

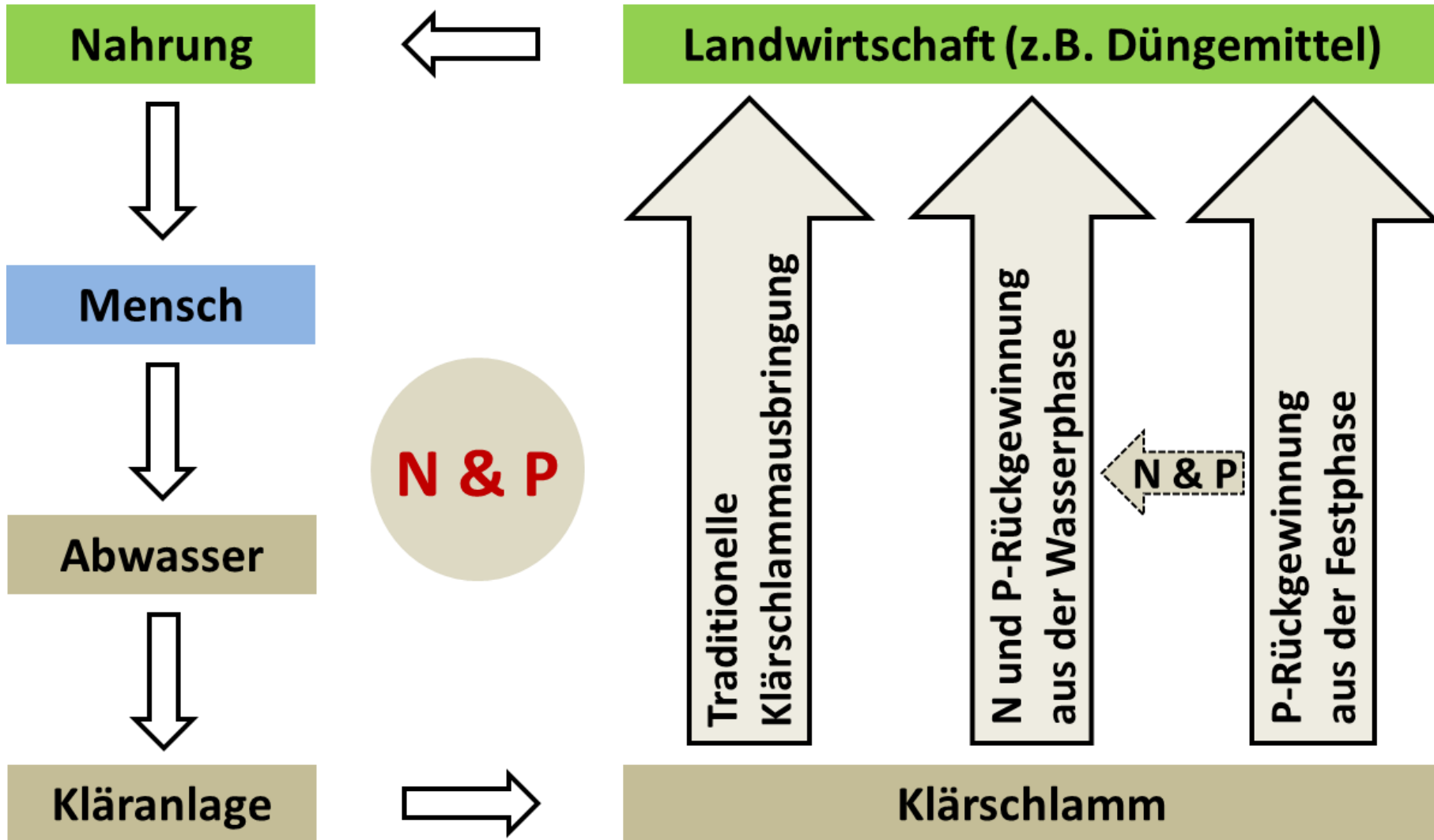
# KOMPETENZZENTRUM Wasser Berlin

## Phosphorrückgewinnung und Recycling aus dem Abwasser

Christian Kabbe, Fabian Kraus, Christian Remy

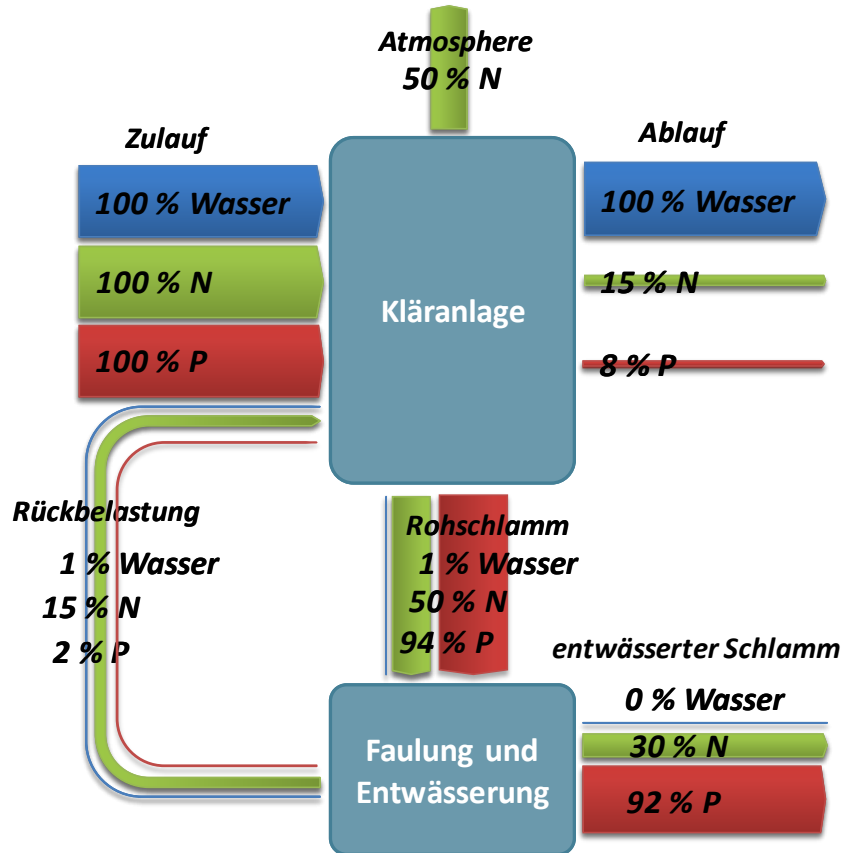


# Nährstoffrecycling aus dem Abwasserpfad

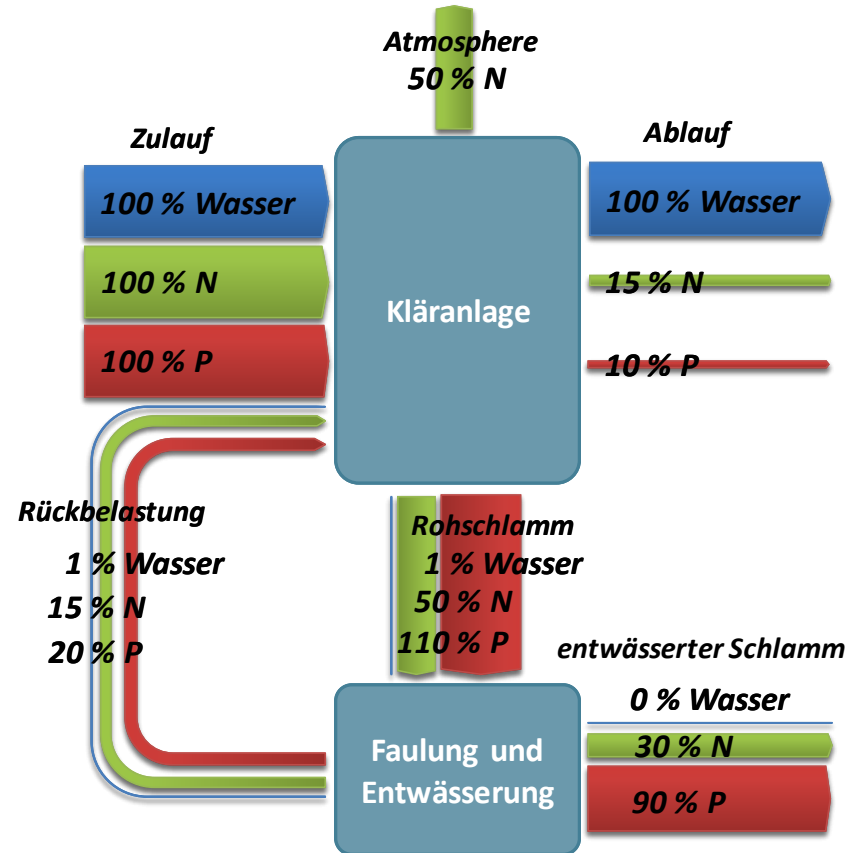


# Ansatzpunkte für die Rückgewinnung

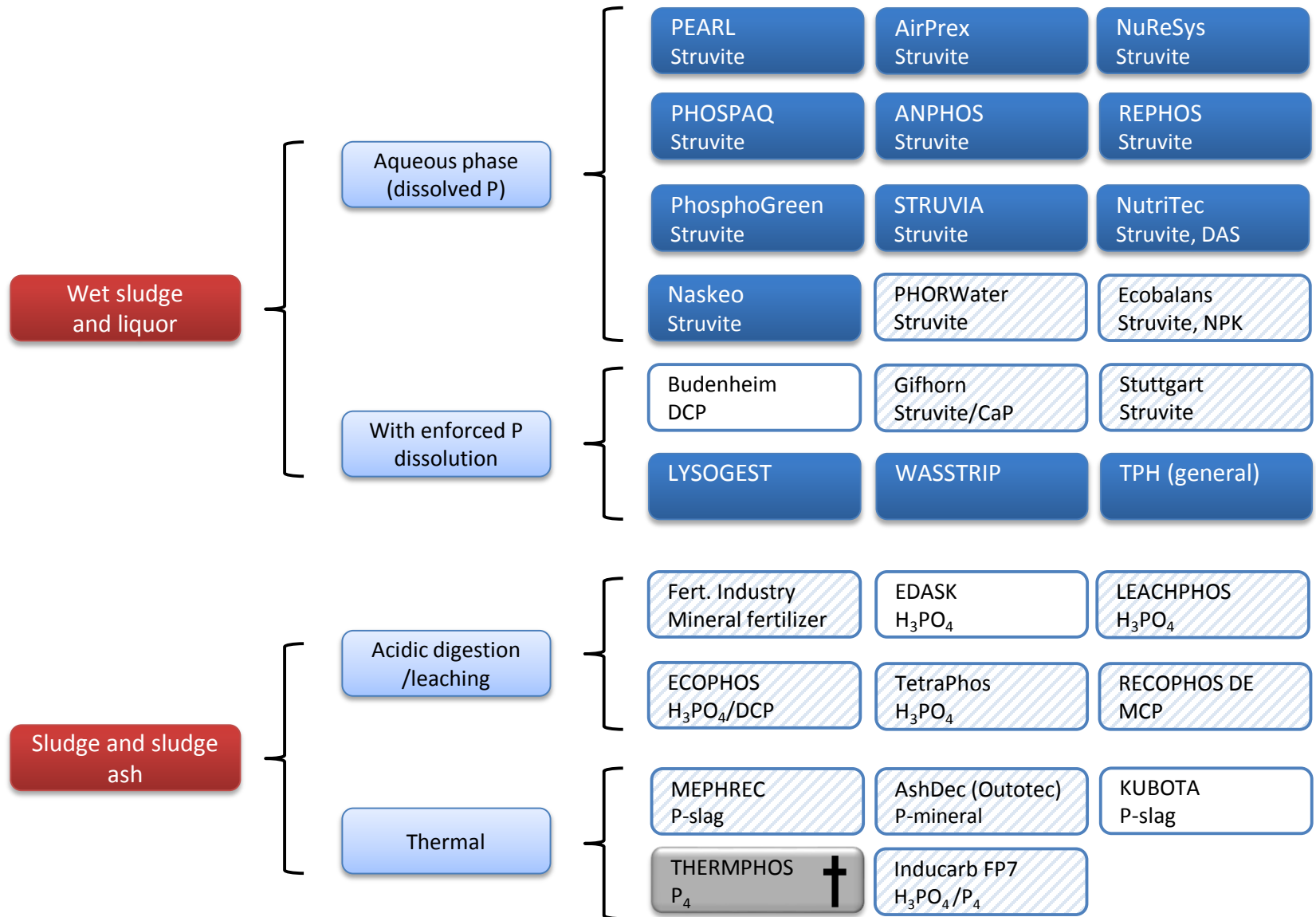
