LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE

Freistaat
SACHSEN

Aktuelle Entwicklungen zur Phosphorrückgewinnung

Dr. Arthen, Dr.-Ing. habil. Müller

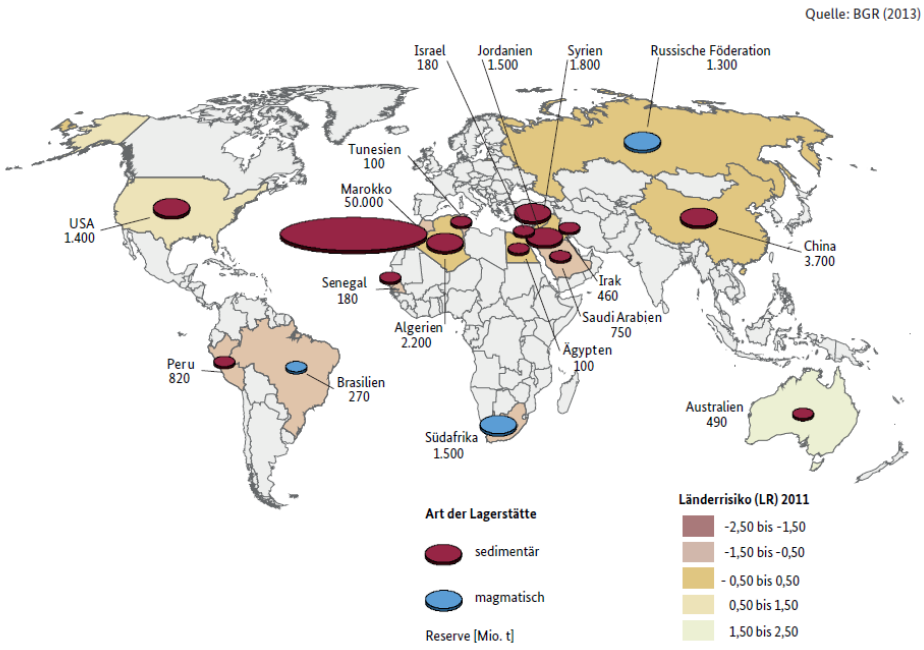
Quelle: LfULG

Inhalt

- Veranlassung
- Stoffströme zur Phosphorrückgewinnung
- Klärschlammentsorgung im Freistaat Sachsen
- Übersicht Phosphorrückgewinnungsverfahren
- Aspekte zur Verfahrensauswahl
- Zusammenfassung und Ausblick

Veranlassung

- Phosphor - unverzichtbarer Rohstoff für alle Organismen, Zusatzstoff für Futter- und Düngemittel
- endliche Rohstoffressource, Herkunftsbereiche konzentriert auf wenige Regionen u.a. Marokko/Westsahara, China…
- Belastung der phosphathaltigen Primärgesteine mit Uran und Cd



Phosphatreserven weltweit
Die Weltkarte zeigt die größten derzeit bekannten Phosphatlagerstätten. Phosphatvorkommen unter 100 Millionen Tonnen werden nicht dargestellt. Die Karte stellt insgesamt 99 Prozent der weltweit bekannten Reserven dar.

- Einschränkung der bodenbezogenen Klärschlammausbringung durch Novellierung Klärschlammverordnung sowie Düngemittelverordnung
- Nutzung von Sekundärphosphaten als Beitrag zur Ressourcenschonung und zum Schließen von Stoffkreisläufen

Quelle: BGR 2013

Stoffströme zur Phosphorrückgewinnung (Deutschland)

Stoffstrom	Abfallmenge pro Jahr [1.000 t]	$P_2 0_5$ Gehalt [%]	Theoretisches P-Potenzial [1.000 t]
Klärschlamm (TM), davon als Aschen aus Monoverbrennung	1890 250	4 - 7 6 - 10	76 - 132 15 - 25
Kompost (FM)	4037	0,66	27
Gärprodukte (FM)	2942	1,6 - 5,8	47 - 171
Tiermehl (TM)	400	7	28
Fleischknochenmehl	160	14	22
Holzasche (naturbelassen) (TM)	210	1,5 - 4	3 - 8
Gesamtmenge P-Dünger aus Recyclingprozessen	9639	1,5 - 14	203 - 388

