Umsetzung der Phosphor-Rückgewinnung: Etablierte Verfahren und Pilotanlagen

13. Oktober 2026

DWA-RePhoR Seminar

Erfahrungsberichte aus der technischen Umsetzung und dem Realbetrieb

RePhoR
REGIONALES PHOSPHOR-RECYCLING

Dr.-Ing. David Montag, Johanna Süß, M.Sc., Isabell Allwicher, M.Sc.

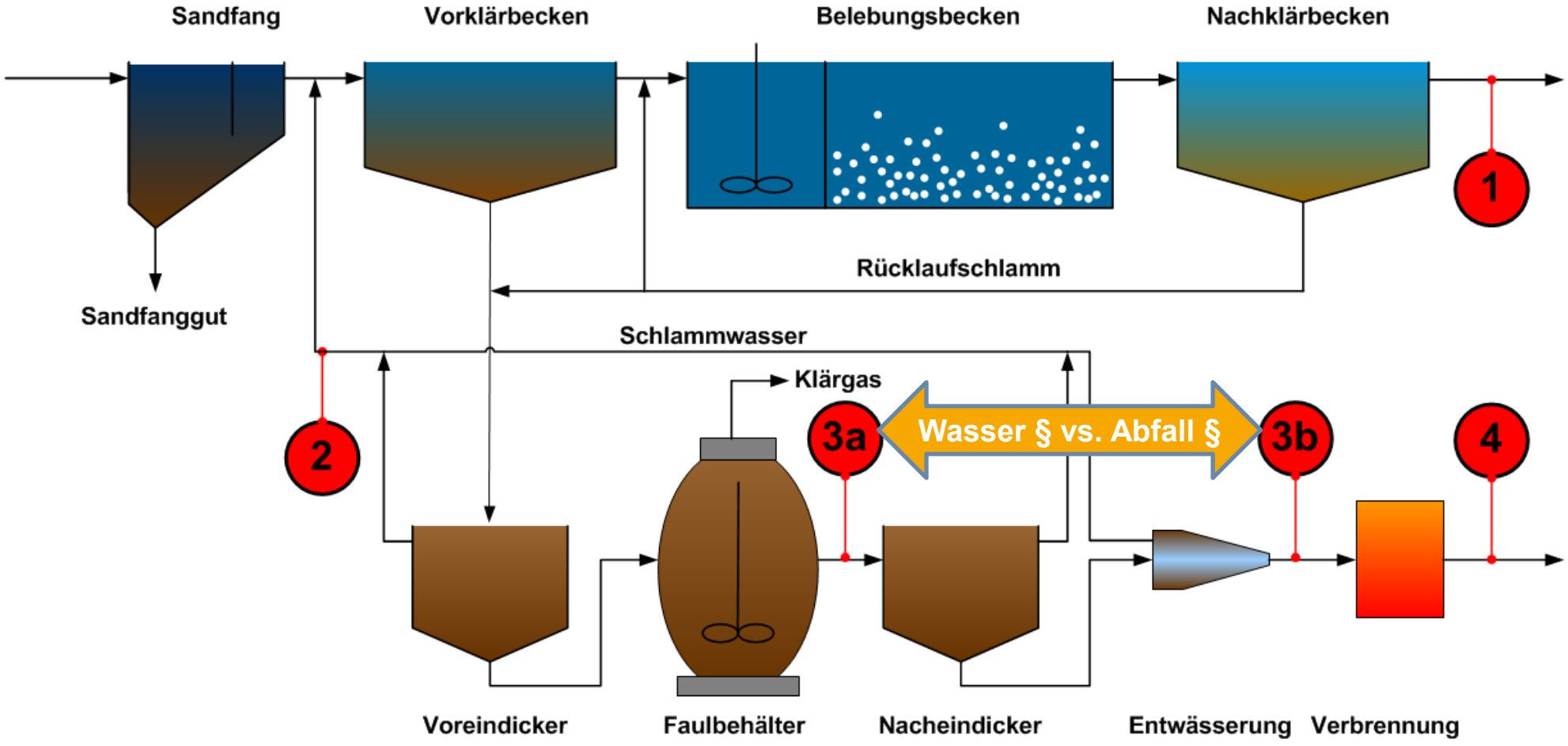
Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA)
RWTH Aachen University

