

18.03.2026 – Webinar R-Rhenania

---

## **THERMOCHEMISCHE VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG SCHADSTOFFARMER UND WIRKSAMER DÜNGEMITTEL AUS KLÄRSCHLAMM UND DEREN ASCHEN**

Christian Adam und Hannes Herzel (BAM)

Christoph Brey und Johann Emter (Emter GmbH)

alle Projektpartner

---

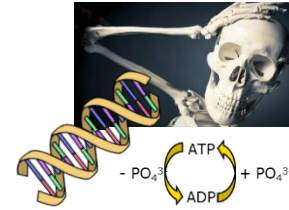
# Klärschlammverordnung 2017 (AbfKlärV)

## Klärschlamm (KS):

- Enthält essentielle Nährstoffe wie P und N für Lebewesen  
→ Nährstoffe wichtig für Düngung auf Feldern  
→ P in Klärschlamm: Potential 50% des konventionellen Düngers aus Rohphosphaten zu ersetzen
- Enthält Schwermetalle und viele organische Schadstoffe (Mikroplastik, PFAS, Pharmazeutika, ...)
- soll nicht mehr direkt auf die Felder (AbfKlärV, 2017)

## Thermische Verwertung vom Klärschlamm:

- Thermische Verwertung (aktuell 80% ↑):
  - Mitverbrennungsanlagen (z.B. Müllverbrennung, Zementwerk, Braunkohlewerke) ↓  
→ P verloren
  - Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen ↑  
→ Hohe P-Gehalte in Klärschlammaschen (<8-12% P)
- Pflicht zur P-Rückgewinnung ab 2029, Ausnahme für KS TM mit P <20 g/kg (AbfKlärV, 2017)  
→ **P-Rückgewinnung aus Klärschlamm oder Klärschlammasche**



- Produktion der „thermischen Phosphate“ in Deutschland 1910 – 1980
- Herstellung: Rohphosphat +  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  +  $\text{SiO}_2$  im Drehrohrfen
- Rhenania Phosphat und Thomasphosphat waren die meistverkauften Dünger in Deutschland
- Energiekrise und weitere Faktoren stoppen diese Düngertypen

## Zeitschrift für angewandte Chemie <sup>537</sup>

35. Jahrgang S. 537–544

3. Oktober 1922, Nr. 79

### C. Alkalischer Boden



ohne  $\text{P}_2\text{O}_5$

Thomasmehl

Rhenaniaphosphat

Der Versuch zeigt die **bedeutende Überlegenheit** von **Rhenaniaphosphat** auf **alkalischem Boden**

### Das Rhenaniaphosphat.

Von Dr. A. MESSERSCHMITT, Aachen.

Vorgetragen auf der Hauptversammlung in Hamburg am 7. Juni 1922.

(Eingeg. 13./7. 1922.)

### Raps 1921 (aufgen. am 7. Mai)



Algier-phosphat

Rhenania-phosphat

Thomas-mehl

Super-phosphat

ohne  $\text{P}_2\text{O}_5$

**Rhenaniaphosphat zeigt** wie Superphosphat **rasche Förderung der Jugendentwicklung**; es ist dadurch wie dieses dem Thomasmehl überlegen



Quelle: Rhenania Phosphat, Ludwig Hohlwein

Gefördert vom BMFTR in der Förderinitiative RePhoR:

„R-Rhenania – Modifiziertes Rhenania Phosphat aus Klärschlammasche für Bayern “

Laufzeit: 07/2020 – 06/2026

Projektkoordination: BAM ([www.bam.de/r-rhenania](http://www.bam.de/r-rhenania))

