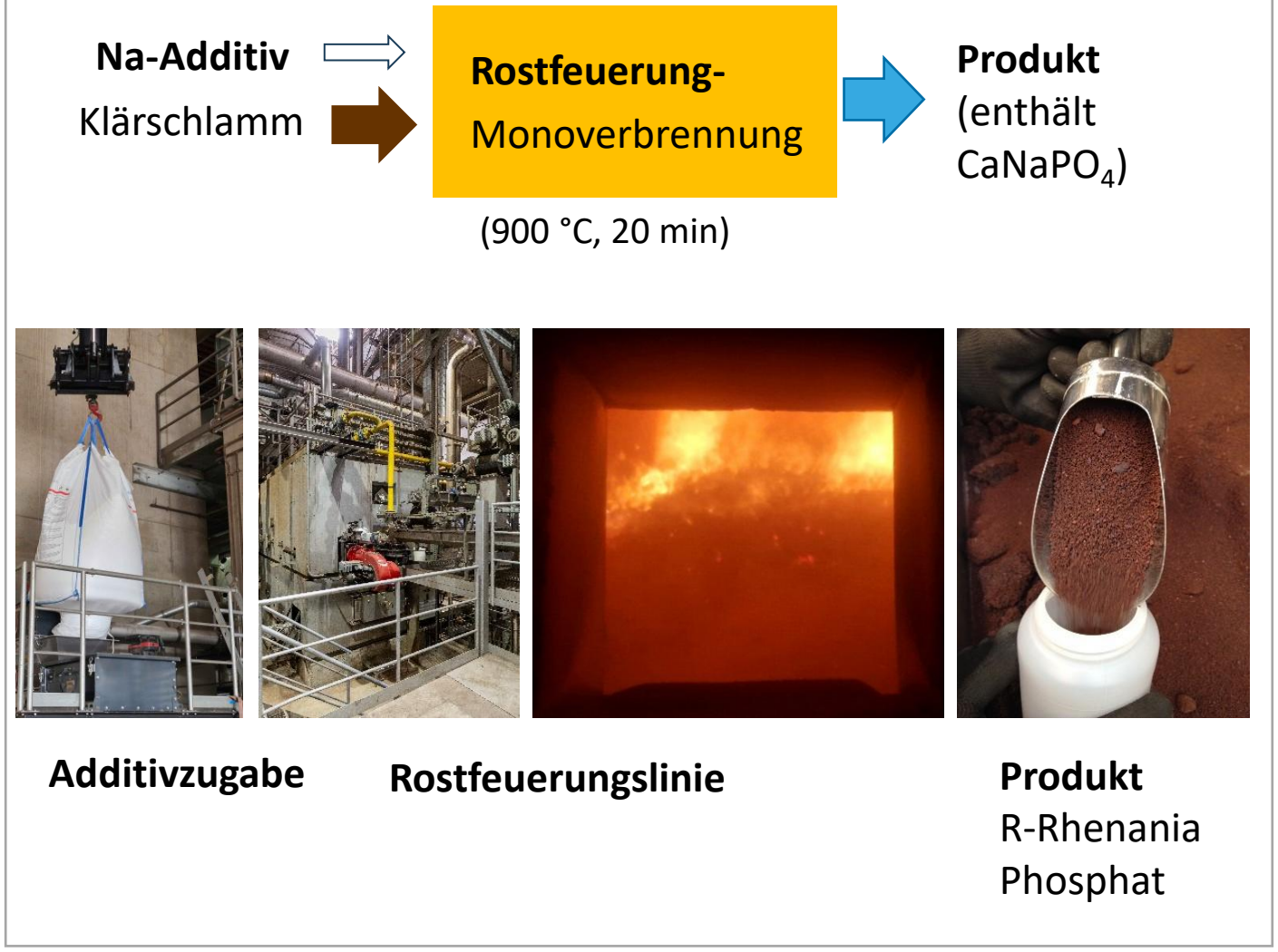


Versuchskampagne Mai 2022
Rostfeuerung Altenstadt

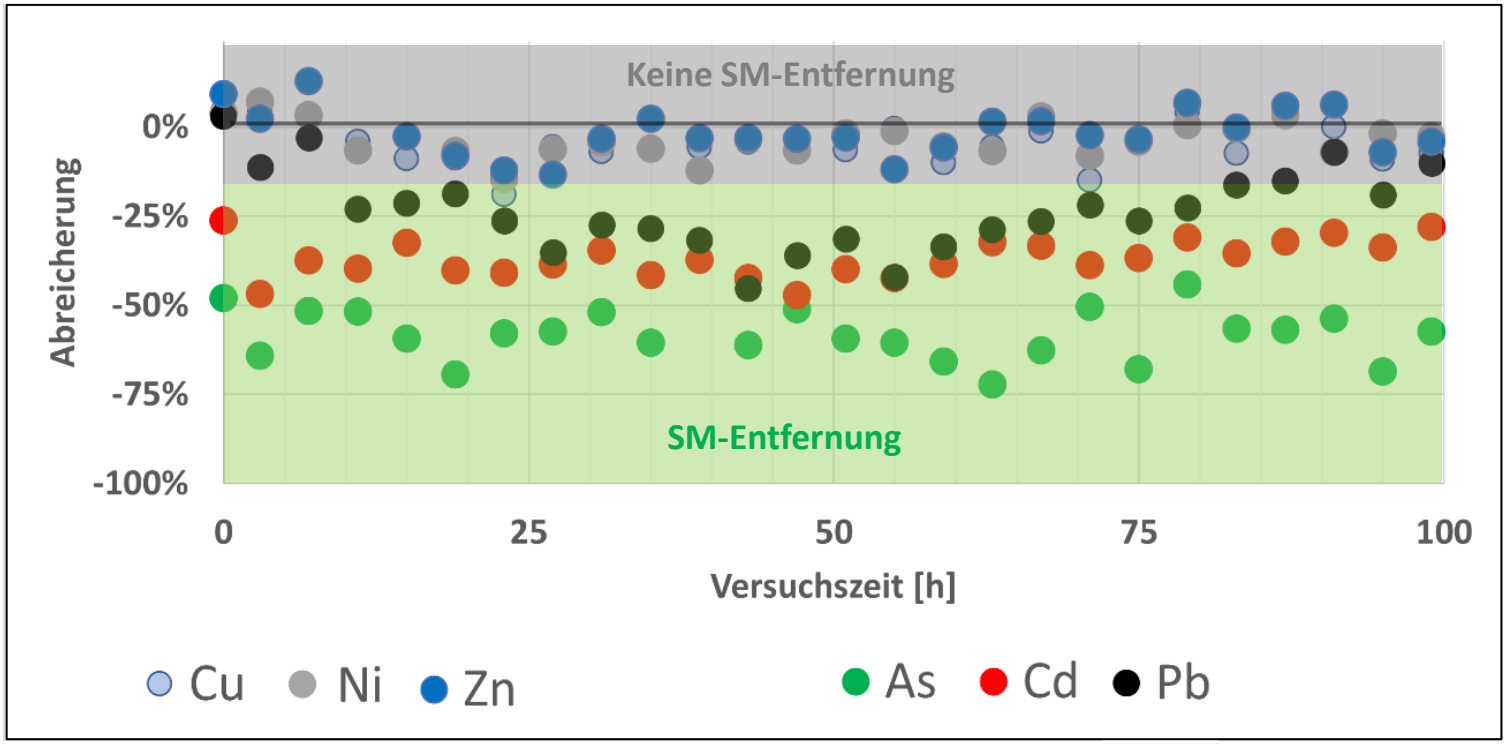
Verfahren **R-Rhenania**

auf einer Linie der Verbrennungsanlage
(im laufenden Betrieb der Rostfeuerung)

Dauer:	4 Tage (>100 h)
Probenahme:	alle 4 Stunden (Eintrag und Austrag)
Additiv:	Na_2CO_3 (Variation Dosierung)
Temperatur:	900 °C
Verweilzeit:	mind. 20 min
Eintrag:	~ 3,0 t/h TM Klärschlamm
Produktaustrag:	**~ 1,0 t/h** **~ 100 t Gesamtmenge**



