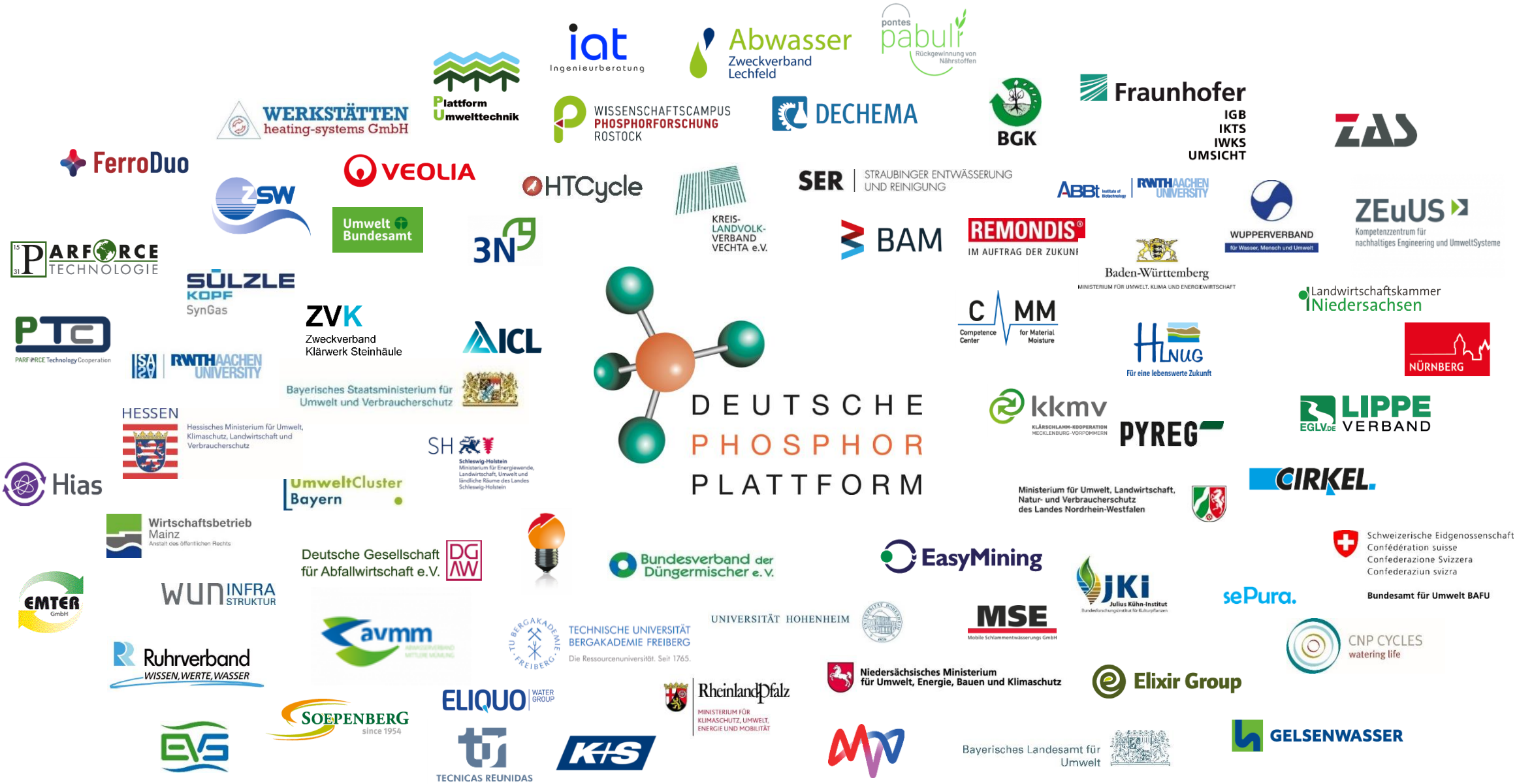




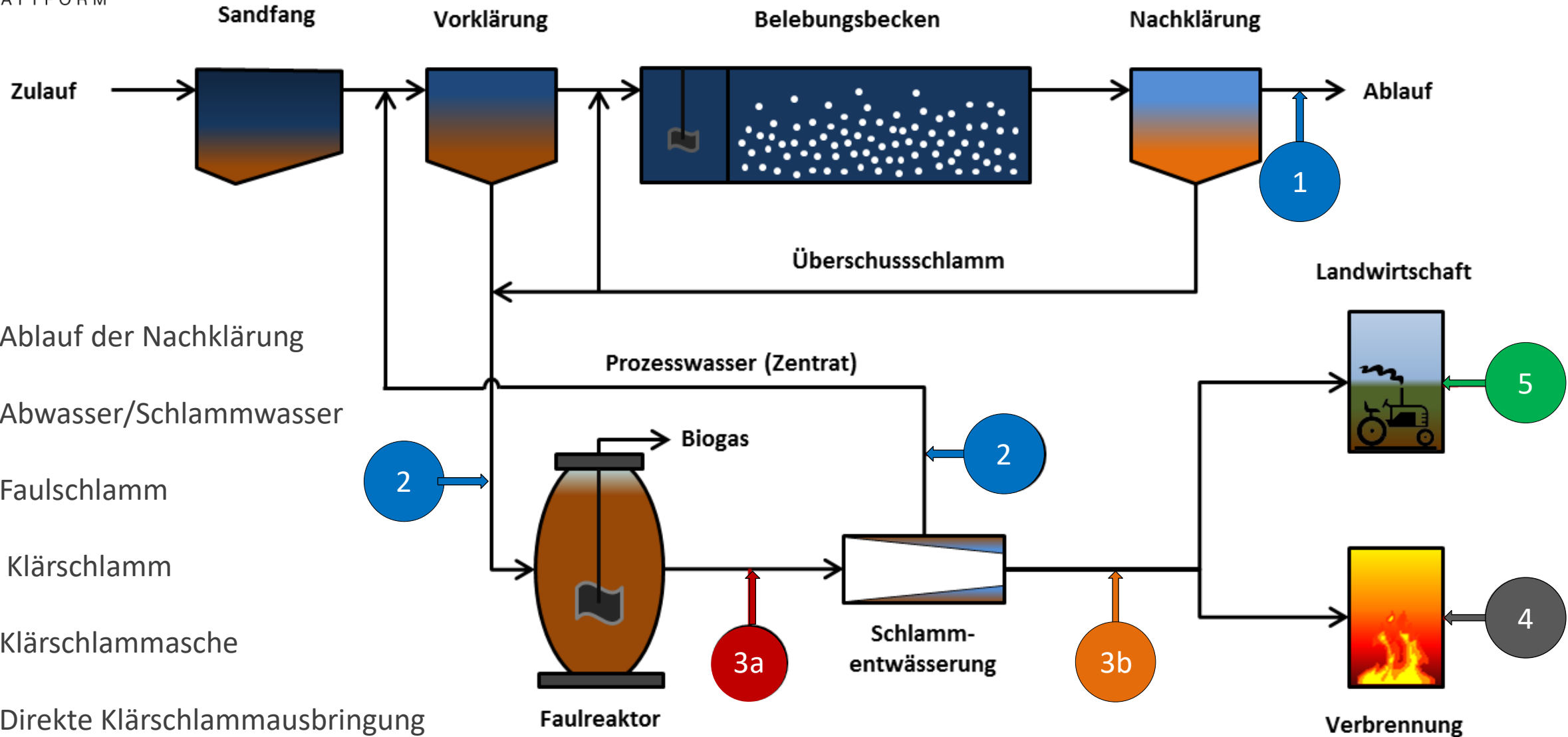
P-Rückgewinnung: aktuelle Verfahrensübersicht

Hessischer Phosphordialog 2023 - Regionales Phosphor-Recycling in Hessen
5.12.2023 Kassel

Tabea Knickel