konventionelle Chem-P-Klieranlage



konventionelle Bio-P-Klieranlage



# Technische P-Rückgewinnungsverfahren



# Umsetzung in Europa (Mai 2016)




Großtechnisch in Betrieb/ in Bau (weltweit):

• 15 x PEARL® 

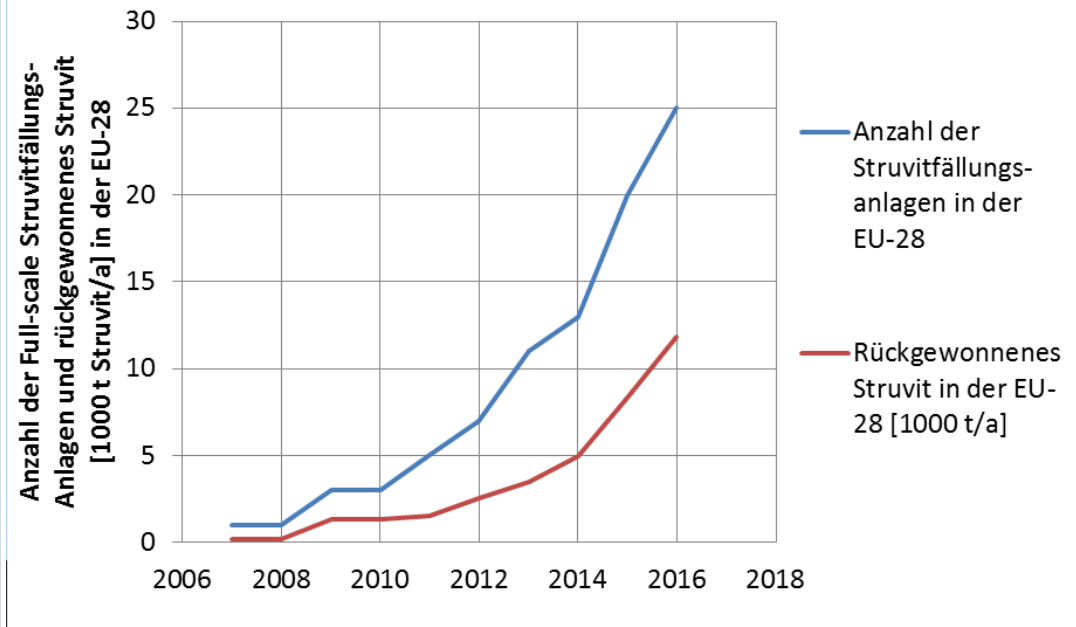
• 9 x AirPrex® 

• 9 x NuReSys® 

• 4 x PHOSPAQ™ 

• 8 x andere Fällungsverfahren

ca. 10.000 t Struvit in Europa zurückgewonnen und recycelt (ca. 1200 t P, 600 t N)