Versuchskampagne Mai 2022
Ergebnisse: Schwermetallentfernung



Massenbilanzen Edukt/Produkt

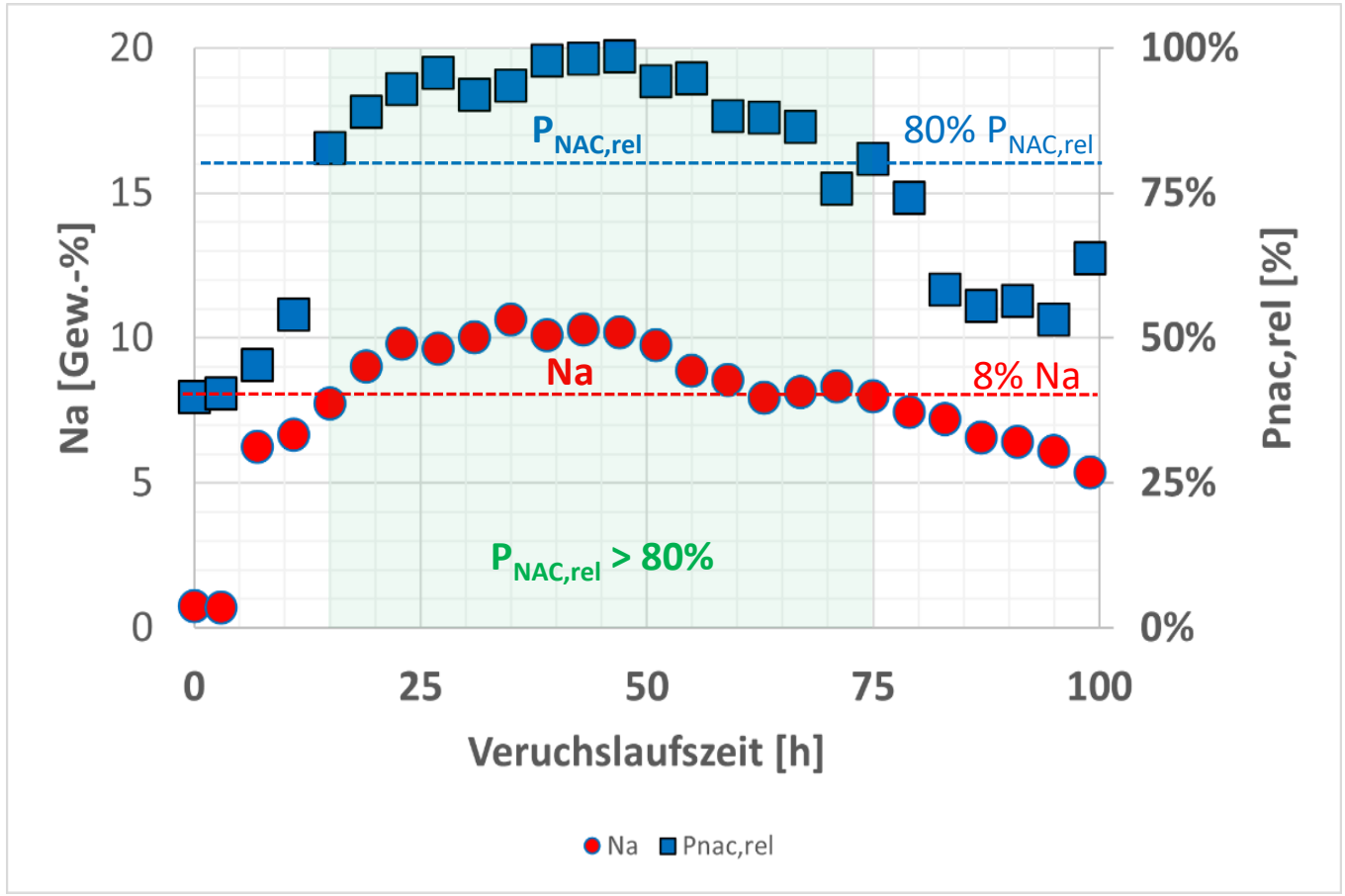
Ergebnisse Kampagne 2022

- Keine Entfernung von: Cu, Cr, Ni, Zn
- Entfernung von: As, Cd, Hg, Pb, Tl
- Maximale SM-Entfernung Kampagne: As 70%, Cd 45%, Pb 40%

Allgemein

- Asche Altenstadt ist DüMV-konform
- Zusätzliche SM-Entfernung durch R-Rhenania Betrieb möglich
- Kampagne 2022 war nicht auf SM-Entfernung optimiert
- Optimierungspotenzial wird untersucht

Versuchskampagne Mai 2022
Ergebnisse: Na-Gehalt und P-Löslichkeit des Produkts



$P_{NAC,rel}$: Indikator für die Pflanzenverfügarbeit
(Löslichkeit in Neutralammoniumcitrate-Lösung bei 65°C/1h)

