



P-REX

## P-Rückgewinnung und Recycling in Europa – Schlussfolgerungen aus dem Projekt P-REX



*Fabian Kraus, Christian Kabbe*

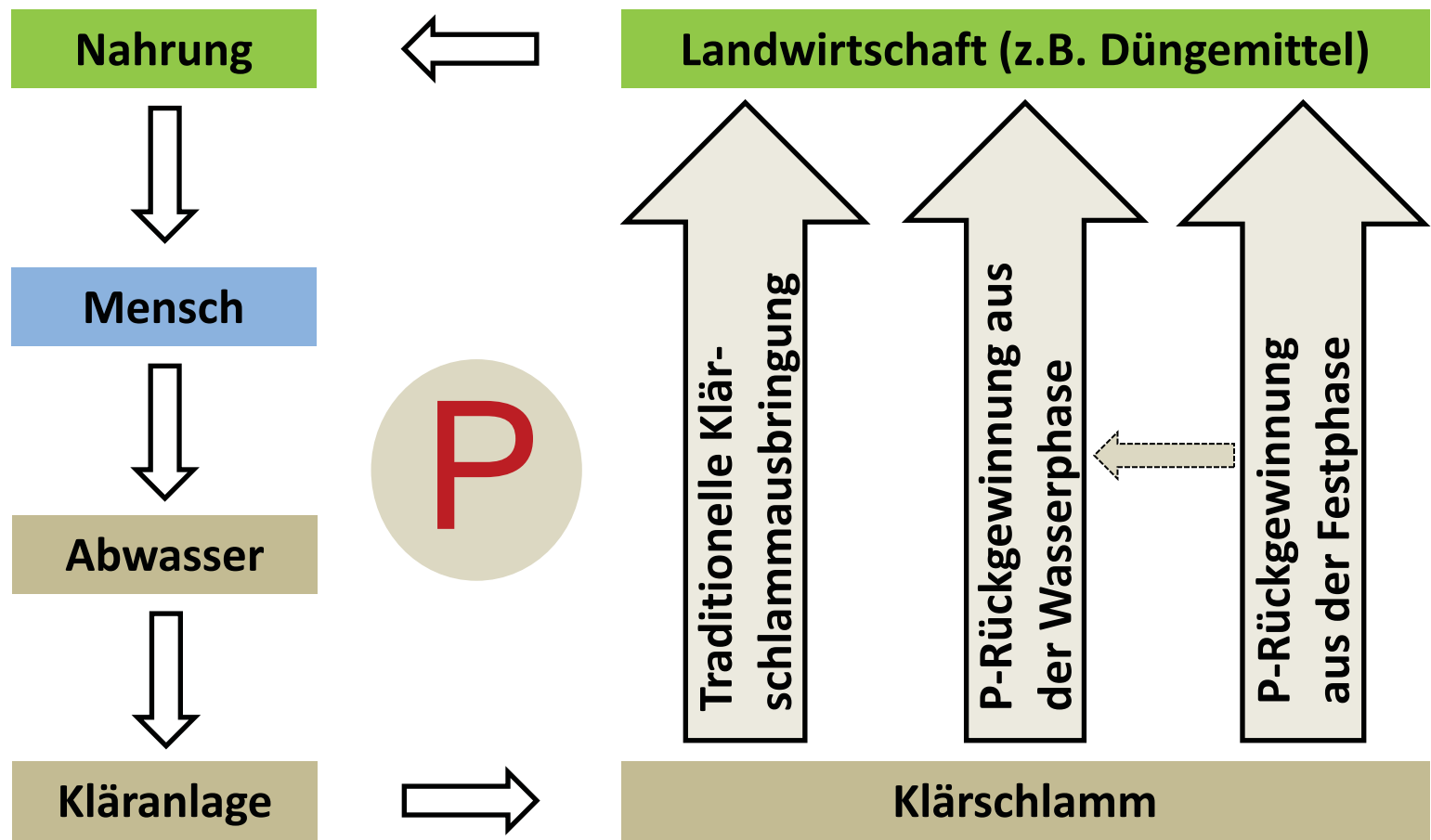
PHOSPHORUS RECYCLING  
FROM PROTOTYPE TO MARKET



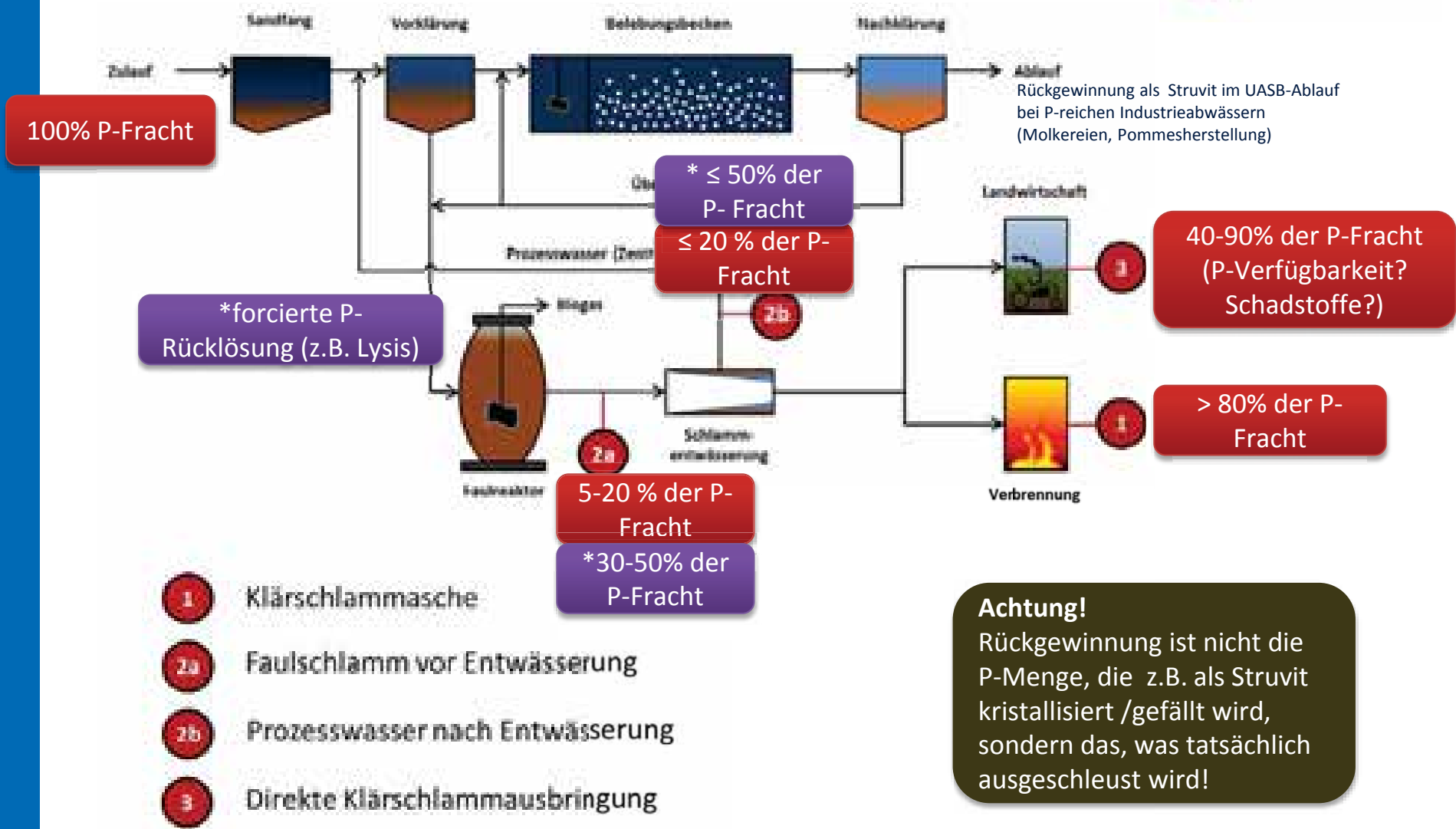
KOMPETENZZENTRUM  
WasserBerlin

[www.p-rex.eu](http://www.p-rex.eu)

