



Phosphorrückgewinnungsverfahren: Aktueller Stand

Hessischer Phosphordialog: „Regionales Phosphor-Recycling in Hessen - Business to Business“

03. Dezember 2024 in Gießen-Kleinlinden

Tabea Knickel

Deutsche Phosphor-Plattform DPP e.V.

Potential der P-Rückgewinnung: Aktuelle Situation

Rohstoffversorgung in Europa

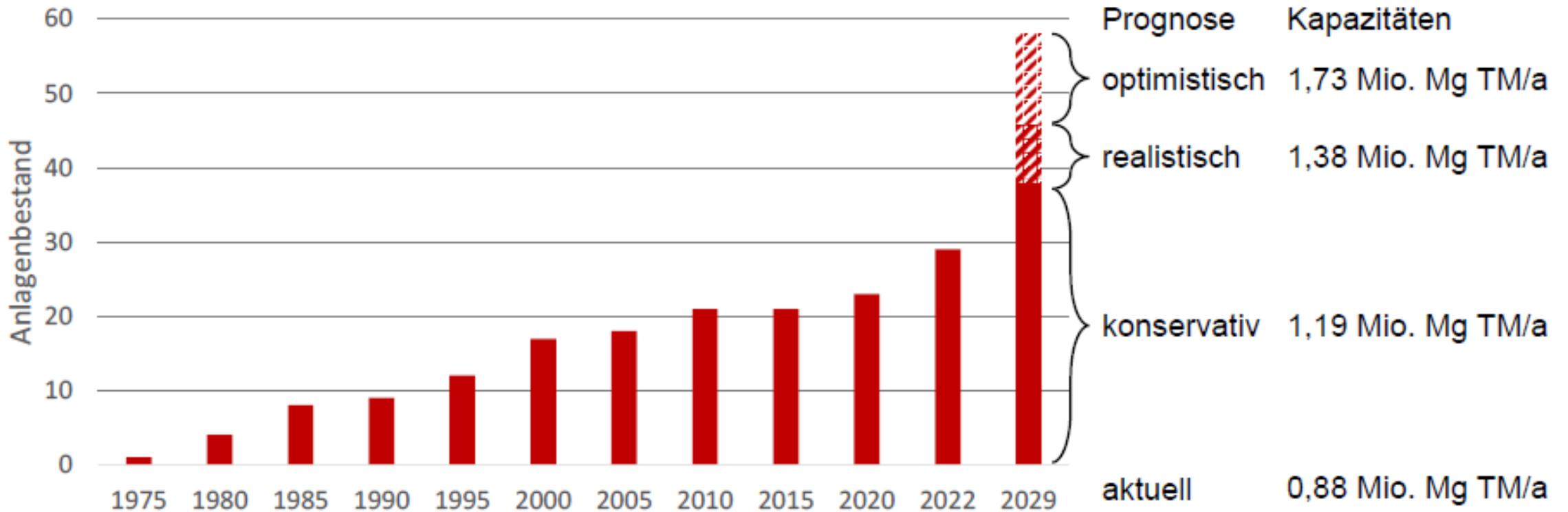
- Abhängigkeit von Importen aus geopolitisch kritischen Ländern.
- Anhaltende Rohstoffengpässe durch Marktschwankungen und Preisvolatilität.
- 2021: 23 % des EU-Rohphosphatgesteins wurde aus Russland importiert (Quelle: BGR 2022).

Lösungsansatz für Unabhängigkeit

- Geschlossener Stoffkreislauf: Wichtiger Beitrag zum „Green Deal“ und zur kreislauforientierten Wirtschaft.
- Phosphor-Rezyklate können langfristig Rohstoffversorgung und Lebensmittelproduktion sichern.