Ergebnisse Kampagne 2022

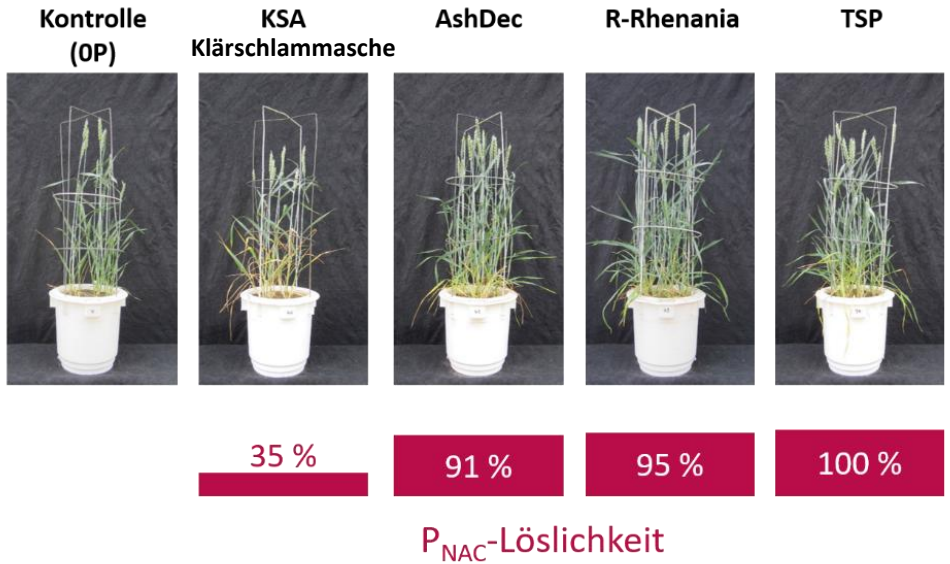
- $P_{NAC,rel}$ erhöht durch Dosierung von Na_2CO_3
- Steigerung von 40% auf 100%
- Plausibler Verlauf:

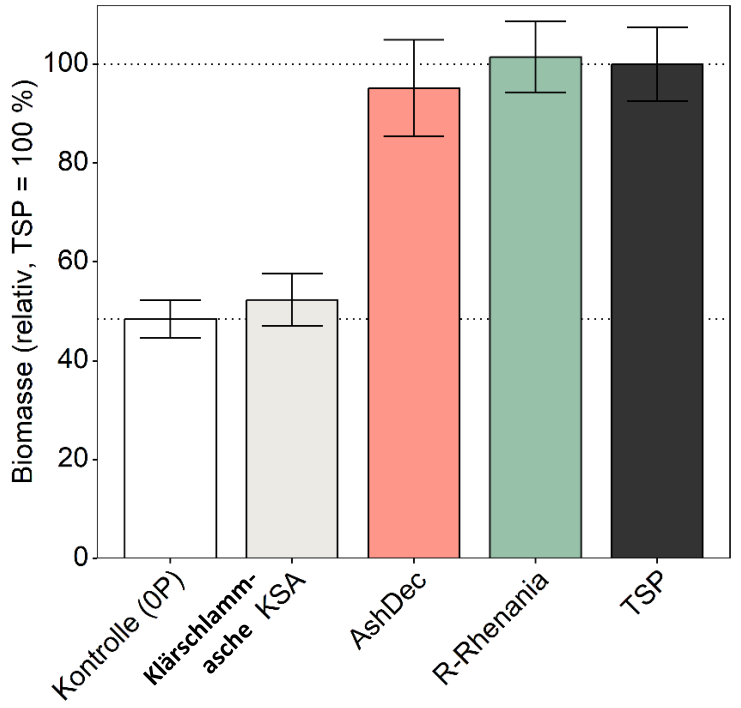
  Na > 10 % korreliert mit $P_{NAC,rel}$ > 95%

  Na > 8 % korreliert mit $P_{NAC,rel}$ > 80%

Gefäßversuche 2023 - Ergebnisse







- Unbehandelte Klärschlammasche hat keine Düngewirkung
- AshDec und R-Rhenania vergleichbare Düngewirkung wie Struvit (nicht gezeigt) und konventioneller Dünger TSP
- Gute Korrelation zwischen Düngewirkung und P_{NAC}-Löslichkeit

Ergebnisse Feldversuche im ökologischen Landbau

Rhenania

Zusammenfassung/Fazit 3-jährige Fruchtfolge

LfL
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Silomais

P-Ertrag Siloreife: alle Varianten besser als Kontrolle

Winterroggen

Struvit, Ashdec und TSP (3x) höhere Erträge als Kontrolle

Kleegras

Höhere P-Erträge bei TSP und Ashdec (3x) als Kontrolle

Boden

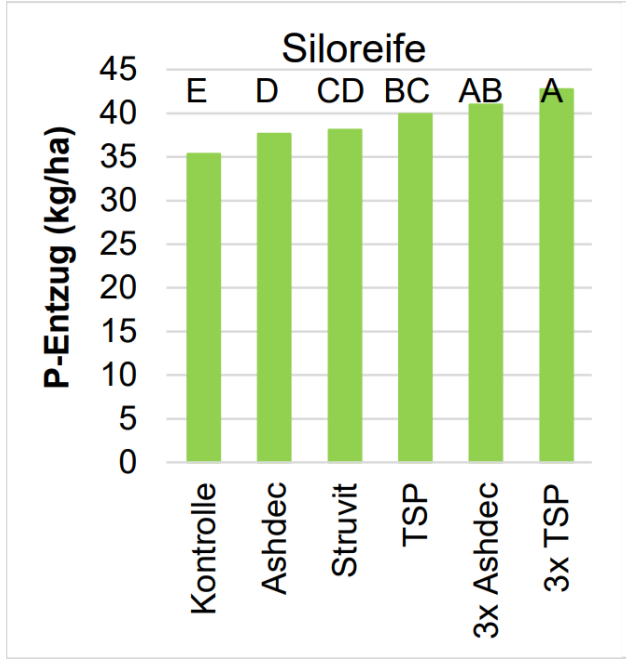
Höherer P-Gehalt zu Versuchsende bei TSP und Ashdec (3x) als Kontrolle

