



# Phosphor-Rückgewinnung aus kommunalem Abwasser

## Wo stehen wir heute?

Phosphor-Kongress 24.06 -25.06.2015, Stuttgart



Prof. Dr.- Ing. Heidrun Steinmetz  
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Wasserrecycling  
Universität Stuttgart



## Leitfragen und Inhalt

- P: Alles Bestens? Oder Bedarf es Veränderungen?
- Was „bietet“ Abwasser als P- Ressource
- Wo gibt es Ansatzpunkte zur Integration im konventionellen System?
- Welche Entwicklungen gibt es derzeit?
  - Überblick
  - Ausgewählte Beispiele
- Weitere Entwicklungen
  - Bsp. Hauptstrom
  - Bsp. Infrastrukturen der Zukunft (NASS)
- Bewertung
- Fazit



## Betriebsprobleme

### **Inkrustationen bei Bio-P**

- Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) in den Schlammmentwässerungsaggregaten und Rohrleitungen
- Vermeidung von Betriebsproblemen mit gezielter MAP-Fällung
- Gleichzeitig Rückgewinnung von Phosphor



## Substitutionspotenzial in Baden-Württemberg

- P-Absatz als Düngemittel in BW: 10.300 t P/a (2011/12)
- Klärschlammanfall BW ca. 247.000 t TS Klärschlamm
- Bei 70% Rückgewinnungsquote könnten ca. 6.200 t P/a rückgewonnen werden (Kneisel und Laux, Wasser und Abfall 3/2012)
- Somit über 50 % des Mineraldüngers substituierbar (Kneisel und Laux, Wasser und Abfall 3/2012)
- Aus Asche Monoverbrennung BW: 55.000 t TS  
Klärschlamm in Monoverbrennung ergibt 17.500 t TS  
Klärschlammmasche = ca. 1.400 t P
- Derzeit: KSA in BW wird entsorgt
- Mögliche P-Deckung aus KSA über 13%



## Technologien - Prinzipien

### ➤ **Ort der Rückgewinnung**

- Abwasser(-teilströme)
- Schlamm/Filtrat
- Asche

### ➤ **Aufschluss**

- Ohne
- Chemisch (sauer, alkalisch)
- Thermisch,  
Schmelzverfahren
- Elektroverfahren