Aktueller Stand der Umsetzung in Deutschland

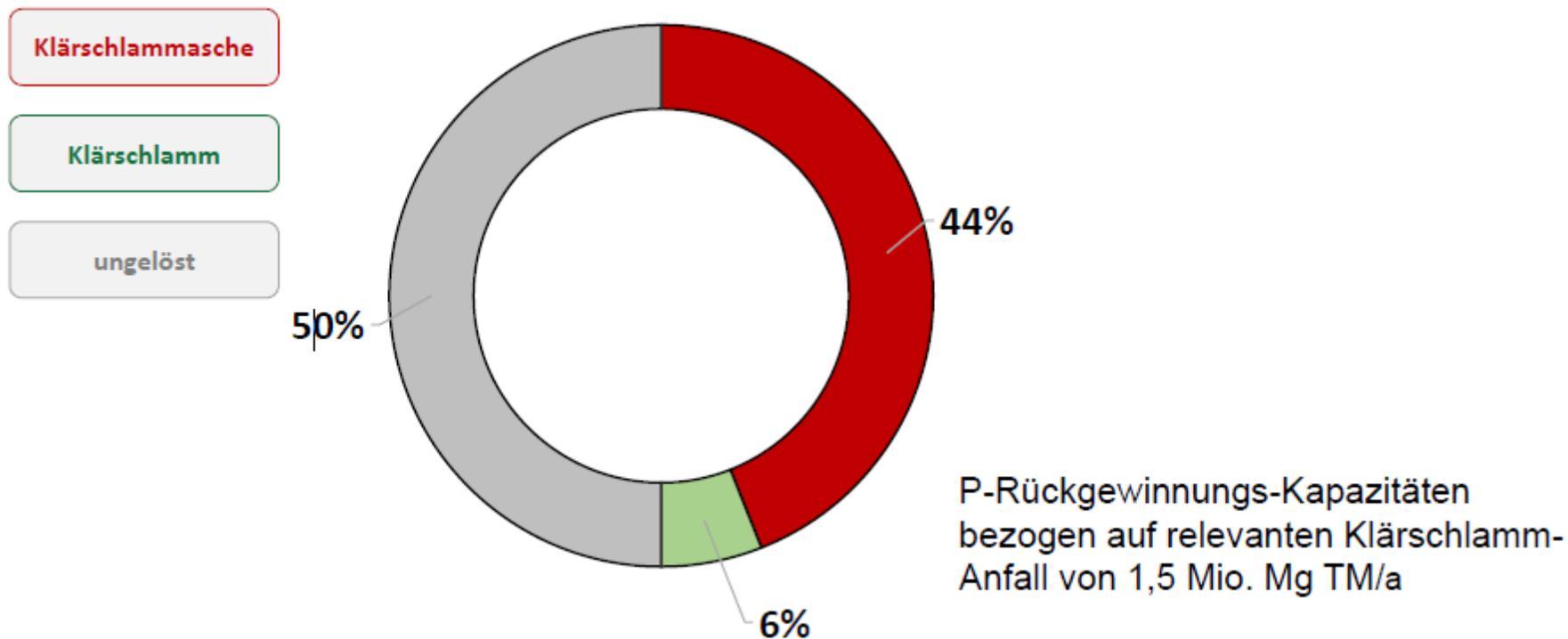
Entwicklung der Klärschlammverbrennung in Deutschland 1975-2029



(Quelle: Montag, Allwicher, Le, Schnell, Stark; RWTH Aachen: „Soll-Ist-Vergleich der Phosphor-Rückgewinnungsanlagen für 2029“ - Vortrag 08.03.2024 57. Essener Tagung für Wasserwirtschaft; Ergebnisse aus dem Refoplan-Vorhaben EvKK – „Evaluierung verfügbarer Kapazitäten thermischer Klärschlammbehandlung sowie zur Phosphorrückgewinnung“)

Aktueller Stand der Umsetzung in Deutschland

Aktueller Kapazitätsvergleich der Klärschlammherzeugung 2022 und Prognose 2030 (Stand Anfang 2024)



