

# PROCESSNET

Sitzung des Fachausschusses  
Abfallbehandlung und Wertstoffrückgewinnung

7./8.10.2010, Fichtenau-Neustädtlein

---

## Phosphorrückgewinnung im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung

---

Dr.-Ing. Christian Adam  
Dr. Franz-Georg Simon



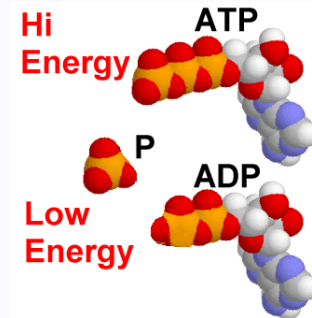
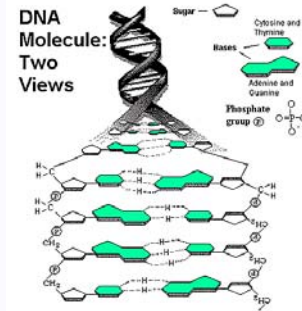
**Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung**  
Fachgruppe IV.3 Abfallbehandlung und Altlastensanierung

- Warum ist die Rückgewinnung von Phosphor wichtig?
- Einsatzmöglichkeiten der P-Rückgewinnung in der Abwasserreinigung
- Vorstellung von Verfahren zur P-Rückgewinnung
- Entwicklungsstand der Verfahren / Charakterisierung der Recyclingprodukte
- Zusammenfassung

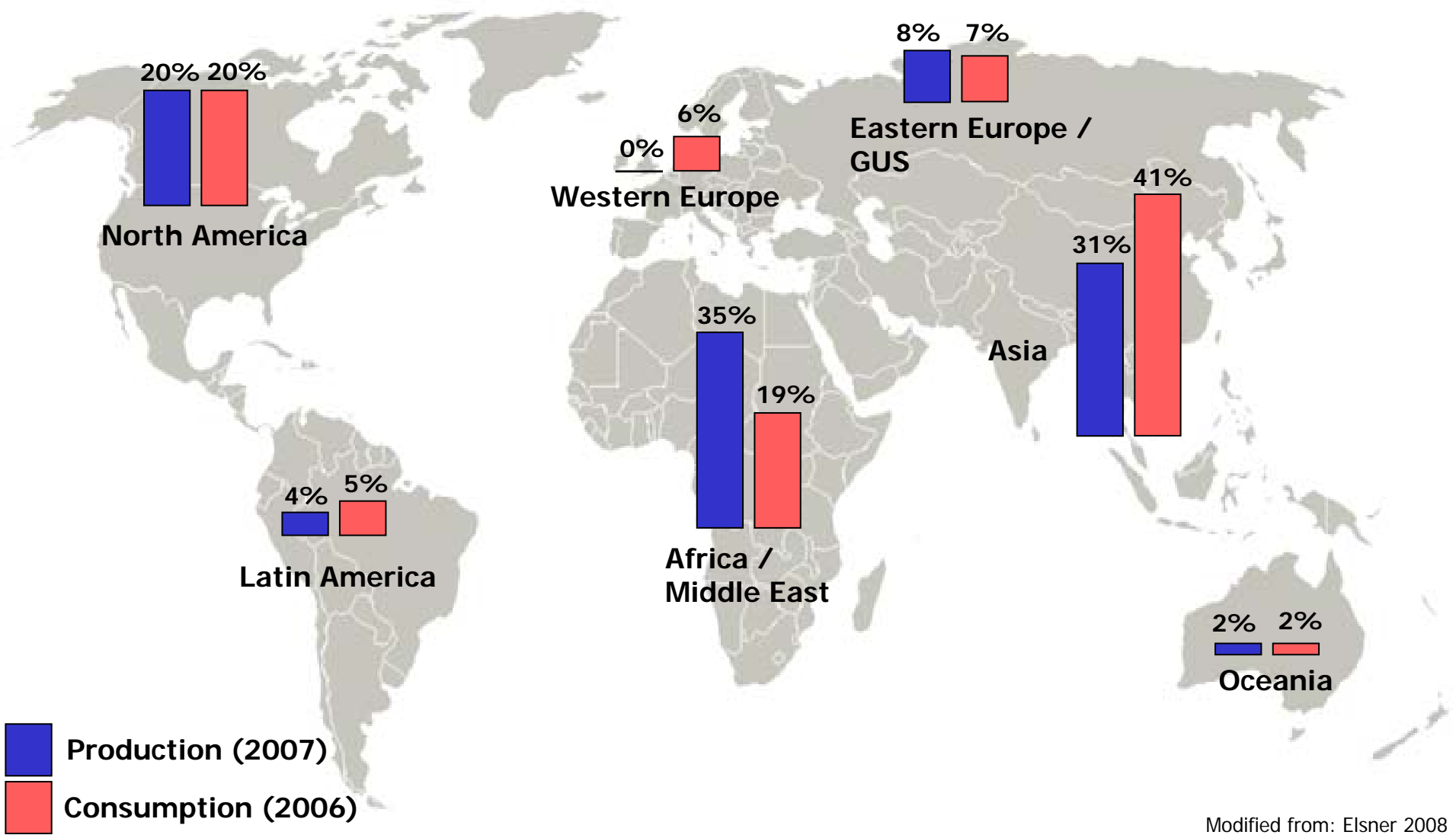
# Warum ist die Phosphorrückgewinnung wichtig?

- Phosphor ist essentiell für alle Lebewesen und kann in seinen Funktionen nicht substituiert werden
- In Deutschland werden den landwirtschaftlichen Flächen jährlich ca. 560.000 Mg P durch Ernte entzogen und müssen mindestens in dieser Größenordnung wieder zugeführt werden (Schnug, 2009)
- Zu diesem Zweck werden in Deutschland jährlich ca. 138.000 Mg P in Form von mineralischen P-Düngern aufgebracht (Wirtschaftsjahr 2007/2008; BMELV 2010)
- Phosphor ist jedoch eine endliche Ressource
- Die statische Lebensdauer der Reserven reicht derzeit noch ca. 115 Jahre (Elsner, 2008)
- Der Weltmarkt wird von wenigen Exportländern beherrscht; die EU hat keine relevanten Vorkommen
- Abwasser: Potential von mehr als 60.000 Mg P/a (D)

**Phosphorrecycling schont die natürlichen Reserven und dämpft die Abhängigkeit vom Weltmarkt**

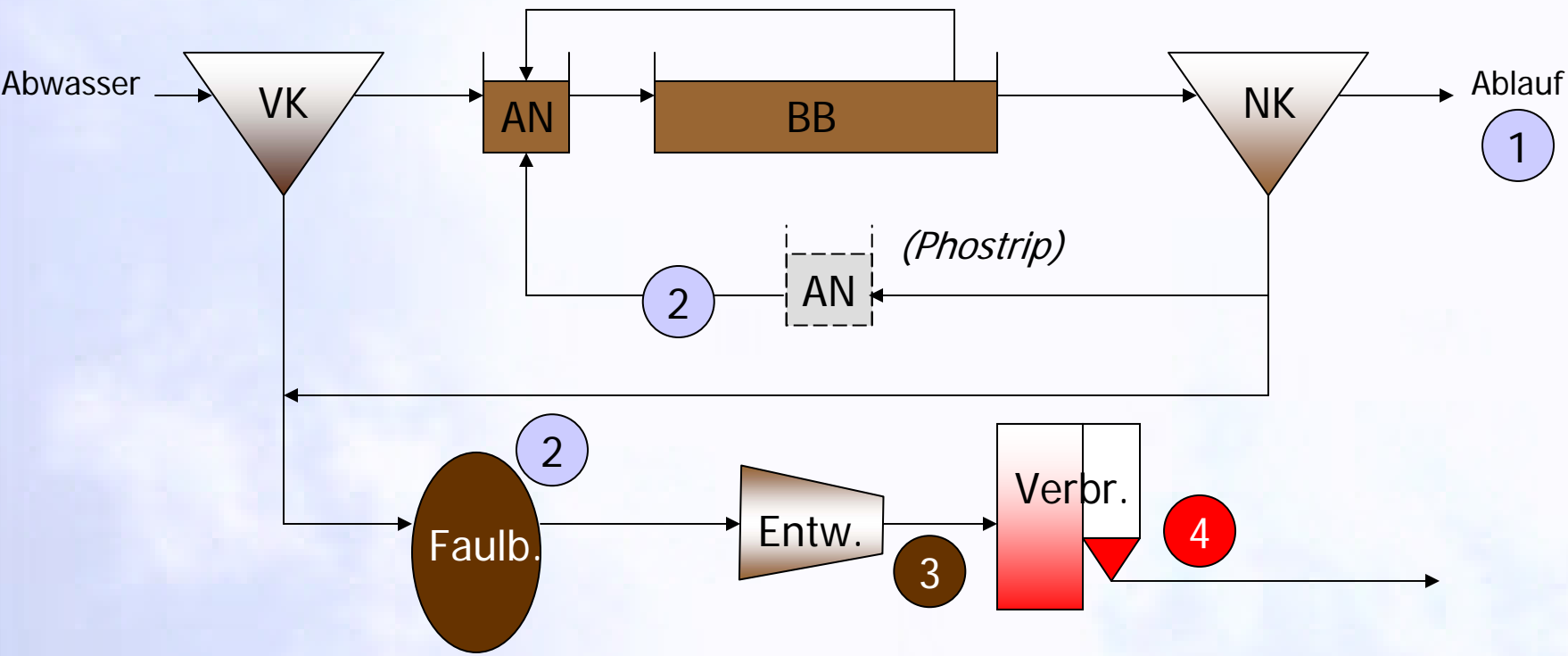


# Phosphor – Produktion und Konsum



Modified from: Elsner 2008

# Einsatzmöglichkeiten der P-Rückgewinnung in der Abwasserreinigung



- ① Ablauf der Kläranlage (Hauptstrom)
- ② Prozesswasser / Schlammwasser (Teilstrombehandlung)
- ③ Entwässerter Klärschlamm
- ④ Klärschlammmasche

# Charakterisierung der Einsatzstellen zur P-Rückgewinnung

Einsatzstelle	Volumen-/Massenstrom	Relativer Volumen-/Massenstrom	P-Konz.	Relative Aufkonzentrierung	Bindungsform	Rückgewinnungspotential bezogen auf Zulaufschlamm
<b>1</b> Kläranlagenablauf (Hauptstrom)	200 l/(E·d)	100%	< 5 mg/l	1	gelöst	max. 55 %
<b>2</b> Schlammwasser (Teilstrom)	1-10 l/(E·d)	0,5-5%	20-100 mg/l	4-20	gelöst	max. 50 %
<b>3</b> Entwässerter Faulschlamm	0,15 l/(E·d)	0,075%	~ 10 g/kg DM	2.000	biologisch- / chemisch gebunden	~ 90 %
<b>4</b> Klärschlammasche	0,03 (kg/E·d)	0,015%	64 g/kg	12.800	chemisch gebunden	~ 90 %