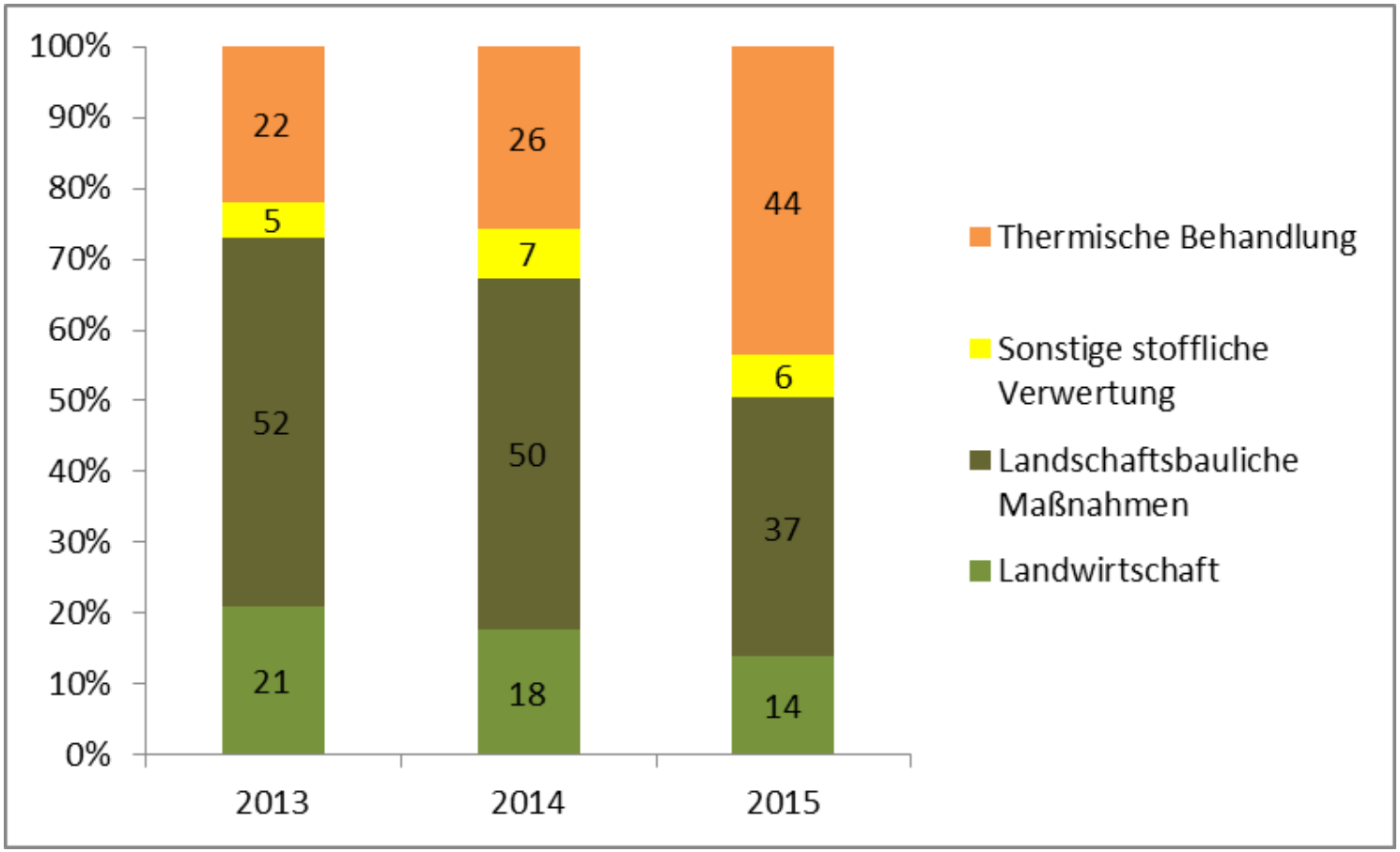
Quelle: Montag et. al. (2013)