Deutsche Phosphor-Plattform DPP e.V.



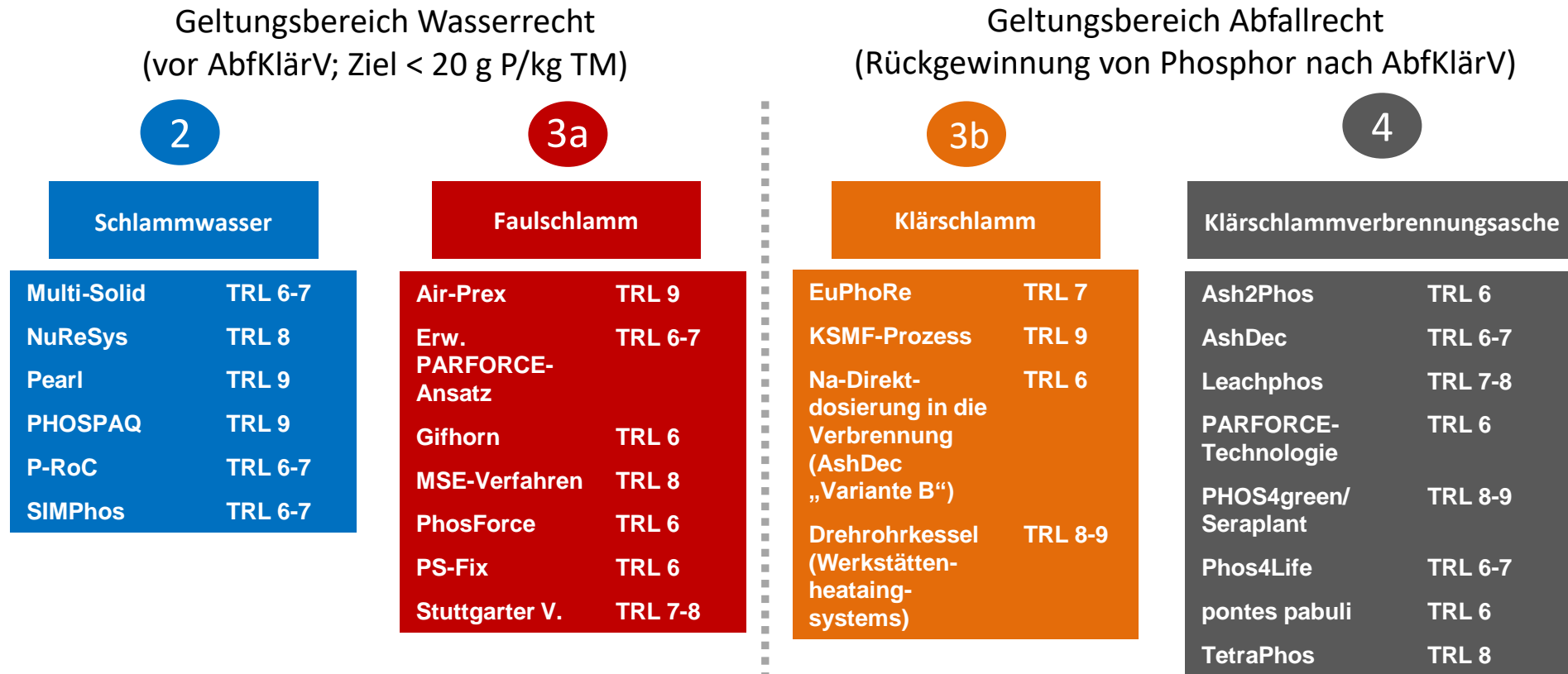
Verfahrensansatz - P-Rückgewinnung



- 1** Ablauf der Nachklärung
- 2** Abwasser/Schlammwasser
- 3a** Faulschlamm
- 3b** Klärschlamm
- 4** Klärschlammasche
- 5** Direkte Klärschlammausbringung