Modifiziert aus: David Montag 2008, Dissertation, RWTH Aachen

# Vorstellung von Verfahren / Entwicklungen zur P-Rückgewinnung

## Wässrige Phase: Abwasser (behandelt) oder Schlammwasser

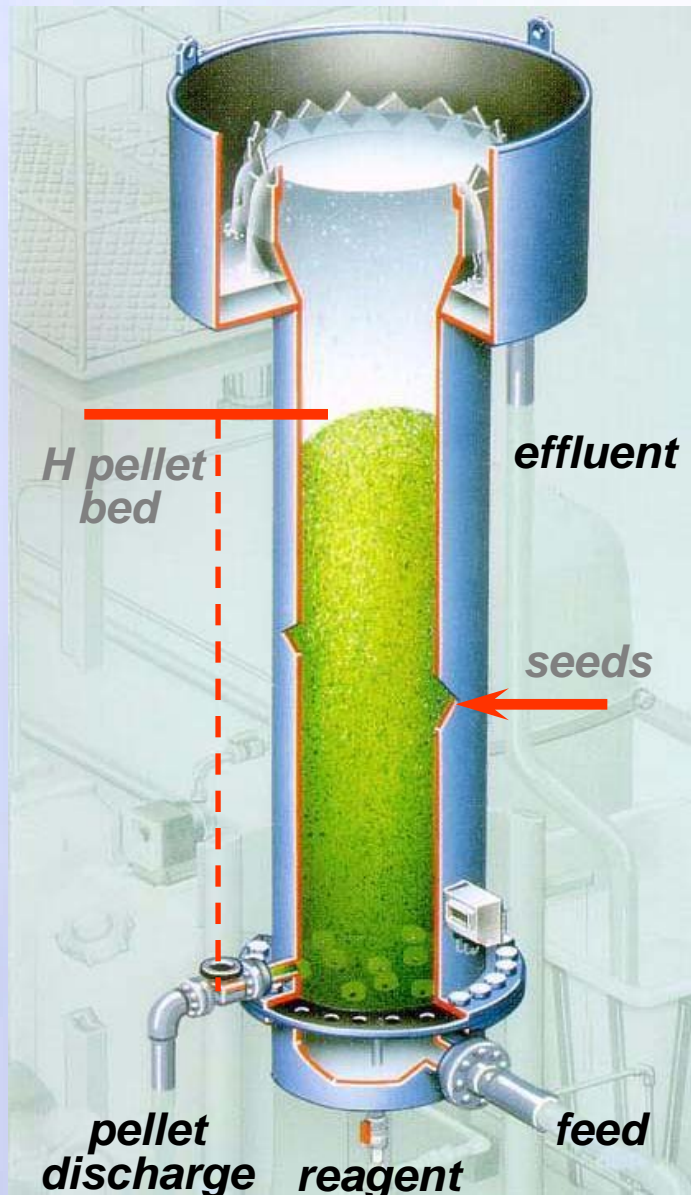
- Kristallisation**
- DHV-Crystalactor<sup>®</sup> (*Giesen und De Boer, 2003*)
  - Unitika PHOSNIX<sup>®</sup> (*Ueno und Fujii, 2001*)
  - Ostara PEARL<sup>™</sup> (*Esemag, 2006*)
  - CSH-Verfahren Darmstadt (*Petzet, 2009*), P-ROC-Verfahren (*Berg, 2005*)
- Fällung**
- Verfahren der Berliner Wasserbetriebe / AirPrex (*Heinzmann, 2008*)
  - PRISA-Verfahren (*Pinnekamp und Montag, 2007*)

## Entwässerter (oder getrockneter) Klärschlamm

- Nasschemisch**
- Seaborne-Verfahren bzw. Gifhorn-Verfahren (*Versterager, 2003; Müller, 2005*)
- Thermisch**
- Mephrec-Prozess (*Scheidig et al., 2009*)

## Klärschlammasche

- Nasschemisch**
- BioCon-Verfahren (*Hultman et al., 2003*)
  - SEPHOS-/ SESALPHOS Verfahren (*Cornel und Schaum, 2005*)(*Petzet und Cornel 2010*)
  - PASCH-Verfahren (*Montag et al., 2008; Pinnekamp et al., 2007*)
- Thermisch**
- BAM-/ASH DEC-Verfahren (EU-Projekt SUSAN) (*Adam, 2009; Hermann, 2009*)
  - Phosphorproduktion (Thermphos) (*Korving und Schipper, 2009*)

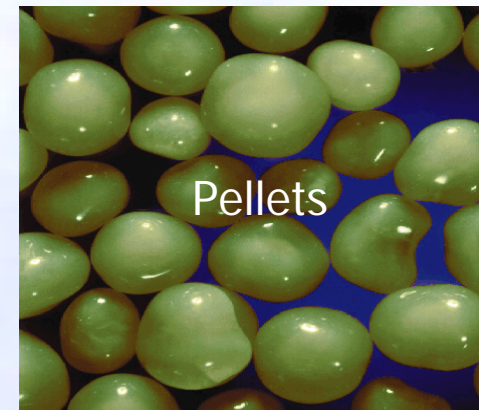


## Reaktor

- Kristallisation in einem Pelletreaktor (Wirbelschicht)
- Sand als Kristallisationskeime
- Pellets werden im laufenden Betrieb abgezogen
- Runde Pellets von 0,8-1 mm, praktisch wasserfrei
- Anteil des Kristallisationskeims <5%

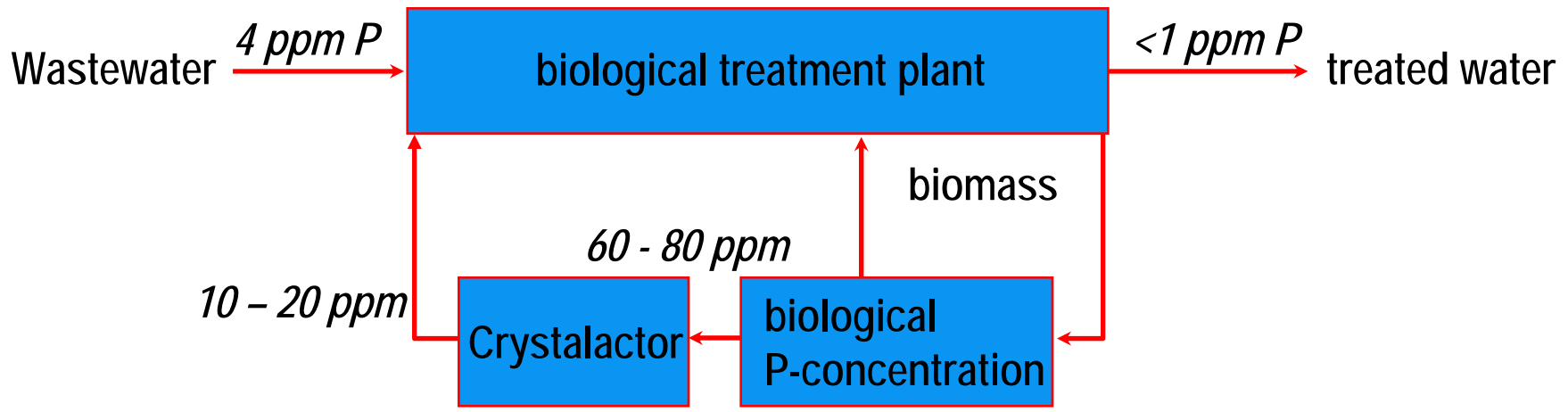
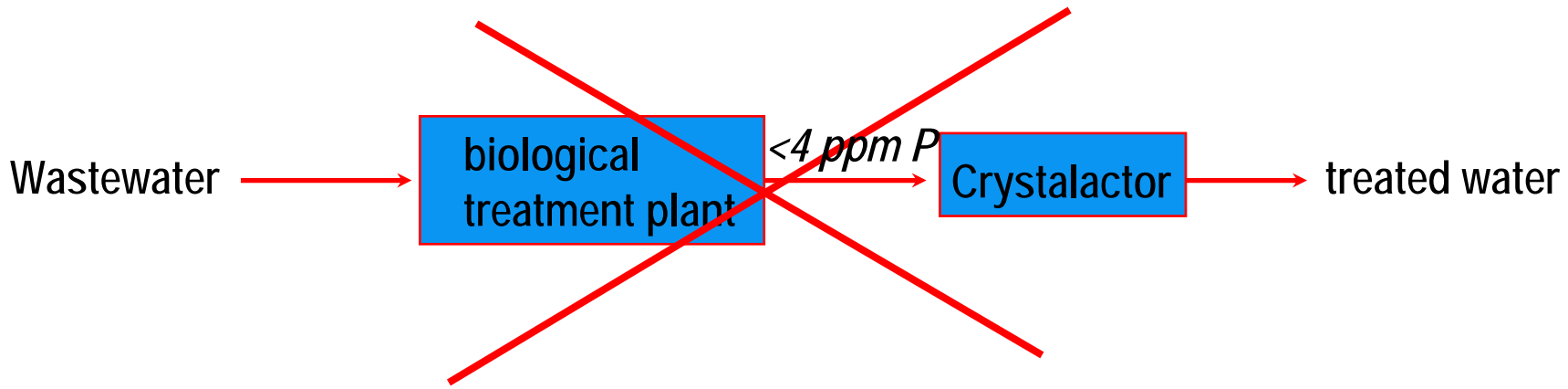
## Mögliche P-Verbindungen

- Calciumphosphate  
 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
- Magnesiumphosphate  
 $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$
- Kaliummagnesiumphosphat  
 $\text{K Mg PO}_4$
- Magnesiumammoniumphosphat  
 $\text{Mg NH}_4 \text{PO}_4$  (MAP)