RWTH AACHEN UNIVERSITY

Inhalt

- Verfahrensüberblick Phosphor-Rückgewinnung mit aktuellen TRL
- Verfahrensbeispiele abseits RePhoR
- Entscheidungskriterien bei der Verfahrenseinengung
- Schwankungen der Klärschlamm(asche)zusammensetzung
- Ausblick

Stoffströme zur P-Rückgewinnung in kommunalen Kläranlagen



1 **Ablauf der Nachklärung**

2 **Schlammwasser**

3 **a) Faulschlamm b) Klärschlamm**

4 **Klärschlammasche**

Phosphor-Rückgewinnung – Verfahrensüberblick und TRL (Stand Sept./Okt. 2026)

Schlammwasser	TRL
Clausthaler Verfahren	8
iPHOS	7
NuReSys	8
P-RoC	6-7
Pearl	9
Peco	8
PHOSPAQ	9
SIMPhos	7

Faulschlamm	TRL
Air-Prex	9
Erweiterter Parforce-Ansatz	9
Cal-Prex	6
MSE-Verfahren (mobil)	8
PhosForce	6
Pirmasenser Verfahren	unklar
Stuttgarter Verfahren	7-8
Gifhorner Verfahren	unklar
ViviMag	5-6

Klärschlamm	TRL
R-Rhenania (RF)	9
EuPhoRe (DR)	9
Werkstätten (DR) Heating Systems	8-9
P-XTRACT (WS)	8
KSMF-Prozess	9
PYREG (DR)	*9*

teils noch/wieder/derzeit ausschließlich Verbrennung ohne Additive (nicht in TRL berücksichtigt)

KS-Asche	TRL
Ash2Phos	6
AshDec (Kampagne)	6
Leachphos	7-8
Parforce	7
Phos4green klassik	8-9
Phos4green RePhoRM	5
pontes pabuli	6
TetraPhos	8?
Phos4Life	6
SusPhos	5-6

- Phosphor-Rückgewinnungsverfahren ab TRL > 6
- TRL beziehen sich ausschließlich auf die Technologie
- Nicht eingeschlossen sind z.B. genehmigungsrechtliche Aspekte, Rezyklat-Verwertbarkeit
- Teils werden die Verfahren nicht mehr weiter verfolgt, erreichte TRL sind vermerkt

Geltungsbereich **Abfallrecht** (P-Rückgewinnung nach AbfKlärV)