Verfahrenstechnik

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



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

Verfahrenstechnik

- Aktuelle Informationen zu Anzahl & Standorte der verschiedenen Technologien finden Sie in der [Phosphor-Recycling-Technologien Tabelle](#) der Deutschen Phosphor-Plattform
- Informationen zum Ausbau der Phosphor-Rückgewinnung auf kommunalen Kläranlagen und aus Klärschlamm sind von der RWTH Aachen zu erhalten. Refoplan-Vorhaben EvKK – „[Evaluierung verfügbarer Kapazitäten thermischer Klärschlammbehandlung sowie zur Phosphorrückgewinnung](#)“

Anlageninput (z.B. Faulschlamm/ Klärschlamm/ KSA/Andere Abfälle/ Sonstiges)	Verfahren (Name des Verfahrens)	Technologiegeber, Kontakt, Telefonnummer, E-Mail, Webseitenlink	Prozess (Ausführung der einzelnen Prozessschritte)	Produkt	Status (Labor/ Technikum/ großtechnische Umsetzung)	Standort/e (auch ab wann), Größe (z.B. 10.000 t KSA/a)	Kommentar	Daten- aktualisi- erung
Überschussschlamm / Faulschlamm	LysoPhos®	CYCLES GmbH sales@cnp-cycles.de www.cnp-cycles.de	Nach der Überschussschlamm- Hydrolyse und vor der Faulung wird der pH-Wert durch NaOH angehoben, durch Zugabe vom MgCl ₂ erfolgt eine Fällung zu Struvit (MAP).	Struvit	Technikum	Wolfsburg 2023 190.000 EW , 280 m ³ FS/d	Betreiber baut von AirPrex® auf LysoPhos® um. Erfüllt die neue AbklärV	Stand 05/2023
Faulschlamm einer kommunalen Kläranlage mit Co- Vergärung z.B. Fette aus dem Lebensmittelbereich	Gifhorner Verfahren (ursprünglich nach dem Verfahrensgeber als „Seaborne- Anlage“ bezeichnet. Später, nach mehrfacher Modifizierung umbenannt)	Firma Seaborne EPM AG Mooshörner Weg 24811 Owschlag Schleswig-Holstein	1. Extraktion der Phosphate aus dem Klärschlamm durch Ansäuerung mit Schwefelsäure 2. Fest- Flüssigtrennung des Schlamms auf einer Zentrifuge 3. Weiterverarbeitung der Flüssigphase durch Zugabe von Magnesium bis zum stöchiometrischen Gleichgewicht der vorhandenen Phosphate, Ammonium ist im Überstand 4. Anhebung des pH-Wertes bis zum Fällungsbereich (pH 8,7 bis 9,0) 5. Abtrennung des ausgefällten MAP aus der Flüssigphase	Amorphes Magnesium- Ammonium- Phosphat mit weiteren mineralischen Verbindungen (Kalziumphosphat, Hydrogenphosphate) und Spurenstoffen.	Großtechnische Umsetzung	38518 Gifhorn Bau der Anlage: 2004 Inbetriebnahme: 2005 Die Ausbaugröße der Kläranlage beträgt 95.000 EW, die derzeitige Belastung liegt bei 65.700 EW. Täglich werden ca. 110 m ³ ausgefauter Schlamm (Dünnschlamm) der Klärschlamm-aufbereitungsanlage zugeführt.		Stand 04/2023
Faulschlamm	Stuttgarter Verfahren	iat Ingenieurberatung, Uni Stuttgart	Ansäuerung des Klärschlamm/ P-Rücklösung, Entwässerung, P-Fällung mit MgO in der Flüssigphase	Struvit	Pilotanlage	Offenburg-Griesheim		Stand 2020
Faulschlamm	Stuttgarter Verfahren -System MSE-	MSE Mobile Schlamm- entwässerungs GmbH,	sauerer Leaching, Ultrafiltration, Struvit-Fällung, Produktentwässerung	Struvit	Großtechnische Umsetzung	mobile Anlage, 5.000t Trockenmasse/Jahr	(Wirkungsgrad > 80%)	Stand 03/2023



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, Synergien, Ressourcen, Asche, Abwasser, Optimierung, Entwicklung, Rückgewinnung, Beratung, and Schlamm. The words are in various colors (green, orange, red, grey) and sizes.

Phosphor
Effizienz
Synergien
Ressourcen
Asche
Abwasser
Optimierung
Entwicklung
Rückgewinnung
Beratung
Schlamm

Schlammwasser/
Faulschlamm

Struvit-Verfahren

- Produkt : Struvit (MAP)
- 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, ...), Kristallisation bzw. Struvit-Fällung
- P₂O₅-Gehalt: 27-29 % pro Produkt TM
- Im Markt: ja

Umgesetzte / in Umsetzung befindliche Struvit-Verfahren

- Stuttgarter-Verfahren
iat – Ingenieurberatung + Uni Stuttgart, Offenburg-Griesheim
- Stuttgarter-Verfahren – System MSE
MSE, mobile Anlage
- iPhos-Verfahren
SF-Soepenbergl, Gifhorn
- PhosForce (STRUVIA™-Reaktor)
Veolia Wasser Deutschland GmbH, Schönebeck
- Erweiterter PARFORCE Ansatz
TU Freiberg, Hagenow, Wolfsburg