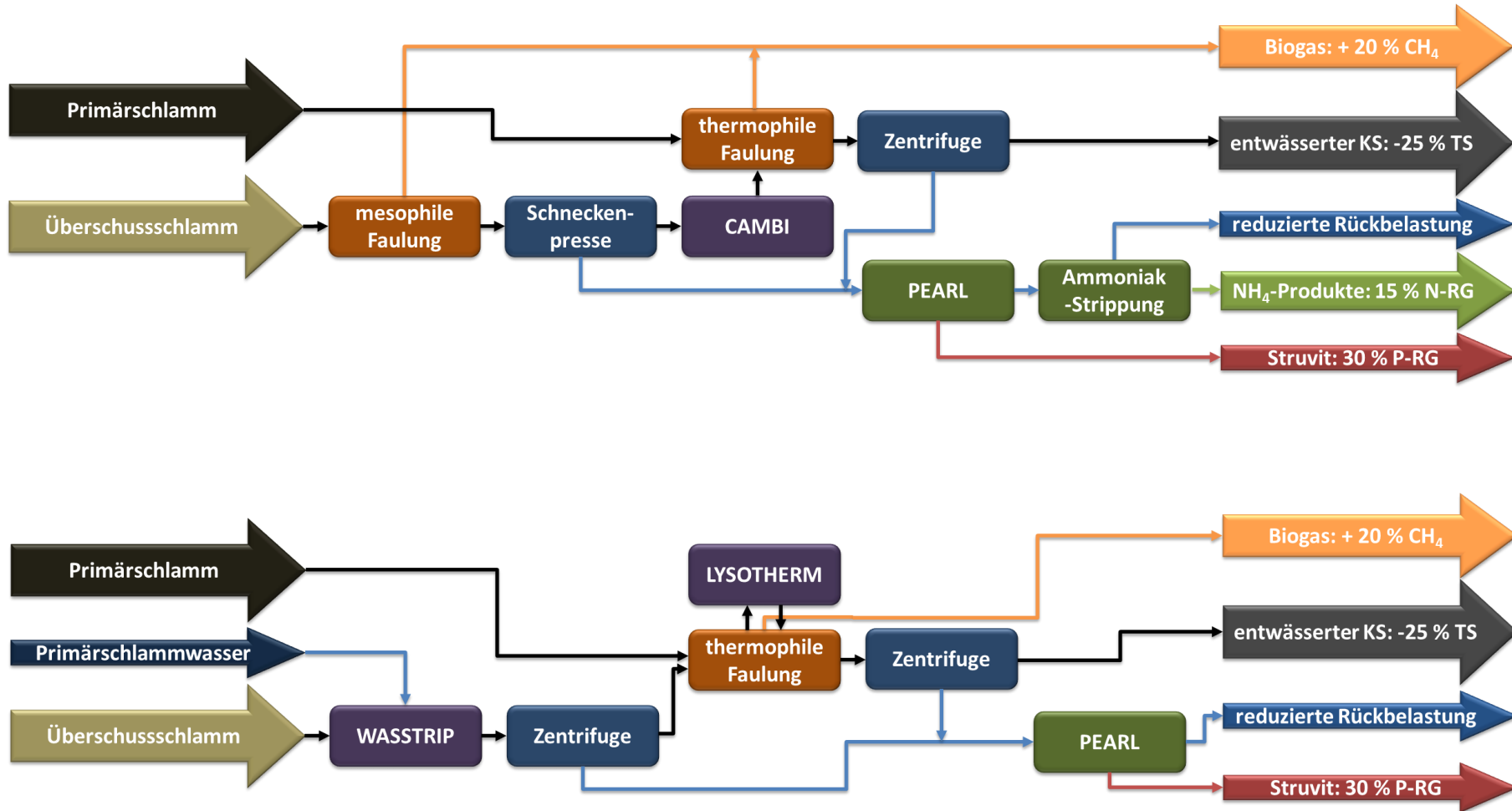
# Gründe für den Erfolg der (Struvit-)Fällungsverfahren

- Operative Vorteile für den Anlagenbetreiber
  - Vermeidung ungewollter Inkrustationen (Bio-P)
  - Bessere Ablaufwerte durch Ausschleusung von gelöstem  $\text{PO}_4\text{-P}$
  - z.T. Erhöhung der Klärschlammmentwässerbarkeit (+2-5 % TS)
  - z.T. Einsparung von Polymeren (bis zu 25 %)

## ... aber nur limitiert anwendbar?

- Konzentrationen größer 50 (80) mg/L  $\text{PO}_4\text{-P}$  im Schlammwasser (Bio-P)
  - Viele Kläranlagen in D verfügen über Bio-P Becken, dosieren jedoch Fe/Al um operative Nachteile von Bio-P zu vermeiden
    - Fällungsverfahren nivellieren diese Nachteile!***
- Geringe Rückgewinnungsraten: 5-25 % (bez. auf KA-Zulauf)
  - Rückgewinnungsrate ist von gelöstem  $\text{PO}_4\text{-P}$  abhängig und Ernte!
    - Optimierung der Schlammbehandlung (sinnvolles pH- und Wärmemanagement) bezüglich Energie- und Nährstoffrückgewinnung möglich!***