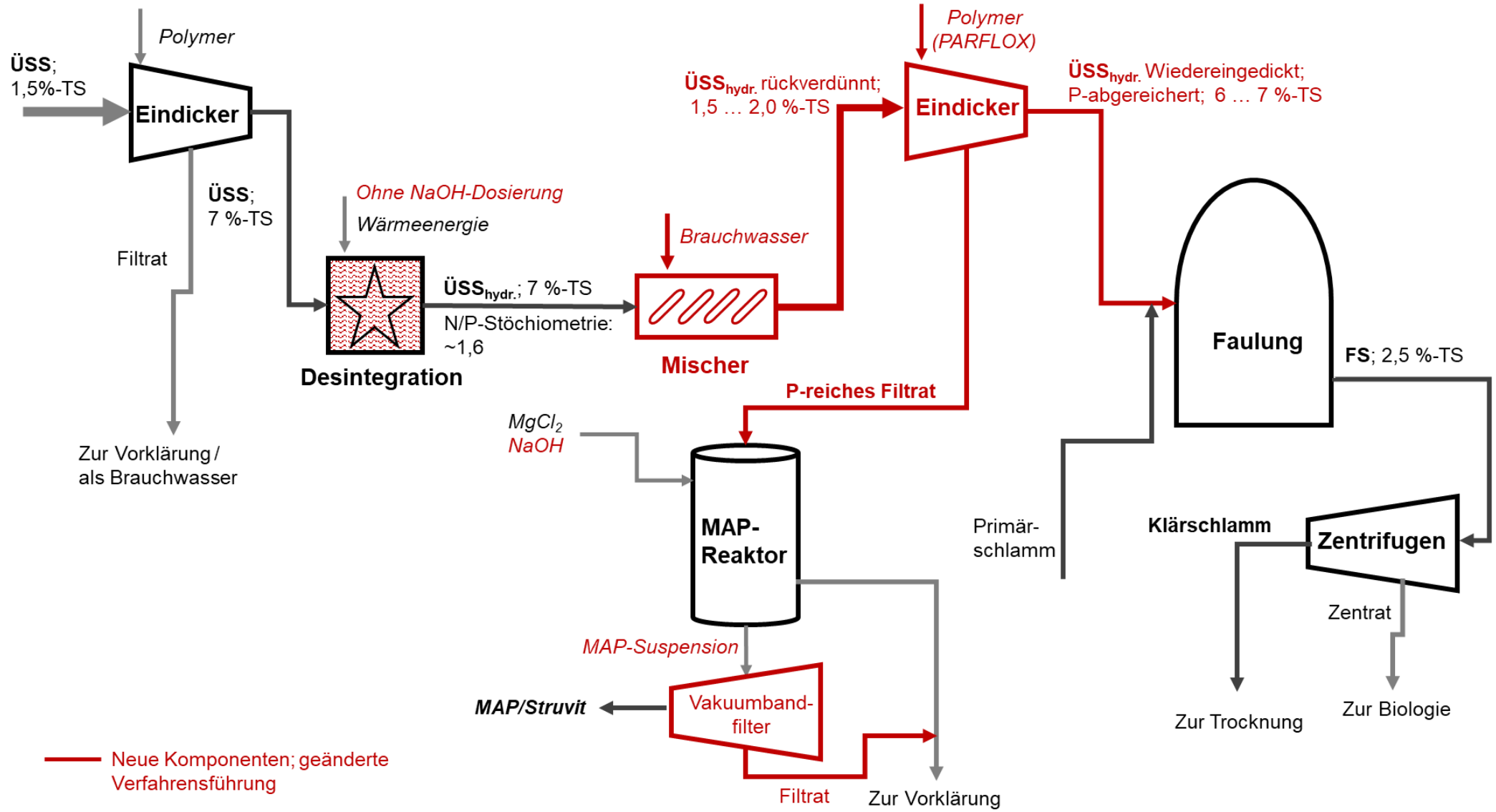
Phosphor-Rückgewinnung – Ergänzungen (Auswahl, ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

- Ash2Phos: Anlage in Schkopau ab 2027; Kapazität: 30.000 Mg KSA/a.
- CANAPHOS (Michaelis, sePura): Aschenachbehandlung im Paddelofen (teils elektrische Wärmezufuhr + fossile Ergänzung). Zielprodukt: Calciumnatriumphosphat, Additive: Natriumcarbonat sowie optional Chloride. Veitshöchheim ab Anfang 2027 mit 15.000 Mg KSA/a.
- Grenzebach Verfahren: Thermochemische Klärschlamm-Behandlung mit P-Säure-Produktion. TRL 5 erreicht, Umsetzung KA Rodgau geplant, 3.400 t TM/a (ausgelegt für 90.000 E).
- Power-to-P (Clean Matter): Zwei-Kammer-Elektrolysetechnologie mit Membran. TRL 7 Anlage (5 Mg KSA/d) für 2027 geplant.
- Eirich-Evactherm-Verfahren: H_2SO_4-Aufschluss von KSA, P-Säure-Produktion, aktuell Technikum.
- POLLPHOS: P-Rückgewinnung aus Überschussschlamm mit CO_2-Ansäuerung und P-Kristallisation/Fällung. Technikum mit verschiedenen ÜSS in 2024. Technikoptimierung 2026. Versuche im technischen Maßstab auf der KA Raunheim in Vorbereitung (zukünftig 140.000 EW).
- Susphos: Anlage in Moerdijk (Niederlande) ab 2028 mit 40.000 Mg KSA/a; Produktion von Düngemittel und Zementersatz.
- PHOS4Life: Emmenspitz (CH). Geplant: Bau ab 2027, IBN ab 2030 mit 40.000 Mg KSA/a.
- Direktverwertung KSA in Düngemittelindustrie (z.B. ICL Amsterdam).
- Thomasphosphat aus Klärschlammasche und Konverterschlacke (Stahlindustrie).