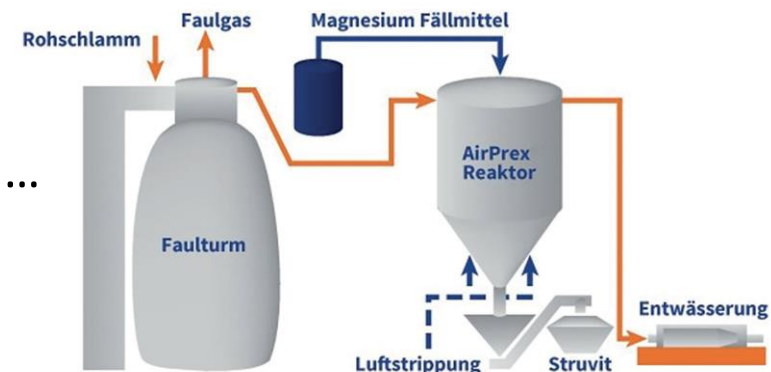
© DPP | Kennblatt: Stuttgarter Verfahren+



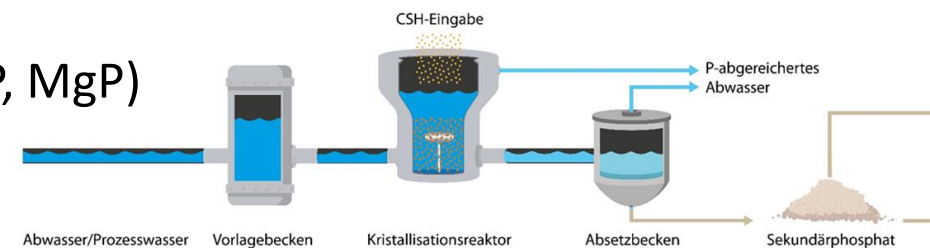
© DPP | Kennblatt: P-RoC

Umgesetzte / in Umsetzung befindliche Struvit-Verfahren → Sonderformen

- Air-Prex-Verfahren (→ Luftstrippung)
CNP Cycles, MG Neuwerk, Waßmansdorf, Uelzen, Salzgitter, Göppingen, ...
- ELOVAC®-P (→ Vakuum-Reaktor-Tank)
ELIQUO, Lingen, Erlangen, weitere in Norwegen, USA, ...
- P-RoC-Verfahren (→ CSH-induzierte Kristallisation zu Struvit/ CaP, MgP)
KIT-CMM, Bachgau Großostheim
- SIMPhos-Verfahren (→ CSH-induzierte (SIMPur) Kristallisation zu CaP)
CIRKEL, Neuburg a. d. Donau
- ViviMag®-Verfahren (→ Eisenfällmittel – erzeugt Vivianit)
Veolia/Kerima, Schönebeck, Dänemark



© DPP | Kennblatt: AirPrex



© DPP | Kennblatt: P-RoC



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 'Effizienz' (efficiency) in dark green. Other words include 'Phosphor' (phosphorus), 'Rückgewinnung' (recovery), 'Entwicklung' (development), 'Beratung' (consulting), 'Optimierung' (optimization), 'Asche' (ash), 'Ressourcen' (resources), and 'Synergien' (synergies).

Phosphor
Effizienz
Abwasser
Schlamm
Rückgewinnung
Entwicklung
Beratung
Optimierung
Asche
Ressourcen
Synergien

Klärschlamm

EuPhoRe[®]-Verfahren

EuPhoRe GmbH, Klose GmbH

- Produkt : KS-Asche (schwermetall-abgereichert)
- Düngemitteltyp: D-DüMV 1.2.9 Tabelle 6.2.3
- Größenordnung: 135.000 t KSe/a Mannheim;
80.000 t KSe/a Offenbach;
1.000 t KSe/a Dinslaken seit 2019,
(30.000 t KSe/a Oftringen seit 2017)
- Prozess: Thermochemische Klärschlammbehandlung bei ca. 1.000°C,
Zugabe von Chloriden/Sulfaten in den Klärschlamm
(zwecks Eliminierung der Metalle)
- P₂O₅-Gehalt: 16-20 % pro Produkt TM



© DPP | Kennblatt: EuPhoRe

Grenzebach Verfahren

Grenzebach BSH
Bad Hersfeld

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

Drehrohrkessel

Werkstätten heating-systems GmbH

- Produkt : KS-Asche (schwermetall-abgereichert)
- Düngemitteltyp: D-DüMV 1.2.9 Tabelle 6.2.3
- Größenordnung: Schüttorf 2020: 600 t Asche/a, Wallmenroth 2023: 1800 t Asche/a, Michelstadt 2024: 1800 t Asche/a
- Prozess: Trocknung mit nachgeschalteter Abluftreinigung, Verbrennung im Drehrohrkessel bei 800 -1.000°C, Ascheaufbereitung zum P-Rezyklat, Trockene Rauchgasreinigung



A word cloud of German terms related to alternative thermal processes. The words are arranged in a roughly triangular shape pointing to the right. The terms include: Phosphor, Effizienz, Synergien, Ressourcen, Asche, Abwasser, Optimierung, Entwicklung, Rückgewinnung, Beratung, and Schlamm. The words are in various colors (green, orange, red, grey) and orientations (vertical, horizontal, diagonal).