# (Struvit-)Fällungsverfahren der 2. Generation



*Diverse Kombinationen denkbar!*



**P-REX**

# Überlegungen zur Umsetzung der Phosphorrückgewinnung in Deutschland

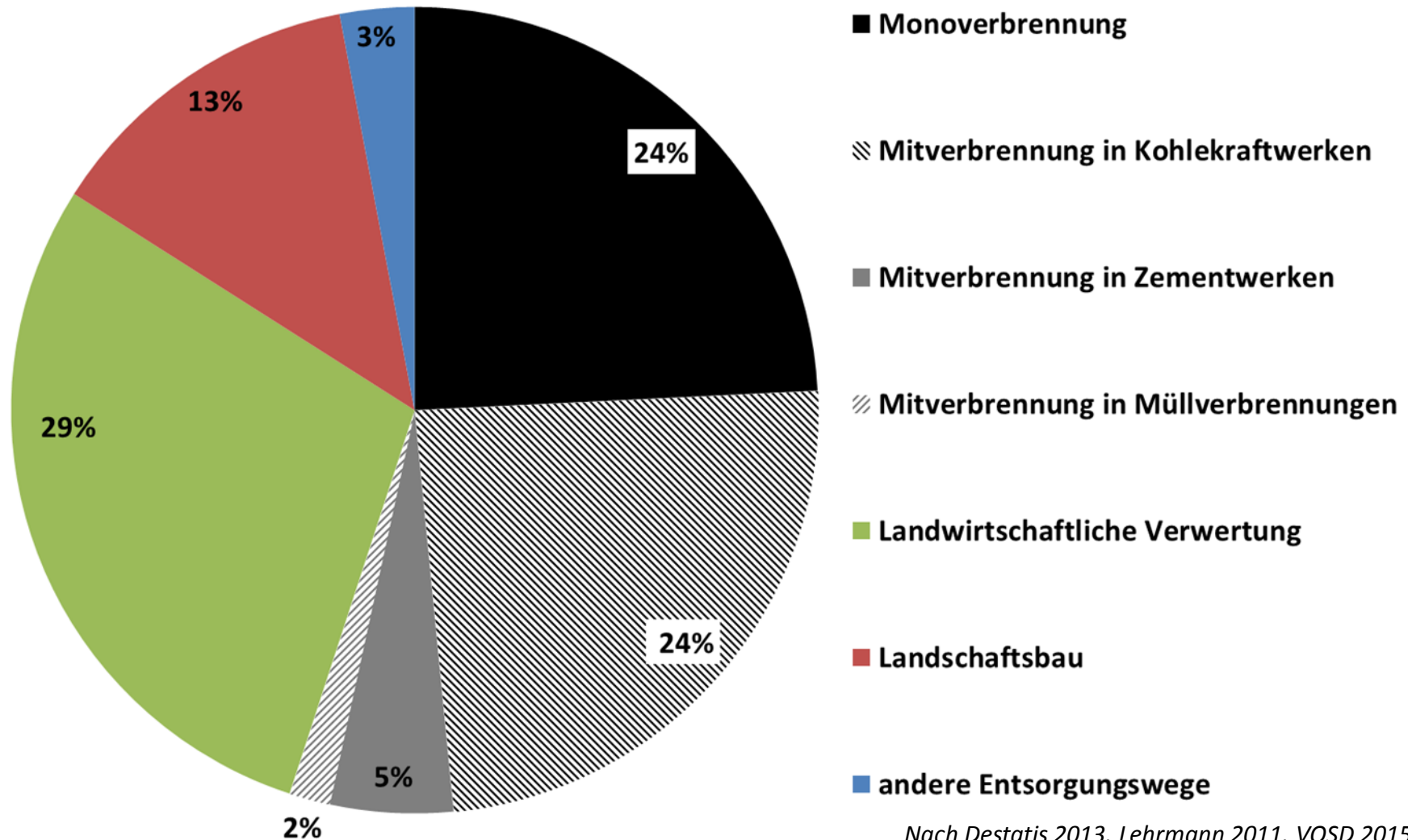
Eine Abschätzung von Kosten und  
Umweltauswirkungen

***Zum Nachlesen:  
KA 06/2016!***



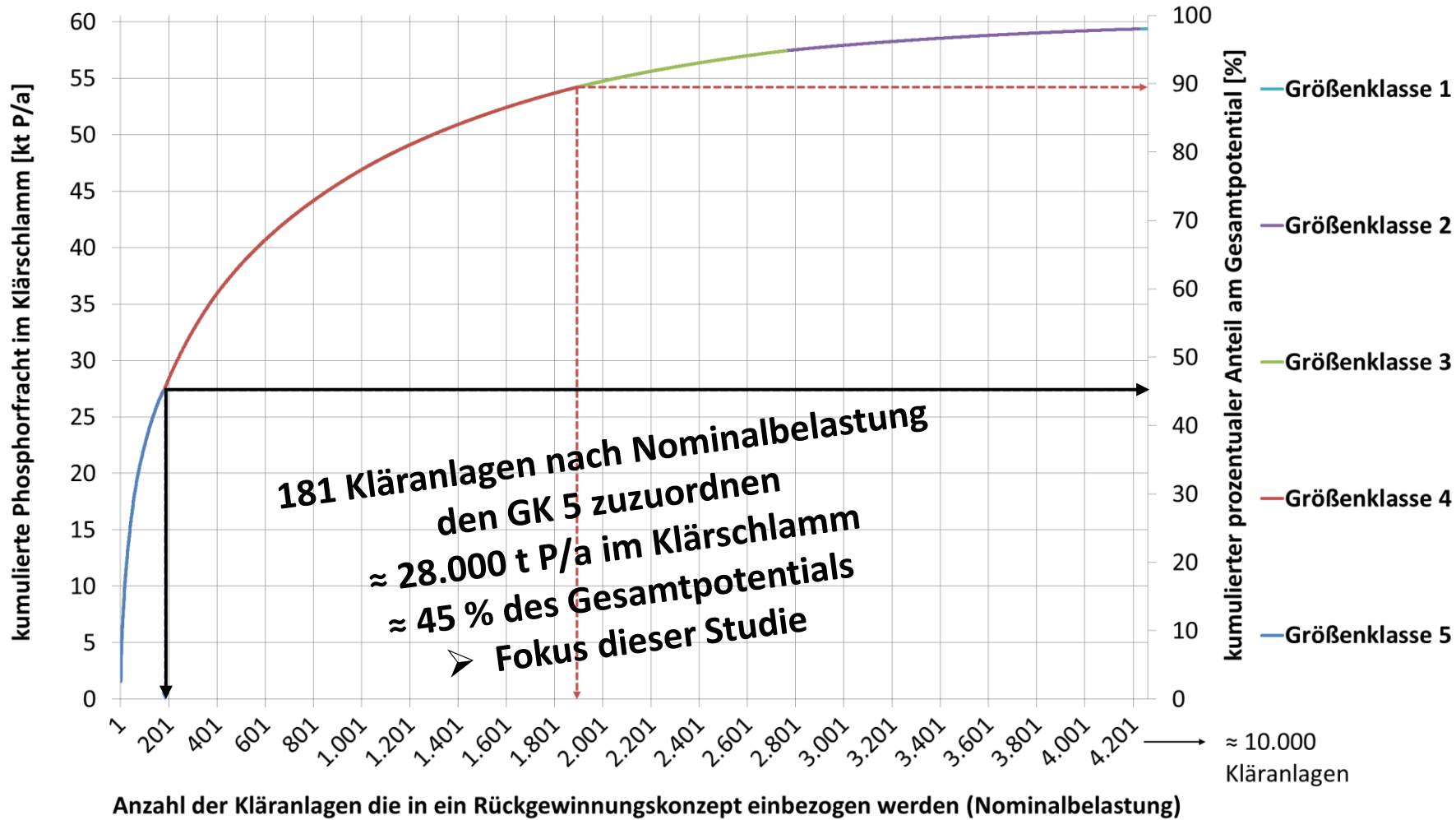
# Klärschlamm- und Nährstoffentsorgung/-verwertung in D