Aktueller Stand der Umsetzung in Deutschland

Entwicklungsprognose der Phosphor-Rückgewinnung

Phosphor-Rückgewinnung in Verbindung mit der kommunalen Kläranlage

→ MG-Neuwerk, Berlin-Waßmannsdorf, Salzgitter Nord, Uelzen, Wolfsburg, Göppingen, Erlangen, Gifhorn, Hagenow, Braunschweig Steinhof, Schönebeck, Bachgau, Pirmasens, Neuburg

Thermische Klärschlammbehandlung inkl. Phosphor-Rückgewinnung

→ Mannheim, Altstadt, Rodgau, (MSE mobil)

Phosphor Rückgewinnung aus Klärschlammasche

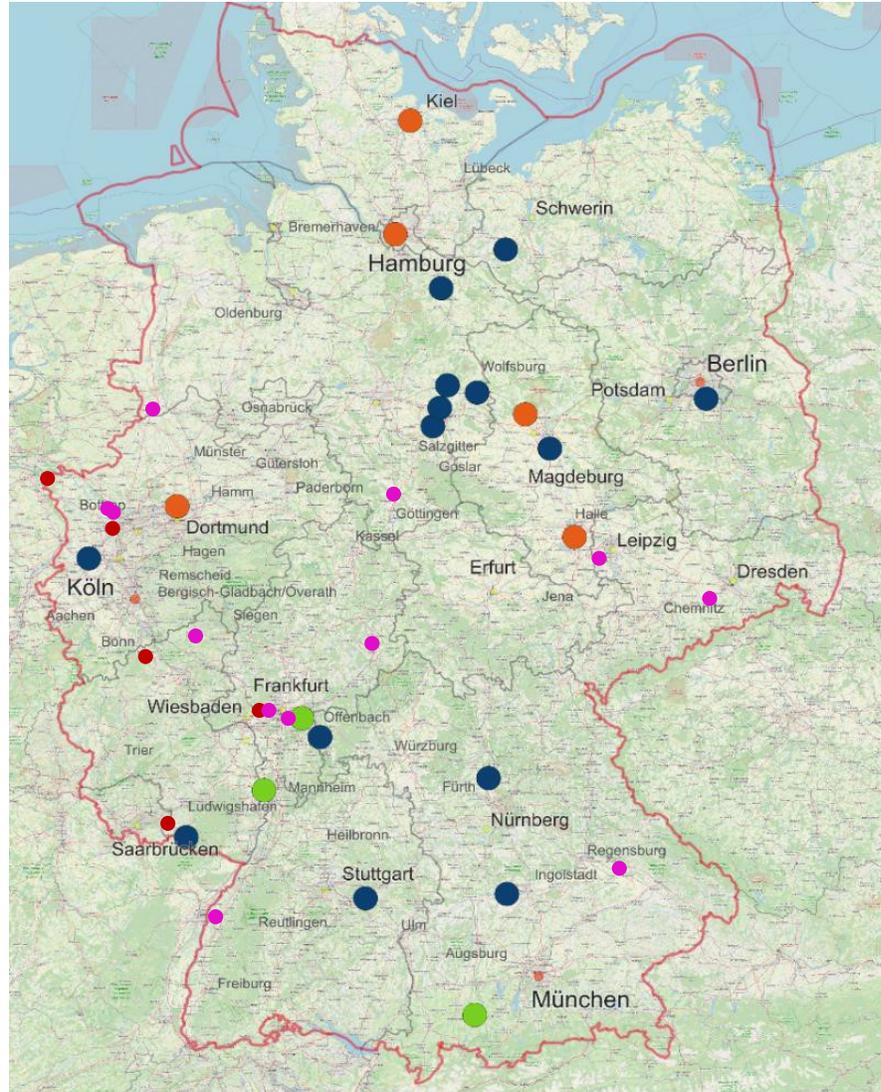
→ Hamburg, Schkopau, Haldensleben, Kiel, Lünen, (Südwest), (Niedersachsen)

Ergänzung DPP: Weitere Umsetzungen und Pilotanlagen:

→ Schlitz, Michelstadt, Offenburg-Griesheim, Dinslaken, Offenbach, Straubing, Schüttoorf, Wallmenroth, Markranstädt, Freiberg, Bottrop, Northeim, Frankfurt Höchst, (Region Südliches Niedersachsen)

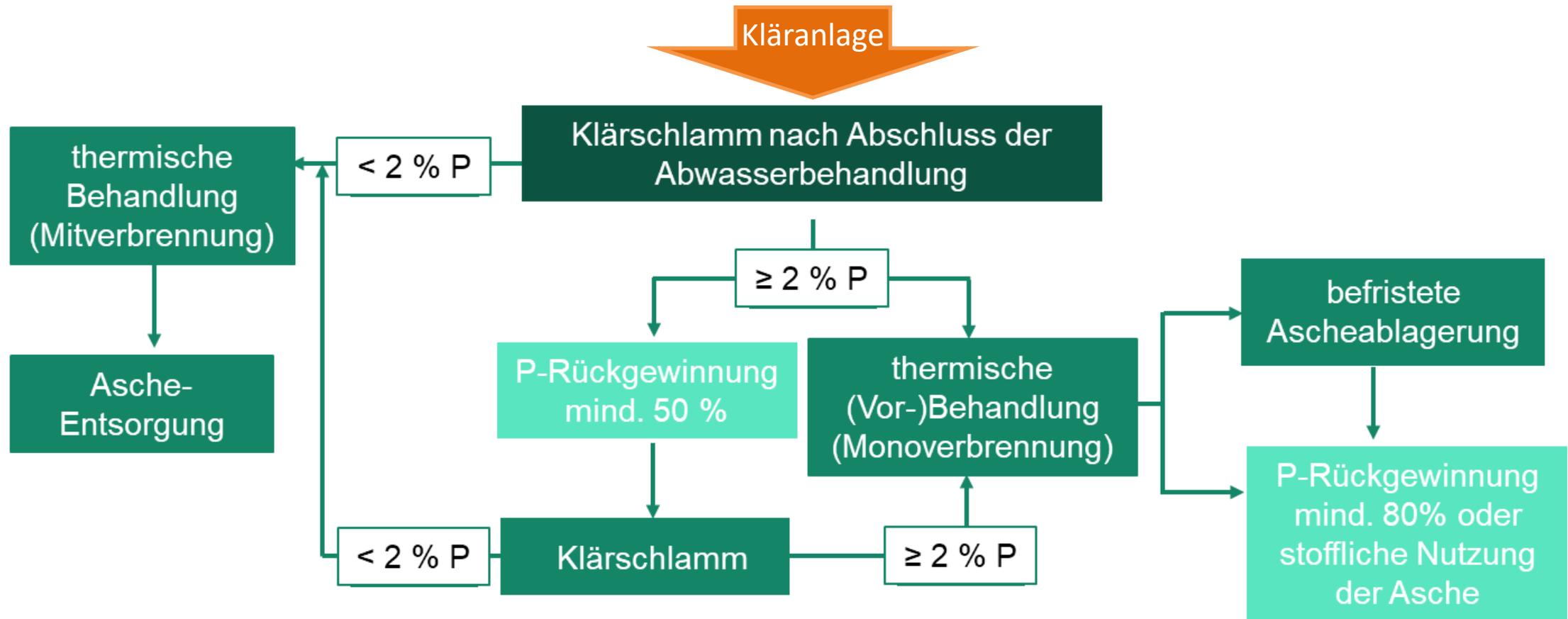
Ergänzung DPP: Alternative Thermische Verfahren (Pyrolyse, Hydrothermale Karbonisierung)