Phosphor
Effizienz
Synergien
Ressourcen
Asche
Abwasser
Optimierung
Entwicklung
Rückgewinnung
Beratung
Schlamm

Alternative Thermische Verfahren

TerraNova® Ultra-Verfahren

TerraNova Energy GmbH

- Produkt : Mg/Ca-P-Kristallisat
- Düngemitteltyp: D-DüMV 1.2.9 Tabelle 6.2.4
- Größenordnung: 250 kg KS/h
KA Duisburg Kasslerfeld (Pilotanlage),
großtechnische Umsetzung in Jining/China & Mexico City
- Prozess: Leaching mit mineralischer Säure, Hydrothermale Karbonisierung,
Kristallisation/ Fällung mit Mg/ Ca
- P₂O₅-Gehalt: 18 % pro Produkt TM



© DPP | Kennblatt: TerraNova Ultra

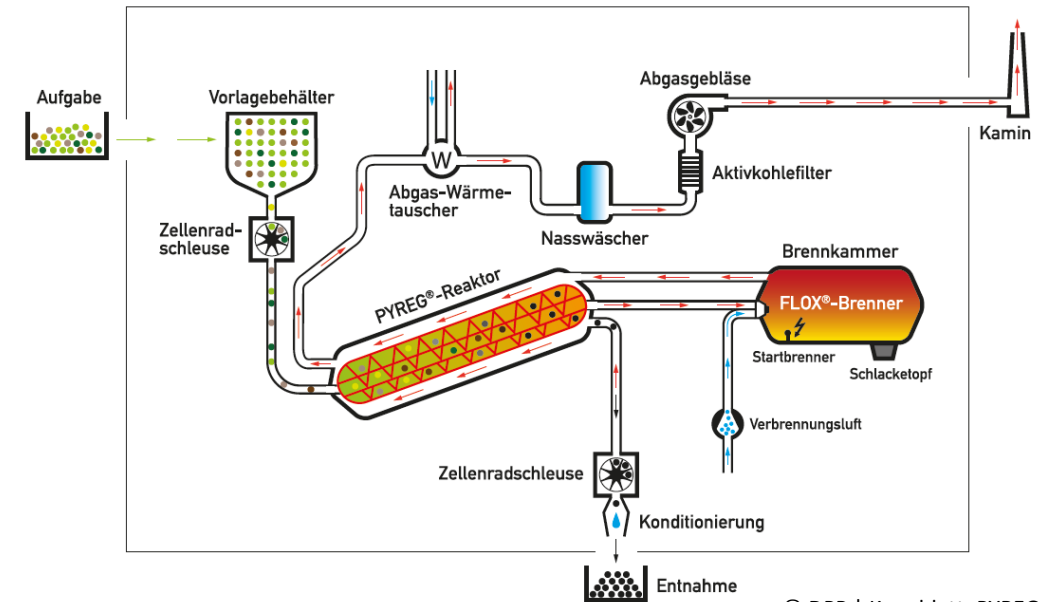
PYREG[®]-Verfahren

PYREG GmbH

- Produkt : P-haltiges Karbonisat zur Verwendung als P-Dünger
→ aktuell keine Zulassung als P-Dünger nach Dt. DüMV und EU DüPV
- Größenordnung: Linz-Unkel 2015: 700 t TS/a, Homburg 2016 1.000 t TS/a, Lorsbach 2021: 1.600 t TS/a, Kleve 2022: 1.600 t TS/a
- Prozess: Mono-Karbonisierung
- P₂O₅-Gehalt: 10-15 % pro Produkt TM



© DPP | Kennblatt: PYREG



© DPP | Kennblatt: PYREG

HTCycle

HTCycle GmbH

- Produkt : Aktivkohle (HTC-Kohle), P-Säure; Struvit; Ammoniumsulfat
- Größenordnung: Pilotanlagen: 8 000 bzw. 16 000 t/Jahr
- Prozess: kontinuierliche hydrothermale Karbonisierung, wobei Dampf als Reaktionsmedium bei ca. 220°C und 24 bar für 3-5 Stunden eingesetzt wird.
Optional:
 - Phosphor kann aus der Aktivkohle entweder vor oder nach ihrer Verwendung zur Wasserreinigung mit Schwefelsäure ausgelaugt werden, um P-Säure herzustellen.
 - Das aus den Abgasen abgetrennte Ammoniak kann entweder mit dem Phosphor zur Bildung von Struvit umgesetzt und/oder zur Herstellung von Ammoniumsulfat verwendet werden.



A word cloud of German terms related to wastewater treatment and resource recovery. The words are arranged in a roughly rectangular shape. The terms include: Phosphor, Effizienz, Synergien, Ressourcen, Asche, Abwasser, Optimierung, Schlamm, Entwicklung, Rückgewinnung, and Beratung. The words are in various colors (green, orange, grey) and orientations (vertical, horizontal).

Phosphor
Effizienz
Synergien
Ressourcen
Asche
Abwasser
Optimierung
Schlamm
Entwicklung
Rückgewinnung
Beratung