Allgemein: Kaum Unterschiede zwischen Ashdec, Struvit und TSP

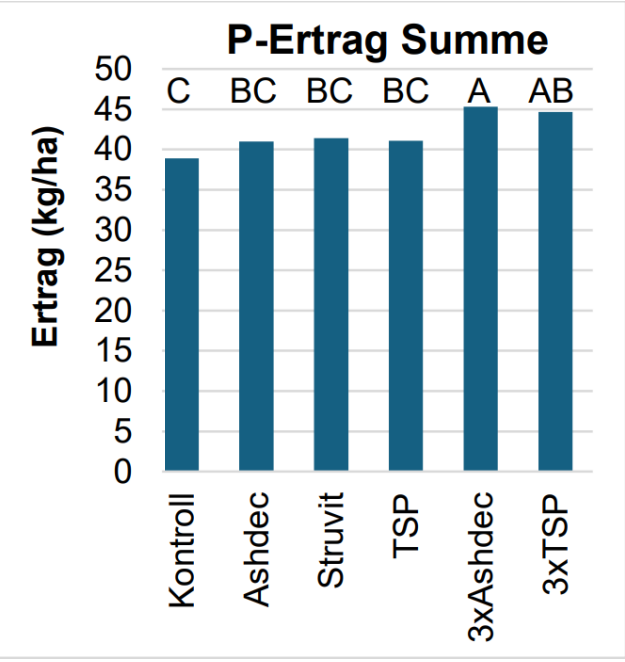




Silomais



Kleegras



Zusammenfassung
Thermochemisches Produkt R-Rhenania / AshDec

- $CaNaPO_4$ ist die düngewirksame P-Komponente
  - P-Gehalt: 8-10 Gew.-%
  - P_{NAC}-Löslichkeit: bis 100% möglich
  - P-Wasserlöslichkeit: gering (<2%)
- Bestätigung der hohen Düngewirkung durch Gefäß- und Feldversuche
- erfüllt Anforderungen für Düngemittel nach D und EU-Recht
- REACH-Zulassung in 2026 → Dünger in D / EU vermarktbar
- Ideale Anwendung im ökologischen Landbau





	R-Rhenania Produkt	DüMV [1]	EU [4] 2019/1009
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
As	8,4	40	40
Cd	0,2	10,3 [2]	12,4 [2]
Cr	90	300 [3]	
Cu	520	900	600 [5]
Hg	0,4	1	1
Ni	50	80	100
Pb	23	150	120
Tl	<0,1	1	
Zn	1750	5000	1500 [5]

[1] DüMV – Anlage 1 Abschnitt 4.1.1 für Cu und Zn; Anlage 2 Tabelle 1.4 für As, Cd, Cr, Hg, Ni und Pb

[2] Grenzwert für Cd: 50 mg Cd/P_2O_5 in DüMV; 60 mg Cd/P_2O_5 berechnet für 9% P

[3] Kennzeichnungswert

[4] EU-Düngeprodukteverordnung (EU, 2019/1009): Anhang I Teil II PFC 1 (C)(I)

[5] „Diese Grenzwerte gelten jedoch nicht, wenn […] absichtlich Kupfer (Cu) und Zink (Zn) zugesetzt wurde […]“: Teil II FPC 1 (C)(I) 3.

Zusammenfassung Umsetzung in Altenstadt

- Erfolgreiche Umsetzung des R-Rhenania Verfahrens in Altenstadt
- 2024: Integration der Additiv-Dosierung
- 2025: Bau eines Silos für Additiv Na_2CO_3
  und einer Lagerhalle für R-Rhenania Produkt
- Produktionskapazität von 15.000 t R-Rhenania Produkt
- Aktuell die größte betriebsbereite P-Recyclinganlage in D
- Keine zusätzlichen Kosten für die Kommunen













Eröffnungsfeier Industrieanlage Emter GmbH
16. Oktober 2025, Altenstadt













Bildrechte: BAM

EUWID Recycling und Entsorgung › News › Wirtschaft

Phosphorrückgewinnung: Betriebsstart für R-Rhenania-Anlage bei Emter in Altenstadt