Beispielverfahren – Steckbriefe

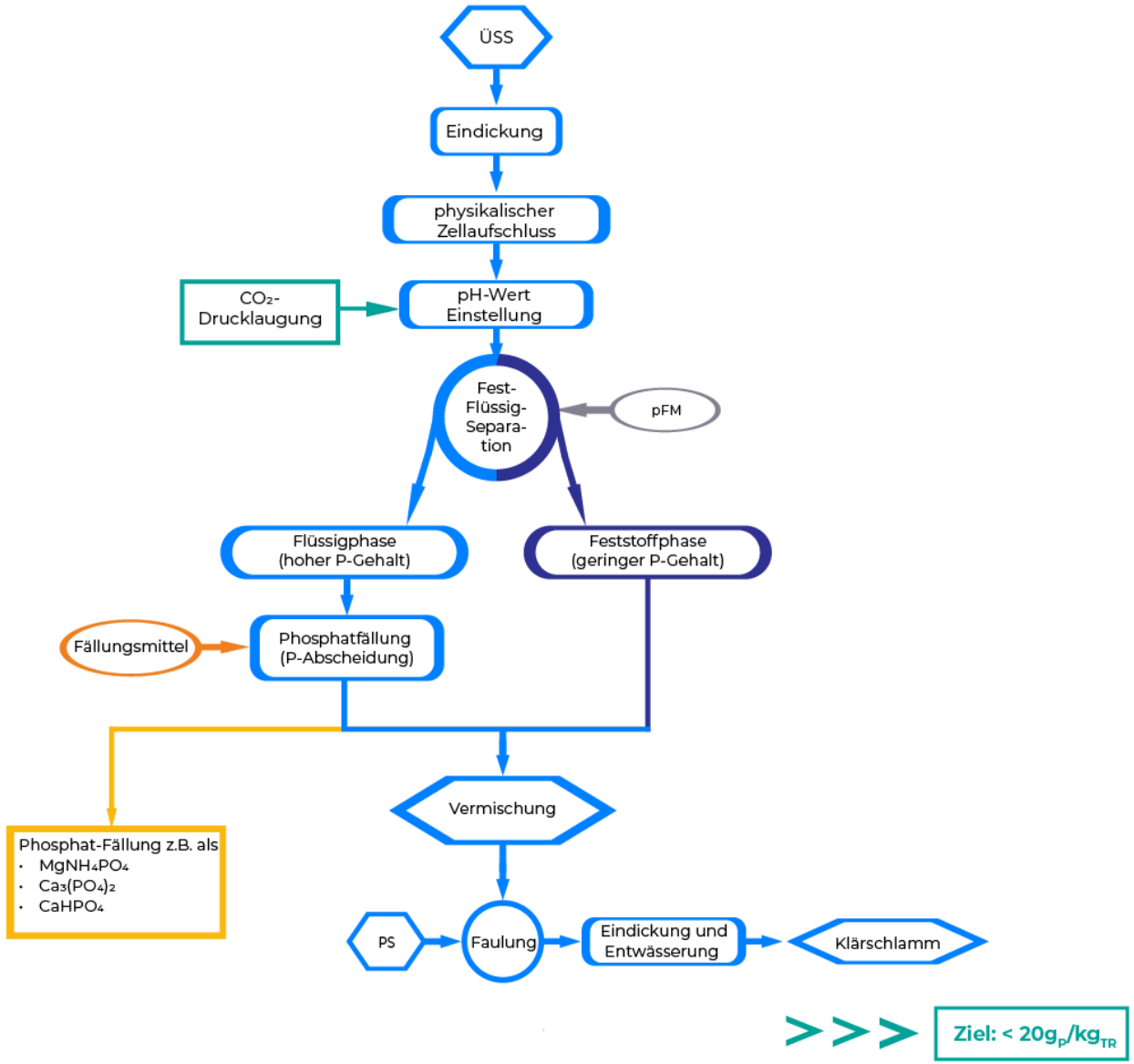
	AirPrex/ Erweiterter Parforce Ansatz	POLLPHOS	Ash2Phos	TetraPhos
Verfahrensart	MAP-Kristallisation nach Desintegration (thermisch)	Kristallisation nach Desintegration (physikalisch, CO_2)	Nasschemisch (HCl- Aufschluss)	Nasschemisch (P-Säure-Aufschluss)
Input	Überschussschlamm	Überschussschlamm	Klärschlammasche	Klärschlammasche
P-Rezyklat	Struvit	Struvit, Calciumphosphate	Calciumphosphat	P-Säure
Anlagen	**Wolfsburg (Bio-P, 175.000 EW)**, Berlin, Mönchengladbach, …	Technikum Versuche KA Raunheim in VB (140.000 EW)	Schkopau: 30.000 Mg/a, in Bau, IBN 2027 Helsingborg: 30.000 Mg/a, IBN 2028	Hamburg: 20.000 Mg/a, revamping
TRL	9	5	6	8?