Klärschlammmasche

TetraPhos[®]-Verfahren

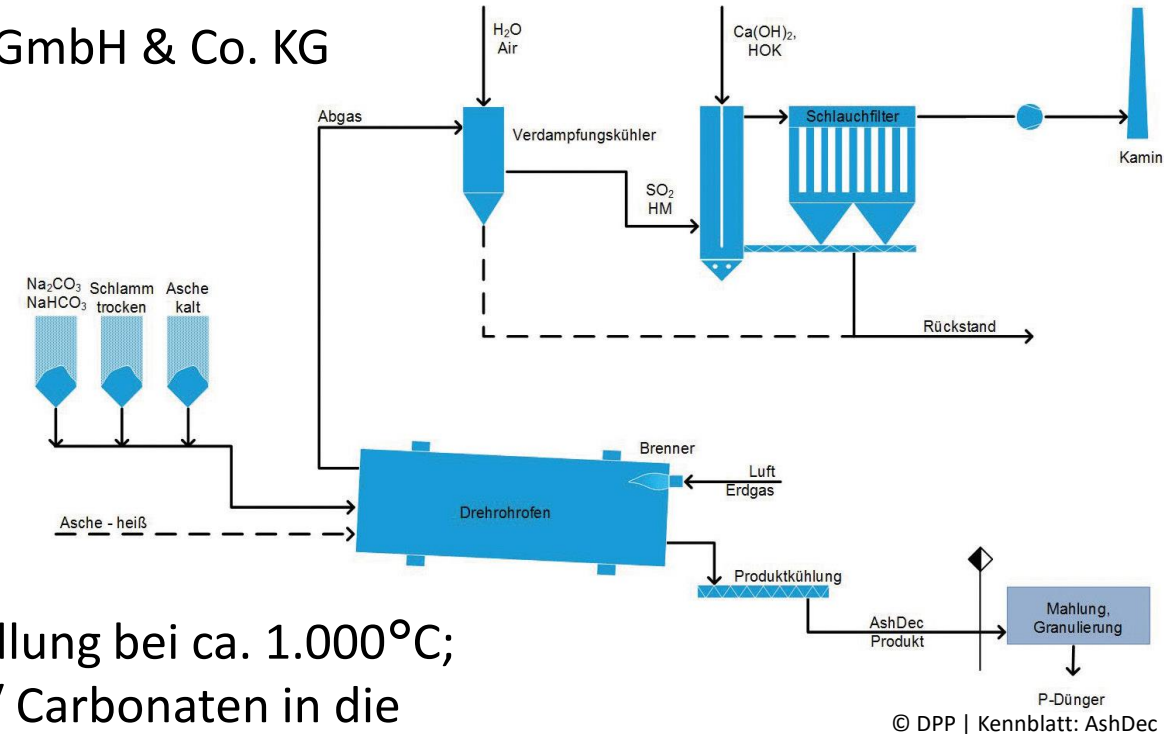
Hamburger Phosphorrecycling Gesellschaft mbH
Gemeinschaftsunternehmen von REMONDIS und HAMBURG WASSER

- Produkt : Phosphorsäure
- Größenordnung: Hamburg 20.000 t KSA/a
- Prozess: KSA wird in einem Reaktor mit verdünnter Phosphorsäure gemischt. Phosphate lösen sich fast vollständig auf. Filtration. Mit Hilfe von Ionentauschern werden Metalle wie Magnesium, Aluminium und Eisen entfernt. Die metallarme Phosphorsäure wird gereinigt und auf marktgängige 75% konzentriert.

AshDec®

Emter GmbH, Outotec GmbH & Co. KG

- Produkt : KS-Asche
- Düngemitteltyp: D-DüMV 1.2.9 Tabelle 6.2.3
- Größenordnung: Altenstadt: 30.000 t KSA/a
- Prozess: Thermochemische Aschebehandlung bei ca. 1.000°C;
Zugabe von Chloriden/ Sulfaten/ Carbonaten in die Klärschlammasche vor der Behandlung (zwecks Eliminierung der Metalle)
- P₂O₅-Gehalt: 16-20 % pro Produkt-TM



© DPP | Kennblatt: AshDec

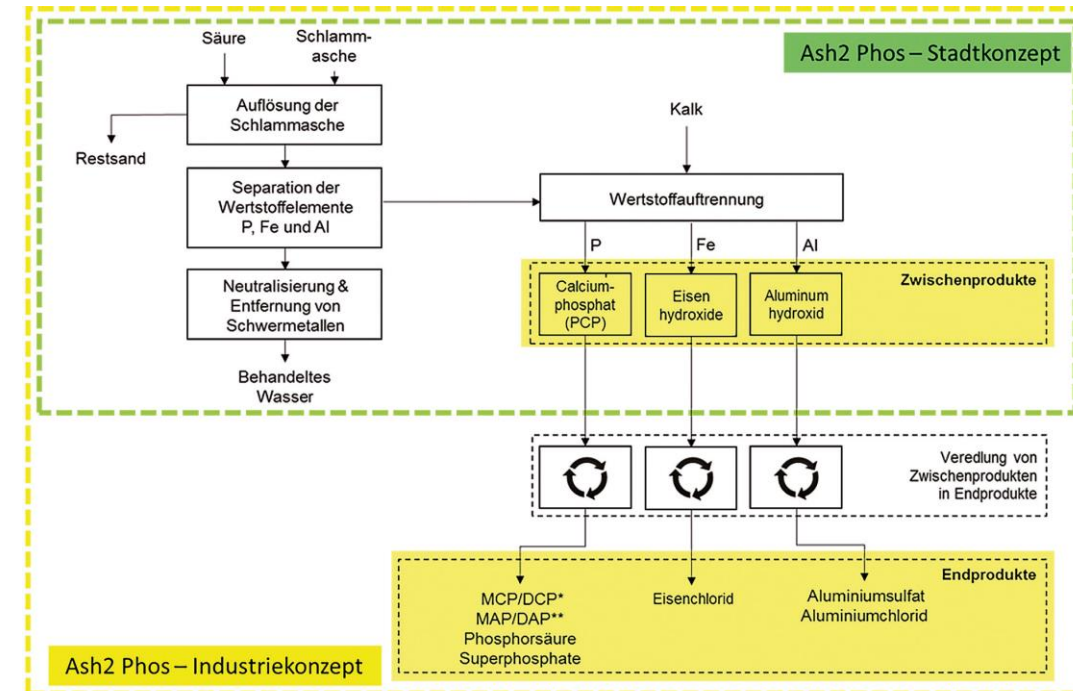


© DPP | Kennblatt: AshDec

Ash2[®]Phos

Easy Mining

- Produkt : Calciumphosphat PCP
(Düngemittelkonvektionierung -> SSP, TSP, DCP, MAP, H₃PO₄, NPK)
- Düngemitteltyp: D-DüMV 1.2.2 oder 1.2.9 Tabelle 6.2.4
- Größenordnung: Helsingborg: 30.000 t KAS/a
- Prozess: P-Leaching aus Asche mit Salzsäure,
P-Fällung mit Kalkmilch
- P₂O₅-Gehalt: 40 % pro Produkt-TM