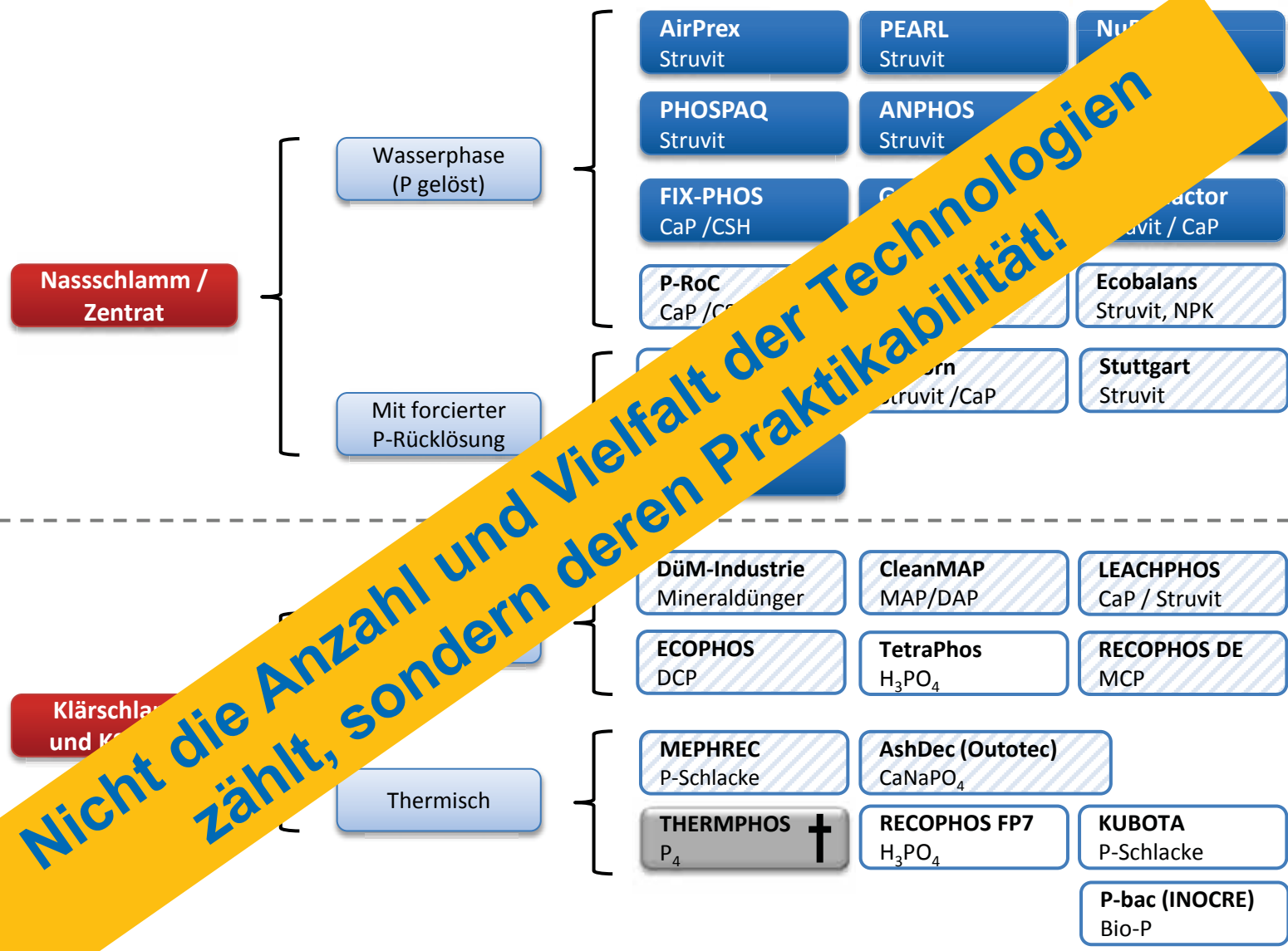
# Die drei Säulen des P-Recyclings aus d. Abwasserpfad



# HotSpots für P-Rückgewinnung aus dem Abwasserpfad



# Überblick und Stand der Umsetzung vielversprechender Verfahren



Full-scale   Demo / Pilot   Lab-scale

# P<sub>REC</sub>-Anlagen (Abwasserpfad) in Europa (2015/16)



<https://de.batchgeo.com/map/0f9d56a3aa57a51379a3cb23af27d202>

- Technologien: Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit? Passende Infrastruktur? Regionale Bedingungen? Rückgewinnung selbst ist noch kein Recycling!
- $P_{rec}$  **Produkte**: reale Marktanforderungen (Bedarfsseite) neben zusätzlichen Basis? Markterfolg wird von potentiellen Anforderungen bestimmt.



- Match making zwischen Supply und Demand -> Bridging the gap!

A promotional graphic for the eMarket platform. It features a blue background with the text "eMarket Marketplace for recovered nutrients" and "Think forward, act circular" in white. Below the text is a laptop displaying a map of Europe with various locations marked. To the right of the laptop is a small inset image showing several green cylindrical containers of recovered nutrients. At the bottom right of the graphic is the "eMarket" logo, which consists of the word "eMarket" in a bold, sans-serif font, with several blue dots of varying sizes arranged around it. Below the logo is the website address "e-market.phosphorusplatform.eu".

eMarket Marketplace for recovered nutrients

Think forward, act circular

eMarket

e-market.phosphorusplatform.eu

- Ohne direkte **operative Vorteile** derzeit keine **Umsetzung** / Varianz der regionalen Rahmenbedingungen (Start mit „lowest hanging fruits“)
- Allgemeine **politische Verunsicherung** behindert Innovation und Investitionen
- **Recyclate** in unterschiedlicher **Qualität** und **Quantität** (Zielmarkt und Marktpotential)
- **End-of-Waste** Status (Ende der Abfalleigenschaft) und Kriterien notwendig (EU-weit) -> P-REX Ergebnisse (Risk Assessment/ LCA...) direkt zum JRC in Sevilla
- Recyclate nur **wettbewerbsfähig**, wenn besser und oder preiswerter als kommerzielle Massenware -> Konkurrenz ist aussichtslos, **Integration** ist einzige vw. Option
- Für Rückgewinnung aus Aschen: **Ausschreibungspflichten** zur Ascheentsorgung sind investitionsfeindlich! Betreibermodelle müssen Ascheeigner einbeziehen.
- **Kläranlagenbetreiber** und Monoverbrenner sind **keine DüM-Hersteller**, geschweige denn Händler ... (GMP, Vertrieb ...)
- Rückgewinnung allein ist noch lange kein **Recycling!** Kreislaufwirtschaft bedeutet geschlossene (sektoren- bzw. ressortübergreifende) **Wertschöpfungskreisläufe!**