Schlammmenge in Deutschland (2013): 1.846 kt TS/a



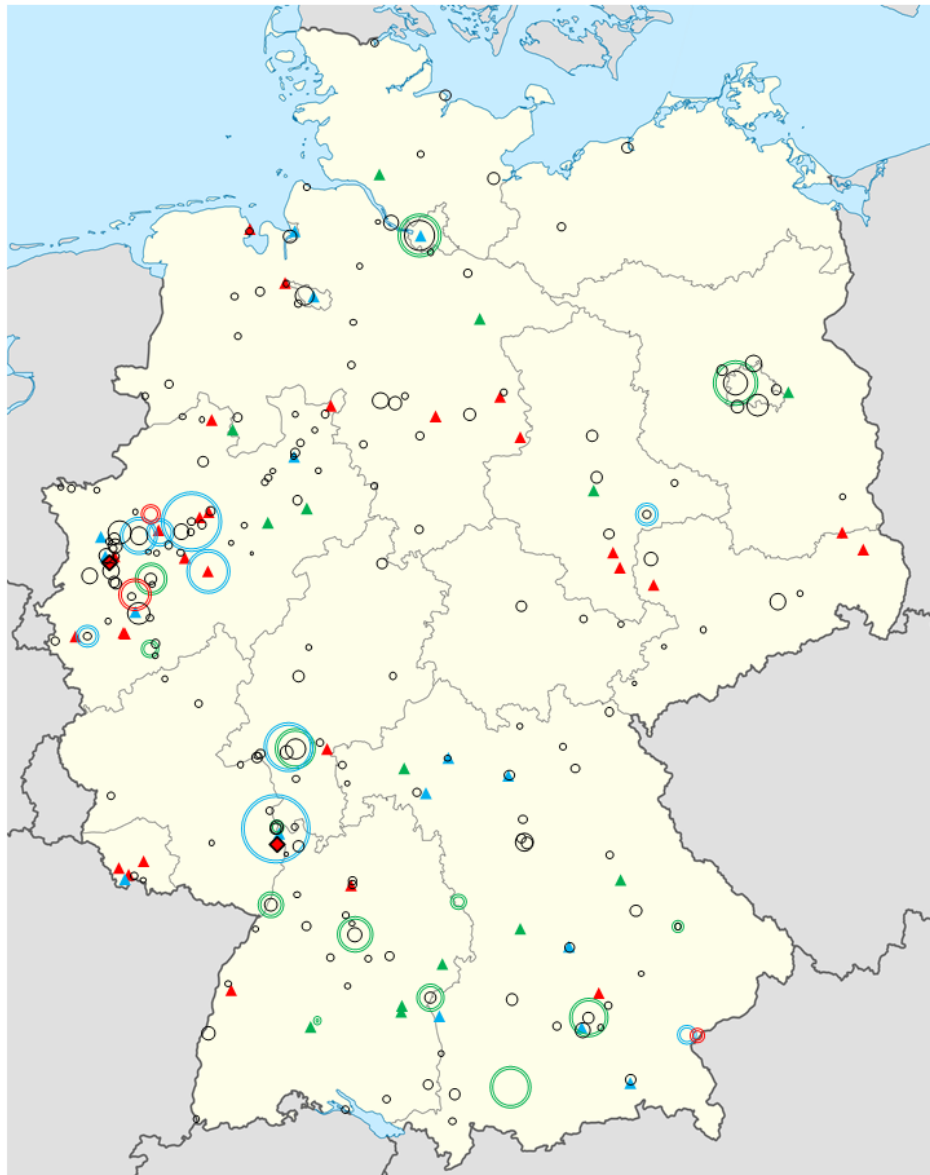
Nach Destatis 2013, Lehrmann 2011, VQSD 2015

# Phosphorfrachten der Kläranlagen in D



Nach UBA 2014, DWA 2014

# Regionale Verteilung (Phosphorquellen & -entsorgung)



- ⊙ Monoverbrennung (kommunale KS)
- ⊕ Monoverbrennung (kommunale/industrielle KS)
- ⊗ Monoverbrennung (industrielle KS)
- GK 5 Kläranlagen nach Nominalbelastung
- ▲ Mitverbrennung in Kohlekraftwerken
- ▲ Mitverbrennung in Zementwerken
- ▲ Mitverbrennung in Müllverbrennungsanlagen
- ◆ Phosphordüngemittel-Industrie

Phosphorfracht der GK 5 Kläranlagen bzw.  
Kapazität der Monoverbrennungsanlagen

50 t P/a; ≈ 1.100 t TS/a	○
100 t P/a; ≈ 2.300 t TS/a	○
200 t P/a; ≈ 4.500 t TS/a	○
500 t P/a; ≈ 11.000 t TS/a	○
1.000 t P/a; ≈ 23.000 t TS/a	○
2.000 t P/a; ≈ 45.000 t TS/a	○
5.000 t P/a; ≈ 114.000 t TS/a	○

*Monoverbrennungen nach Krüger & Adam 2014,  
Mitverbrennungen nach Jasper & Kappa 2012,  
Phosphordüngemittel-Industrie nach IVA 2014*

# Szenarien zur Phosphorrückgewinnung (nur GK 5)

## 1. Fällung: *AirPrex, Pearl, Struvia*

- Einführung eines Fällungsverfahrens in ca. 20 GK5-Kläranlagen, welche für diese Verfahren vorausgesetzte Kriterien erfüllen

## 2. Säureaufschluss: *Gifhorner, Stuttgarter Verfahren*

- Einführung eines Säureaufschlussverfahrens für Klärschlamm in allen GK5-Kläranlagen

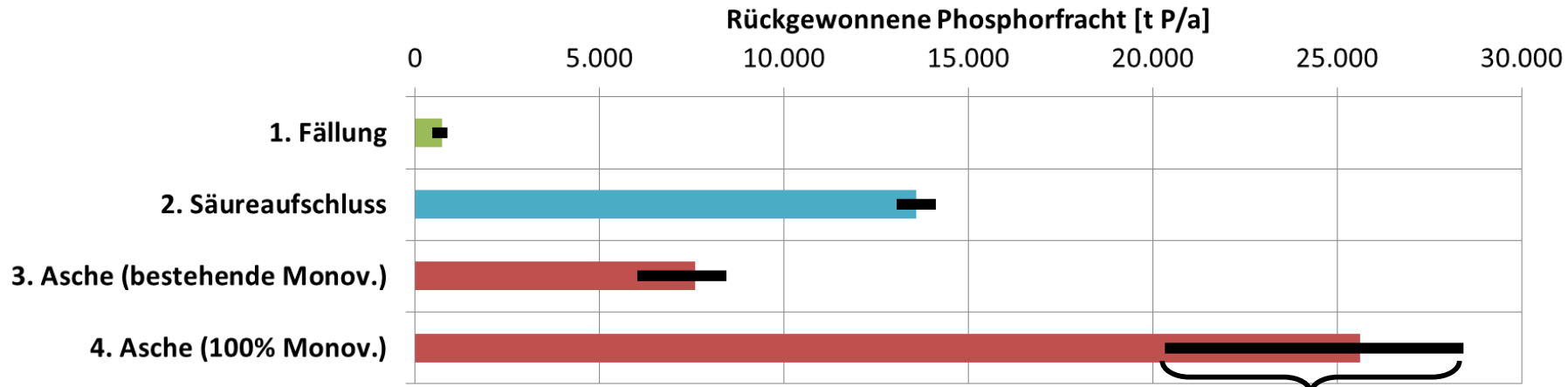
## 3. Asche (bestehende Monov.): *AshDec, EcoPhos, Leachphos*

- Nutzung bestehender Kapazitäten der Monoverbrennung; P-Rückgewinnung aus Asche wird in 7 Anlagen deutschlandweit durchgeführt

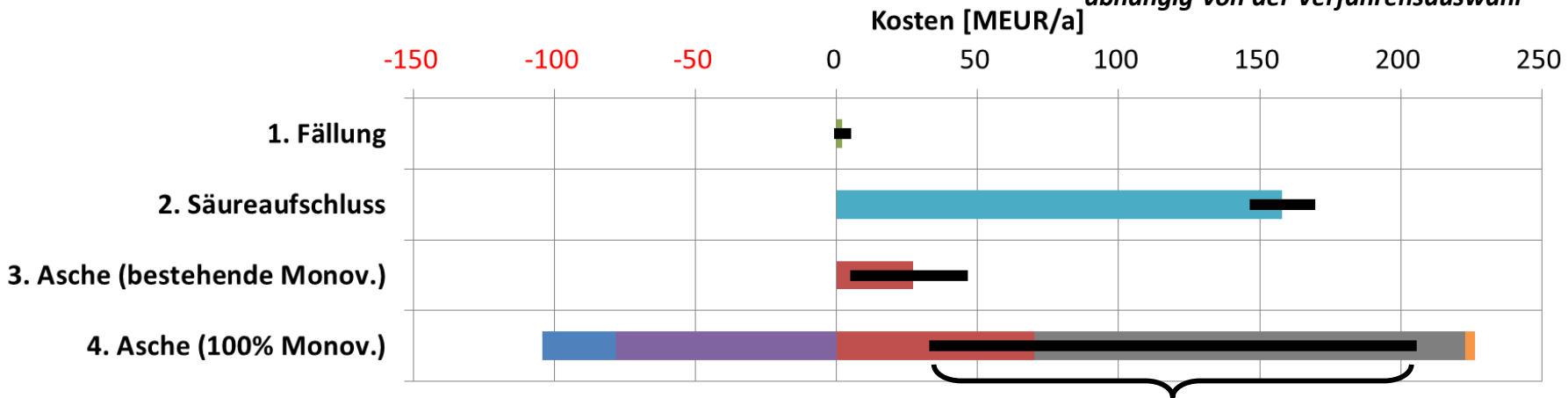
## 4. Asche (100% Monov.): *AshDec, EcoPhos, Leachphos*