EUWID + 16.10.2025 | Volker Leise | ca. 3 Min | Erschienen in Ausgabe 43/2025 Merken



Gruppenbild von der heutigen Inbetriebnahme der Anlage in Altenstadt mit dem bayerischen Wissenschaftsminister Markus Blume (6. von rechts)

Im oberbayerischen Altenstadt ist heute die Anlage des Verbundprojekts R-Rhenania zur Herstellung von Phosphatdünger aus Klärschlamm-Monoverbrennungsaschen in Betrieb gegangen. Damit wird das von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) entwickelte Verfahren bei der Emter GmbH erstmals großtechnisch umgesetzt, teilte die Behörde mit. Das Produkt R-Rhenania Phosphat erfülle bereits heute die Anforderungen der Klärschlammverordnung, die ab 2029 eine verpflichtende Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm vorsieht.

tagesschau tagesschau24 live

Startseite ▸ Inland ▸ Regional ▸ Bayern ▸ Altenstadt: Größte deutsche Phosphor-Recyclinganlage gestartet

AUDIO

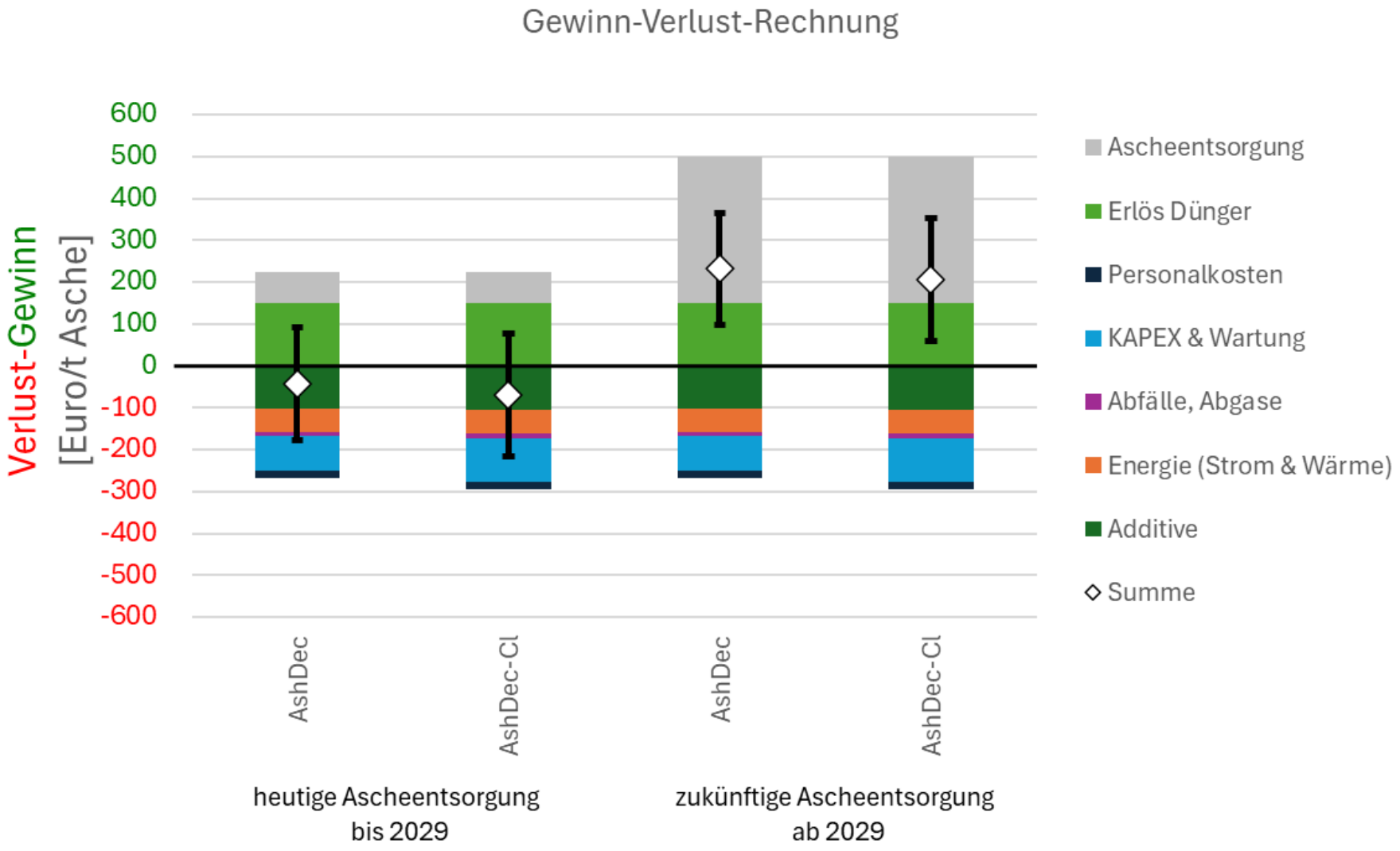
Altenstadt: Größte deutsche Phosphor-Recyclinganlage gestartet