### ➤ **Umgang mit Störionen**

- Komplexierung
- Sulfidische Fällung
- Membrantrennung

### ➤ **Verfahrensprinzip P-Gewinnung**

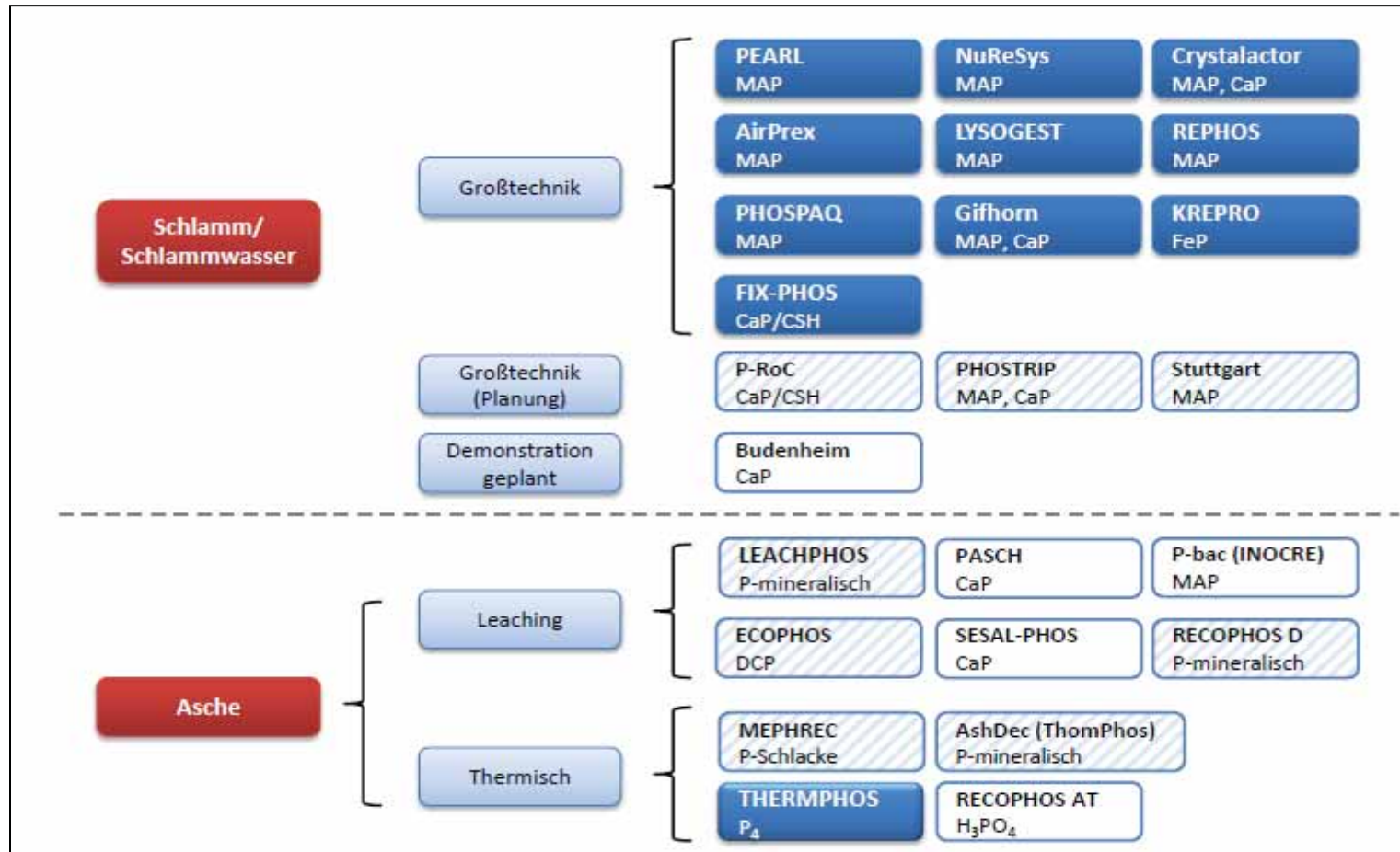
- Fällung,  
Kristallisation
- Ionenaustauscher /  
Sorptions