- 13 weitere große Monoverbrennungsanlagen (1-2 je Ballungsraum) gebaut, sodass der Klärschlamm aller GK5-Kläranlagen monoverbrannt wird; P-Rückgewinnung aus Asche wird in 13 Anlagen deutschlandweit durchgeführt

# Phosphorrückgewinnung und Kosten



Spanne der rückgewonnenen Phosphorfracht abhängig von der Verfahrensauswahl

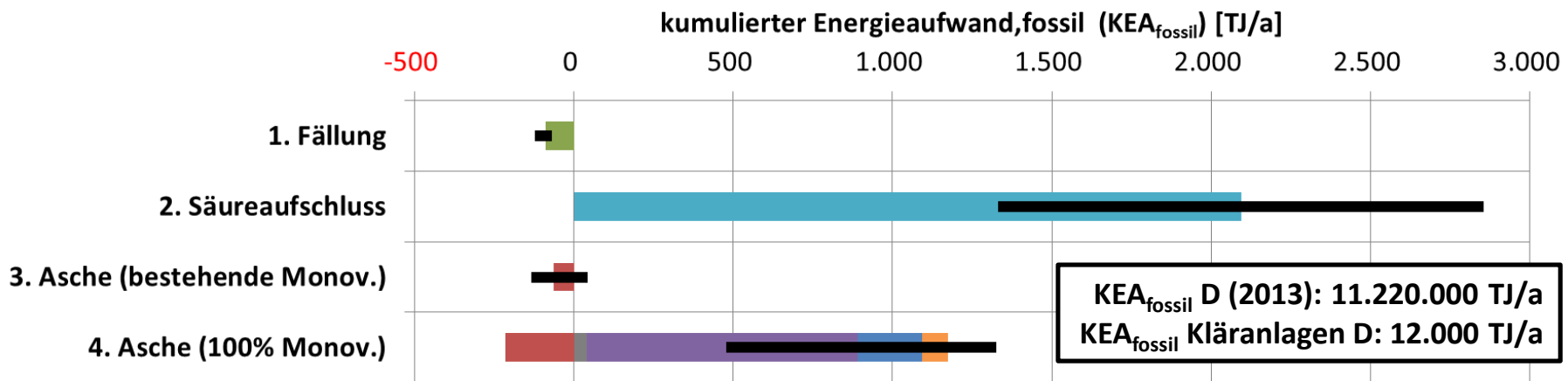
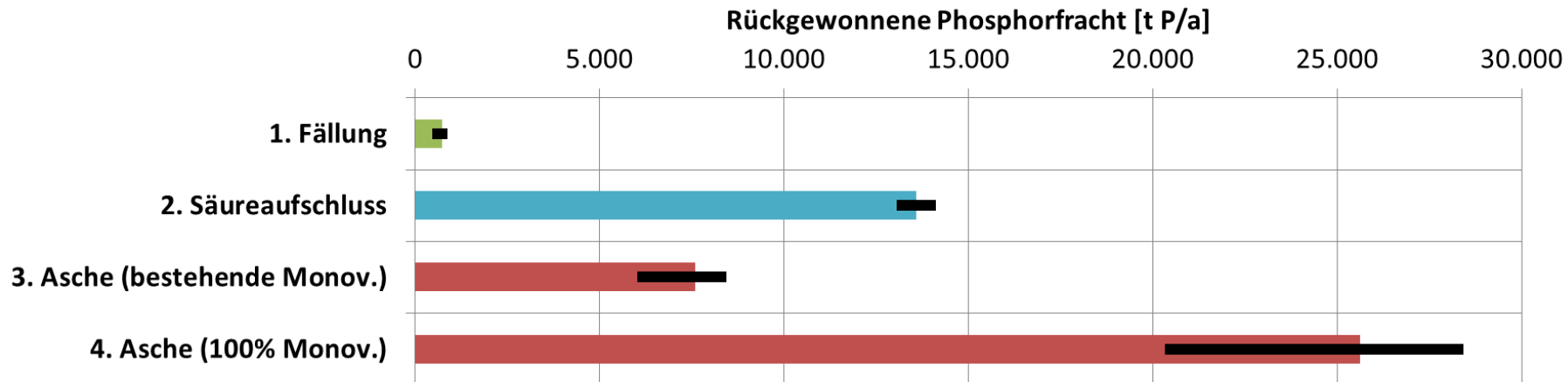


Spanne der Nettokosten abhängig von der Verfahrensauswahl und KS-Entsorgungskosten

- Fällungsverfahren
- Säureaufschlussverfahren
- Rückgewinnung aus Asche
- Monoverbrennung (200-300 EUR/t TS)
- Mitverbrennung (160-200 EUR/t TS)
- Landwirtschaft (120 EUR/t TS)
- zusätzl. Transportwege

Berechnet nach Nätörp & Remmen 2015, LfU 2011, DWA 2012, Wiechmann et al. 2013, Hermann 2014

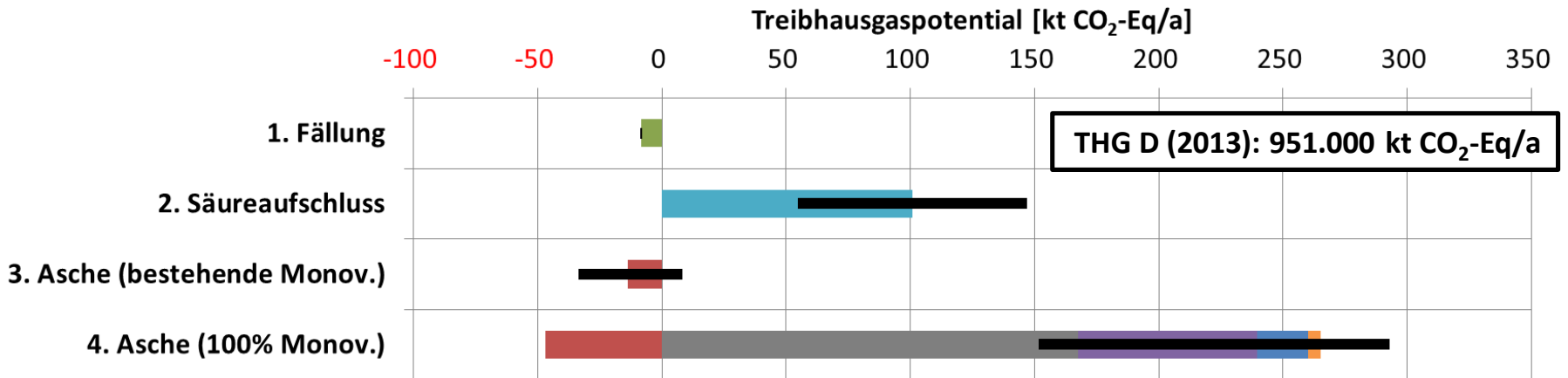
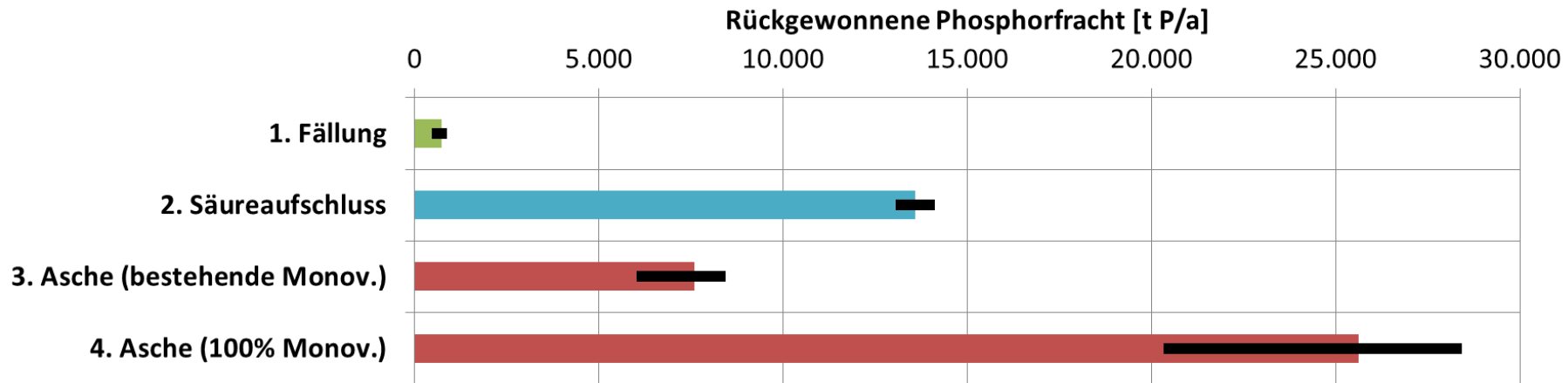
# Phosphorrückgewinnung und fossile Energie