Stand: 16.10.2025 15:32 Uhr

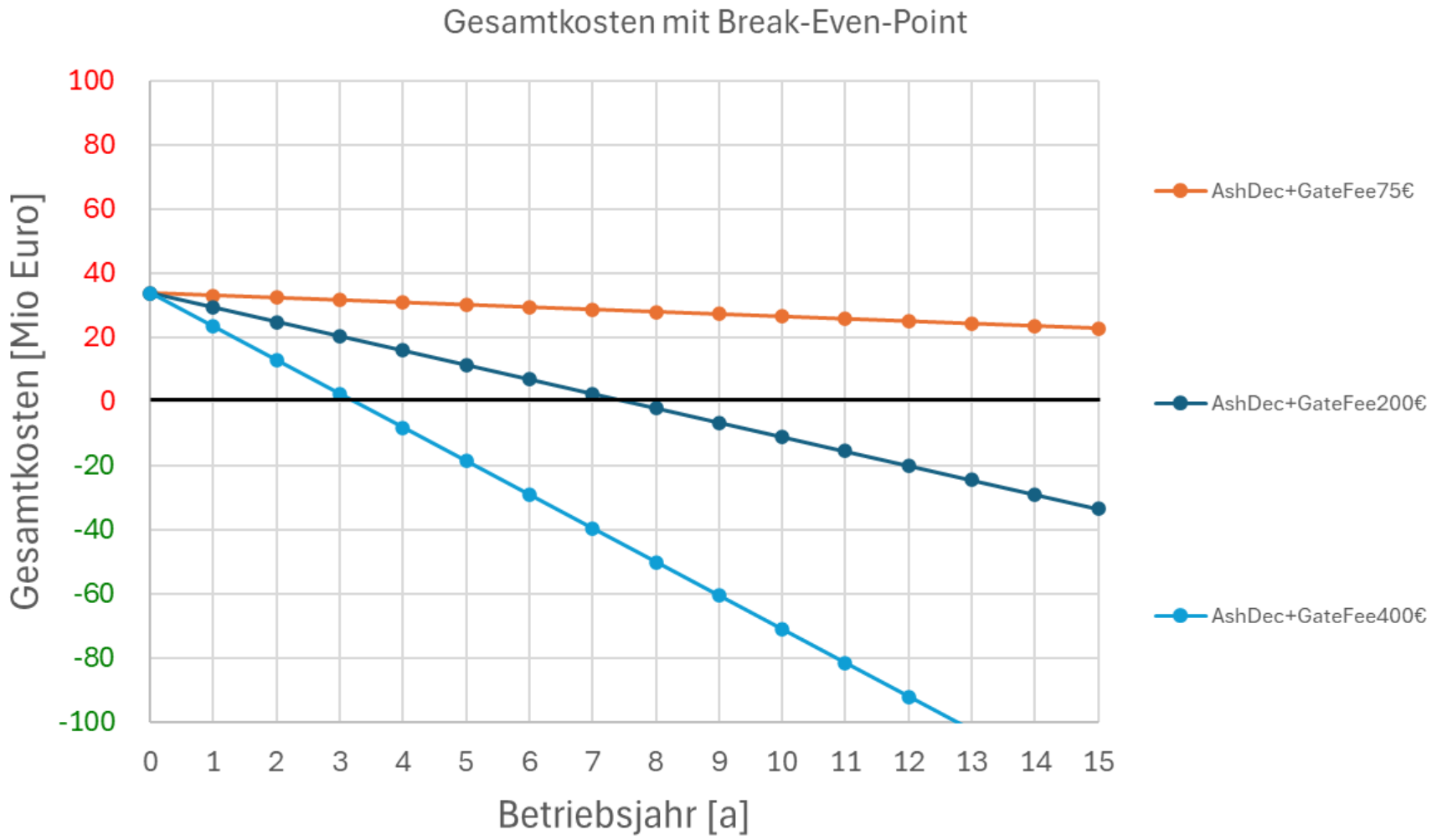


BR Quelle: br

Kostenabschätzungen
AshDec (nachgeschalteter thermochemischer Prozess)



Kostenabschätzungen
AshDec (nachgeschalteter thermochemischer Prozess)