→ Duisburg, Linz-Unkel, Homburg, Lorsbach, Kleve

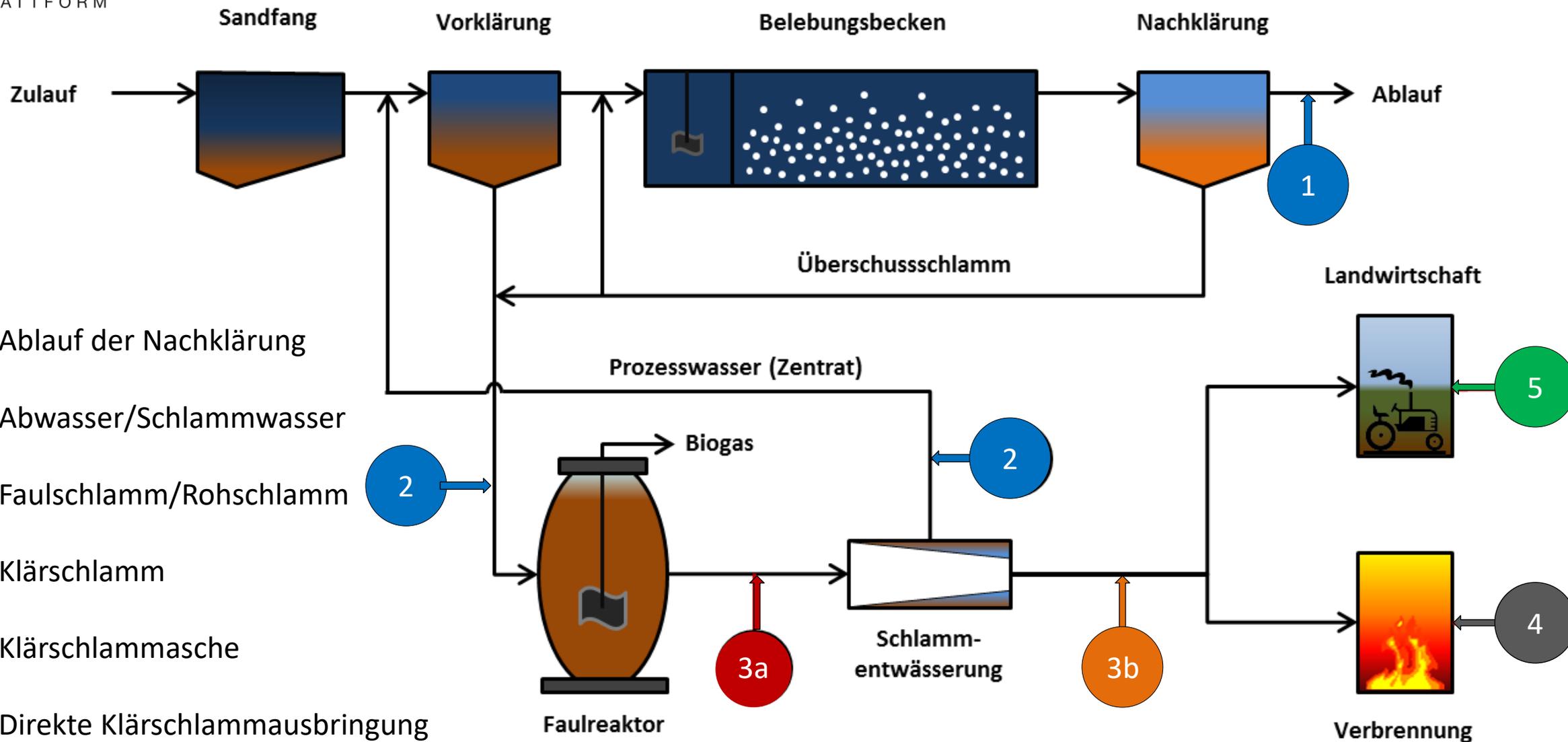


Gesetzliche Rahmenbedingungen

Regelungen zu Entsorgungs-/ Verwertungswegen bei nicht bodenbezogener Verwertung



Verfahrensansatz - P-Rückgewinnung



Verfahrenstechnik

Technologiereifegrade (TRL) der Phosphor-Rückgewinnungsverfahren ab TRL > 6 (Stand Ende 2022) – Einschätzung der RWTH Aachen (Refoplan-Vorhaben EvKK)

Geltungsbereich Wasserrecht
(vor AbfKlärV; Ziel < 20 g P/kg TM)