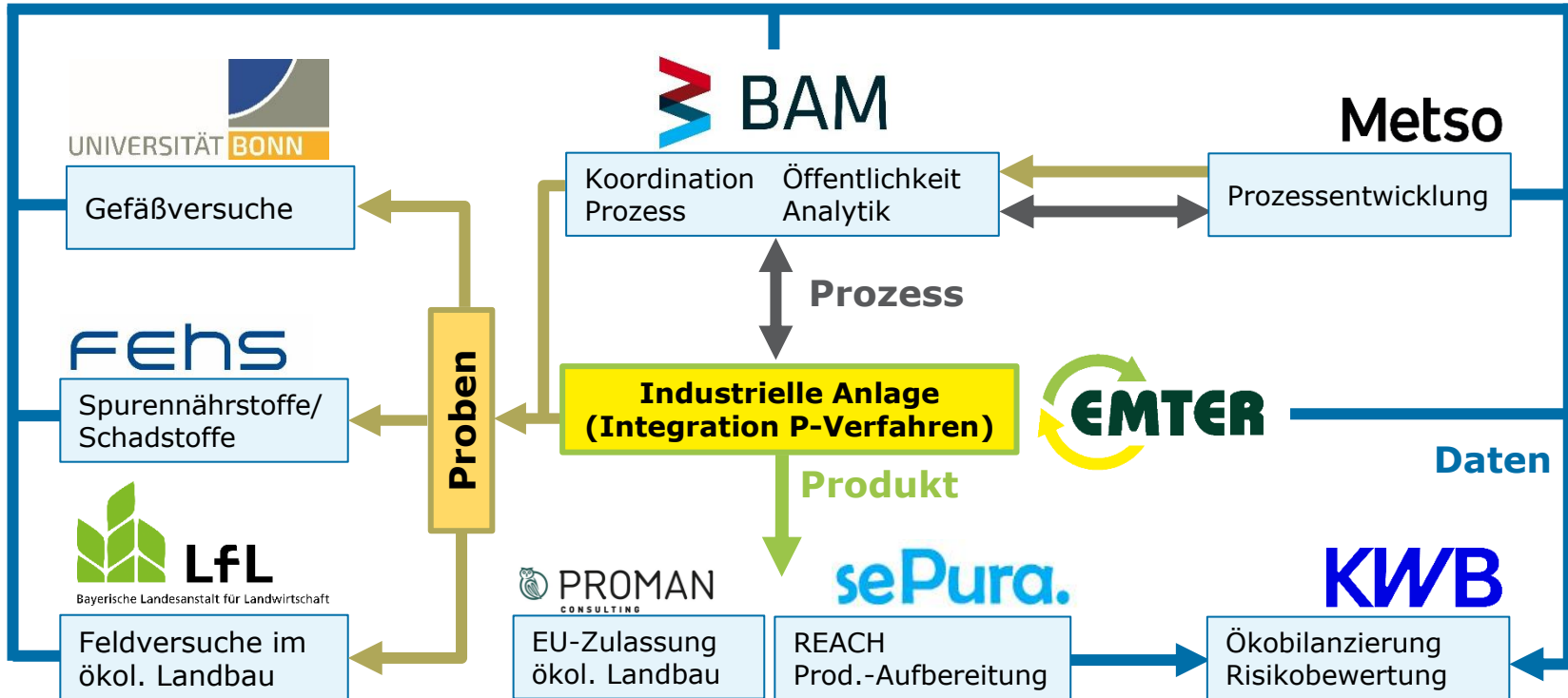
8 Projektpartner: BAM, Emter, sePura, Metso, Uni Bonn, FEhS, LfL, KWB (+ Proman im Unterauftrag)

## Ziel im Projekt R-Rhenania:

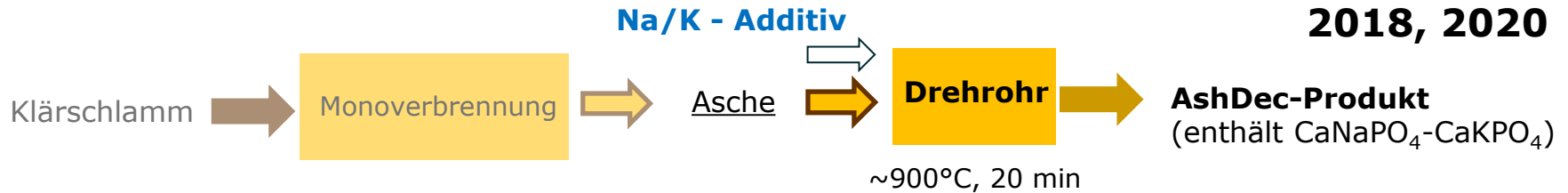
*P-Rückgewinnungsverfahren für die Klärschlammverbrennung in Altenstadt der Emter GmbH umzusetzen*

- Klärschlammverbrennung seit 2009 in Betrieb
- 55.000 t TM /Jahr Klärschlamm (genehmigt)
- 12.000 t /Jahr Klärschlammasche (anfallend)