AirPrex/ Erweiterter Parforce Ansatz in Wolfsburg



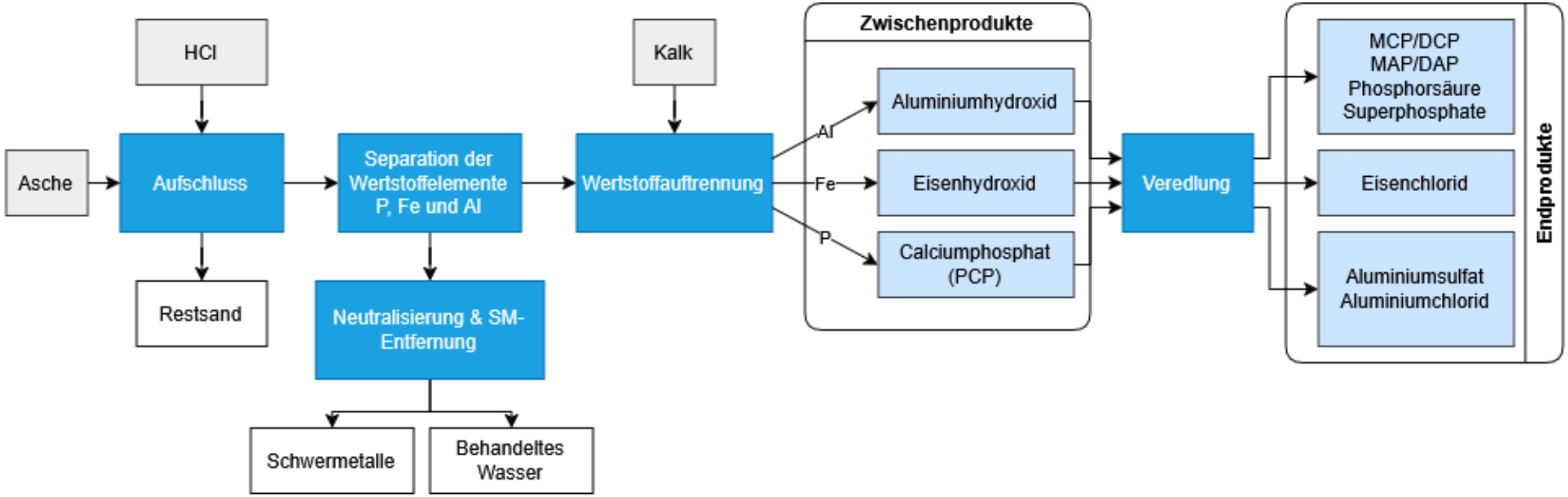
Quelle: Meier und Eschment, Essener Tagung 2023