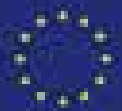


**P-REX**

# Regionalstudie Deutschland

*Fabian Kraus, Christian Kabbe*

**PHOSPHORUS RECYCLING**  
FROM PROTOTYPE TO MARKET

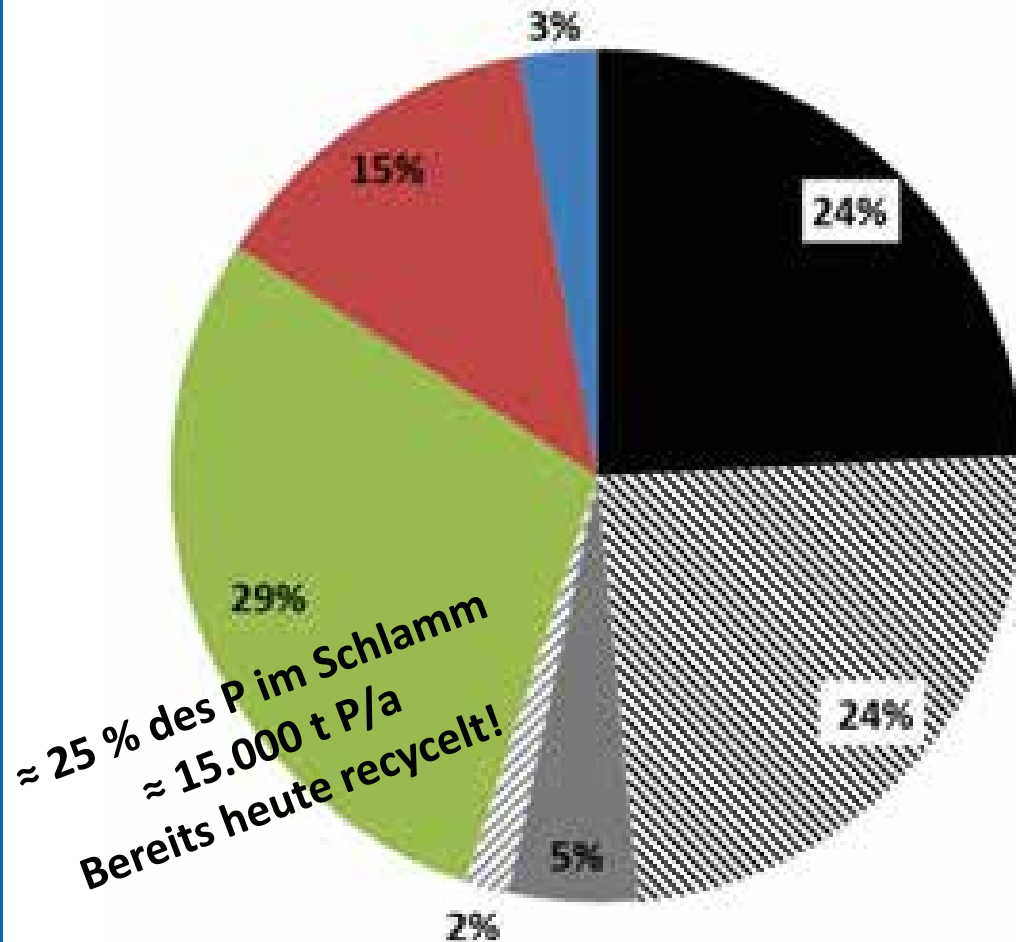


**KOMPETENZZENTRUM**  
WasserBerlin

[www.p-rex.eu](http://www.p-rex.eu)

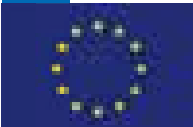


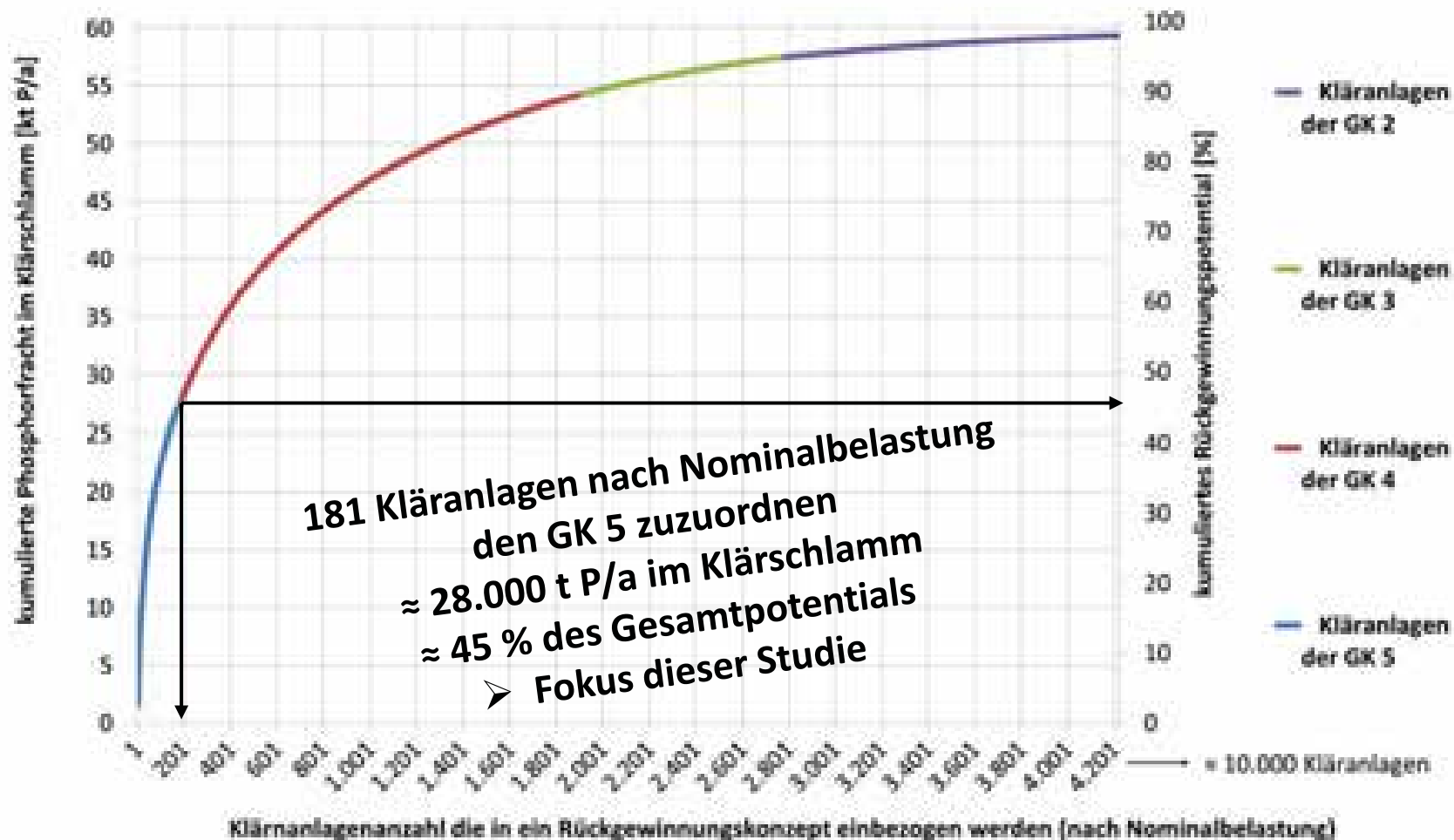
Schlammmenge in Deutschland (2013): 1.846 kt TS/a



- Monoverbrennung
- ▨ Mitverbrennung in Kohlekraftwerken
- Mitverbrennung in Zementwerken
- ▨ Mitverbrennung in Müllverbrennungen
- Landwirtschaftliche Verwertung
- Landschaftsbau
- andere Entsorgungswege

Nach Destatis 2013, Lehrmann 2011












Nach UBA 2014, DWA 2014



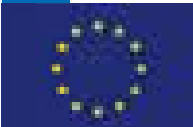


-  Monoverbrennungen (kommunale KS)
-  Monoverbrennungen (kommunale/industrielle KS)
-  Monoverbrennungen (industrielle KS)
-  GK 5 Kläranlagen nach Nominalbelastung
-  Mitverbrennung in Kohlekraftwerken
-  Mitverbrennung in Zementwerken
-  Mitverbrennung in Müllverbrennungsanlagen
-  Phosphordüngemittel-Industrie