2

Schlammwasser

Multi-Solid	TRL 6-7
NuReSys	TRL 8
Pearl	TRL 9
PHOSPAQ	TRL 9
P-RoC	TRL 6-7
SIMPhos	TRL 6-7

3a

Faulschlamm

Air-Prex	TRL 9
Erw. PARFORCE-Ansatz	TRL 6-7
Gifhorn	TRL 6
MSE-Verfahren	TRL 8
PhosForce	TRL 6
PS-Fix	TRL 6
Stuttgarter V.	TRL 7-8

Geltungsbereich Abfallrecht
(Rückgewinnung von Phosphor nach AbfKlärV)

3b

Klärschlamm

EuPhoRe	TRL 7
KSMF-Prozess	TRL 9
Na-Direkt-dosierung in die Verbrennung (AshDec „Variante B“)	TRL 6
Drehrohrkessel (Werkstätten-heataing-systems)	TRL 8-9

4*

Klärschlammverbrennungsasche

Ash2Phos	TRL 6
AshDec	TRL 6-7
Leachphos	TRL 7-8
PARFORCE-Technologie	TRL 6
PHOS4green/Seraplant	TRL 8-9
Phos4Life	TRL 6-7
pontes pabuli	TRL 6
TetraPhos	TRL 8

* Weitere Verfahren Klärschlammmasche:

- Clean Matter
- SusPhos
- Grenzbach
- P-XTRACT
- Bandaufschluss ICL

* Weitere Verfahren Klärschlamm:

- FlashPhos

- TRL beziehen sich ausschließlich auf die Technologie
- Nicht eingeschlossen sind z.B. genehmigungsrechtliche Aspekte, Rezyklat-Verwertbarkeit

Verfahrenstechnik

Förderprogramme:

- Unterstützung durch Förderprogramme von Bund und Ländern.
- Beispiel: Aktuelle Fördermaßnahme „Regionales Phosphor-Recycling ([RePhoR](#))“, initiiert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

Technologien:

- Es gibt zahlreiche innovative Verfahren zur Phosphorrückgewinnung.
- Umfassende Technologieübersicht:
 - Deutschland: [Tabelle zu P-Recyclingtechnologien](#) auf der DPP-Homepage.
 - Europa: [Catalogue of Nutrient Recovery Technologies](#) & [P-Rex Bestandsliste](#) auf der ESPP-Homepage.
- Informationen zum Ausbau der Phosphor-Rückgewinnung z.B. von der RWTH Aachen: Refoplan-Vorhaben EvKK – „[Evaluierung verfügbarer Kapazitäten thermischer Klärschlammbehandlung sowie zur Phosphorrückgewinnung](#)“

➔ **Erste Projekte befinden sich aktuell in der Übergangsphase vom Pilotmaßstab hin zur großtechnischen Umsetzung – weitere werden in Kürze folgen.**



A word cloud of German terms related to wastewater treatment and resource recovery. The words are arranged in a roughly circular pattern. The most prominent words are 'Abwasser' (wastewater) in red, 'Schlamm' (sludge) in brown, and 'Rückgewinnung' (recovery) in green. Other words include 'Effizienz' (efficiency), 'Synergien' (synergies), 'Ressourcen' (resources), 'Asche' (ash), 'Optimierung' (optimization), 'Entwicklung' (development), 'Beratung' (consulting), and 'Phosphor' (phosphorus).

Phosphor
Effizienz
Synergien
Ressourcen
Asche
Abwasser
Optimierung
Schlamm
Entwicklung
Rückgewinnung
Beratung

Schlammwasser/ Faulschlamm

3 Verfahren werden heute
vorgestellt

Fällungsverfahren auf der Kläranlage

- Produkt : Struvit (MAP) / CaP / MgP / Vivianit / DCP
- Düngemitteltyp: D-DüMV 2.1: NP-Dünger
- Größenordnung: kleinere, mittlere und große Kläranlagengrößen
- Prozess: Ansäuerung des Schlammwassers/Faulschlamms, Filtration, Zugabe von Fällmitteln (z.B. MgO, MgCl₂, CSH, FeCl₂ ...), Kristallisation bzw. Fällung



A word cloud of German terms related to alternative thermal processes. The words are arranged in a roughly triangular shape, with 'Phosphor' at the top and 'Beratung' at the bottom. The colors of the words range from light green to dark brown. The terms include: Phosphor, Effizienz, Synergien, Ressourcen, Asche, Abwasser, Optimierung, Entwicklung, Rückgewinnung, Beratung, and Schlamm.