Weitere Verbreitung des Verfahrens

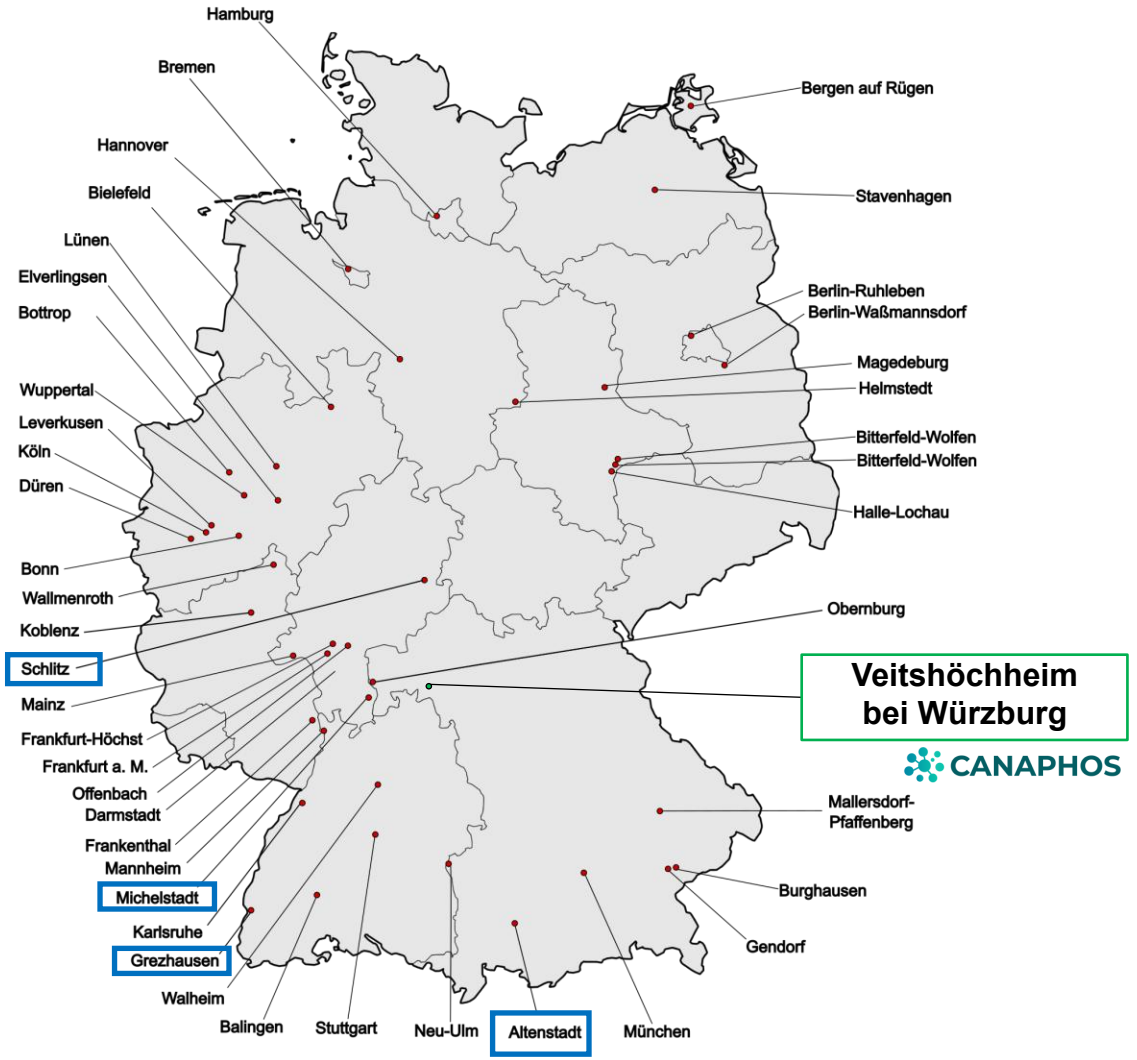
Potenzial

- **Eignung für ca. 50% der P-Rückgewinnungspflichtigen KS** (0,6 Mio. t/a)
- Inbetriebnahme 3 weitere (kleinere) Anlagen von ähnlichen Technologie-Anbietern
- Weitere Standorte in Planung

Unternehmensgründung CANAPHOS

- Firmen Michaelis und sePura
- Anlage bei Würzburg (15.000 t KSA/a)
- Paddelofentechnologie
- Inbetriebnahme Q4/2026 – Q1/2027
- Fokus: Schwermetallabtrennung auch mit Chloriden
- Erschließung weiterer Standorte

Standorte Klärschlammverbrennung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. Christian Adam

Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)

Unter den Eichen 87

12205 Berlin

www.bam.de

Christian.adam@bam.de

Telefon: 030 8104 5670



Gefördert durch:

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt

FONA Forschung für Nachhaltigkeit

RePhoR REGIONALES PHOSPHOR-RECYCLING