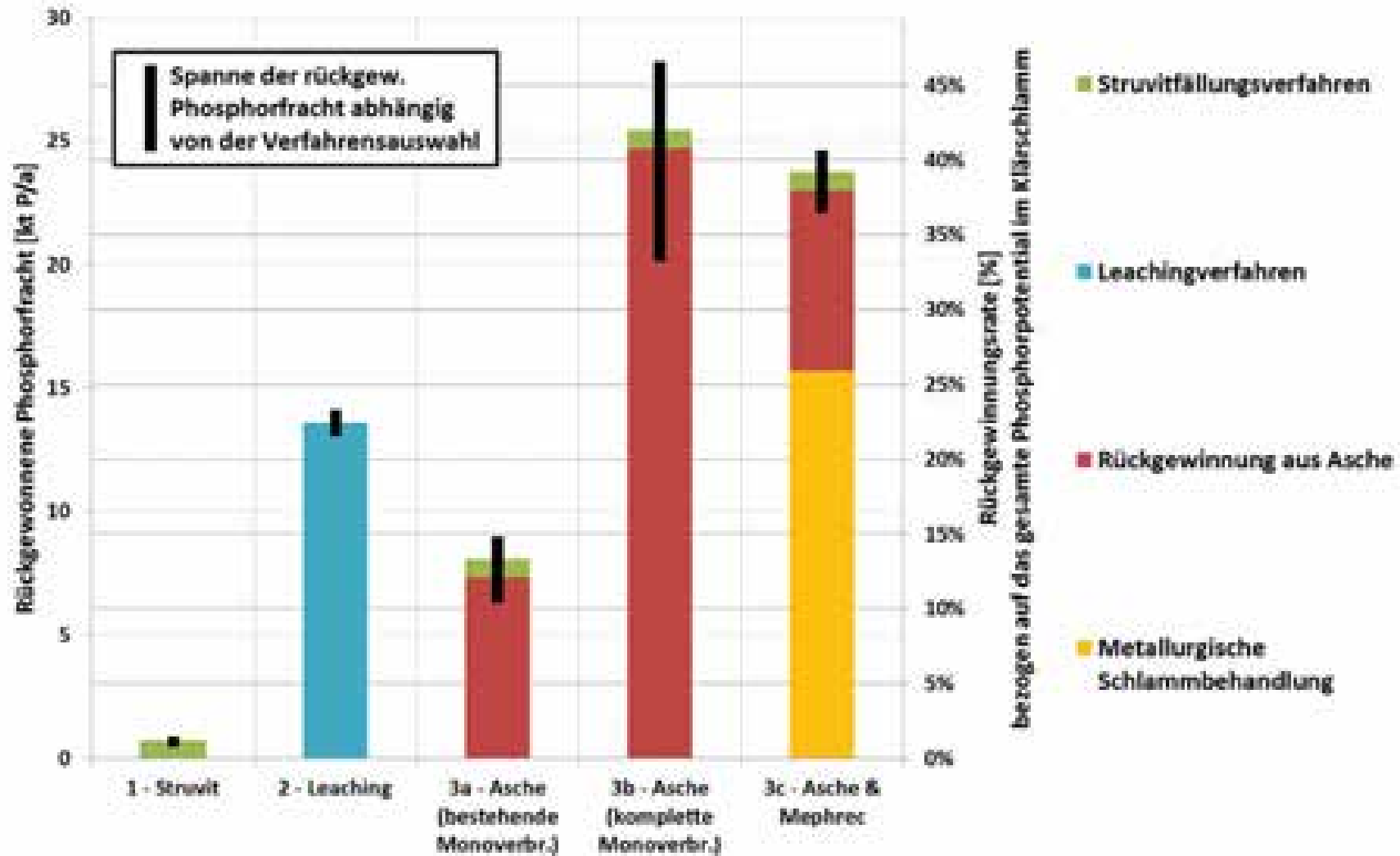
Phosphorfracht der GK 5 Kläranlagen bzw.  
Kapazität der Monoverbrennungsanlagen

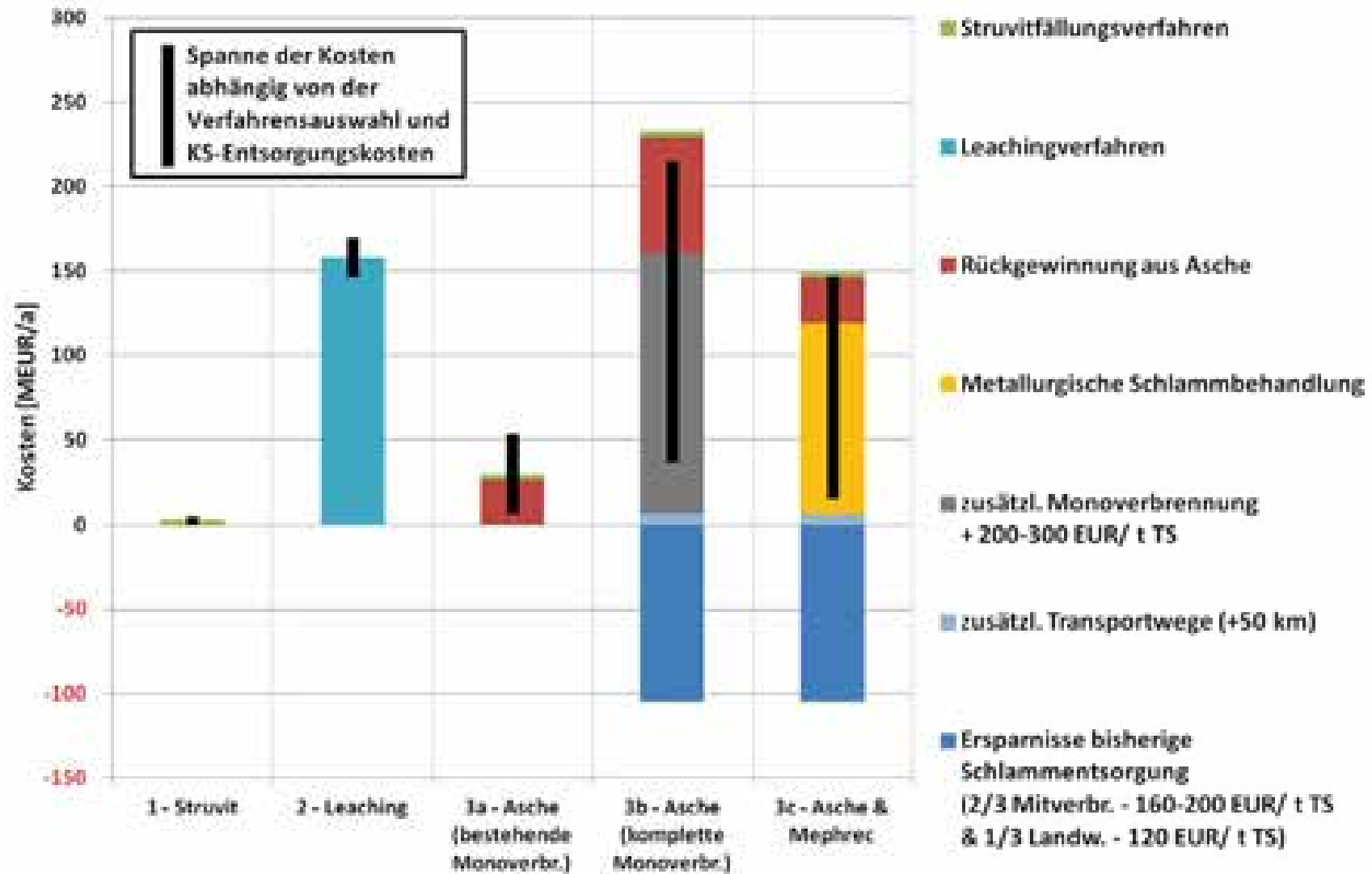
- 50 t P/a;  $\approx$  1.100 t TS/a 
- 100 t P/a;  $\approx$  2.300 t TS/a 
- 200 t P/a;  $\approx$  4.500 t TS/a 
- 500 t P/a;  $\approx$  11.000 t TS/a 
- 1.000 t P/a;  $\approx$  23.000 t TS/a 
- 2.000 t P/a;  $\approx$  45.000 t TS/a 
- 5.000 t P/a;  $\approx$  114.000 t TS/a 