Phosphor
Effizienz
Synergien
Ressourcen
Asche
Abwasser
Optimierung
Entwicklung
Rückgewinnung
Beratung
Schlamm

Alternative Thermische Verfahren

Karbonisierung

Pyrolyse / Hydrothermale Karbonisierung (HTC)

- Produkt :
 - P-haltiges Karbonisat zur Verwendung als P-Dünger oder HTC-Kohle
 - aktuell keine Zulassung als Dünger nach dt. DüMV und EU-DüPV
 - Klärschlammkarbonisate können in Schweden einzeln zugelassen werden.
 - In Tschechien kann Klärschlammkarbonisat nach unserem Wissen als Kompostzusatz verwendet werden
 - bei HTC außerdem: P-Säure; Struvit; Ammoniumsulfat
- Größenordnung: Pyrolyse: 700 - 1.600 t TS/a, HTC: Pilot: 8.000 - 16.000 t/a
- Prozess: Pyrolyse: Mono-Karbonisierung

HTC: kontinuierliche hydrothermale Karbonisierung, wobei Dampf als Reaktionsmedium bei ca. 220°C und 24 bar für 3-5 Stunden eingesetzt wird.



A word cloud of German terms related to wastewater treatment and resource recovery. The words are arranged in a roughly triangular shape pointing to the right. The terms include: Phosphor, Effizienz, Abwasser, Synergien, Ressourcen, Asche, Optimierung, Schlamm, Entwicklung, Rückgewinnung, and Beratung. The words are in various colors: grey, green, orange, and red.

Phosphor
Effizienz
Abwasser
Synergien
Ressourcen
Asche
Optimierung
Schlamm
Entwicklung
Rückgewinnung
Beratung

Klärschlamm

**1 Verfahren wird heute
vorgestellt**

Thermochemische-Verfahren

- Verbrennung im Drehrohr/ Paddelofen/ Rostfeuerung
- Produkt : KS-Asche (schwermetall-abgereichert) als A
- Düngemitteltyp: D-DüMV 1.2.9 Tabelle 6.2.3
- Größenordnung: 600 t – 30.000 t KS
- Prozess: Thermochemische Klärschlammbehandlung bei $\geq 850^{\circ}\text{C}$,
Zugabe von Additiven



© DPP | Kennblatt: EuPhoRe

Grenzebach Verfahren

Grenzebach BSH
Bad Hersfeld

- Produkt : Phosphorsäure, Mineralik
- Größenordnung: Stadtwerke Rodgau 2023: 3100t/a KS 23%TS
- Prozess: Thermochemische Klärschlammbehandlung unter reduzierenden Bedingungen in einem Drehofen

A word cloud of German terms related to wastewater treatment and resource recovery. The words are arranged in a roughly circular pattern. The most prominent words are 'Abwasser' (wastewater) in red, 'Schlamm' (sludge) in dark grey, 'Effizienz' (efficiency) in dark grey, and 'Rückgewinnung' (recovery) in light green. Other visible words include 'Phosphor' (phosphorus), 'Synergien' (synergies), 'Ressourcen' (resources), 'Asche' (ash), 'Optimierung' (optimization), 'Entwicklung' (development), and 'Beratung' (consulting).