## AshDec® - Verfahren im nachgeschaltetem Drehrohrofen



**Kampagnen  
2018, 2020**

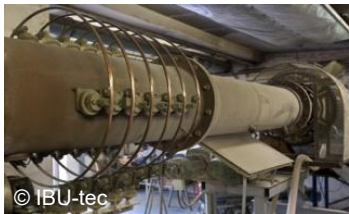
- Thermochemische Behandlung im Drehrohrofen zwischen 850-1000 °C für mindestens 20 min
  - Klärschlammasche + **Na/K-Additive** (e.g., Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaOH, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) + reduzierende Bedingungen
  - Verdampfung einiger Metalle (As, Cd, Hg, Pb, Tl)
  - Hohe Pflanzenverfügbarkeit des AshDec-Produktes (enthält CaNaPO<sub>4</sub> - CaKPO<sub>4</sub>)
- Bewertung mit P<sub>NAC</sub>-Löslichkeit 80-100% (einstellbar)

(P<sub>NAC</sub>: P-Löslichkeit in Neutralammoniumcitrat)

# AshDec®-Produktionskampagne Nov. 2020

## Material für agrarwiss. Untersuchungen

- Aufbereitung von Klärschlammmasche Altenstadt
- Produktion ~ **2 t AshDec®-Produkte**
- Variation Temperatur/Atmosphäre (red./ox.)
  - max. 98% P<sub>NAC</sub>-Löslichkeit (950°C)
  - SM-Entfernung unter red. Bedingungen: Pb~65%, Cd~80%, As~50%, (Hg, Tl<BG) (keine Entfernung von Cr, Cu, Ni)



© IBU-tec

Mahlung / Homogenisierung

Metso sePura. EMER

1,1 t AshDec®-Produkt  
(reduzierende Atmosphäre, 950°C)

1,1 t



LfL

### Feldversuche

Lichtenau

Landsberg (Lech)

Viehhausen

### Gefäßversuche

INSTITUT FÜR  
BAUSTOFF  
FORSCHUNG

FEHS

UNIVERSITÄT BONN

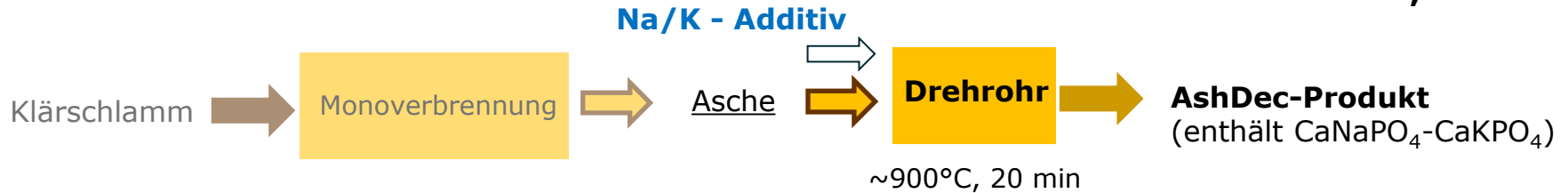
HGoTECH GmbH

40 kg

1 kg

## AshDec® - Verfahren im nachgeschaltetem Drehrohrofen

**Kampagnen  
2018, 2020**

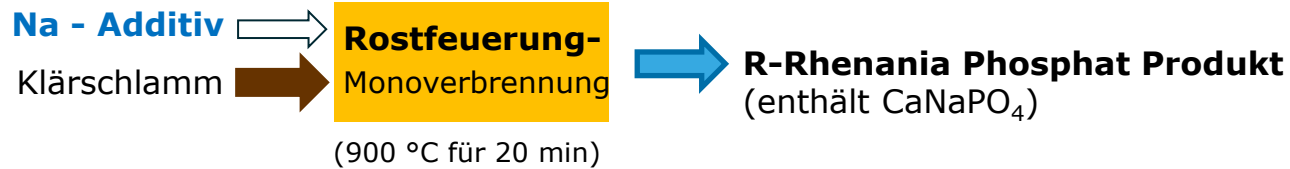


- 2021: (Material-)Kostenanstieg als Folge von Corona-Pandemie
  - 2022: Kostensteigerung für fossiles Erdgas und Additiv aufgrund des russischen Angriffskriegs auf die Ukraine
    - Höhere Kosten für Umsetzung
  - Investitionszeitpunkt 7 Jahre vor der gesetzlichen Verpflichtung zur Phosphorrückgewinnung
  - Höhere Kosten + Investitionen ohne gesetzliche Verpflichtung
    - Erhöhtes Investitionsrisiko für Emter
- Investitionsentscheidung für nachgeschalteten Prozess verschoben