*Monoverbr. nach Krüger & Adam 2014 (UBA Texte 49/2014),  
Mitverbrennungen nach Jasper & Kappa 2012,  
Phosphordüngemittel-Industrie nach IVA 2014*



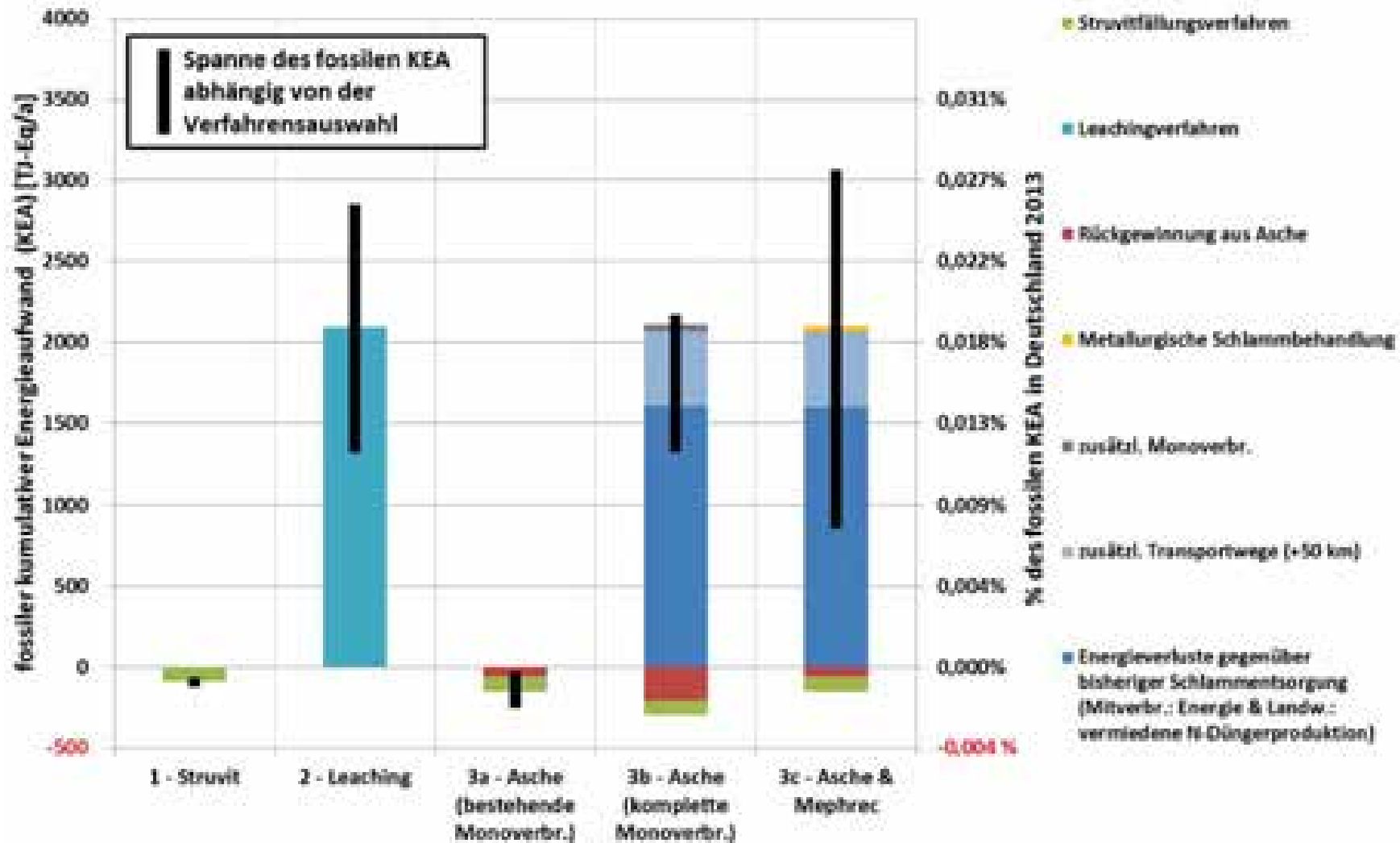
Ansatzpunkt/ Verfahrenskategorie		Rückgewinnung aus Asche	Metallurgische Schlamm- behandlung	Leaching- verfahren	Struvitfällungs- verfahren
Nr.	Name des Szenarios	AshDec, EcoPhos Leachphos	Mephrec	Gifhorn, Stuttgart	AirPrex, Struvia, Pearl
1	Struvit	-	-	-	Kläranlagen nach Kriterien
2	Leaching	-	-	Alle Kläranlagen	-
3a	Asche (bestehende Monoverbr.)	Kläranlagen mit Monoverbrennung	-	-	Kläranlagen nach Kriterien
3b	Asche (komplette Monoverbr.)	Alle Kläranlagen	-	-	Kläranlagen nach Kriterien
3c	Asche & Mephrec	Kläranlagen mit Monoverbrennung	Kläranlagen ohne Monoverbrennung	-	Kläranlagen nach Kriterien





Nach Nättorp & Remmen 2015 unpublished, LfU 2011, DWA 2012, Wiechmann et al. 2013, Hermann 2014