Klärschlammentsorgung im Freistaat Sachsen

- 686 Kläranlagen Sachsen:
  - 602 Anlagen bis 10.000 EW (GK 1 bis 3)
  - 65 Anlagen 10.001 bis 50.000 EW (GK 4)
  - 11 Anlagen > 50.000 EW (GK 4)
  - 8 Anlagen > 100.000 EW (GK 5)
- Klärschlammanfall 2015: 79.129 Tonnen TM
- Klärschlammentsorgung:
  - 56 % stofflich
  - 44 % thermisch (Mitverbrennung)

Quelle: Mediendatenbank Freistaat Sachsen

Klärschlammentsorgung im Freistaat Sachsen

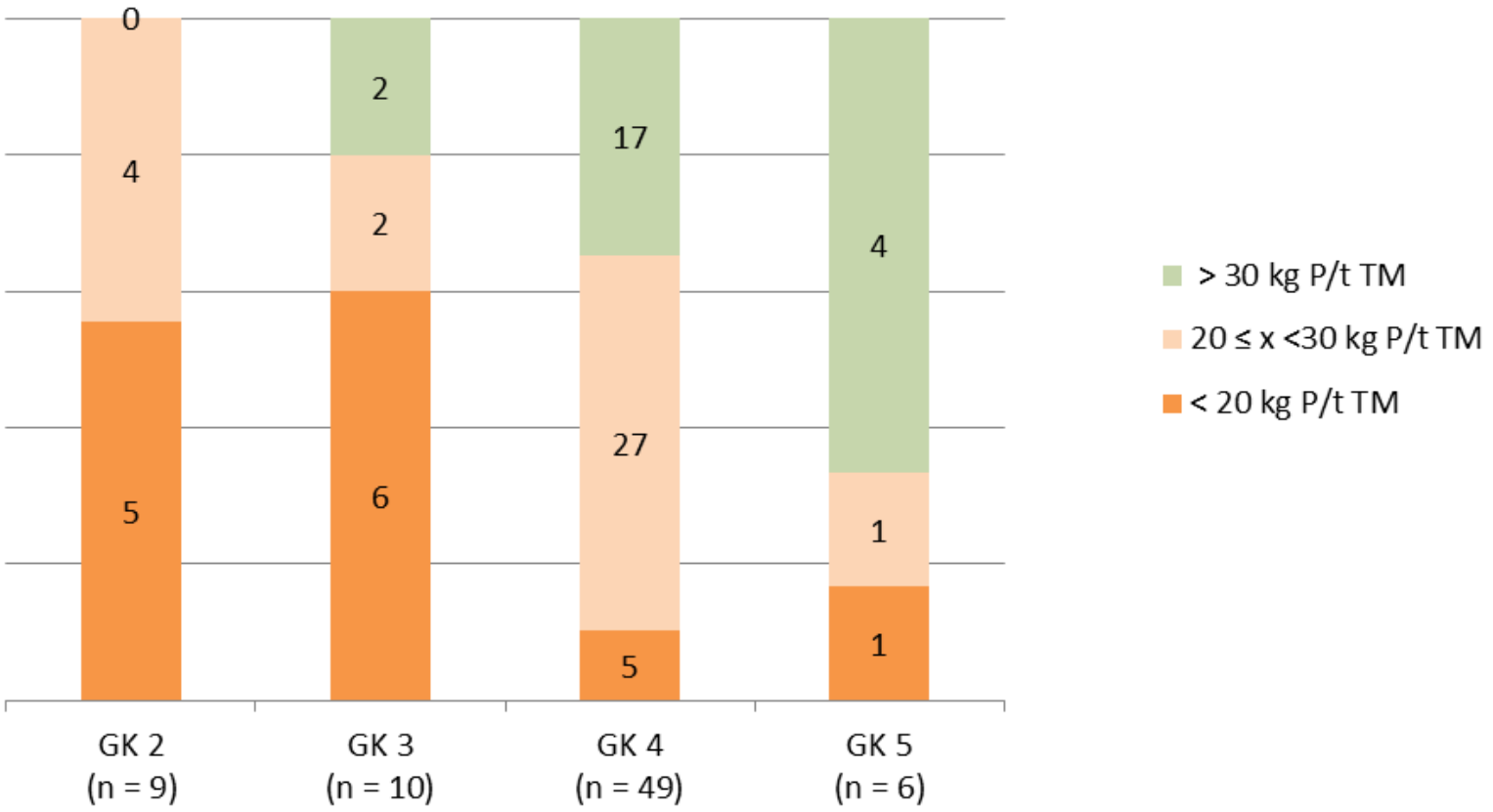