# Verfahrensidee

## Integriertes Verfahren in Altenstadt

### R-Rhenania – Verfahren direkt in der Rostfeuerung (Altenstadt)



- Verfahrensname nach Projektname R-Rhenania
- Untersuchungen zur Integration des thermochemischen Prozesses direkt in die Rostfeuerung
- **Klärschlamm** + Na/K-Additive ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) + reduzierende Bedingungen
- Thermochemische Behandlung in der Rostfeuerung bei 850-900 °C für mindestens 20 min

## Kampagne 2022

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

Zeitraum: Mai 2022

Dauer: 4 Tage (>100 h)

Proben: alle 4 Stunden  
(Eintrag und Austrag)

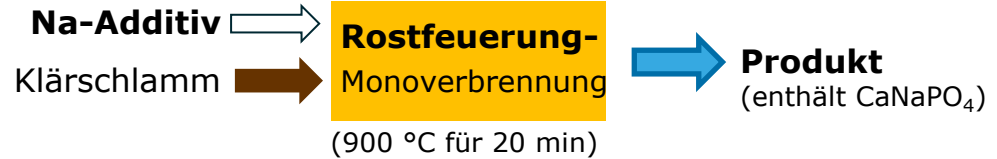
Additiv:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

Temperatur: 900 °C

Verweilzeit: mind. 20 min

Eintrag: ~ 3,0 t/h TM Klärschlamm

Austrag: ~ **1,0 t/h Produkt**  
~ **100 t Produkt in 100h**



Additivzugabe



Rostfeuerungsline



© BAM

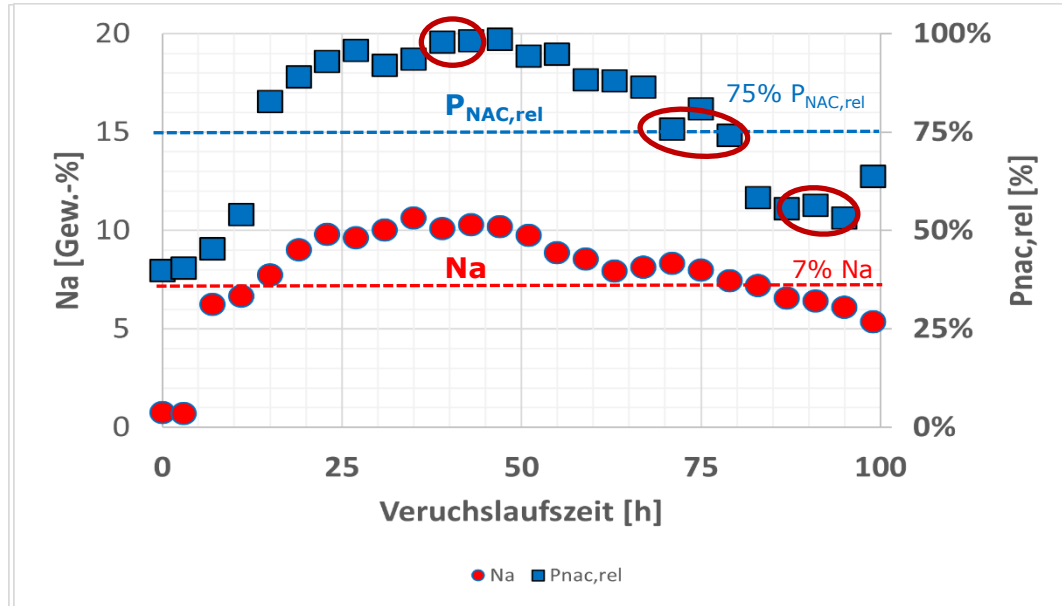


© Metso

Produkt  
R-Rhenania  
Phosphat

# Versuchskampagne Mai 2022

## Ergebnisse: Na-Gehalt und P-Löslichkeit

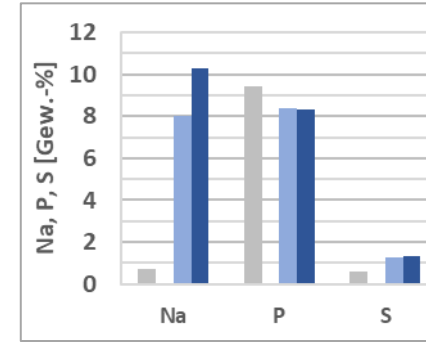
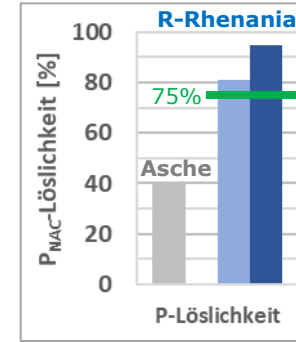