POLLPHOS



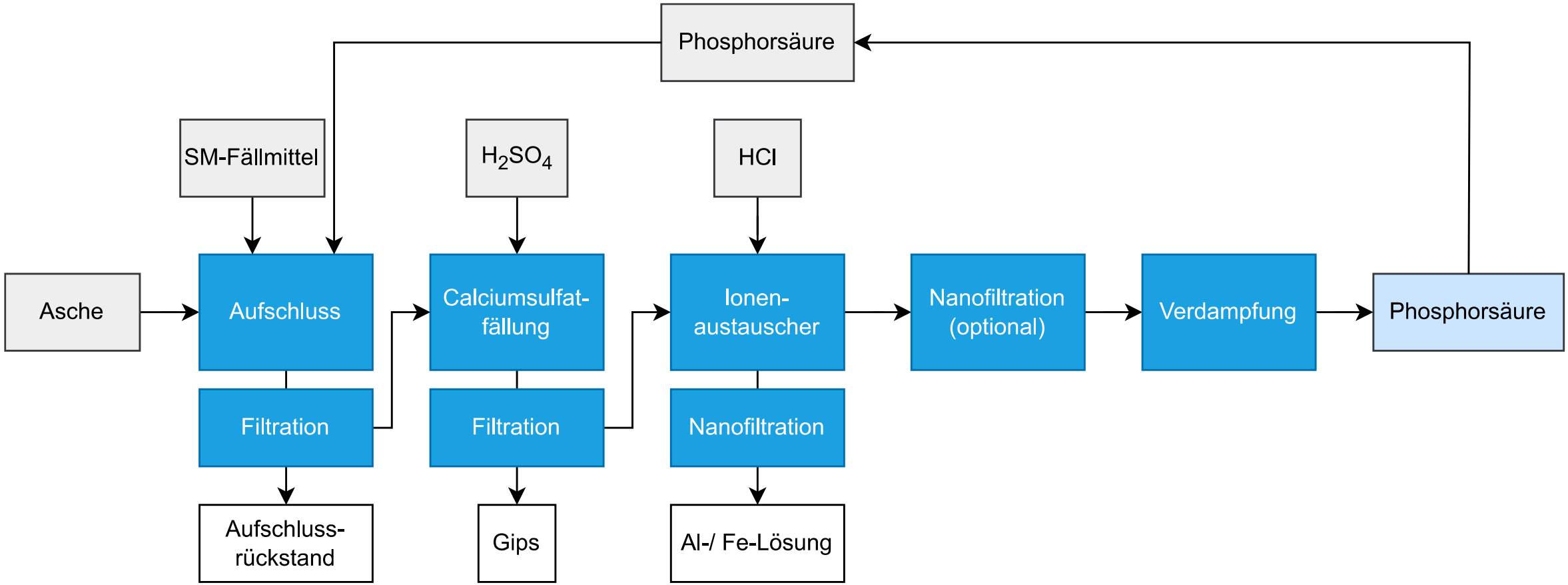
Quelle: POLL/ Simbach 2026

Ash2Phos



Quelle: eigene Darstellung nach Cohen et al., 2018, Institut für Siedlungswasserwirtschaft. UBA Text 56/2025 (EvKK RWTH Aachen University)

TetraPhos



Quelle: eigene Darstellung Institut für Siedlungswasserwirtschaft. UBA Text 56/2025 (EvKK RWTH Aachen University)

Entscheidungshilfe zur Phosphor-Rückgewinnung – Kriterien

Schlammwasser/ Faulschlamm (in Verbindung mit der kommunalen Kläranlage)

- Biologische P-Rücklösung (Bio-P), mikrobielle Eisenreduktion (FeP), Desintegration (physikalisch, chemisch)
- Reduzierung der P-Gehalte < 20 g P/kg TM sowie gezielte Fällungs-/ Kristallisationsprozesse (MAP, CaP)
- Phosphorgehalt im Faulschlamm bis ca. 30 … 35 g P/kg_{TM} (abhängig vom Verfahren und jeweiliger Rücklösungs- und Rückgewinnungseffizienz)
- Bei erfolgreicher Umsetzung ist die Mitverbrennung möglich

Entscheidungshilfe zur Phosphor-Rückgewinnung – Kriterien

Thermische Klärschlammbehandlung inkl. Phosphor-Rückgewinnung (Additive!)