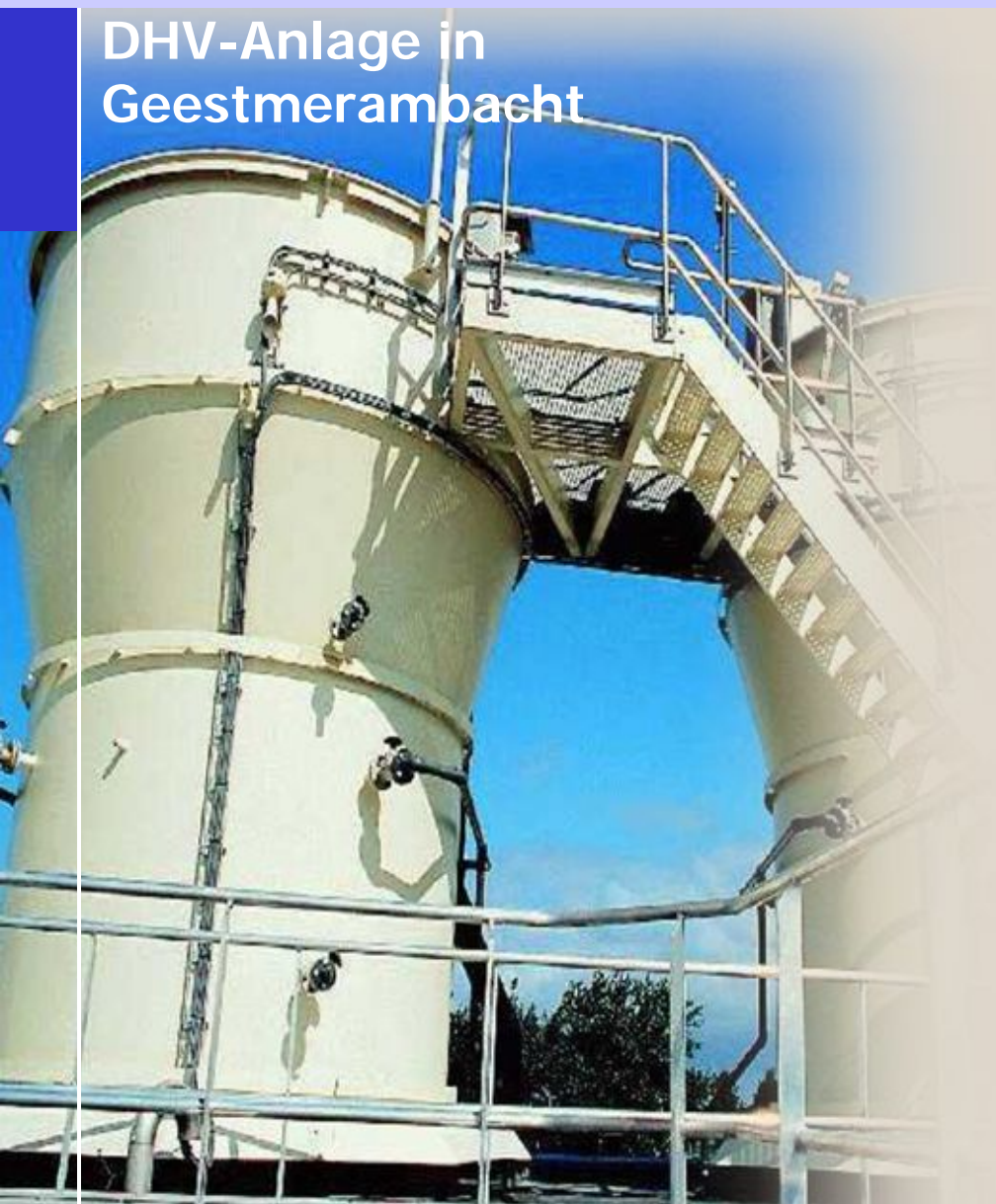




# Einbindung des Crystalactor in die Kläranlage



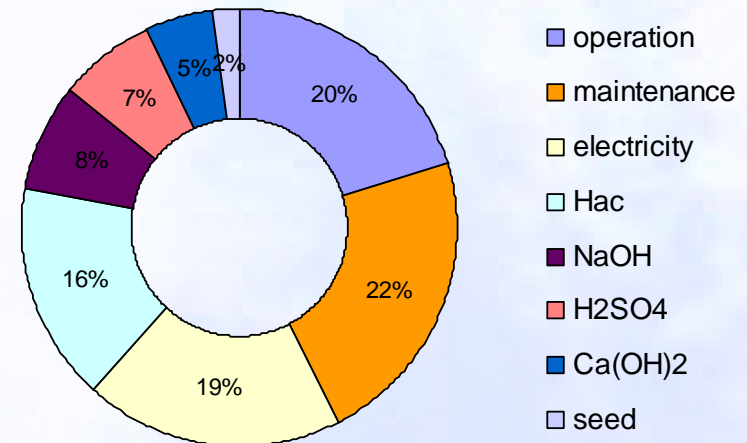
## DHV-Anlage in Geestmerambacht



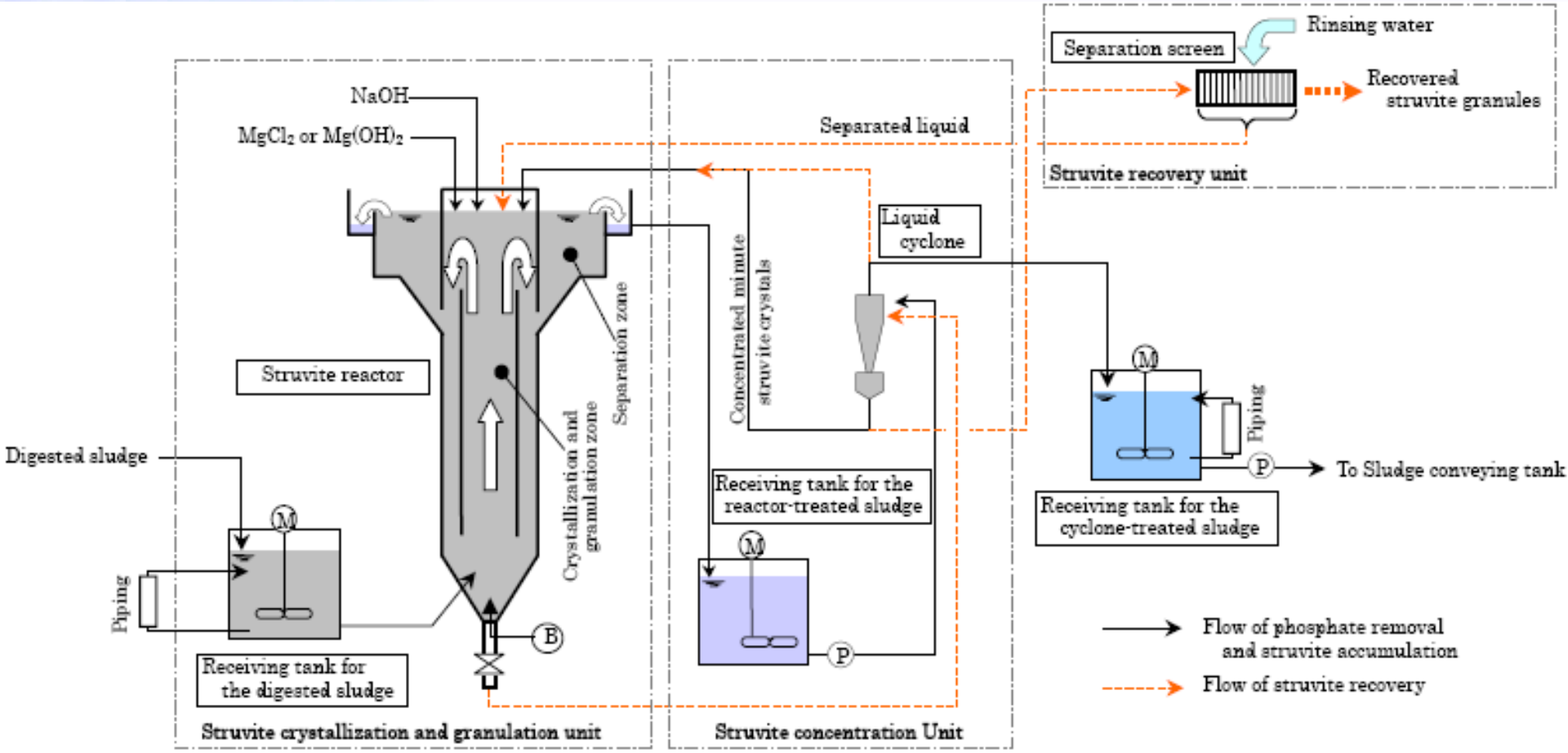
- Crystalactor in Bio-P Kläranlage
- Kapazität: 230.000 EW;  $\dot{V}_{\max} = 250 \text{ m}^3/\text{h}$
- Design: 60-80 → 15-20 mg P/l
- Produkt:  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  Pellets
- Verwendung in der Phosphatindustrie  
(Thermphos, Phosphor elektrothermisch)

Kosten: 6-7 €/kg P

### Betriebskostenaufteilung



Quelle: Giesen, 2006



Quelle: <http://www.unitika.co.jp/e/products/envi-bis/water/seihin.html> (Zugriff am 21.07.2009)

Anlage im  
Lake Shinji Eastern Clarification Center  
der Shimane Prefecture (SECC)

- Zulauf 500 m<sup>3</sup>/d; 100-110 mg P/l
- Ablauf 10 mg P/l (90% Elimination)
- Reaktor:  
Höhe: 9 m  
Durchmesser: 1,43 m bzw. 3,6 m

## MAP aus Kristallisationsreaktor

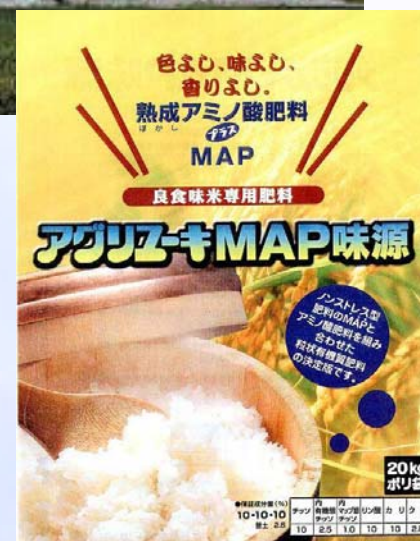
Pellets 0,5-1 mm

N 6%

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 30%

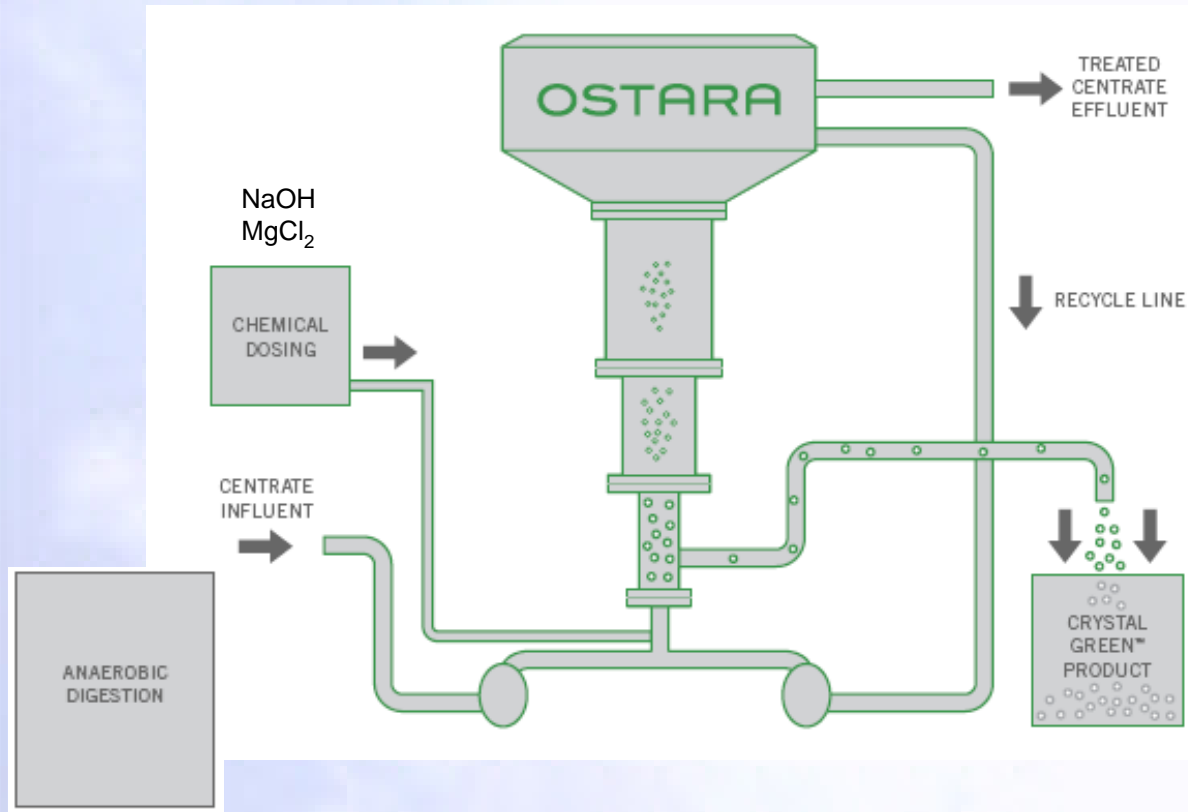
Mg 16%

wird für ca. 250 EUR/t  
an die Düngemittel-  
Industrie verkauft



Spezialdünger für Reis mit 20% MAP

# Ostara PEARL™ (Kanada)



- Großtechnische Anlage seit Mai 2007 in Betrieb (Edmonton, Kanada)
- Behandlung von 500.000 l/d unter Entfernung von 80% P und 15% NH<sub>4</sub>
- Produktion von 500 kg/d MAP (Crystal Green™)
- Das gewonnene MAP (Reinheit >97%) wird in der Landwirtschaft eingesetzt ("slow release fertiliser")

Quelle: [http://www.ostara.com/files/u1/Ostara\\_Brochure.pdf](http://www.ostara.com/files/u1/Ostara_Brochure.pdf) (Zugriff 21.07.2009)

# CSH-Verfahren der TU Darmstadt (Deutschland)

1. Frisches CSH  
(Calcium-Silikat-Hydrat)



2. Zugabe von CSH zu  
Klärschlamm (ÜSS)



3. Anaerobe  
Behandlung



6. Recycling Produkt  
P-beladenes CSH



5. Wäsche des CSH



4. Separation des P-  
beladenen CSH und  
des P-abgereicherten  
Klärschlammes



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Quelle: Petzet und Cornel, 2009

- Grundprozess P-ROC wurde am Forschungszentrum Karlsruhe entwickelt (Berg, 2005)
- CSH gibt  $Ca^{2+}$  Ionen ab  $\Rightarrow$  Kristallisation von Hydroxylapatit oder Brushite an der Oberfläche
- TU Darmstadt: P-Aufnahme direkt in der anaeroben Faulung von Klärschlamm (ÜSS)