* mono/di-calciumphosphat (Futter Phosphat), mono/di-ammoniumphosphat (Dünger)

Phos4Green (SERAPLANT-Anlage)

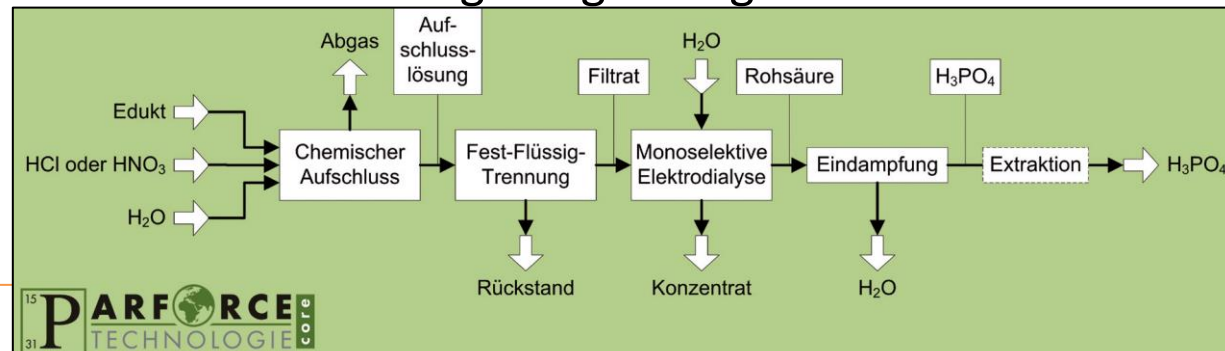
SERAPLANT GmbH und Glatt Ingenieurtechnik GmbH

- Produkt : Superphosphat, NPS Mehrnährstoffdünger
- Düngemitteltyp: SP, NP-Dünger
- Größenordnung: Haldensleben 35.000 t KSA/a
- Prozess: Chemischer Aufschluss der Asche mit Phosphor-/ Salpetersäure und Sprühgranulation
- P_2O_5 -Gehalt: 27-38 % pro Produkt TM
- Aktuell insolvent

PARFORCE-Technologie®

PARFORCE Engineering & Consulting GmbH & PTC – PARFORCE-Technology Cooperation GmbH

- Produkt : Phosphorsäure (75 %), Reinheitsgrade bis 99,99 % möglich
- Größenordnung: Campus der TU Bergakademie Freiberg 2018 bis zu 1.000 kg Einsatzstoff/Tag, Kläranlage Bottrop (EGLV) 2023/2024 1.000 t KSA/a
- Prozess:
 1. Aufschluss mit verdünnter Salzsäure (HCl) oder Salpetersäure (HNO₃)
 2. Abtrennung unlöslicher Bestandteile (silikatische Rückstände)
 3. Abtrennung ein- und zweiwertiger Verunreinigungen (Ca, Mg, K, Na, Schwermetalle) in Elektrodialyse)
 4. Aufkonzentrierung der gereinigten P-säure auf handelsübliche Konzentrationen

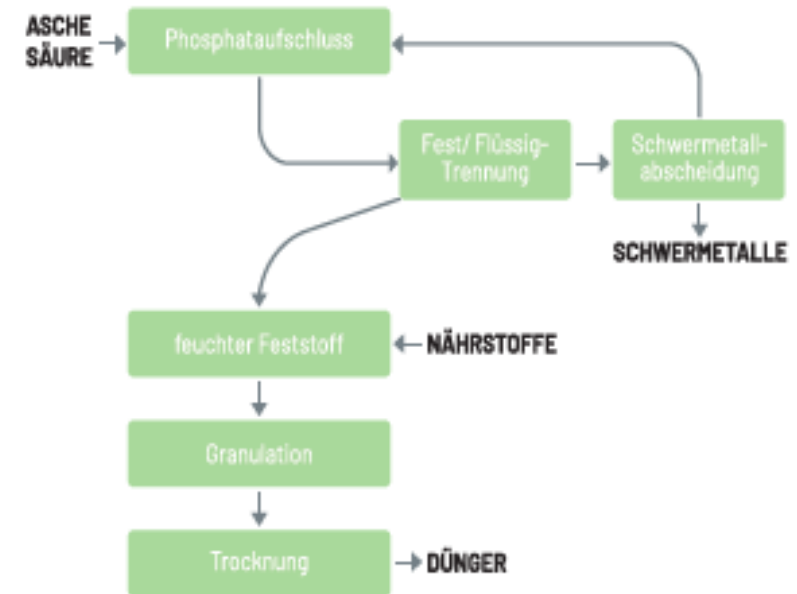


© DPP | Kennblatt: PARFORCE

Pontes Pabuli-Verfahren

Pontes Pabuli GmbH

- Produkt : P-haltiges Düngemittel
- Größenordnung: Markranstädt 2022: Asche-Durchsatz: 35 kg/h
- Prozess: Säureaufschluss, Optionale Schwermetallabscheidung durch selektive Ausfällung, weitere Nährstoff Komponenten werden in exakten Mengen zugegeben, Granulierung und Trocknung.



© DPP | Verfahrenskennblatt: Pontes Pabuli

Phos4LIFE®

Tecnicas Reunidas S.A.