### ➤ **Endprodukt**

- MAP
- Calciumphosphate
- Eisen-,  
Aluminiumphosphat
- Weißer Phosphor



# P- Rückgewinnungsverfahren nach Anfallsort



Großtechnik
Demo-Anlage
Labor/Technikum

C. Remy et al., 2013: Übersicht der Umsetzung von Verfahren in Europa-Erfahrungen aus P-REX, Bonn, 2013





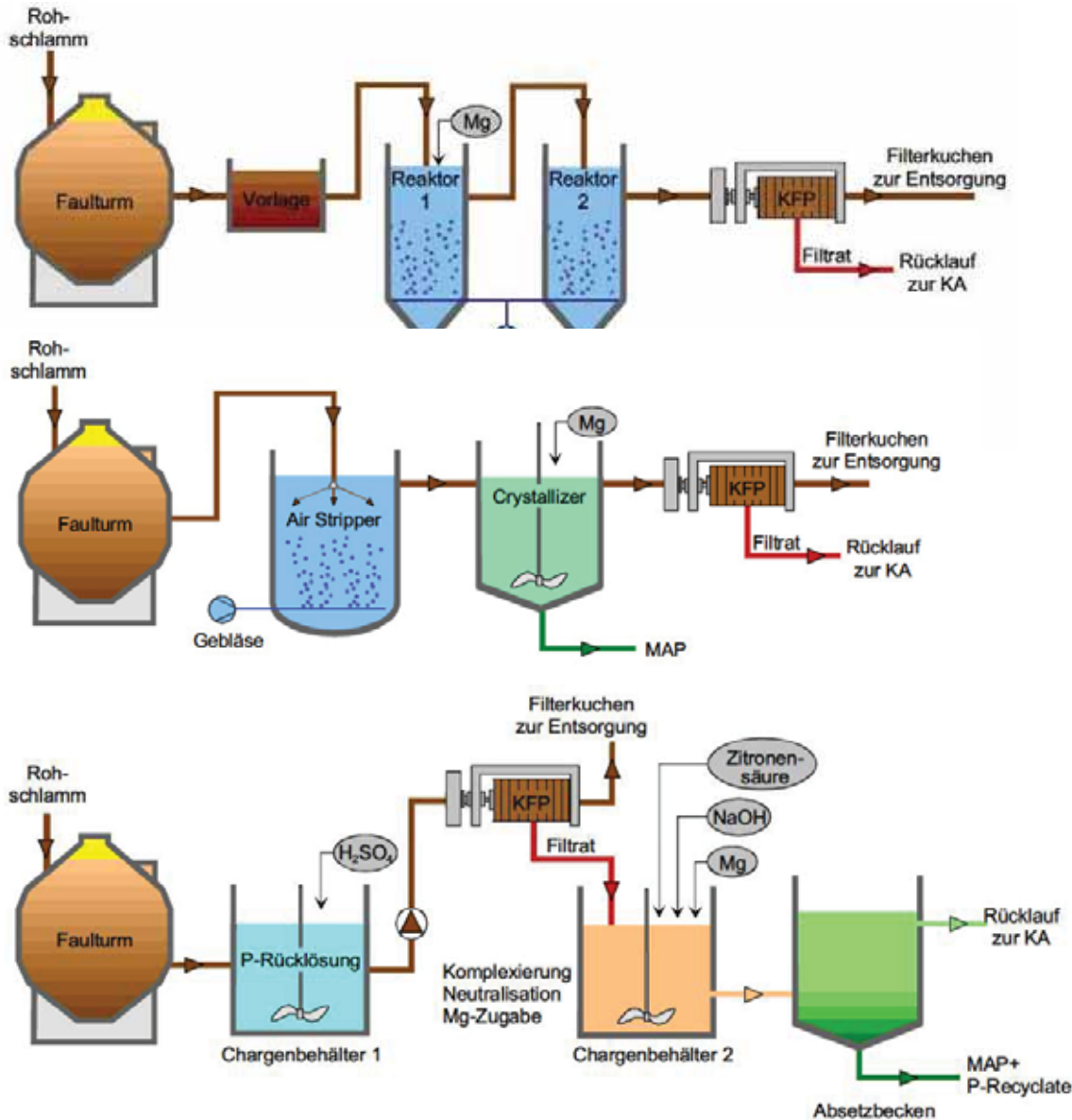
## Bsp.: Kristallisation/Fällung

- Vielzahl an Verfahren produzieren MAP mit guter Eignung in LWS (Bsp. AirPrex, NuReSys, Stuttgarter Verfahren, ....), einige Ca- Verbindungen (Bsp. P-RoC....)
- Bsp. **M**agnesium **A**mmonium **P**hosphat



# Kristallisation, Bsp. Verfahrensvarianten Schlamm

Quelle Abb.: iat 2014): [https://www.efre-bw.de/igl-internet/web/sites/default/de/Microsite\\_EFRE/Aktuelles/Galerien/Do-kumente/Machbarkeitsstudie\\_Rueckgewinnung\\_von\\_Phosphor\\_aus\\_Klaerschlamm.pdf](https://www.efre-bw.de/igl-internet/web/sites/default/de/Microsite_EFRE/Aktuelles/Galerien/Do-kumente/Machbarkeitsstudie_Rueckgewinnung_von_Phosphor_aus_Klaerschlamm.pdf)