- Bio-P Schlamm funktioniert am besten (Fe-Schlämme weniger geeignet)
- Reiner Klärschlamm (ÜSS) besser als die Mischung mit Primärschlamm
- Verfahrensvorschlag: erst Anaerobbehandlung ÜSS (Bio-P) mit CSH, dann Faulung des P-abgereicherten ÜSS zusammen mit dem Primärschlamm
- Gesamt P-Rückgewinnung ca. 30% der Zulauffracht
- P-Gehalt im Produkt 8-9% P (20 Tage HRT)
- Kosten CSH: 0,4 €/kg
- Produktkosten: ca. 5 €/kg P (nur CSH-Kosten berücksichtigt)
- Einwohnerspezifische Kosten: 0,8-1 €/E\*a (nur CSH-Kosten berücksichtigt)

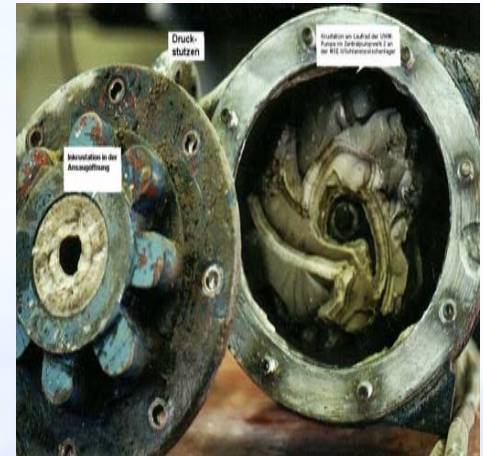


TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

*Quelle: Petzet und Cornel, 2009*

# Verfahren der Berliner Wasserbetriebe (Deutschland)

- In der KA Waßmannsdorf (Bio-P) wurden massive Inkrustationsprobleme im Bereich der Faulbehälter festgestellt (1994)
- Ein neu in Betrieb genommenes Zentratpumpwerk setzte sich jeweils innerhalb von 2 Wochen zu und musste mechanisch von den Inkrustationen befreit werden
- Die Beläge wurden als Magnesiumammoniumphosphat (MAP) mit geringen Mengen an Calciumphosphaten identifiziert



Fußkrümmer DN 80 der Pumpe 2 nach 319 Betriebsstunden und Saugstutzen nach 180 Betriebsstunden des Zentratpumpwerkes

Sediment im Faulschlammvorlagebehälter

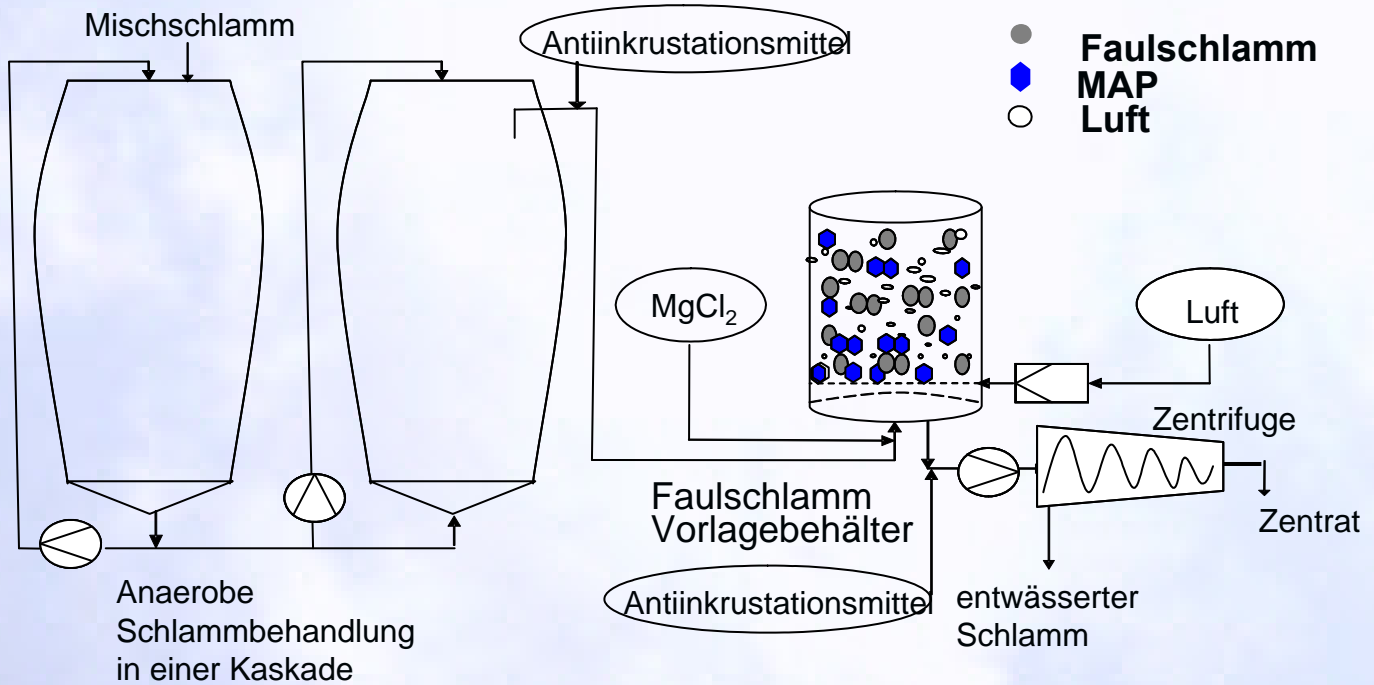
Ansaugöffnung und Laufrad

Quelle: Heinzmann, 2008

# Verfahren der Berliner Wasserbetriebe



- Maßnahme: gezielte Fällung von MAP in einem separaten Reaktor
- Strippen von CO<sub>2</sub> mit Luft führt zur pH-Wert Anhebung
- Dosierung von MgCl<sub>2</sub> ⇒ Fällung von MAP



Quelle: Heinzmann, 2008

# Verfahren der Berliner Wasserbetriebe

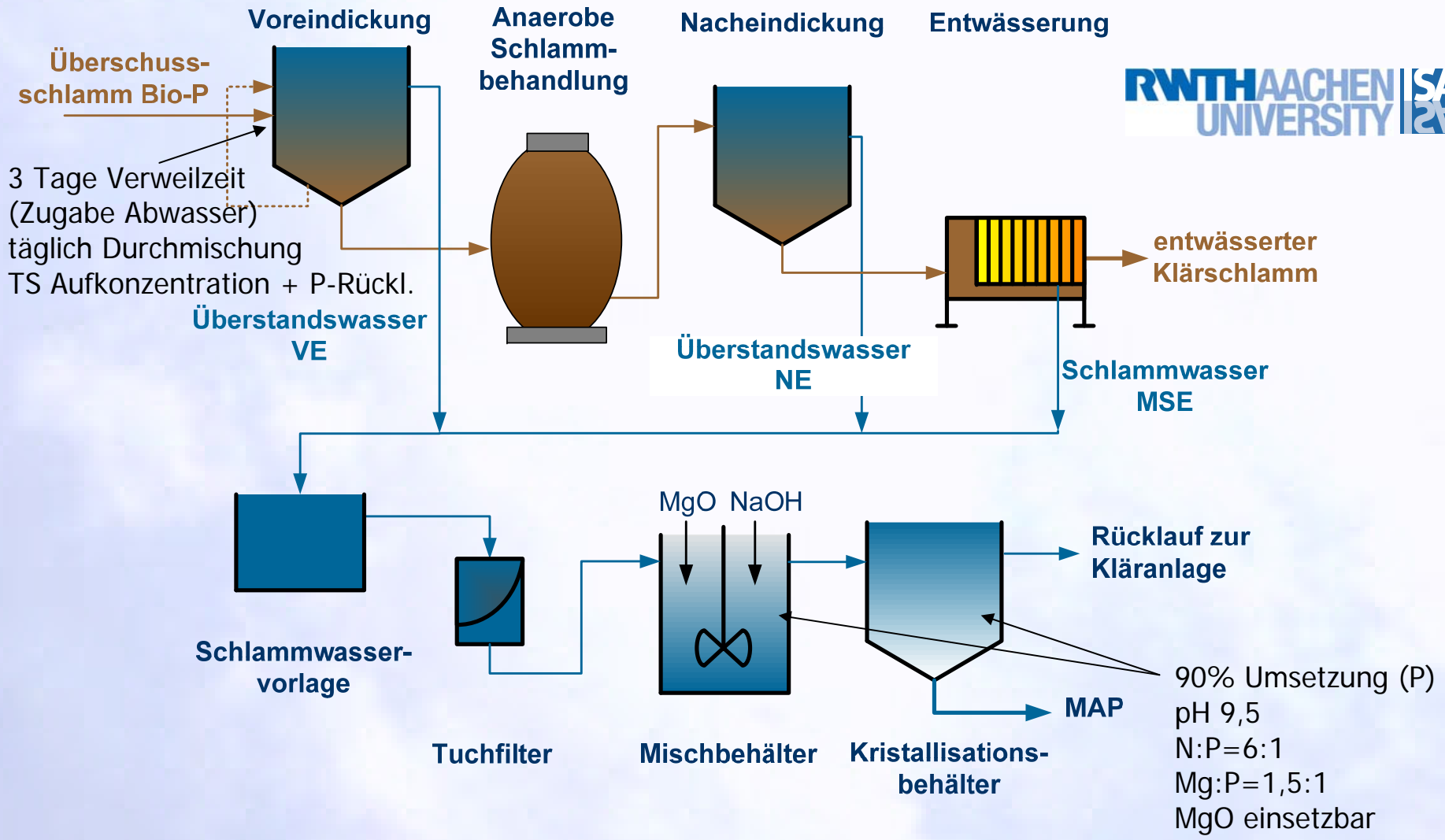
## Optimierter Faulschlammvorlagebehälter (AirPrex MAP-Verfahren, P.C.S GmbH)



### Vorteile

- Verbesserung der Schlammentwässerung
- Reduktion der P-Rückbelastung um 80-90%
- Vermeidung von Inkrustationen