Quelle: LfULG, Entwurf Lagebericht 2016

Klärschlammentsorgung im Freistaat Sachsen

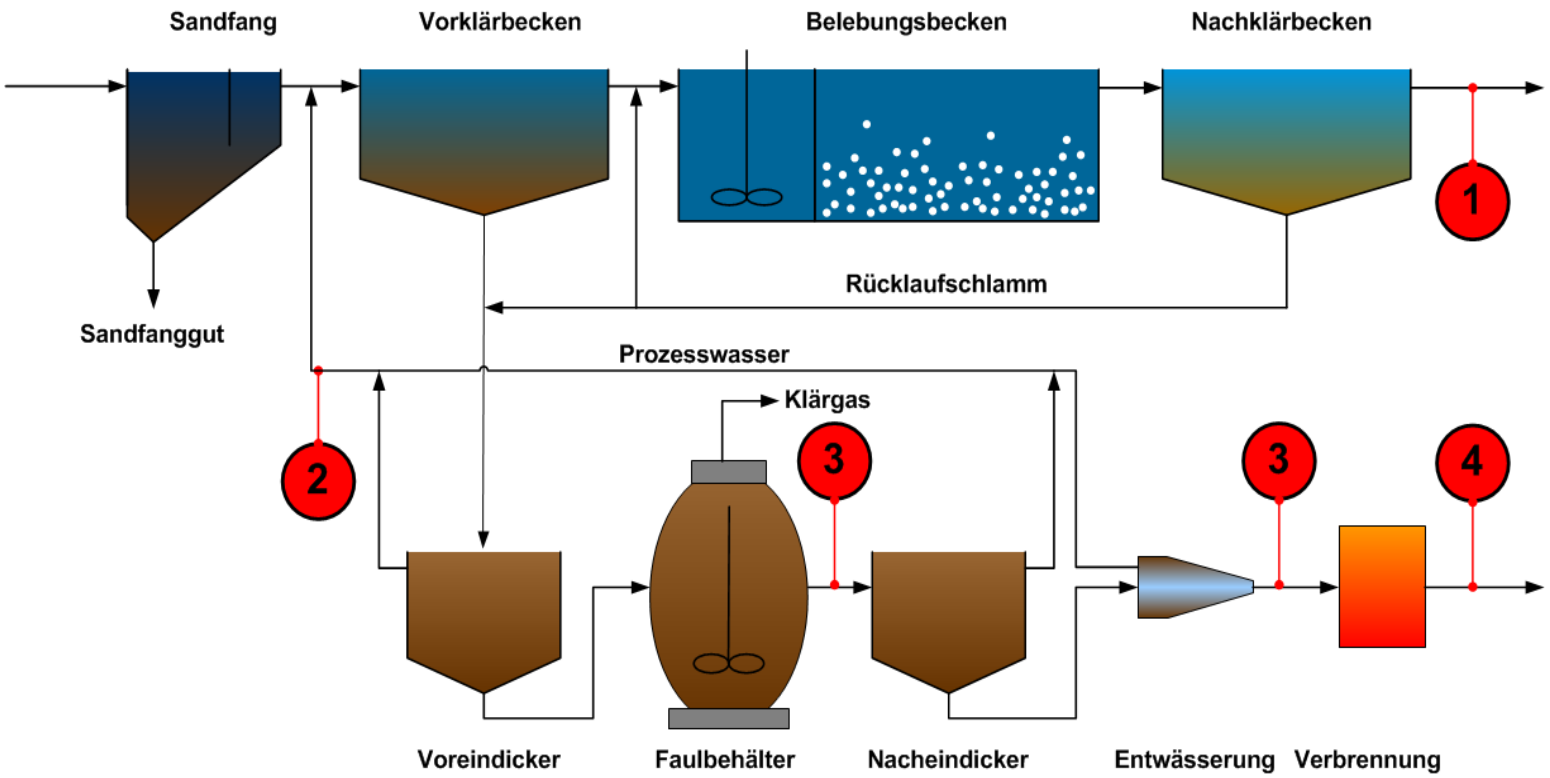
- bis 2014 wurden ca. 80 % der Klärschlämme bodenbezogen verwertet
- Klärschlammkonzeption 2015 in Vorbereitung Abfallwirtschaftsplan 2016
  - Klärschlammentsorgung für die Jahre 2017, 2020 und 2025 in drei Szenarien betrachtet
  - Zunahme der thermischen Entsorgung von Klärschlämmen
  - Monoverbrennung gewinnt an Bedeutung
  - Empfehlung: Aktualisierung der Entsorgungskonzepte