AirPrex-  
Verfahren

NuReSys II

Stuttgarter  
Verfahren





## Ausgewählte Verfahren für Klärschlammmasche

<b>nasschemisch</b>	<b>thermisch</b>	<b>Elektrokinese</b>	<b>Bioleaching</b>	<b>Verdünnung</b>
PASCH	Ash Dec	EPHOS	Inocre P-bac	RecoPhos DE
LeachPhos	Mephrec			
SEPHOS	ATZ- Eisenbadreaktor			
SESAL-Phos	RecoPhos AT			
BioCon	Thermphos			
Eberhard- Verfahren	Kalogeo			

- Technikum: PASCH, P-bac
- Pilotanlage: Leachphos, Ash Dec, Mephrec

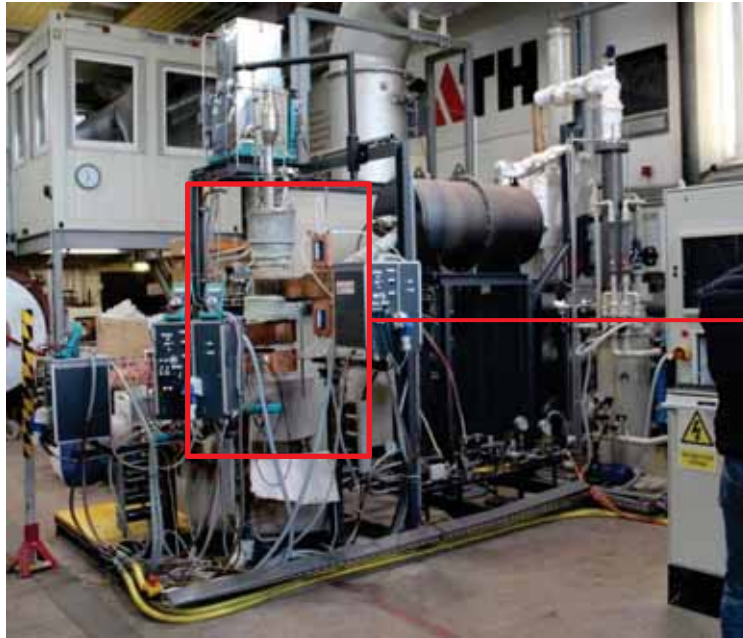


## Vergleich ausgewählter Verfahren (Herstellerangaben)

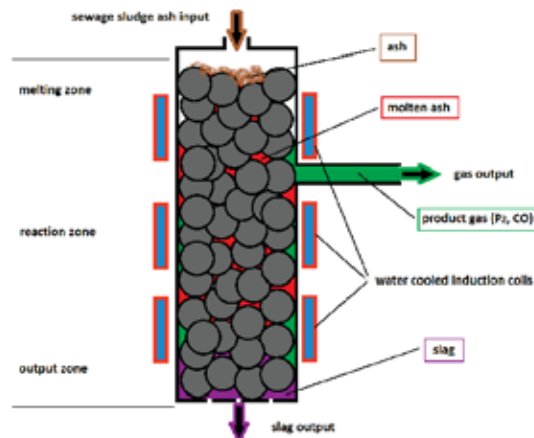
	PASCH	P-bac	Leachphos	Ash Dec	Mephrec
Produkt	Ca-Al-Mg-K- Fe-Mn- Phosphat	Fe-Phosphat, Ca-Phosphat, Polyphosphat	Al-Ca Phosphat	Na-Ca- Phosphat / Mg-Ca- Phosphat	Mephrec- Phosphat, Roheisen
P2O5 Gehalt	ca. 30 %	30-45%	ca. 30%	15 – 18%	Ca. 15%
Energiever- brauch pro Mg Asche	55 kWh	260 kWh	500 kWh	320-600 kWh	Ca. 50 kWh
Stoffströme pro Mg Asche	-20 kg Fällschlamm (SM) -650 kg Restasche -Ca. 4-9 m <sup>3</sup> Abwasser	-Restasche -Fällschlamm (SM)	Phosphorprodukt (getrocknet): 0.35 Mg Gewaschene Asche feucht: 2 Mg Abwasser: 6 m <sup>3</sup>	Max. 30 kg aus Abgas- reinigung	30-50 kg aus Abgas- reinigung
Ausbeute P	Ca. 80%	Ca. 90%	Ca. 75%	Ca. 100%	Ca. 80%
Kosten pro kg P	Ca. 5€	1,50-5 €	k.A. (<10€)	1,50-2,10€	Ca. 3€