- Produkt : Phosphorsäure (75 %), Reinheitsgrade bis 99,99 % möglich
- Größenordnung: Pilot 1 Madrid (Spanien) 2017-2019, Pilot 2 Madrid (Spanien) 2020-2021, Emmenspitz, Zuchwil (Schweiz) 2027/2028: 40.000 t KSA /a
- Prozess:
 1. Saure Auslaugung von Klärschlammasche
 2. Phosphatbehandlung mit H₂SO₄
 3. Verdampfung
 4. Lösungsmittlextraktion (SX) - TECNICAS REUNIDAS KERNTECHNOLOGIE: Extraktion / Waschen / Strippen / Abreicherung
 5. H₃PO₄-Produktkonditionierung - Herstellung von Phosphorsäure in technischer Qualität
 6. Behandlung von Abfällen und Abwässern

Bewertung von Rezyklaten/Recyclingverfahren

Kriterien

Technologie

- Entwicklungsstand der Technologie (technologischer Reifegrad TRL)
- P-Rückgewinnungsrate/-quote
- Varianz des Materialeinsatzes (Art potenziell verwertbarer Abfälle)
- Produktform (fest/flüssig)

Umwelt

- Wirksamkeit bzw. Pflanzenverfügbarkeit
- Schadstoffentfrachtung
- Chemikalieneinsatz
- Energiebedarf des Verfahrens
- Abfallentsorgung von entstehenden Nebenprodukten (Gefahrstoff)

Wirtschaftlichkeit

- Verfahrenskosten (P-Rückgewinnung & KS-Entsorgung)
- Investitionskosten
- Erlös Verfahrenoutput
- Marktpotenzial
- Erwartbare Mengen
- Transportwürdigkeit

Anforderungen an recycelte Materialien

Rohstoffe für die Düngemittelindustrie

- die Anforderungen der deutschen DüMV oder der EU-DüPV müssen erfüllt werden
- die **Wirksamkeit** der Rezyklate muss nachgewiesen werden
 - Mindestanforderungen an die Phosphatlöslichkeit
- Eine technische und/oder chemische **Formulierung** muss möglich und wirtschaftlich sein
- Grenzwerte für **Schadstoffe** müssen eingehalten werden (As, Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, Tl, organische Schadstoffe)
- Mindestanforderungen an Nährstoffgehalte (P, N), Grenzwerte (C_{org} , Verunreinigungen) müssen eingehalten werden
- Die Anforderungen sind in der deutschen & europäischen Verordnung nicht deckungsgleich



Stellungnahme der
DPP zur DüMV

➡ Bei beiden Verordnungen besteht aus unserer Sicht **Überarbeitungsbedarf!**

➡ DPP ist in Kommunikation mit BMEL & wissenschaftlichem Beirat für Düngungsfragen

Fazit und Ausblick

Stand der Dinge:

- Paradigmenwechsel hin zu einer optimierten Kreislaufführung und Ressourcenschonung von Phosphor
 - Förderung durch den Bund (RePhoR) und Länder
 - Einige wenige P-Recyclingtechnologien sind nun in der Umsetzung vom Pilotmaßstab zur Großtechnik!
- Gegenwärtig spielen vor allem rechtliche, technische und ökonomische Faktoren eine lenkende Rolle
- Es stehen viele vielversprechende **Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung** zur Verfügung
 - Siehe dazu die [Tabelle auf der DPP-Homepage](#) & die [europäische Verfahrensübersicht](#) auf der ESPP Homepage
- DPP setzt sich dafür ein, dass die **düngemittelrechtlichen Regelwerke** dem Kerngedanken der **Kreislaufwirtschaft** nicht entgegenstehen z.B. mit Ansprache durch das [Politikmemorandum 2020 & 2023/24](#)

 **Die DPP empfiehlt für eine nachhaltige Klärschlammverwertung die Phosphorrückgewinnung schon heute mitzudenken und zeitnah umzusetzen.**



Deutsche Phosphor-Plattform

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



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



+49 (0) 171 2269 953



info@deutsche-phosphor-plattform.de



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

Quellen & Links:

- Remy, Kabbe (2013): „Übersicht der Umsetzung von Verfahren in Europa – Erfahrungen aus P-REX“. Kompetenzzentrum Wasser Berlin, Vortrag vom 09.10.2013 in Bonn. Projekt: P-Rex, 2013. Internetquelle: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/uebersicht_der_umsetzung_von_verfahren_in_europa_-_erfahrungen_aus_p-rex.pdf
- Montag, Allwicher, Le, Schnell, Stark (2023): „Soll-Ist-Vergleich der Phosphor-Rückgewinnungsanlagen für 2029“ RWTH Aachen, Vortrag auf dem DPP-Forum am 10.10.2023, Ergebnisse aus dem Refoplan-Vorhaben EvKK – „Evaluierung verfügbarer Kapazitäten thermischer Klärschlammbehandlung sowie zur Phosphorrückgewinnung“, 2023. Projektwebseite: <https://www.isa.rwth-aachen.de/cms/ISA/Forschung/Ressourcenmanagement/~txyuh/EvKK/>
- Deutsche Phosphor-Plattform DPP e.V.: P-Recycling-Technologien & Kennblätter – alle Kennblätter. Link: <https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/document/alle-kennblaetter/>
- Deutsche Phosphor-Plattform DPP e.V.: „DPP – P-Recyclingtechnologien Tabelle“. Link: <https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/document/tabelle-zu-p-recycling-technologien/>
- European Sustainable Phosphorus Platform (ESPP): Catalogue of Nutrient Recovery Technologies. Link: <https://phosphorusplatform.eu/activities/p-recovery-technology-inventory>
- Deutsche Phosphor-Plattform DPP e.V. (2020): Politikmemorandum 2020. Link: https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/wp-content/uploads/2020/11/DPP_Politikmemorandum2020.pdf
- Deutsche Phosphor-Plattform DPP e.V. (2024): Politikmemorandum zur Phosphorrückgewinnung 2023/24. Link: <https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/document/politikmemorandum-2023-24/>