# PRISA-Verfahren der RWTH Aachen (Deutschland)



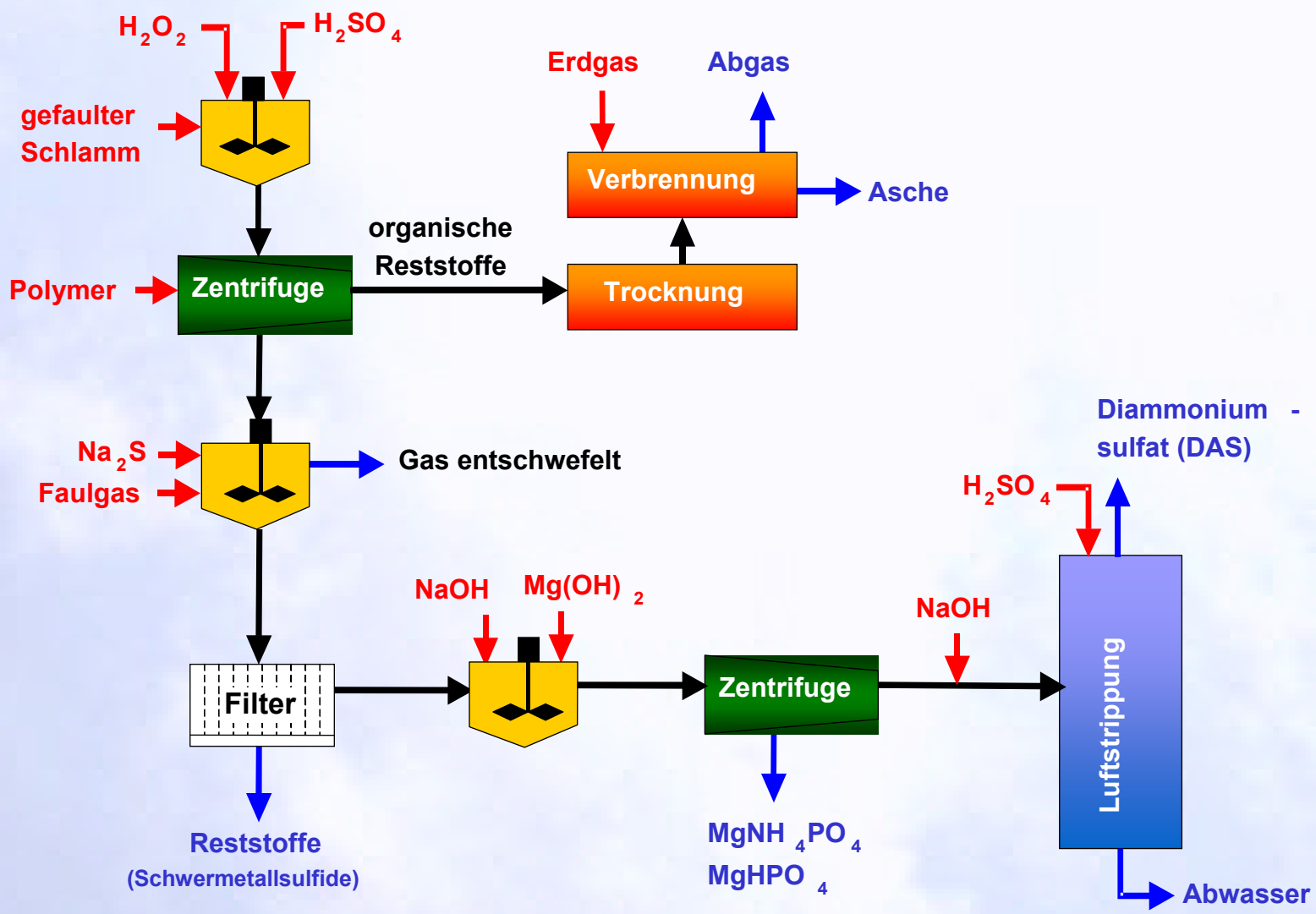
Quelle: David Montag, 2009



- Kurzfristig umsetzbar auf Bio-P Kläranlagen
- Gesamt P-Rückgewinnung ca. 30% der Zulauffracht
- Produktkosten: 0,77-0,92 €/kg MAP bzw. 6,1-7,3 €/kg P
- Einwohnerspezifische Kosten: 1,3-1,6 €/E\*a
- Erhöhung der Abwasserbehandlungskosten: ca. 0,04 €/m<sup>3</sup>

*Quelle: David Montag, 2009*

# Seaborne-Verfahren – Umsetzung KA Gifhorn (Deutschland)



# Seaborne-Verfahren – Umsetzung KA Gifhorn



Hallenabmessung:	Länge: 43 m Breite: 38 m Höhe: 9 m
Prozessbehälter:	24 Edelstahlbehälter 480 m <sup>3</sup> Gesamtvolumen
Chemikalienbehälter	7 Kunststoffbehälter 70 m <sup>3</sup> Gesamtvolumen
Durchsatzleistung:	max. 140 m <sup>3</sup> /d Biomasse (3% TS) entspr. 4.200 kg TS/d
Input Bioreaktor:	60 m <sup>3</sup> /d Primärschlamm 40 m <sup>3</sup> /d Überschussschlamm 20 m <sup>3</sup> /d Fette
Input KS-Aufbereitung:	120 m <sup>3</sup> /d Gärsubstrat N <sub>ges</sub> : 1.800 mg/l P <sub>ges</sub> : 1.000 mg/l
Output KS-Aufbereitung:	ca. 1.300 kg/d mineral./org. N-P-Dünger ca. 1.800 kg/d flüssiger N-Dünger
Gesamtkosten	7,557 Mio EUR (50% Landesmittel)

Quelle: Bayerle, 2008

Anlage wird seit Anfang 2007 kontinuierlich betrieben

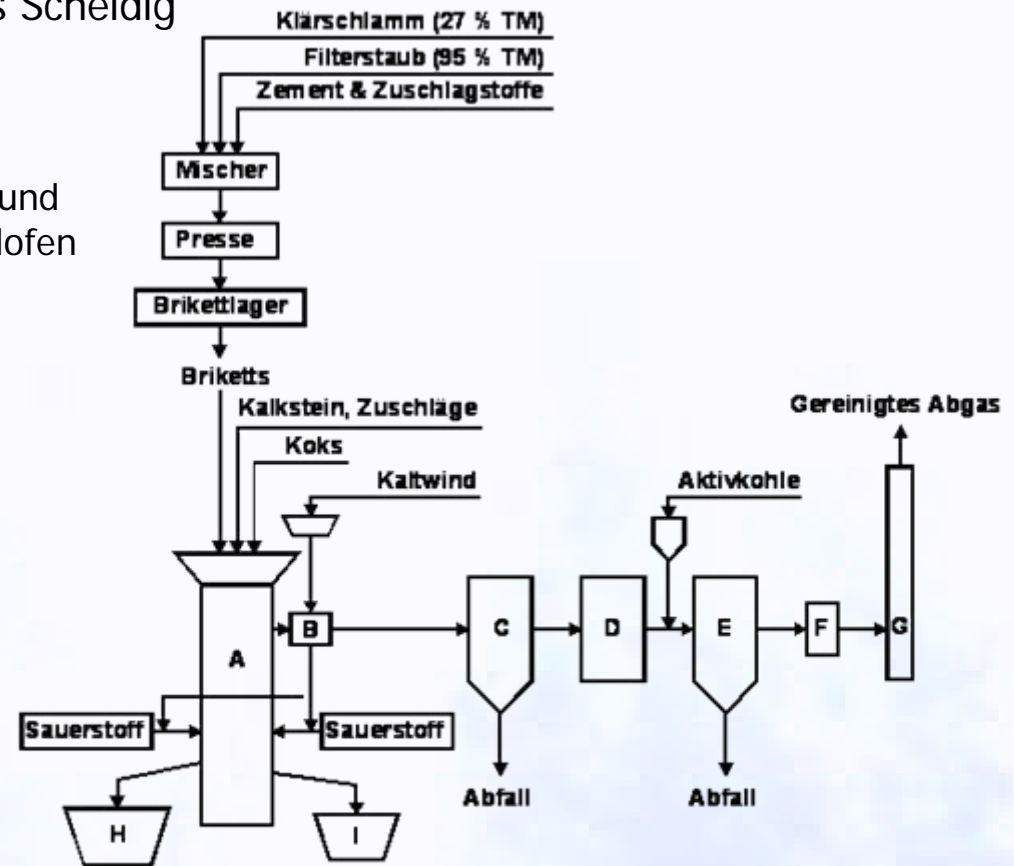
# Mephrec-Prozess, Ingitec (Deutschland)

## Mephrec-Prozess, Ingitec, Dr. Klaus Scheidig

- **Input:** Klärschlamm, Klärschlammmasche, Tiermehlasche
- **Verfahren:** Brikettierung der Abfallstoffe und anschließend Schmelz-Vergasung im Kupolofen
  - T bis zu 2000 °C
  - Abstich P-Schlacke bei 1450 °C
  - Fe, Cu, Cr, Ni gehen in Metallphase
  - Zn, Cd, Hg gehen in das Abgas
- **Produkt:** 4,6-12 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (>90% citrsl.); Ähnlichkeit zu Thomasmehl; vermutlich Kalksilico-Phosphate