- Fällungsverfahren
- Säureaufschlussverfahren
- Rückgewinnung aus Asche
- Monoverbrennung (Wärme)
- Mitverbrennung (Energie)
- Landwirtschaft (N-Düngemittelproduktion)
- zusätzl. Transportwege

Berechnet nach Remy & Jossa 2015

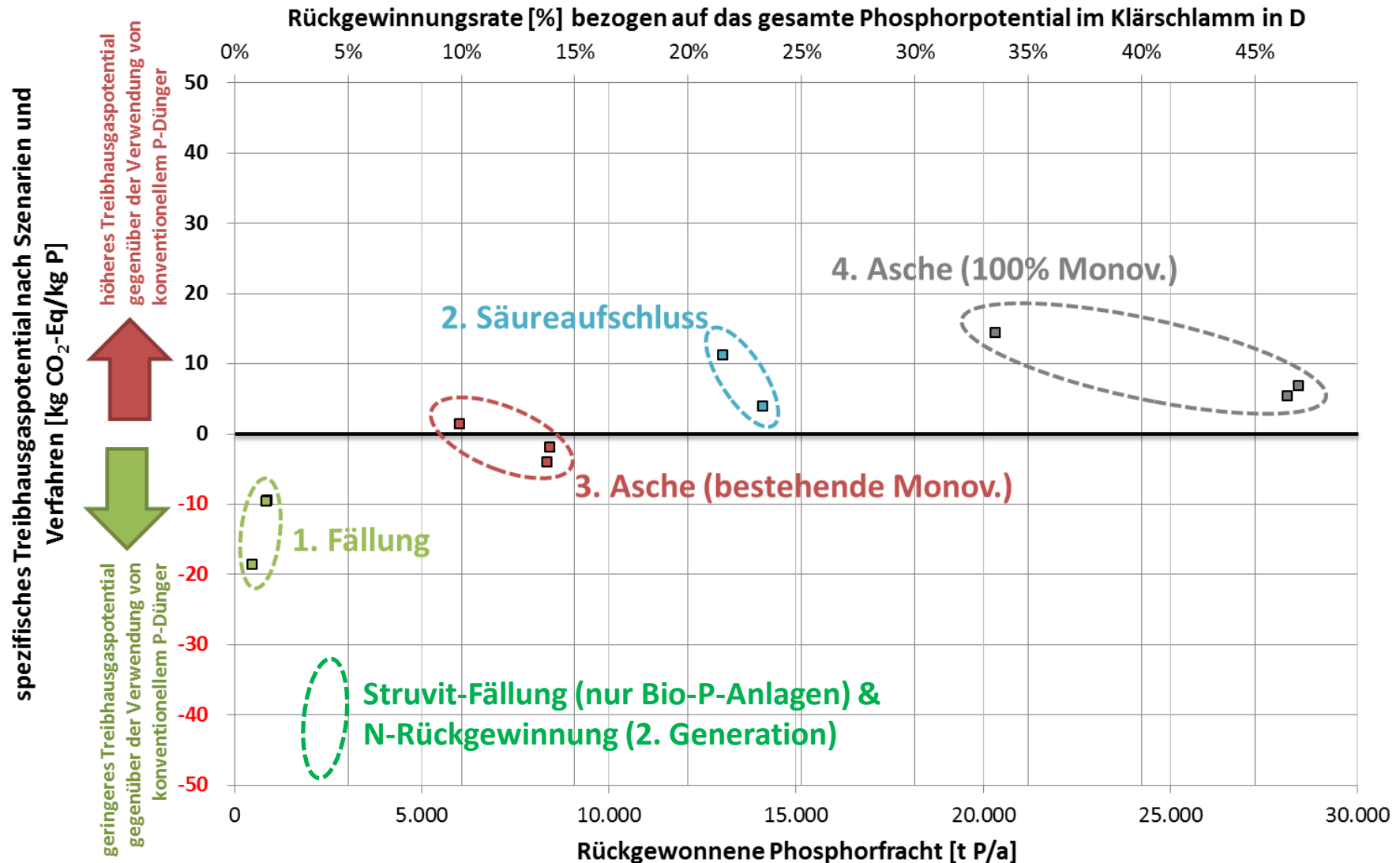
# Phosphorrückgewinnung und Treibhausgase



- Fällungsverfahren
- Säureaufschlussverfahren
- Rückgewinnung aus Asche
- Monoverbrennung (N<sub>2</sub>O-Emissionen)
- Mitverbrennung (Substitution foss. Energie)
- Landwirtschaft (N-Düngemittelproduktion)
- zusätzl. Transportwege