- Stabiler Prozess
- $P_{NAC,rel}$  erhöht durch Dosierung von  $Na_2CO_3$
- $P_{NAC,rel}$  von 40% auf 100%
- Plausibler Verlauf:
  - Na > 10 % korreliert mit  $P_{NAC,rel} > 95\%$
  - Na > 7 % korreliert mit  $P_{NAC,rel} > 75\%$
- P-Löslichkeit (75-100%) mit  $Na_2CO_3$ -Dosierung einstellbar
- Proben mit verschiedenen Löslichkeit für Gefäßversuche eingesetzt

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

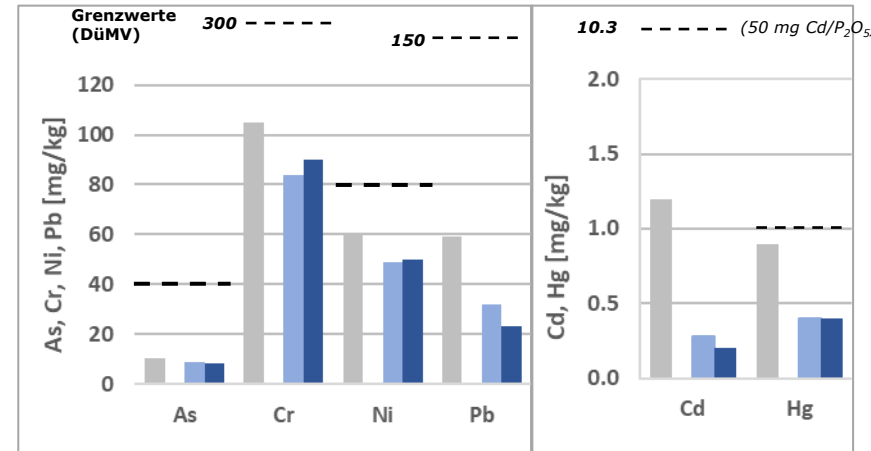
## P-Löslichkeit und Matrix-Elemente:

- ✓ P-Löslichkeit erhöht durch Dosierung von  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
- ✓ P-Löslichkeit (75-100%) mit  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -Dosierung einstellbar
- ✓ Erfüllt geforderte > 75% P-Löslichkeit (nach EU-DüngP) in EU-Verordnung bzw. zukünftige DüMV
- ✓ Mehr Schwefel (S) im Produkt gebunden
  - Potential für höhere Düngerqualität + Reduzierung Kosten für Rauchgasreinigung



## Schwermetalle:

- ✓ Schwermetallgehalte unterhalb Grenzwerte der DüMV
- ✓ Entfrachtung von As, Cd, Hg, Pb, Tl
- Bisher nicht auf Schwermetall-Entfernung optimiert → Optimierungspotential



## Erfolgreicher Demonstrationsversuch

→ Entscheidung zur Integration des Verfahrens

# Umsetzung des integrierten Verfahren R-Rhenania

- Erfolgreiche Demonstration in Altenstadt
- 2024: Integration der Additiv-Dosierung
- 2025: Bau eines Silos für Additiv  $\text{Na}_2\text{CO}_3$   
Lagerhalle für R-Rhenania Produkt
- Produktionskapazität von 15.000 t R-Rhenania Produkt
- Aktuell größte betriebsbereite P-Rückgewinnungsanlage aus Klärschlamm in Deutschland



Bildrechte: BAM

# Eröffnungsfeier 16. Oktober 2025



- Über 250 Teilnehmer
- Teilnahme des Bayerischen Wissenschaftsministers
- Große Medienpräsenz