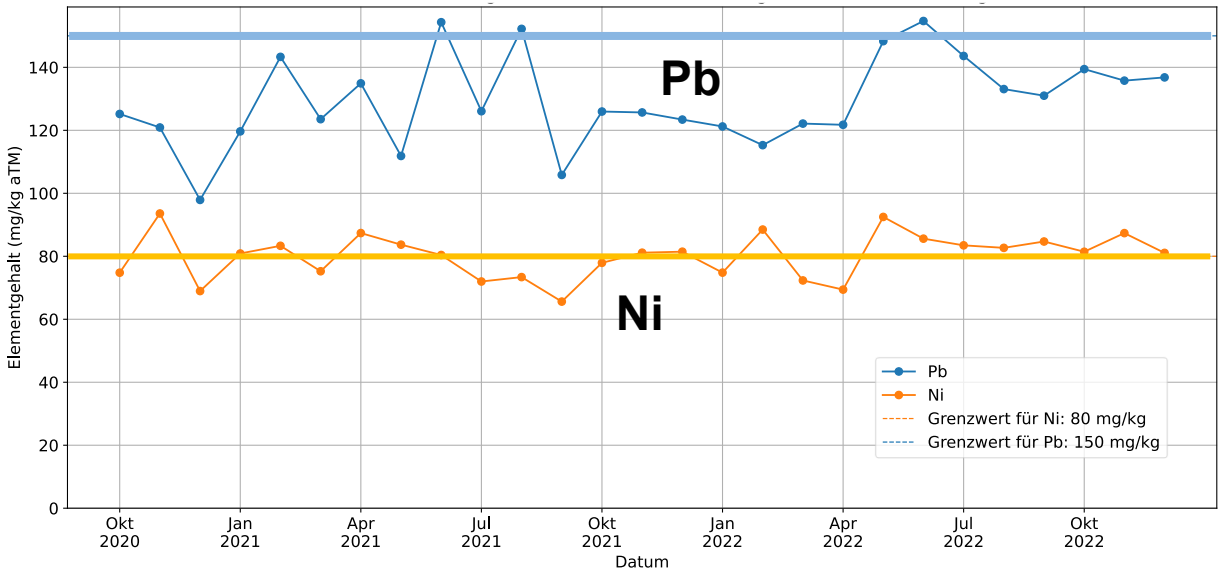
- Wirkungsgradkriterien werden erfüllt, Phosphor verbleibt in der Matrix
- Schwermetall-Ausschleusung beachten (sowie Eignung der Input-KS)
- Bei Erzeugung eines P-Düngemittels unterliegt die gesamte Rückgewinnungskette der AbfKlärV sowie der DüMV, d.h. der Klärschlamm muss Grenzwerte der DüMV einhalten (auch wenn Abreicherungen innerhalb des Rückgewinnungsprozesses unter die Grenzwerte erzielt werden → Anpassung DüMV)

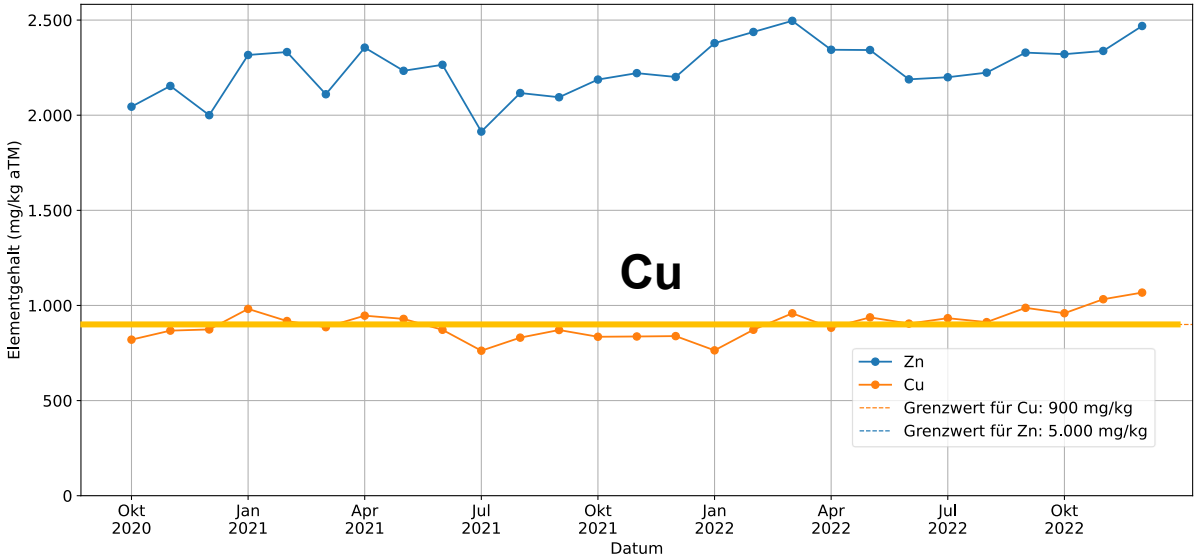
Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlammverbrennungsasche

- Rückgewinnung von ca. 80 – 99 % angestrebt
- Einhaltung der Grenzwerte gemäß AbfKlärV und DüMV beachten (analog zur thermischen Klärschlammbehandlung inkl. Phosphor-Rückgewinnung)
- Rezyklate: Phosphorsäure (kein Düngemittel), Aschematrix oder CaP

Verfahrensauswahl – Schwankungen der Aschezusammensetzung

- Wiederkehrende Grenzwertüberschreitungen von KSA, die im Mittel die DüMV einhält
- Strenges Input-Monitoring der KS/KSA bzw. Ersatzkapazitäten in anderen P-Rückgewinnungsanlagen erforderlich, ggf. lösbar durch Klärschlamm-Management





Quelle: Abschlussbericht AMPHORE 2027. TP ISA RWTH Aachen University

Und wenn man die Wahl hat? – Ein paar Entscheidungsaspekte

Dezentral/ Umsetzung vor Ort	Zentrale Lösung/ Verbrennung und Rückgewinnung aus der Asche
Umbau und Betrieb auf Kläranlage umsetzbar (technisch, personell)?	Entsorgung ausschreiben, Marktpreise zahlen
Eigene Investitionen und Betriebskosten	Entsorgungspartner für Verbrennung und P-Rückgewinnung finden
Vertriebsstrukturen/ Markt für z.B. MAP selber aufbauen oder regionale Netzwerke finden, die bei der Organisation unterstützen (Zulassung, Herstellerverantwortung, Qualitätssicherung)	Geforderte Produktqualität im P-Rezyklat erreichen und für alle Co-Produkte und Reststoffe einschließlich Abwasser Lösungen finden
Rückgewinnungsquote i.d.R. niedriger (max. 30-50 %)	Hohe Rückgewinnung (80%)
Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen (bei höheren P-Gehalten schwierig)	Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen (Nachweisregelungen offen)
Geringerer Energie- und Chemikalienbedarf, dennoch Abhängigkeit von Lieferketten	Hoher Chemikalienbedarf, große Abhängigkeit von Lieferketten und Weltmarktpreisen
…	…

Ausblick

- Jährlich werden bis zu 1,5 Mio. Mg Klärschlamm TM unter die Phosphor-Rückgewinnungspflicht fallen (abseits bodenbezogener Verwertung).
- Weiterer Zubau von Klärschlammverbrennungsanlagen erfolgt bereits.
- Schneller Ausbau der Phosphor-Rückgewinnungsanlagen ist erforderlich, Stand der Umsetzung ist aktuell nicht klar zu beziffern (regionale Lösungen).
- Entscheidung für eine P-Rückgewinnungstechnologie anhand
  - des Klärschlamms bzw. der entstehenden Asche (Metall- und Schwermetall-Gehalte),
  - Gegebenheiten der Kläranlagen und
  - weiteren lokalen/regionalen Randbedingungen
- Berücksichtigung von Prozessübertragbarkeit und -stabilität, weiterhin Optimierung.
- Grundsätzlich stehen für alle Einsatzstellen Verfahren bereit.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr.-Ing. David Montag
montag@isa.rwth-aachen.de
+49 (0)241 8025208
Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA)
RWTH Aachen University

13. Oktober 2026