Phosphor
Effizienz
Synergien
Ressourcen
Asche
Abwasser
Optimierung
Schlamm
Entwicklung
Rückgewinnung
Beratung

Klärschlammmasche

**4 Verfahren werden heute
vorgestellt**

Aufschluss der Asche mit Säure

- Produkt : P-Säure / P-Düngemittel / CaP / DCP und Nebenprodukte wie Sand, abgeschiedene Schwermetalle,...
- Düngemitteltyp: D-DüMV 1.2.9 Tabelle 6.2.3
- Prozess: 1. Asche + Säure
dann je nach Verfahren folgen dann andere Prozessschritte, je nach gewünschtem Produkt

Bewertung von Rezyklaten und Recyclingverfahren

Kriterien

Technologie

- Technologischer Reifegrad (TRL)
- P-Rückgewinnungsrate/-quote
- Varianz des Materialeinsatzes (Art potenziell verwertbarer Abfälle)
- Produktform (fest oder flüssig)

Umwelt

- Wirksamkeit bzw. Pflanzenverfügbarkeit des Produktes
- Schadstoffentfrachtung im Prozess
- Chemikalieneinsatz
- Energieverbrauch des Verfahrens
- Entsorgung von entstehenden Nebenprodukten (z.B. Gefahrstoffe)

Wirtschaftlichkeit

- Verfahrenskosten (einschließlich P-Rückgewinnung / KS-Entsorgung)
- Investitionskosten für Anlagen
- Erlöspotenzial der erzeugten Produkte
- Marktchancen und Absatzpotenzial
- Verfügbare und erwartbare Mengen an verwertbarem Material
- Transportfähigkeit und Logistik

Fazit und Ausblick

Aktueller Stand der Entwicklungen:

- **Paradigmenwechsel:** Optimierung der Kreislaufführung und Ressourcenschonung bei Phosphor.
- **Förderung:** Unterstützung durch Bundesprogramme wie RePhoR sowie durch Länderinitiativen.
- **Technologischer Fortschritt:** Erste Phosphor-Recyclingtechnologien werden vom Pilotmaßstab zur Großtechnik überführt.

Schlüsselherausforderungen:

- Rechtliche, technische und ökonomische Rahmenbedingungen beeinflussen die Umsetzung.
- Breite Palette an verfügbaren Verfahren zur Phosphorrückgewinnung
 - DPP-Homepage: [Technologieübersicht Deutschland](#).
 - ESPP-Homepage: [Übersicht europäischer Verfahren](#)

Engagement der DPP:

- Düngemittelrechtliche Regelwerke sollen den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft entsprechen.
- Aktiver Dialog mit der Politik durch Memoranden (z. B. [2020](#), [2023/24](#)), Stellungnahmen (z.B. [zur DüMV](#)) und Empfehlungen (z.B. Zur Integration des Themas ins Wahlprogramm)

Empfehlungen der DPP

Bewusstsein schaffen:

- Entscheidungsträger umfassend über die Konsequenzen der Klärschlammverordnung informieren.

Effiziente Kommunikation fördern:

- Zusammenarbeit und Dialog zwischen allen relevanten Akteuren der Branche stärken (Ministerien, Behörden, Kläranlagenbetreibern, Kommunen, Ingenieurbüros und der Industrie).

Technologische Kapazitäten ausbauen:

- Weiterer Ausbau von Klärschlammverbrennungs- und Phosphorrückgewinnungsanlagen, um langfristig den Bedarf zu decken.

Zwischenlagerung minimieren:

- Direktes Recycling von Klärschlammmaschen vorantreiben, um unnötige Lagerungen zu vermeiden und Ressourcen effizient zu nutzen.

P-Rückgewinnung jetzt umsetzen:

- **Priorität für die Phosphorrückgewinnung einzuräumen und diese ohne Verzögerung umzusetzen, um eine nachhaltige Klärschlammverwertung langfristig sicherzustellen.**

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



Deutsche Phosphor-Plattform DPP e.V.
Bornheimer Landwehr 46HH
60385 Frankfurt am Main



Tabea Knickel
+49 (0) 171 2269 953



info@deutsche-phosphor-plattform.de



<http://www.deutsche-phosphor-plattform.de>