Bildrechte: BAM

18.03.2026

R-Rhenania - Thermochemische Verfahren



# Erfolgreiche Umsetzung von R-Rhenania am Standort Altenstadt

- Erfolgreiche Demonstration 2022
- Integration in die vorhandene Rostfeuerung in Altenstadt
- Verwertet 40.000 t/a Klärschlamm TS
- Betriebsbereit für 15.000 t/a R-Rhenania Phosphat Produkt
- **direkte Gewinnung eines marktfähigen P-Düngers in einem Prozessschritt (ohne Nachbehandlung)**
  - Erfüllung der Vorgaben der AbfKlärV
  - Produktion eines hochwirksamen Phosphatdüngers



## R-Rhenania

- Verwertung von Klärschlamm
- Großtechnische Umsetzung in Altenstadt
- Verfahren geeignet für Rostfeuerung, Drehrohr- und Paddelofen



## AshDec

- Verwertung von Klärschlammmasche
- Demonstrationskampagnen 2018 und 2020
- Verfahren geeignet für Drehrohr- und Paddelofen
- Variante auch möglich mit Chloriden zur Entfrachtung von Cu und Zn



# Dünger-Produkte: AshDec und R-Rhenania



## Eigenschaften der Produkte:

- Beide chemisch vergleichbare Zusammensetzung (abhängig von Ausgangsklärschlamm/-asche)
- Geringe Wasserlöslichkeit (< 2%)
- Vollständige Löslichkeit in  $P_{NAC}$  und  $P_{citr}$  möglich (Löslichkeit durch Na-Dosierung einstellbar)
- $P_{NAC}$  P-Löslichkeit in Neutralammoniumcitrat-Lösung nach EU 2003/2003
- $P_{citr}$  P-Löslichkeit in 2%iger Zitronensäure-Lösung nach EU 2003/2003
- Einhaltung der Grenzwerte der DüMV für Metalle
- Informationen zur Dünger-Zulassung in Vorträgen von sePura und Proman

## Einsatz der Produkte:

- AshDec-Produkt aus Demonstrationsversuche 2020 von Uni Bonn, LfL, FEhS und HGoTECH
- R-Rhenania Produkte aus Demonstrationskampagne 2022 aus Altenstadt von Uni Bonn

Granuliertes Produkt



	R-Rhenania	AshDec	DüMV Grenzwerte
<b>P</b>	8,3 wt.-%	8,7 wt.-%	
<b>P<sub>NAC</sub></b>	>90%	>90%	
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
<b>As</b>	8	9	40
<b>Cd</b>	0,2	0,2	10,3 <sup>1)</sup>
<b>Cr</b>	90	95	300 <sup>2)</sup>
<b>Cu</b>	520	460	900
<b>Hg</b>	0,4	0,3	1
<b>Ni</b>	50	47	80
<b>Pb</b>	23	18	150
<b>Tl</b>	<0,1	<0,1	1
<b>Zn</b>	1750	1500	5000

<sup>1)</sup> Grenzwert für Cd: 50 mg Cd/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in DüMV;  
50 mg Cd/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> berechnet für 9% P

<sup>2)</sup> Kennzeichnungswert

# CaNaPO<sub>4</sub>-haltiger Dünger wie AshDec, R-Rhenania Phosphat

- P<sub>gesamt</sub>: 8-10% (abhängig vom Ausgangsmaterial)
- ✓ Erfüllt die Vorgaben der DüMV (Wegfall der Wasserlöslichkeit notwendig)
- ✓ Erfüllt die Vorgaben der europäischen Düngeprodukteverordnung
- REACH-Registrierung 2Q/2026 abgeschlossen
- CE-Kennzeichen wird beantragt
- ✓ Umfangreich getestet in Gefäß- und Feldversuchen
- ✓ Hohe Düngewirkung vergleichbar zu Struvit und TSP
- ✓ erfüllt Voraussetzung für Einsatz im ökologischen Landbau
- Aufnahme in die Positivliste für den Biolandbau beantragt



Herzlichen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit!

**Kontakt:**

Christian Adam  
Bundesanstalt für  
Materialforschung und -prüfung  
030 8104-5670  
[christian.adam@bam.de](mailto:christian.adam@bam.de)

Christoph Brey  
Emter GmbH  
08861 23440  
[info@emter-gmbh.de](mailto:info@emter-gmbh.de)

[r-rhenania@bam.de](mailto:r-rhenania@bam.de)  
[www.bam.de/r-rhenania](http://www.bam.de/r-rhenania)