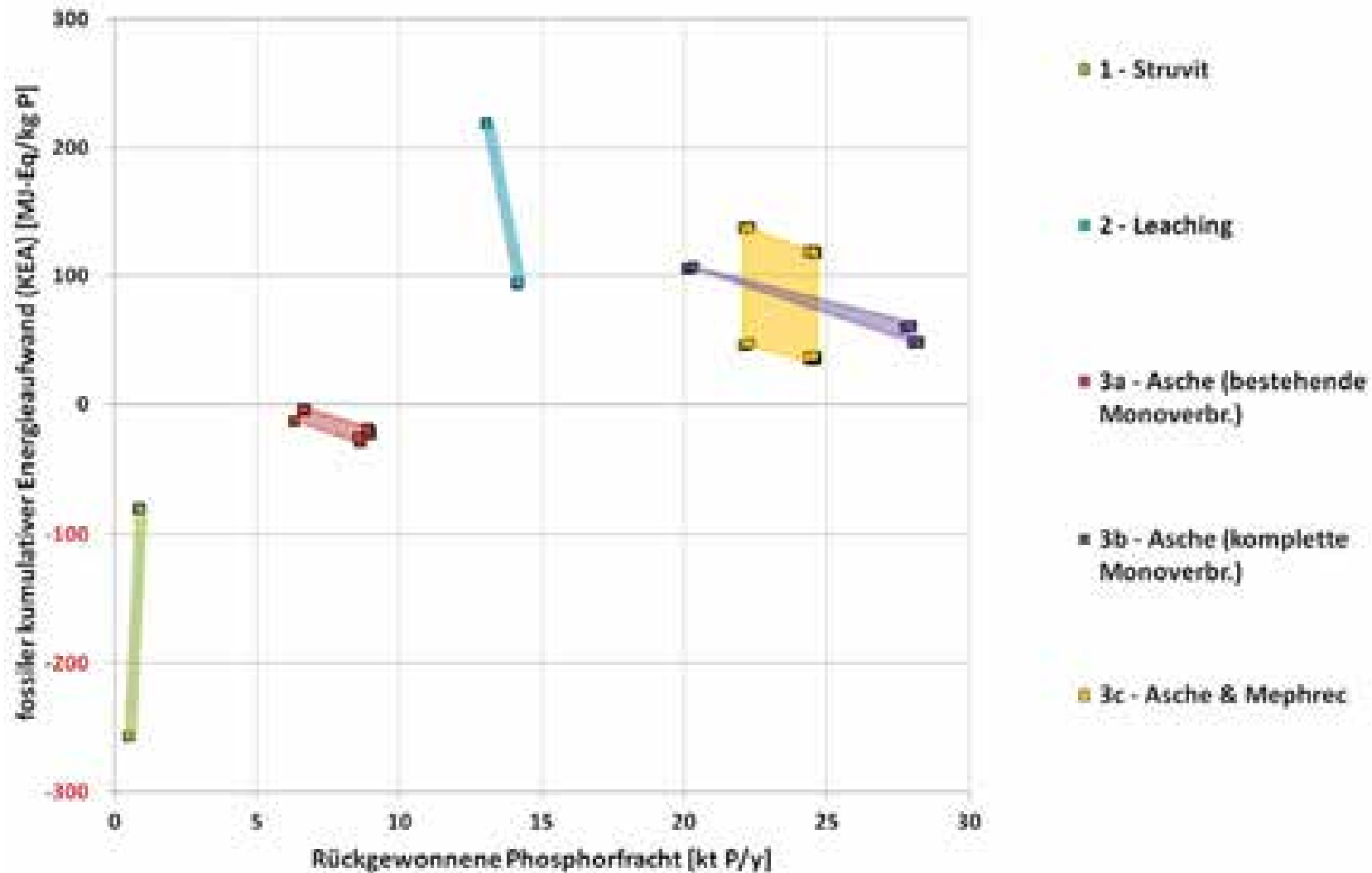




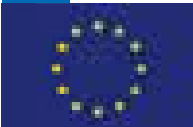
Nach Remy & Jossa 2015 unpublished

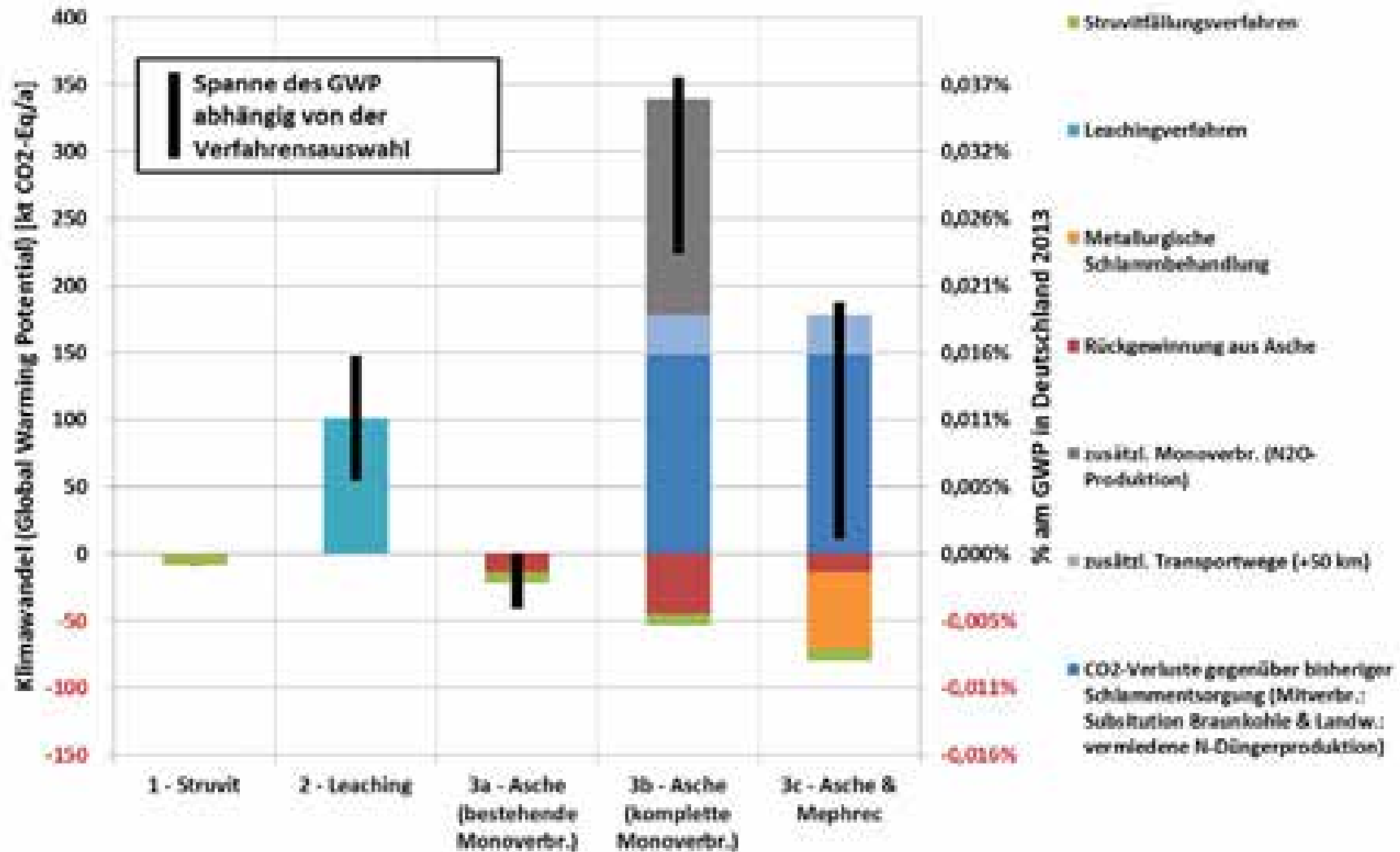




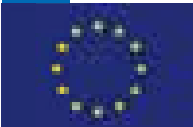


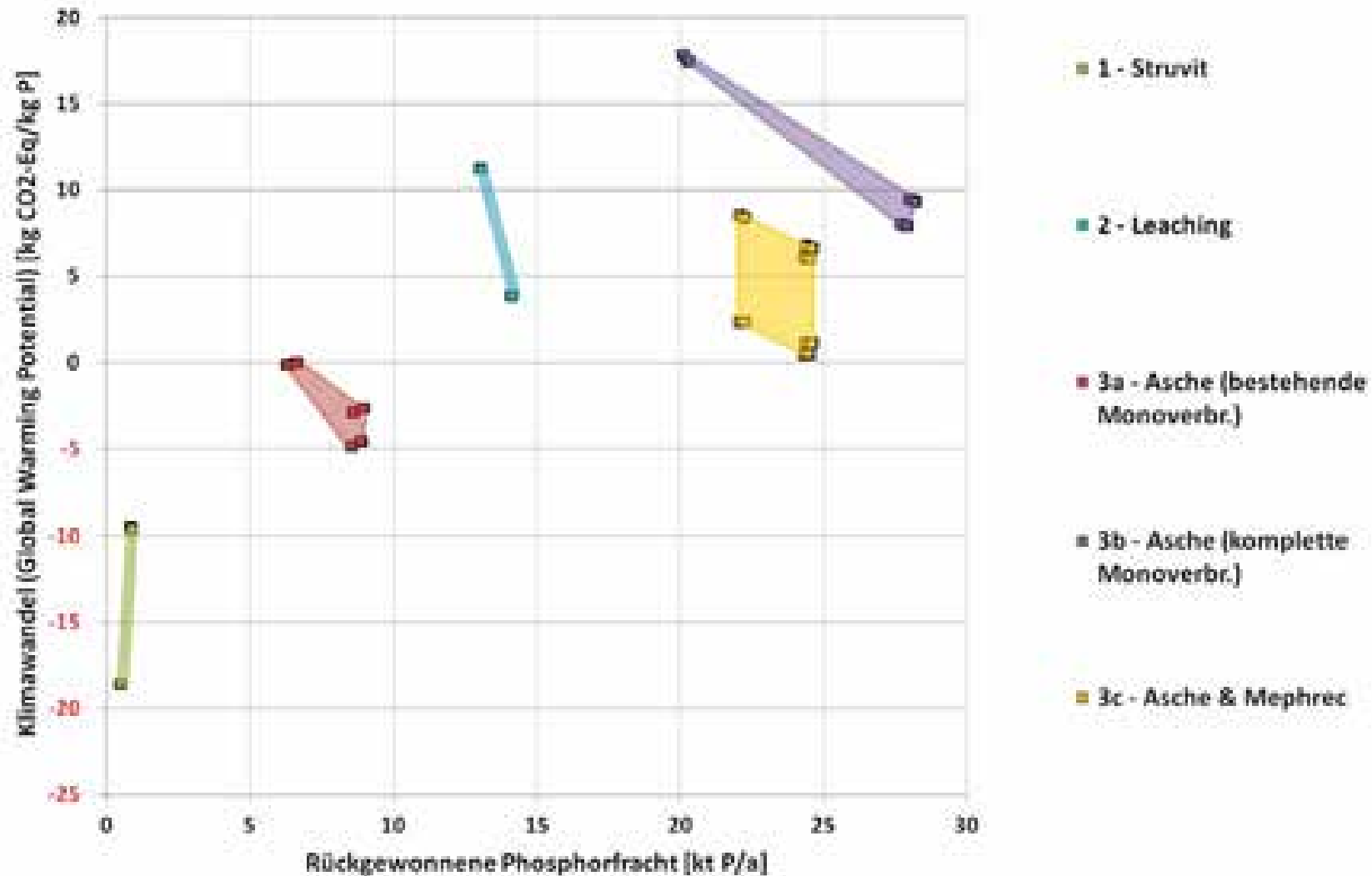
Nach Remy & Jossa 2015 unpublished





Nach Remy & Jossa 2015 unpublished





*van der Kerk & Jossa 2015 unpublished*

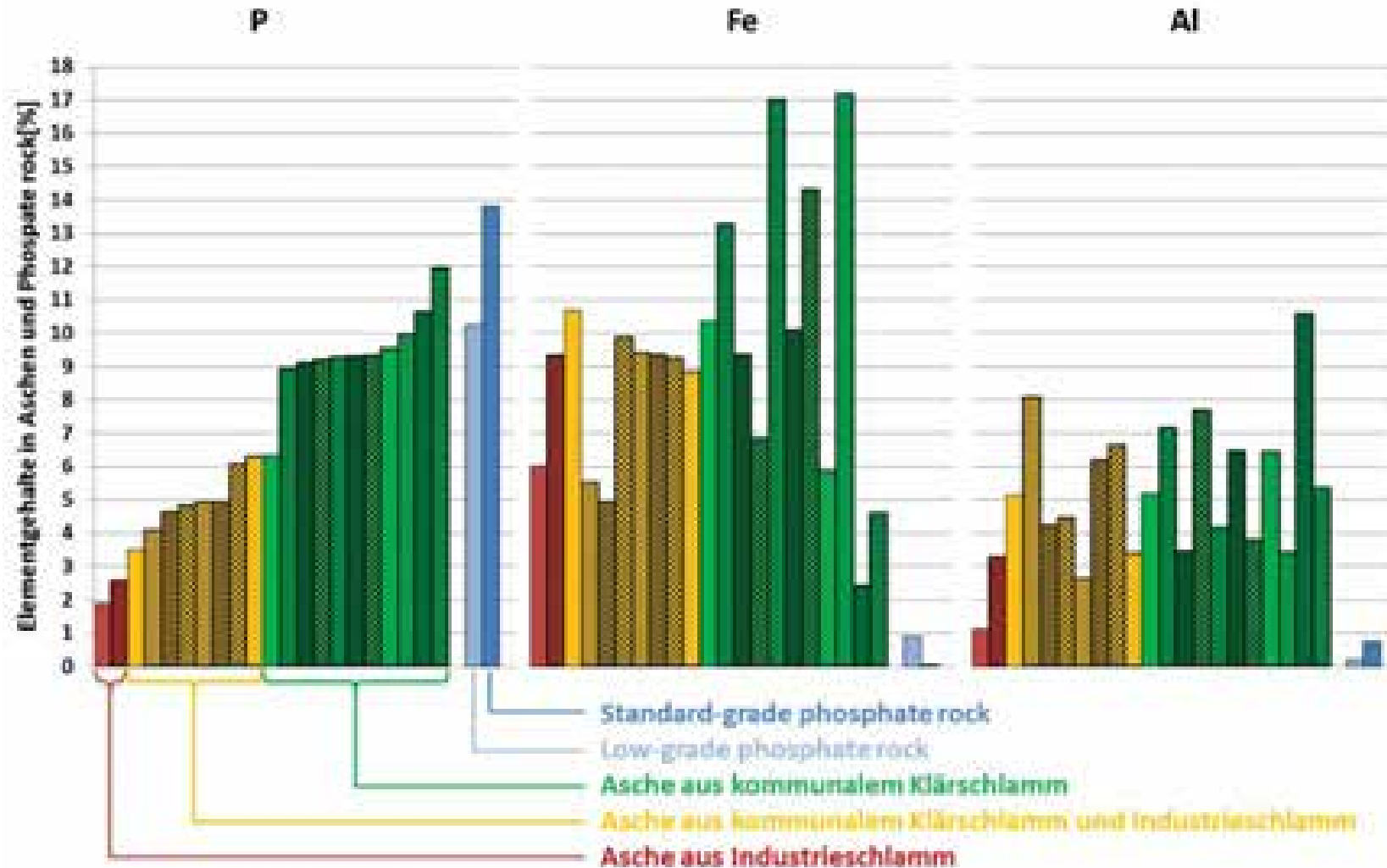


Nr.	Name des Szenarios	Rück-gewonnene Phosphor-fracht [t P/a]	Rück-gewinnungs-rate [%]	Kosten [MEUR/a]	Spezifische Kosten [EUR/kg P]	Fossiler KEA (Energie-aufwand) [TJ-Eq/a]	Global Warming Potenzial [kt CO <sub>2</sub> -Eq/a]	USEtox Ökotoxizität [10 <sup>6</sup> CTU/a]	USEtox Human-toxizität [CTU/a]
1	Struvit	470 – 870	0,8 – 1,4	0,3 – 5,1	0,7 – 6,0	-120 – -70	-9 – -8	-13 – 11	-7 – 21
2	Leaching	13000 – 14000	22 – 23	150 – 170	11,2 – 12,0	1300 – 2900	55 – 150	-110 – 550	-94 – 140
3a	Asche (bestehende Monoverbr.)	6300 – 9000	10 – 15	6,8 – 53	0,8 – 8,0	-250 – -30	-41 – -0,2	-160 – 6700	-140 – 8700
3b	Asche (komplette Monoverbr.)	20000 – 28000	33 – 47	38 – 220	1,4 – 10,6	1300 – 2200	220 – 360	-5900 – 17000	-8000 – 22000
3c	Asche & Mephrec	22000 – 25000	36 – 41	16 – 150	1,2 – 3,9	850 – 3100	11 – 190	-4100 – 2700	-5800 – 3000

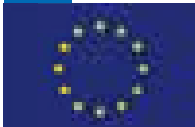
- EcoPhos kosteneffektivstes (0.8 EUR/kg P) und umweltfreundlichstes Ascheverfahren hinsichtlich der meisten betrachteten Impactkategorien
- Nachteilige Auswirkungen hat ein kurzfristiger/umfassender Ausstieg aus der KS-Düngung -> Faktenbezogene Abwägung zwingend!