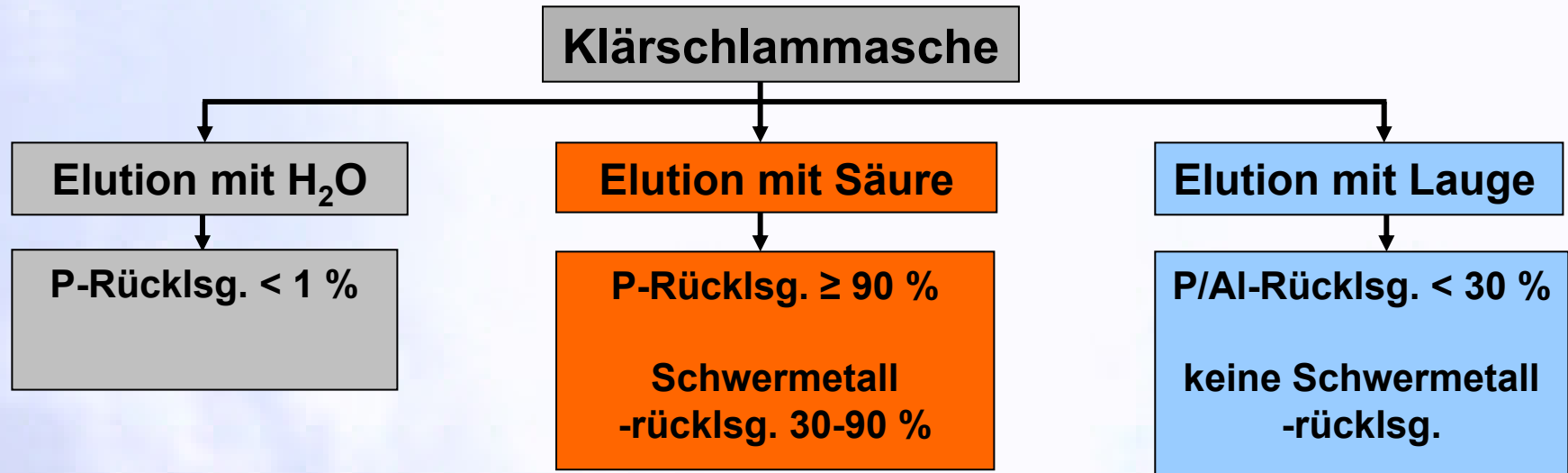


Es liegt keine Kostenabschätzung für das Verfahren vor

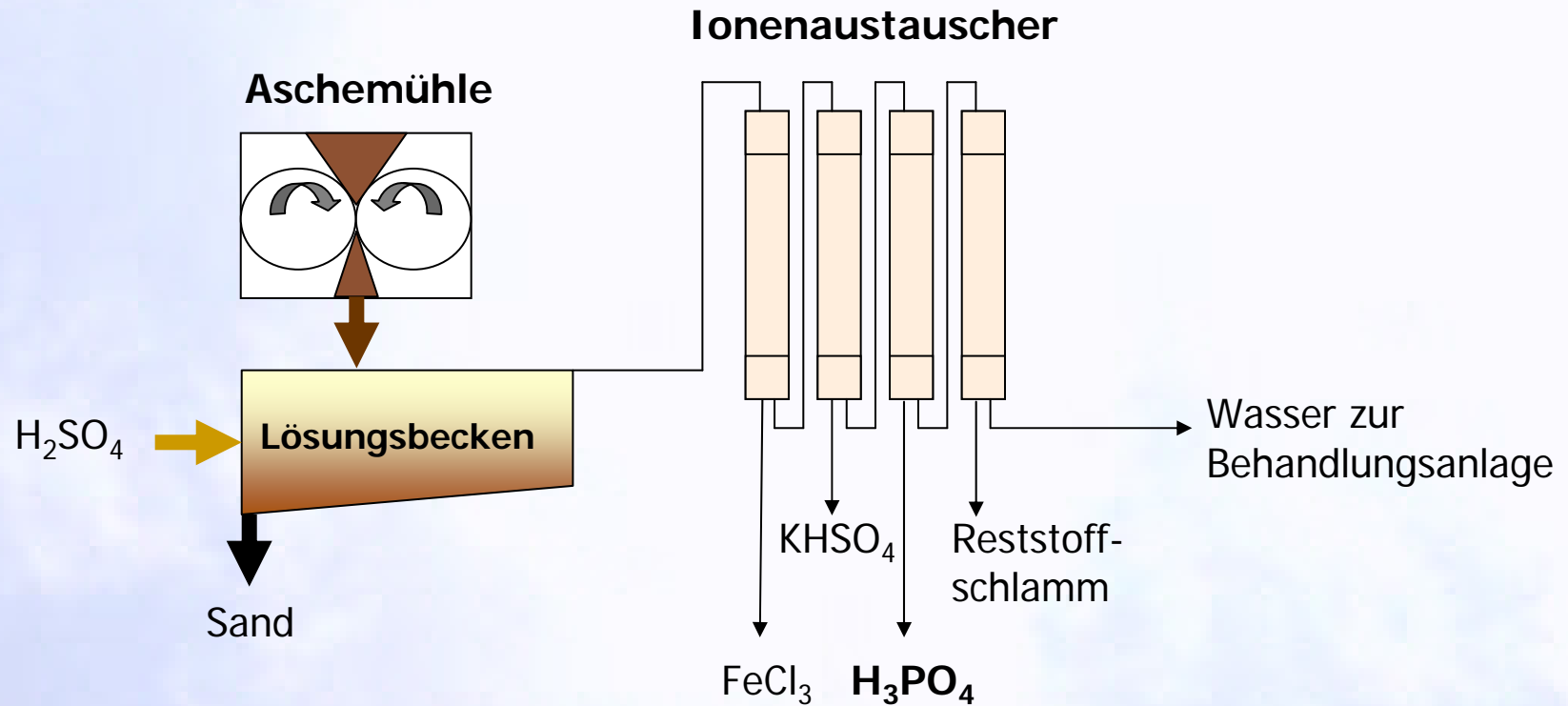


### Legende

A	Schachtofen	F	Abgasanalyse - Abgaskontrolle
B	vollständige Nachverbrennung / Rekuperator	G	Abgasschornstein
C	Gaswäsche / Sprühabsorber	H	flüssige Schlacke / Granulierung im Wasserbad
D	Nacherwärmung	I	Flüssigmetall / Kokille
E	Gewebefilter		



- BioCon-Verfahren, PM Energie (DK), Pilotanlage in Aalborg,
- SEPHOS-SESALPHOS Verfahren, TU Darmstadt (D), Laboruntersuchungen,
- RüPA-/PASCH-Verfahren, RWTH Aachen (D), Laboruntersuchungen,

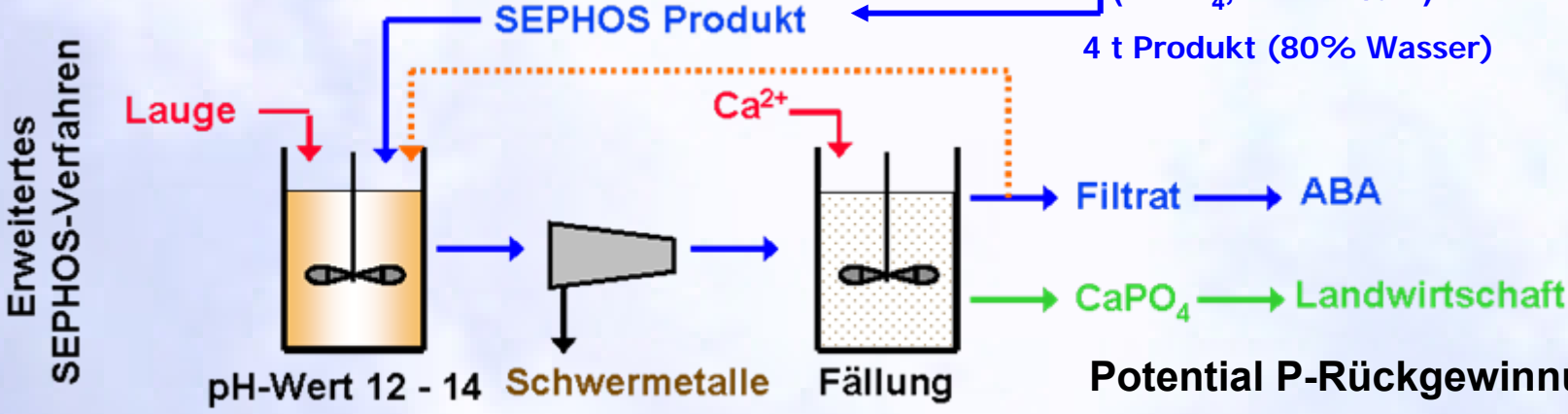
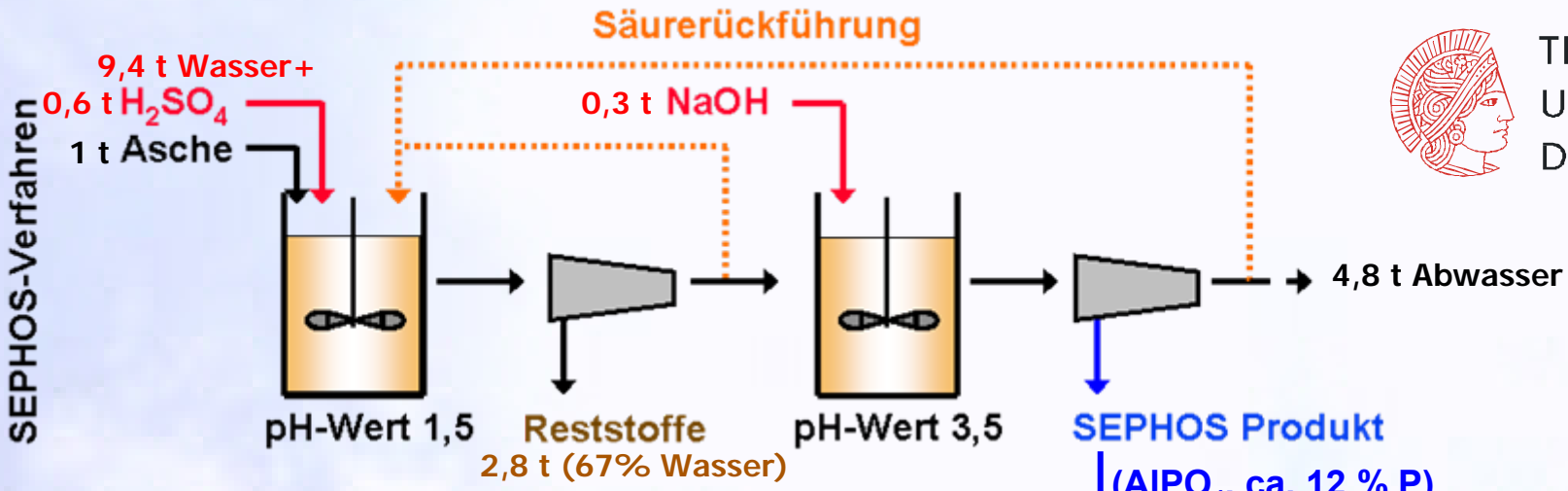


- Anlage wurde im Technikummaßstab auf der Kläranlage Aalborg betrieben (Hultman, 2001)
- Installation einer großtechnischen Anlage in Falun (Schweden) wurde diskutiert, jedoch nie umgesetzt (Hultman, 2003)
- Eine Kostenabschätzung liegt für das Verfahren nicht vor

# SEPHOS-Verfahren der TU Darmstadt (Deutschland)



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

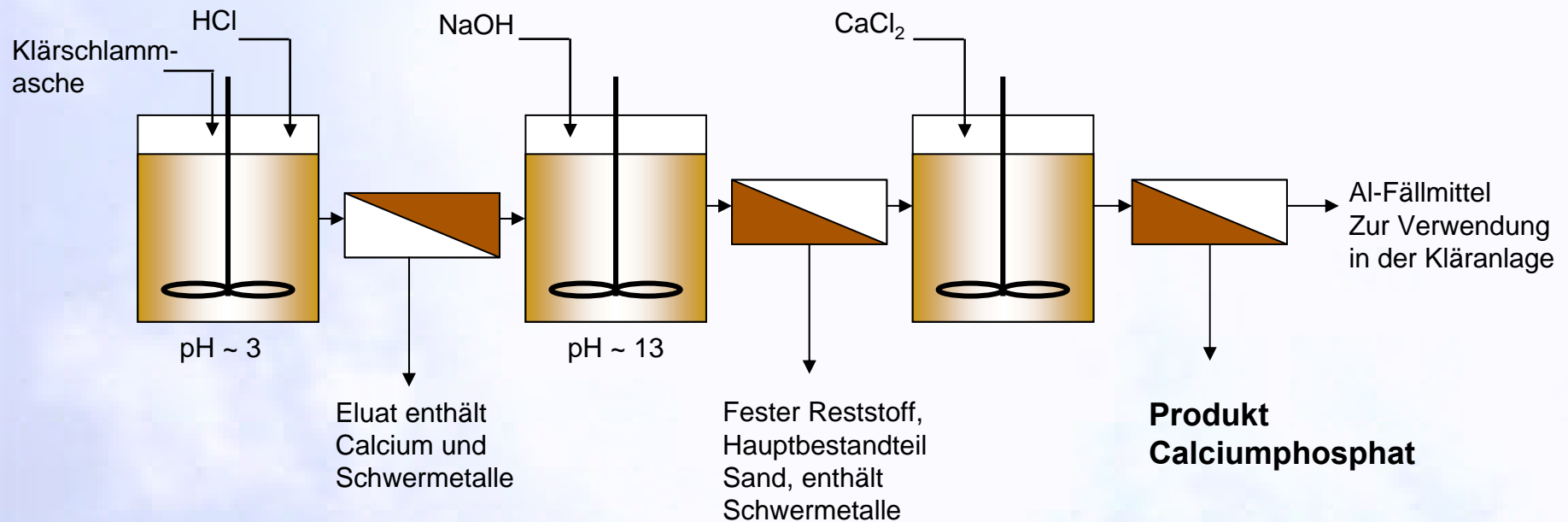


**Potential P-Rückgewinnung ca. 80%**  
Das gefällte Ca-P liegt vermutlich als  $Ca_3PO_4$ , zum Teil aber auch als Hydroxylapatit vor

(auf eine Kostenabschätzung wurde verzichtet)