Steinmetz et al. (2014): [https://www.efre-bw.de/lgl-internet/web/sites/default/de/Microsite\\_EFRE/Aktuelles/Galerien/Dokumente/Interkommunales\\_Pilotprojekt\\_zur\\_Phosphorrueckgewinnung.pdf](https://www.efre-bw.de/lgl-internet/web/sites/default/de/Microsite_EFRE/Aktuelles/Galerien/Dokumente/Interkommunales_Pilotprojekt_zur_Phosphorrueckgewinnung.pdf)

## Thermochemische Rückgewinnung von P - RecoPhos



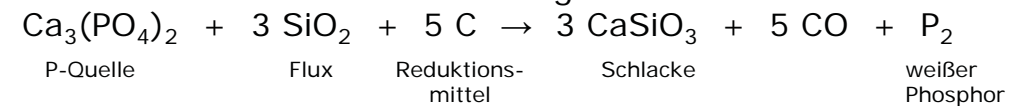
RecoPhos Versuchsanlage (bis 10 kg/h feed) (© RecoPhos)



RecoPhos Versuchsanlage Funktion InduCarb-Reaktor (Schönberg et al. 2014)

- Input: Klärschlamm-Asche (KSA), kalt, vorgewärmt oder vorgeschmolzen, Additive
- Reduktion von Phosphaten nach Wöhler zu weißem Phosphor (Gas)
- Ziel: Hochreiner Phosphor für die Industrie

InduCarb – induktiv beheizte reagierende Schüttschicht



Ergebnisse des Projekts:

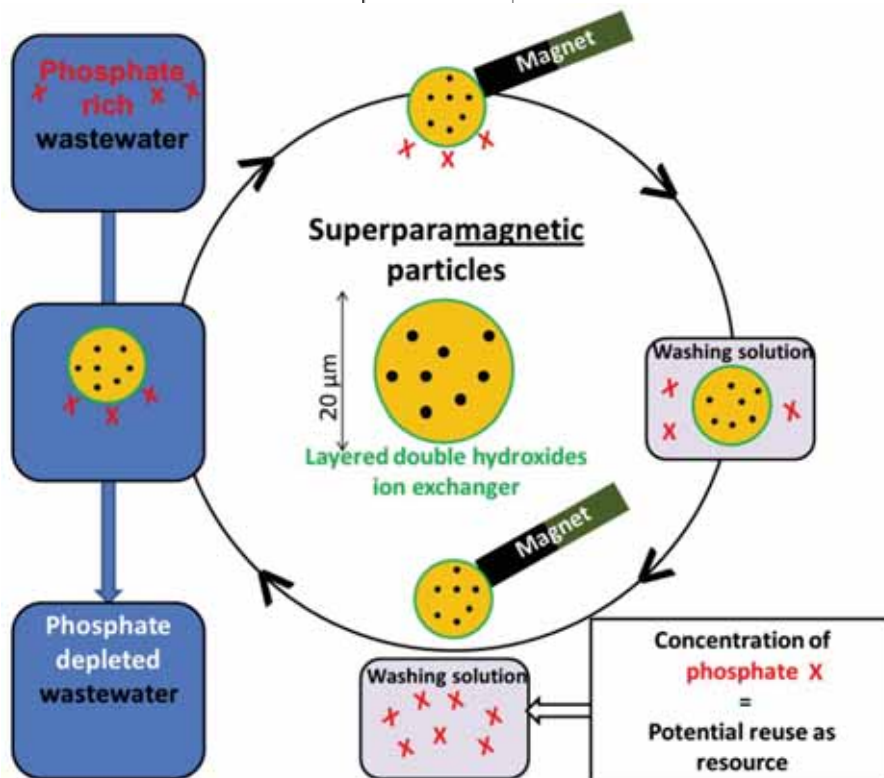
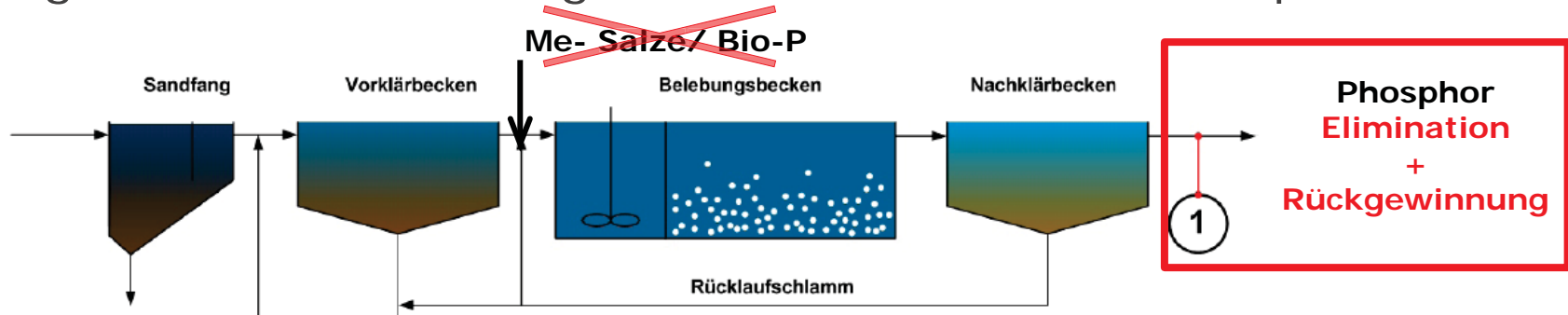
- Bis zu 99% Entfernung des Phosphors aus der Asche
- Abhängig vom Fe-Gehalt der Asche bestimmte Anteile des Phosphors in Fe-Legierung
- Bestimmte Industrieabfälle als Additive möglich
- Planung von RecoPhos 2-stufig mit vorgeschaltetem Schmelzschrift

Konsortium: Montanuni Leoben (AT), Uni Stuttgart (DE), SGL Carbon (DE), INERCO (ES), InsPyro (BE), HCPE (CH), MAL (AT), GCTU (DE)



# Weitere Entwicklungen: funktionalisierte Partikel

## Magnetische Abtrennung von mit P beladenen Mikropartikeln



- P- Rückgewinnung direkt aus dem Abwasser
- Kombination Elimination und Rückgewinnung
- Hohe Reinheit des Endproduktes (Phosphatreiche Lösung)



## Weitere Entwicklungen: NASS

- Ganzheitliche Ansätze für Ver- und Entsorgung (inkl. Abfall), mit Bezug zur Landnutzung und Energiewirtschaft
- Stoffstromorientierte Nährstoffrückgewinnung (N und P):  
Urinseparation
- Beispiel: Huber SE



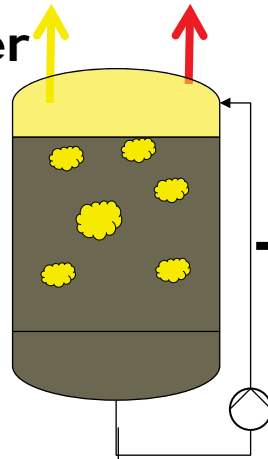
# P- Rückgewinnung aus Schwarzwasser und Urin