Berechnet nach Remy & Jossa 2015

# Phosphorrückgewinnung und Treibhausgase



Berechnet nach Remy & Jossa 2015, Kabisch 2016

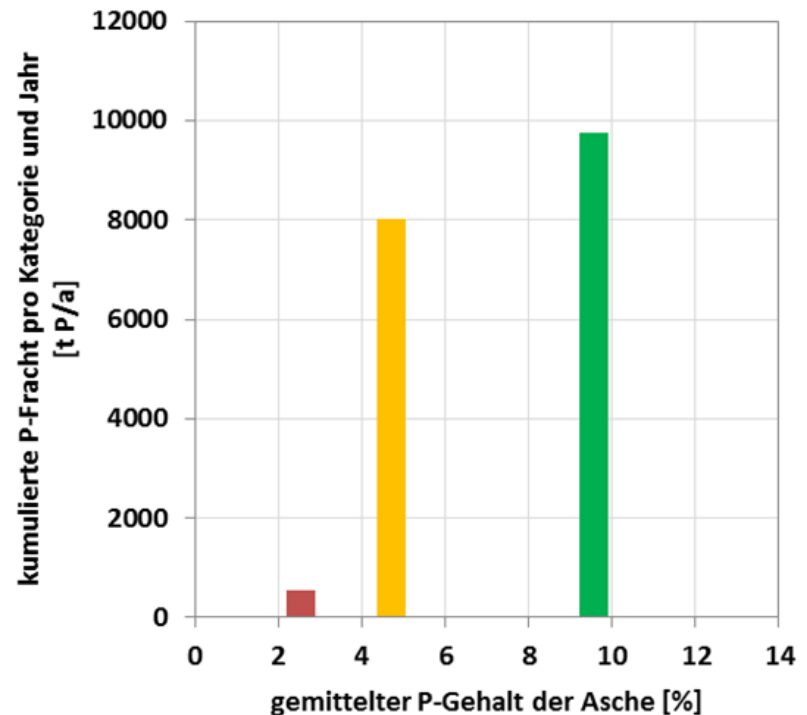
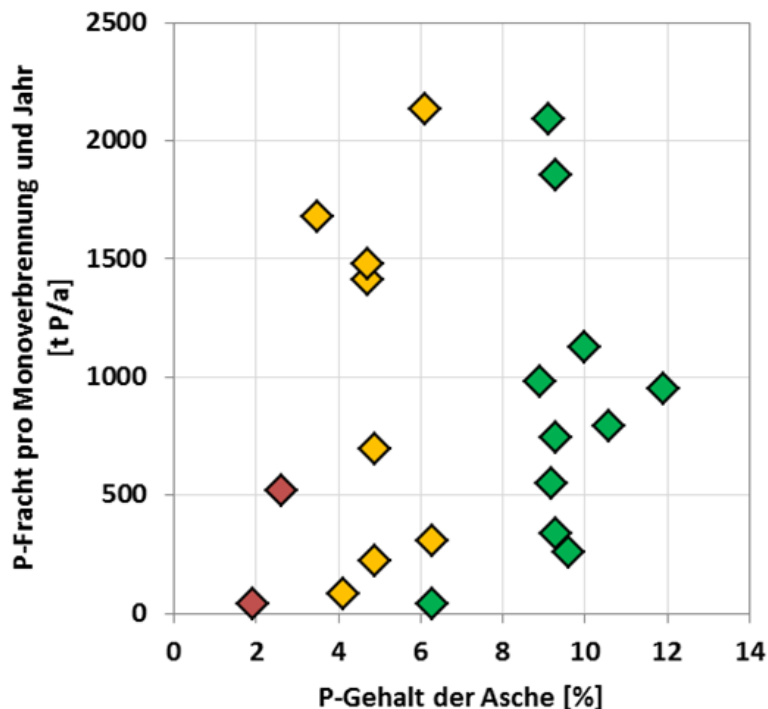


## Kurz- bis mittelfristige Maßnahmen

- Ausweitung der Fällungsverfahren (1+2. Generation)
  - Recyclingpfade für Struvit etablieren
- Rückgewinnung aus bestehenden Aschen der Monoverbrennung, sowie Optimierung bestehender Monoverbrennungsinfrastruktur
  - geringe Kosten aufgrund prozessinternem Rezyklieren der Säure
  - Rückgewinnung kommerzieller Produkte:  $\text{H}_3\text{PO}_4$  /  $\text{FeCl}_3$  /  $\text{AlCl}_3$  /  $\text{CaCl}_2$
- Technische Rückgewinnung in D von über **20.000 t P** denkbar
- Landwirtschaftliche Verwertung qualitativ sicherer Klärschlämme (**12.000 t P**) beibehalten
  - Ausschließliche Monoverbrennung (Bestand) hat dem gegenüber negative Effekte; Mitverbrennung energetisch besser...  
moderne Mono-V.-Anlagen sind energetisch optimiert

# Rückgewinnung aus Klärschlammmaschen

- Klärschlammmasche  $\neq$  Klärschlammmasche
- Phosphor- (und Fe-/Al-)gehalte entscheiden über Wirtschaftlichkeit der Rückgewinnung



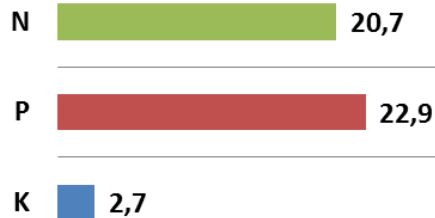
- ◆ Asche aus Industrieschlamm
- ◆ Asche aus kommunalem Klärschlamm und Industrieschlamm
- ◆ Asche aus kommunalem Klärschlamm

Nach Krüger & Adam 2014

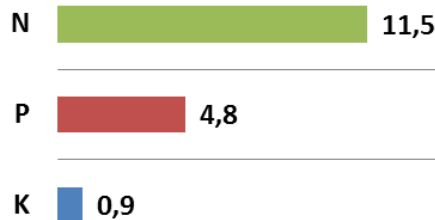
# „... Phosphor und andere Nährstoffe zurückgewinnen“

## spezifischer Aufwand/Emissionen

kumulierter Energieaufwand, fossil & nuklear, nicht-erneuerbare Ressourcen [kWh/kg Nährstoff]



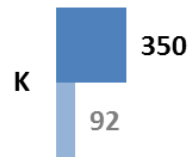
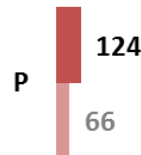
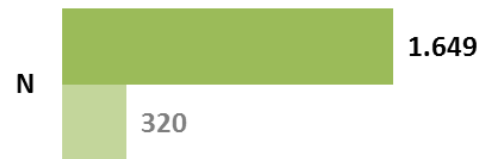
Klimawandel - Treibhausgaspotential (GWP100) [kg CO<sub>2</sub>-Eq/kg Nährstoff]



EcolInvent 3.1, 2016

## Verbrauch Deutschland

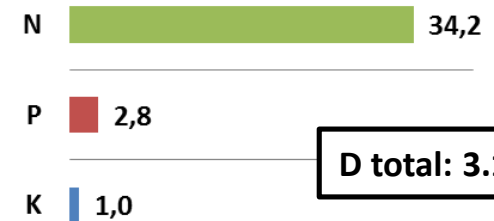
Verbrauch konventioneller Düngemittel in D und Substitutionspotential im Rohabwasser [1000 t Nährstoff/a]



IVA, 2015

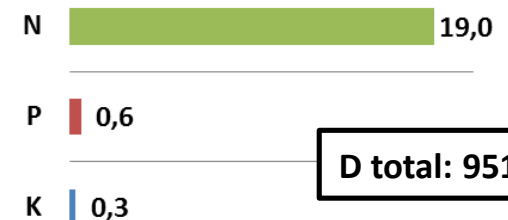
## Gesamtaufwand/-emission

kumulierter Energieaufwand, fossil & nuklear, nicht-erneuerbare Ressourcen [TWh/a]



**D total: 3.117**

Klimawandel - Treibhausgaspotential (GWP100) [10<sup>6</sup> t CO<sub>2</sub>-Eq/a]



**D total: 951**

# Schlussfolgerungen

1. Entwicklung regionaler P-Rückgewinnungsziele und -strategien an Stelle von festen Zielen pro Kläranlage
2. Einbeziehung von anderen Nährstoffen (Stickstoff) in Recyclingstrategien sowie Evaluierung der Energieeffizienz
3. Förderung der technischen P-Rückgewinnung (aus Schlamm und Asche) und Beibehalten der traditionellen landwirtschaftlichen KS-Verwertung wo sicher und sinnvoll!

Spurenstoffentfernung      Energieeffizienz  
Ressourceneffizienz (Rückgewinnung)  
Klimaschutz      Weitergehende Nährstoffentfernung  
Kosteneffizienz

*Sinnvolle & realistische Ziele  
zw. verschiedenen Erwartungen!*