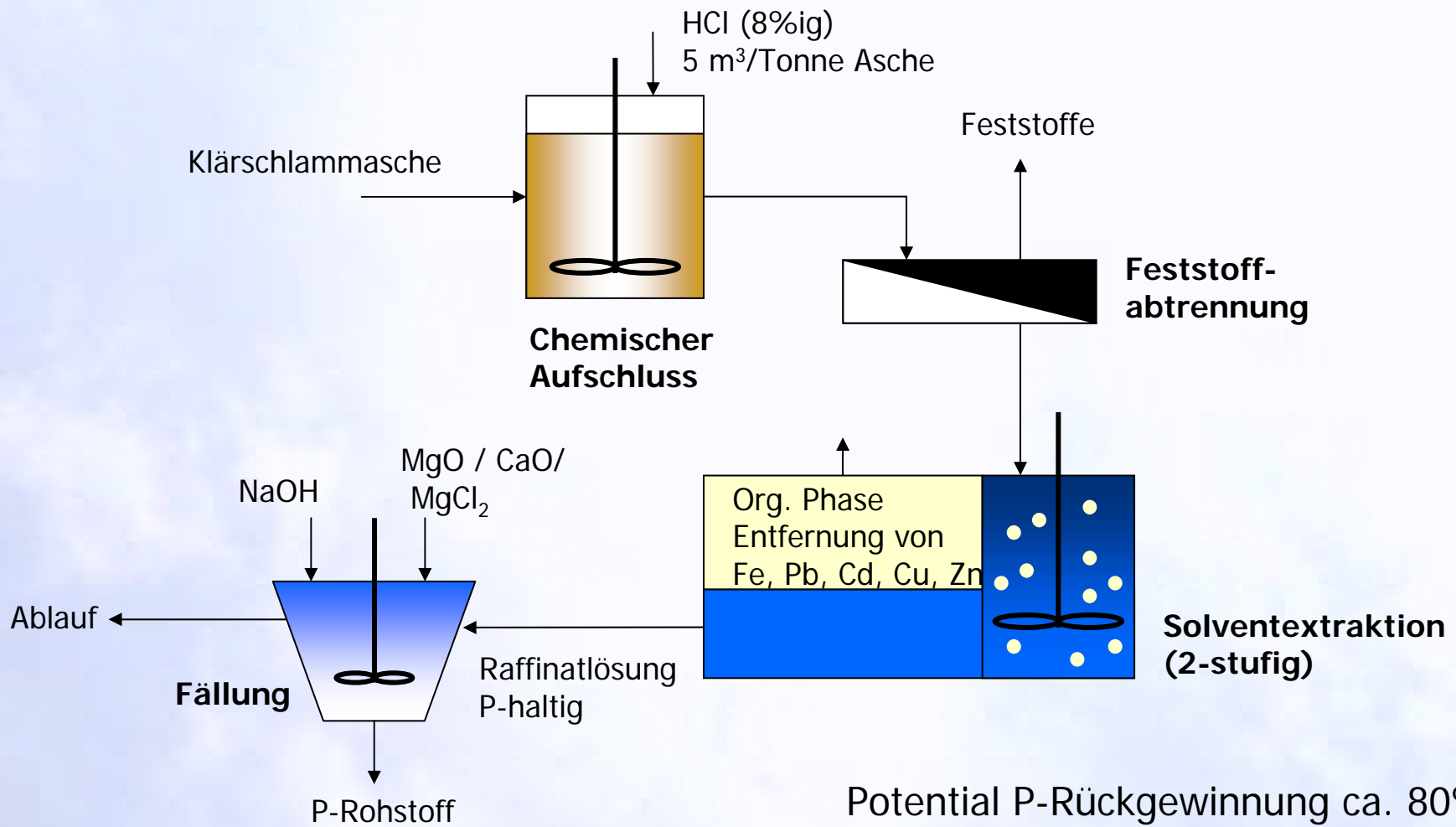
Quelle: Schaum, 2008

# SESALPHOS-Verfahren der TU Darmstadt (Deutschland)



- Rücklösung von Schwermetallen bei pH3 und Umlagerung von Ca-P zu Al-P
- hierbei wird nur ein Viertel an Säure im Vergleich zum SEPHOS-Verfahren (pH 1,5) benötigt
- Lösen des Al-P in Lauge und gleichzeitig Fällung und Abtrennung der Schwermetalle (Hydroxide)
- Fällung von Ca-P
- Produkte sind Calciumphosphat als Düngemittelausgangsstoff und Aluminiumchlorid für die Kläranlage
- Topfversuche mit dem Calciumphosphat werden derzeit durchgeführt
- Eine Kostenabschätzung für das Verfahren liegt bisher nicht vor

# PASCH-Verfahren der RWTH Aachen (Deutschland)



Ca-P  
 Mg-P  
 Ca-/Al-P

Zusammensetzung?  
 Mineralische Phasen?  
 Bioverfügbarkeit bestätigt

Potential P-Rückgewinnung ca. 80%  
Kostenabschätzung: 5,30 € / kg P

Quelle: David Montag, 2009

## Thermochemische Phosphorrückgewinnung im Drehrohrofen

(BAM, ASH DEC Umwelt AG)



Untersuchungen im Rahmen des EU-Projekts SUSAN – “Sustainable and Safe Re-Use of Municipal Sewage Sludge for Nutrient Recovery”

**Potential P-Rückgewinnung ~90%**

Kostenschätzung

(thermochemisches Verfahren):

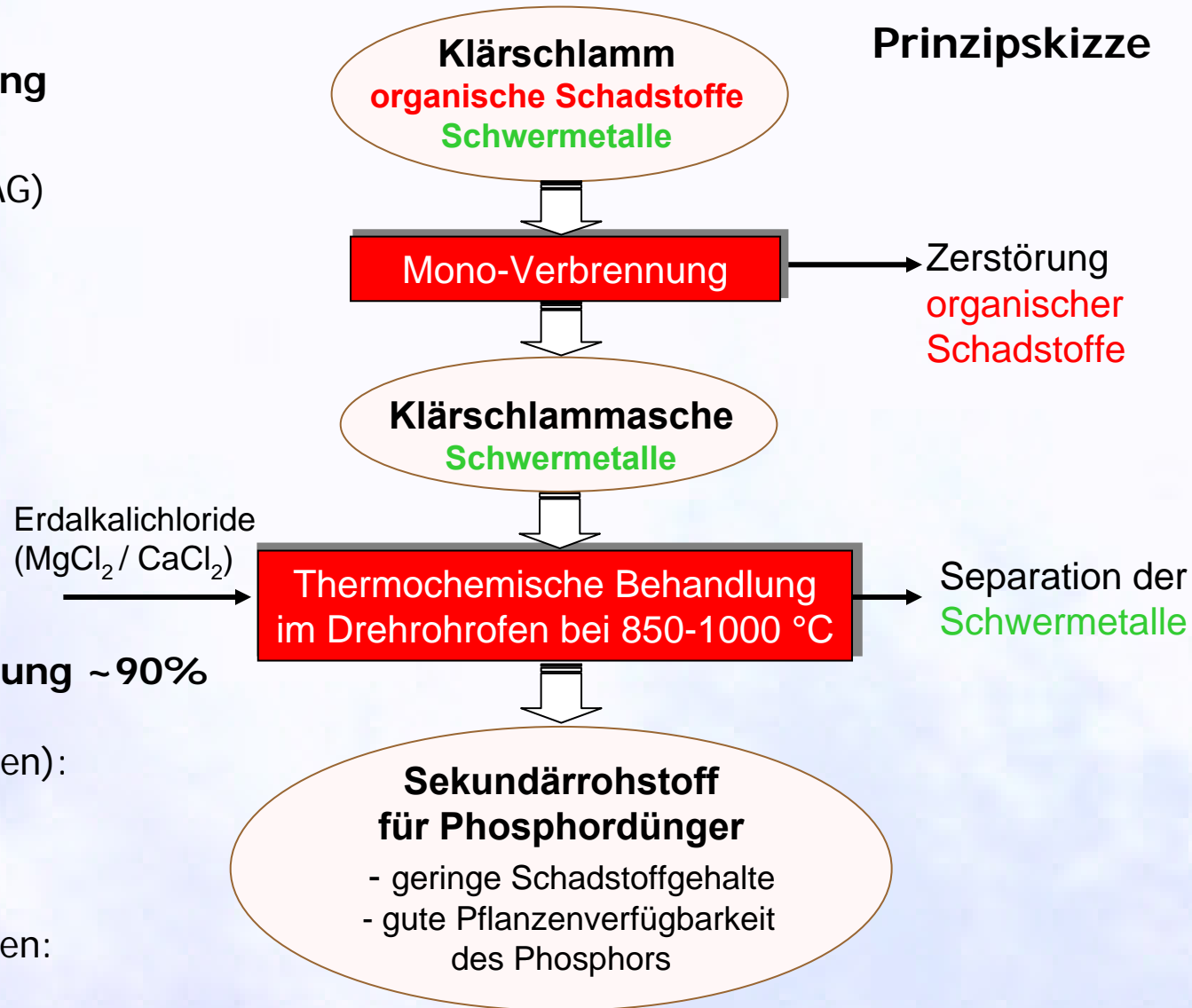
ca. 180 €/Mg

bzw. **ca. 2,3 €/kg P**

Anvisierte Anlagenkapazitäten:

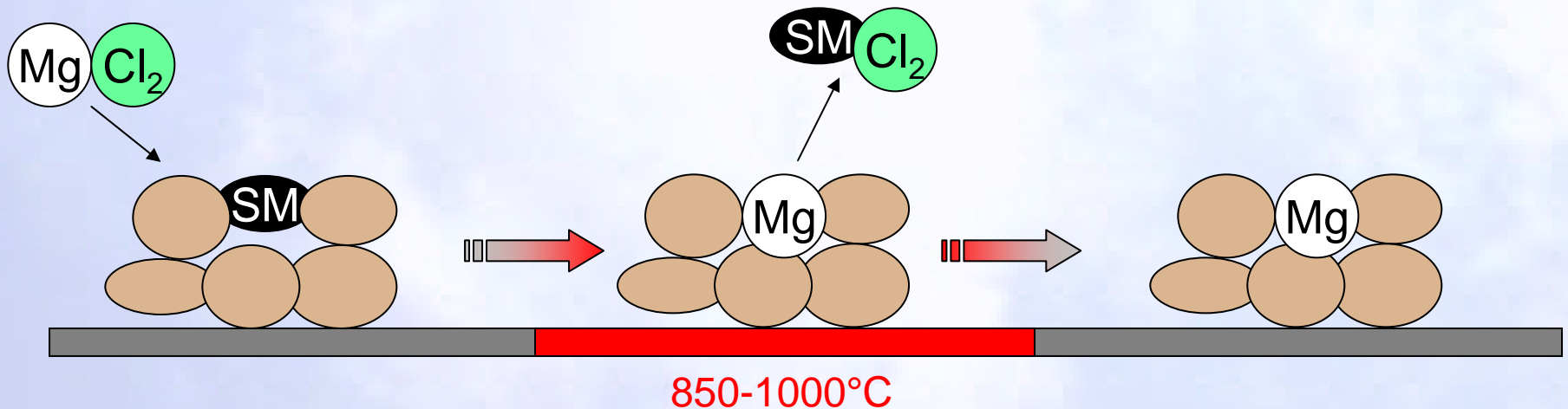
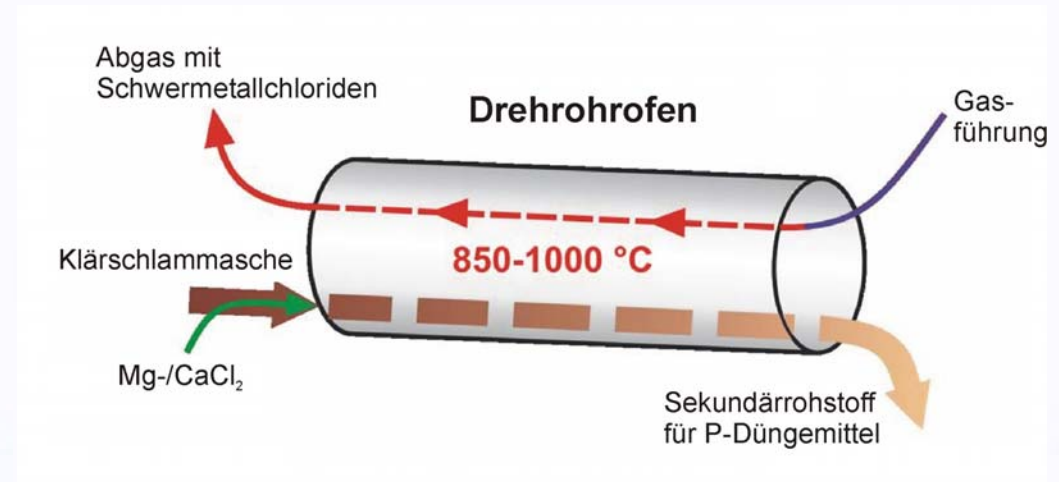
12.000 – 30.000 Mg/a