*Wie kann die technische Rückgewinnungsrate (und die Phosphorfracht in Aschen) gesteigert werden ohne mehr Klärschlamm zu verbrennen?*





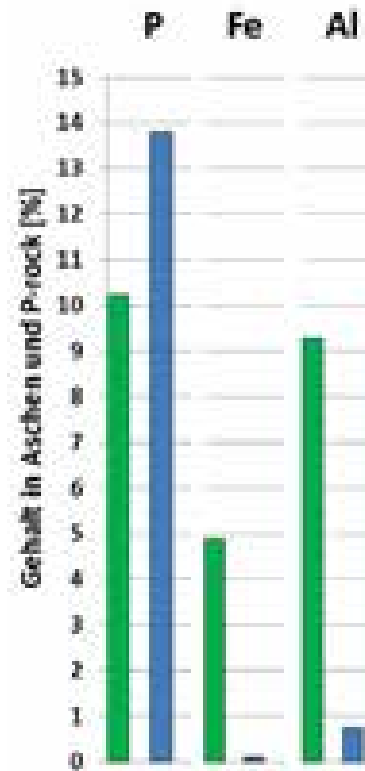
Aschen nach Krüger & Adam 2014 (UBA Texte 49/2014), Phosphate rock nach EcoPhos 2015, ICL 2015





- Aschen ausgewählter Monoverbrennungen in Südwestdeutschland produzieren 12.000 t Asche/a mit 1.200 t P/a
- Substitution von P-Rock; ca. 8.5 % Substitutionsrate
- Rückgewinnungs- und Recyclingpotential aus Aschen: ca. 2 % bezogen auf das Gesamtpotential im Klärschlamm Deutschlands

Aschen und P-rock



Mischung



Summe (Fe, Al)  $\leq$  2 %

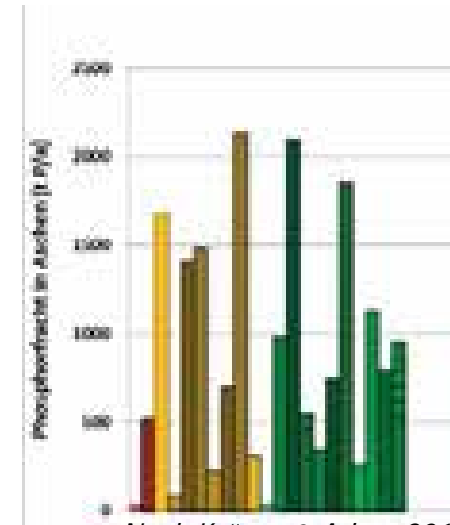
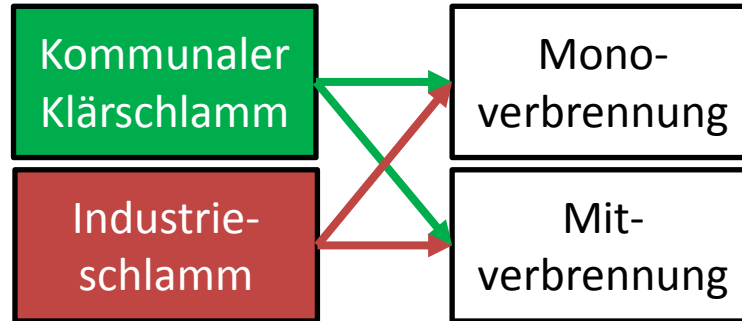
- Gewichteter Gehalt in Aschen der ausgewählten Monoverbrennungen
- Gehalt in standard-grade phosphate rock

Nach Krüger & Adam 2014 (UBA Texte 49/2014), ICL 2015



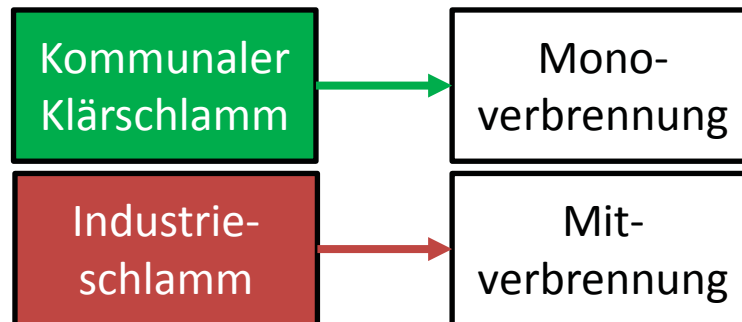


Gegenwart



Nach Krüger & Adam 2014  
(UBA Texte 49/2014)

Zukunft



- **P-reiche Aschen:**  
P-Gehalte  $\geq 8\%$
- **Optional: Fe-/Al-  
arme Aschen**
- **P-Fracht in Aschen  
über 20 kt P/a  
möglich**





## Gesamtpotential im Klärschlamm: 60.000 t P/a

<b>Heute:</b>	<b>≈ 25 %</b>	15.000 t P/a bereits recycelt durch direkte Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft (qualitätsabhängig) ➤ Sinnvolle Option insbesondere für kleinere Kläranlagen	<i>Recycling garantiert!</i>
<b>+</b>	<b>&gt; 1 %</b>	> 600 t P/a mit Struvit-Rückgewinnung	<b>0-6 €/kg P</b>
<b>+</b>	<b>≈ 15 %</b>	9.000 t P/a mit EcoPhos aus bestehenden Aschen	<b>&lt; 1 €/kg P</b>
<b>oder/ +</b>	<b>≈ 2 %</b>	1.200 t P/a durch Synergien mit der Düngemittelindustrie aus bestehenden Aschen	<b>?</b>
<b>oder +</b>	<b>&gt; 33 %</b>	20.000 t P/y durch smarteres Klärschlammverbrennungsmanagement bei Ausnutzung vorhandener Monoverbrennungskapazitäten in Kombination mit der Düngemittelindustrie/ EcoPhos	<b>&lt; 1 €/kg P</b>
<b>BMUB:</b>	<b>&gt; 80 %</b>	50.000 t P/y rein technische P-Rückgewinnung, Verbot der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung, kein garantiertes Recycling, geringe Energieeffizienz und hohes Klimapotential	<i>Recycling unklar?</i> <b>2-20 €/kg P</b>

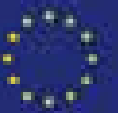






**Versuchen wir die existierende Infrastruktur optimal für Phosphorrecycling auszunutzen ( > 50 % bezogen auf das Gesamtpotential im Klärschlamm Deutschlands möglich)...**

- ohne hohe Investitionen
- mit (Prozessen adaptiert aus) der Düngemittelindustrie
- landwirtschaftlicher Klärschlammverwertung qualitativ hochwertiger Schlämme
- mit Struvit-Rückgewinnung primär für den Einsatz in der ökologischen Landwirtschaft
- ohne nachteilige Umweltauswirkungen an anderer Stelle





**P-REX**

## Herzlichen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

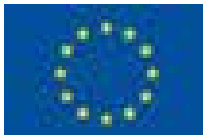
Kontakt: [fabian.kraus@kompetenz-wasser.de](mailto:fabian.kraus@kompetenz-wasser.de)  
[christian.kabbe@kompetenz-wasser.de](mailto:christian.kabbe@kompetenz-wasser.de)

Download at [www.p-rex.eu](http://www.p-rex.eu) :

Technical factsheets (process data)

Reports on LCA and cost assessment (mid 2015)

Policy brief and regional studies (D, CH, ES, CZ)

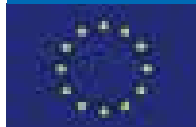


This project has received funding from the European Union's Seventh Programme for Research, Technological Development and Demonstration under Grant Agreement no. 308645.

KWB is co-financed by



PHOSPHORUS RECYCLING  
FROM PROTOTYPE TO MARKET



KOMPETENZZENTRUM  
WasserBerlin

[www.p-rex.eu](http://www.p-rex.eu)