CSTR, Mesophil

$$Q_{\text{Biogas}} = 0,64 \text{ NI/d ca. } 70 \% \text{ CH}_4$$

**Schwarzwasser**

$$Q = 1 \text{ m}^3$$
$$P_{\text{ges}} = 110 \text{ g}$$
$$\text{PO}_4\text{-P} = 19 \text{ g}$$



**Gärrest**

$$P_{\text{ges}} = 110 \text{ g}$$
$$\text{PO}_4\text{-P} = 32 \text{ g}$$

**Urin**

$$Q = 0,3 \text{ m}^3$$
$$P_{\text{ges}} = 144 \text{ g}$$
$$\text{PO}_4\text{-P} = 123 \text{ g}$$

**P-Rückgewinnung**

**pH 2**

$$P_{\text{ges}} = 110 \text{ g}$$
$$\text{PO}_4\text{-P} = 80 \text{ g}$$

**PO<sub>4</sub>-P-Rücklösung**

**Ca. 75%**

**(NaOH)**

**MgCl<sub>2</sub>\*6H<sub>2</sub>O**

**pH 9**  
**Mg:P 1:1**

$$P_{\text{ges}} = 53 \text{ g}$$
$$\text{PO}_4\text{-P} = 2 \text{ g}$$

**201 g P MAP**





## Kriterien für Verfahrensauswahl und Bewertung

- Rückgewinnungspotenzial
- Einbindung in bestehende Infrastrukturen und Anlagen
- Volumenströme und Konzentrationen
- Bindungsformen von P und Störstoffe (TOC, Metallsalze....)
- Einsatz von Betriebsmitteln und Energie
- Auswirkungen auf bestehende Anlage (positiv/negativ)
- Betriebsstabilität und Komplexität, Flexibilität
- Produkt und Produktqualität (Rohstoff- Dünger, Düngewirkung, Nutzung weiterer Nährstoffe, Schadstoffe)
- Reststoffe
- Wirtschaftlichkeit
- Ökobilanz/Systemgrenze



## Fazit

- Zahlreiche Verfahren und Verfahrensvarianten in Entwicklung
- Nur wenige in großtechnische Umsetzung außerhalb von FP
- Verfahren weisen vielfältige Unterschiede auf:
  - Rückgewinnungspotenzial
  - Komplexität
  - Produktart und Qualität
- Das teilweise Schließen von Kreisläufen ist bereits heute technisch möglich
- Verfahrensvielfalt erforderlich, um
  - Auf unterschiedliche Randbedingungen zu reagieren
  - Flexibilität für zukünftige Entwicklungen zu ermöglichen
  - Weitere Aspekte des Ressourcen- und Umweltschutzes auch zukünftig mitbetrachten zu können



## Fazit

- Anreize und politische Vorgaben notwendig, um den Schritt in die flächendeckende Umsetzung zu schaffen
- Aktivitäten auf Bundes- und Länderebene können helfen, P-Recycling zügig voran zu bringen
- Laufende Aktivitäten positiv, z.B.
  - Koalitionsvertrag: Ende der LWS KS- Entsorgung und Rückgewinnung von P und anderen Nährstoffen
  - LAGA Berichte und AG
  - Förderprogramme (Dt. Ressourceneffizienzprogramm, BW: Förderung von großtechnischen Umsetzungen)
  - Vernetzung, Wissenstransfer, Wissensgenerierung (Dt. und europäische P-Plattform, Studien, Forschungsprojekte...)
  - Bedeutung P hervorheben, z.B. EU: Liste kritischer Rohstoffe
  - .....



# Vielen Dank



Prof. Dr.- Ing. Heidrun Steinmetz  
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Wasserrecycling  
Universität Stuttgart