## Prinzipskizze

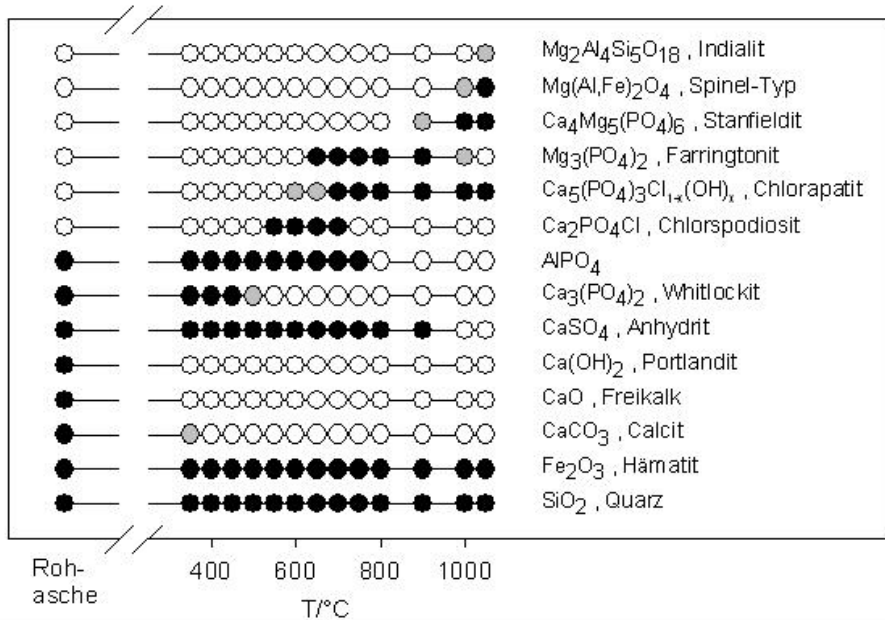
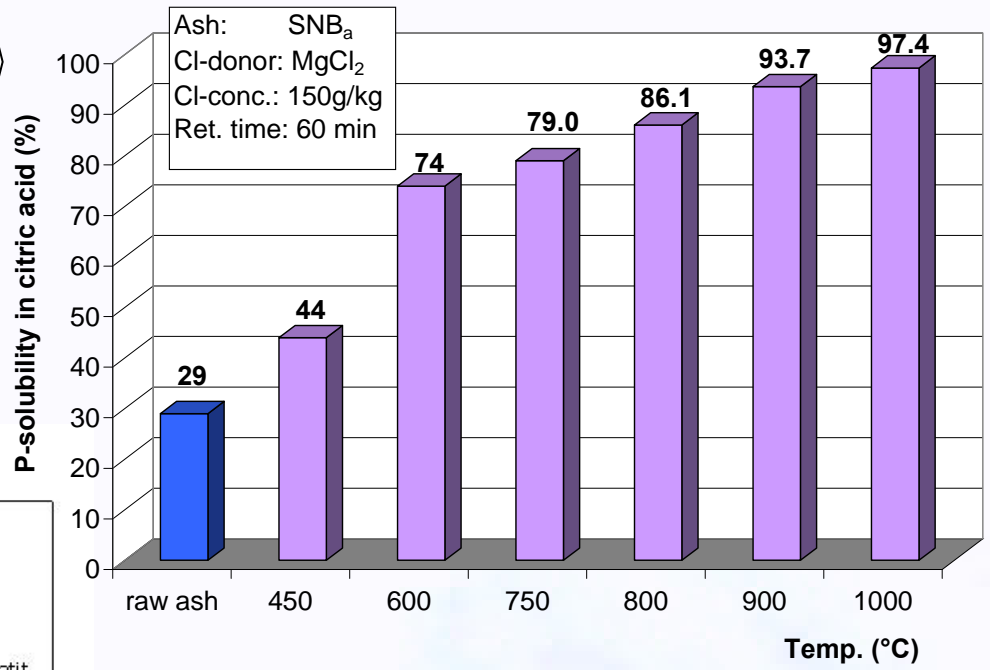
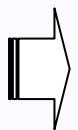


## Thermochemische Behandlung von Klärschlammmasche

- Zugabe eines Cl-Donators ( $\text{MgCl}_2$  /  $\text{CaCl}_2$ ) zur Klärschlammmasche
  - Thermochemische Behandlung bei  $850\text{-}1000^\circ\text{C}$
1. Bildung und Verdampfung flüchtiger Schwermetallchloride
  2. Bildung neuer P-haltiger Mineralphasen mit hoher Bioverfügbarkeit



**P-Löslichkeit in 2 %iger Citronensäure**  
 für Rohasche und thermochemisch behandelte  
 Asche in Abhängigkeit von der Temperatur  
 ⇒ P-Löslichkeit nimmt mit der  
 Behandlungstemperatur zu



**Mineralische Phasen die mit XRD detektiert wurden**  
 Der thermochemische Prozess ist von einer Abfolge chemischer Reaktionen begleitet. Mit Ausnahme von Hämatit und Quarz werden alle Phasen zerstört und neue Phasen werden gebildet.

● Phase detektiert ○ Phase nicht detektiert ◐ Phase gerade noch (schon) nachweisbar



Austrag Kurztrommelofen



Abgasreinigung, Sprühkühler



Pelletierpresse



Granulataustrag

Großtechnische Versuche  
bei SUSAN-Partner



Eine Pilotanlage mit einem Tagesdurchsatz von  
7 Mg wurde bereits in Betrieb genommen  
(Eröffnung der Anlage am 25.06.2008 in Leoben)

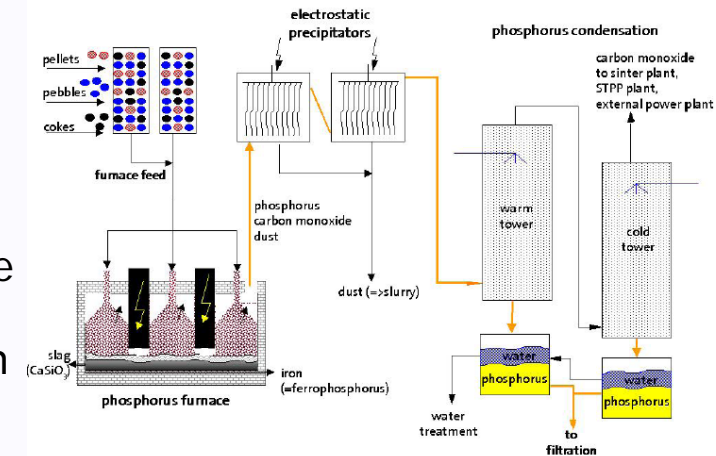


NPK-Dünger

Planung einer großtechnischen Demonstrationsanlage mit 20.000 t Durchsatz

# Elektrothermische Phosphorproduktion, Thermphos/SNB (Niederlande)

- Bei der Firma Thermphos (NL) wird in einem elektrothermischen Verfahren weißer Phosphor aus Rohphosphat hergestellt (Reduktion mit Koks)
- (Teil-) Substitution Rohphosphat durch Klärschlammasche
- Fe-, Cu- und Zn-Gehalte der Aschen stören das Verfahren (FeP und Fe<sub>2</sub>P Bildung, Cu- Anreicherung im FeP, Zn-Anreicherung in Filterstaub)
- Fe/P sollte <0,2 betragen (Deutsche KSA liegt zwischen bei Fe/P 0,2 und 1,7 mol/mol)
- SNB (Klärschlammverbrennung in NL) verbrennt Fe-arme und Fe-reiche Klärschlämme nun separat und liefert die Fe-armen Aschen zu Thermphos (Fe/P~0,2)
- Zwischen Juli 2008 – Mai 2009 haben die SNB 6.400 Mg Fe-arme Asche (630 Mg P) an Thermphos geliefert
- Der elektrothermische Prozess läuft auch unter Zusatz der Aschen stabil
- SNB und Thermphos werden langfristig kooperieren, die Wasserverbände in den Niederlanden planen den Umstieg auf Bio-P oder Al-Fällung um diesen Weg zu stützen



VERFAHREN	ENTWICKLUNGSSTAND	PRODUKTE
<b>Wässrige Phase: Abwasser (behandelt) oder Schlammwasser</b>		
<b>Kristallisation</b> DHV-Crystalactor® Unitika PHOSNIX® Ostara PEARL™ CSH-Verfahren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verfahren werden bereits großtechnisch eingesetzt</li> <li>• Betriebserfahrungen liegen vor</li> <li>• Betrieb vorzugsweise an einer Bio-P Kläranlage im Nebenstrom</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>MgNH_4PO_4</math> (MAP), (oder <math>Ca_3(PO_4)_2</math> für P-Industrie)</li> <li>• hohe Reinheit durch Kristallisation</li> <li>• MAP: nicht wasserlöslich aber gut bioverfügbar</li> </ul>
<b>Fällung</b> BWB/AirPrex, PRISA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demonstrationsanlage (BWB)</li> <li>• Nur für Bio-P Kläranlagen geeignet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>MgNH_4PO_4</math> (MAP)</li> <li>• Nicht so rein wie Kristallisationsprodukte</li> <li>• Nicht wasserlöslich aber gut bioverfügbar</li> </ul>
<b>Entwässerter (oder getrockneter) Klärschlamm</b>		
<b>Nasschemisch</b> Seaborne/Gifhorn	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demonstrationsanlage auf KA Gifhorn (1,3 Mg NP-Dünger/d)</li> <li>• Seaborne-Verfahren musste stark vereinfacht werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>NH_4MgPO_4</math> / <math>MgHPO_4</math> und <math>(NH_4)_2SO_4</math> (DAS)</li> <li>• Wird als organischer NP-Dünger vertrieben</li> <li>• Nicht wasserlöslich aber gut bioverfügbar (MAP)</li> </ul>
<b>Thermisch</b> Mephrec	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technikumsversuche (300 kg/h)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalksilicophosphate</li> <li>• Nicht wasserlöslich aber gut bioverfügbar</li> <li>• Analogie zu Thomasphosphaten</li> </ul>
<b>Klärschlammasche</b>		
<b>Nasschemisch</b> BioCon, SEPHOS, SESALPHOS, PASCH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Labor- und Technikumsversuche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BioCon: Phosphorsäure (wasserlöslich)</li> <li>• Calcium-, Calciumaluminiumphosphate oder Magnesiumphosphate</li> <li>• Ca- und Mg-Phosphate nicht wasserlöslich aber gut bioverfügbar</li> </ul>
<b>Thermisch</b> BAM / ASH DEC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pilotanlage in Betrieb (7 Mg/d)</li> <li>• Demonstrationsanlage in Planung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcium- und Magnesiumphosphate</li> <li>• Nicht wasserlöslich aber gut bioverfügbar</li> </ul>
Thermphos/SNB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Großtechnisch umgesetzt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weißer Phosphor (Industriechemikalien)</li> </ul>

# Zusammenfassung

- Es wurden zunächst insbesondere Verfahren zur Kristallisation oder Fällung von Phosphorverbindungen aus der wässrigen Phase entwickelt und z.T. auch großtechnisch eingesetzt (z.B. Crystalactor<sup>®</sup>, UNITIKA PHOSNIX<sup>®</sup>, OSTARA PEARL<sup>™</sup> etc.)
- MAP ist hier das favorisierte Produkt mit guten Düngeeigenschaften
- Das Potential ist allerdings auf max. 50% des Kläranlagen-Iputs beschränkt (real ~30%). Eine weitreichende P-Rückgewinnung ~90% kann nur über den Klärschlamm bzw. die Klärschlammasche erfolgen
- Nasschemische und thermische Verfahren zur P-Rückgewinnung aus Klärschlamm werden im Technikumsmaßstab und in einer Demonstrationsanlage erprobt
- Die höchste P-Konzentration liegt in den Klärschlammaschen vor. Es wurden nasschemische und ein thermochemisches Verfahren entwickelt sowie der großtechnische Einsatz von Klärschlammaschen in der elektrothermischen Phosphorproduktion erfolgreich getestet
- Die nasschemischen Verfahren befinden sich im Labor- und Technikumsmaßstab
- Das thermochemische Verfahren wird von der Firma ASH DEC Umwelt AG derzeit in einer Pilotanlage (7 Mg/d) betrieben

A sunset scene with a bright sun low on the horizon, casting a golden glow across the sky and reflecting on the water below. A dark horizontal bar is positioned across the middle of the image, partially obscuring the sun and the horizon line.

**Herzlichen Dank!**

Christian.Adam@bam.de