Phosphorgehalte im Klärschlamm sächsischer Kläranlagen



Quelle: LfULG, Klärschlammkonzeption 2015

Mögliche Gewinnungsorte von P in Kläranlagen



1 Ablauf der Nachklärung
2 Schlammwasser
3 Faulschlamm/Klärschlamm
4 Klärschlammasche

Quelle: Pinnekamp et al. (2016)

Charakterisierung der Stoffströme

Einsatzstelle	Volumen-Massenstrom	Phosphor-konzentration	Bindungsform	Rückgewinnungs-potenzial bezogen auf die Zulauffracht der Kläranlage
Kläranlagenablauf	200 l/(E*d)	< 5 mg/l	gelöst	max. 55%[1]
Schlammwasser	1 - 10 l/(E*d)	20 - 100 mg/l	gelöst	max. 50 %[2]
Faulschlamm	0,2 - 0,8 l/(E*d)	30 - 40 g/kg TR	gelöst sowie bio-logisch/chemisch gebunden	max. 90 %
Klärschlammasche	0,03 kg/(E*d)	60 - 80 g/kg	chemisch gebunden	max. 90 %

[1]sofern keine gezielte P-Elimination stattfindet
[2] bei biologischer P-Elimination und Klärschlammdesintegration

Quelle: DWA (2013)

Phosphorrückgewinnungsverfahren

- Diskussion um Phosphor-Rückgewinnung auf verschiedenen Ebenen
  - dt. Ressourceneffizienzprogramm
  - bei EU als kritischer Rohstoff gelistet
- Aktivitäten
  - Förderung Forschungsprojekte auf Bundesebene (BMUB/UBA, BMEL)
  - Studien und Symposien von Bundesländern (z.B. BY, BW, HE)
  - Errichtung der Deutschen Phosphor-Plattform (DPP)
  - LAGA AG Ressourcenschonung durch Phosphorrückgewinnung und Berichte
  - DWA-Klärschlammnetzwerke
  - EU: Forschungsprojekt P-Rex
- derzeit ca. 50 unterschiedliche Verfahren zur P-Rückgewinnung

Einteilung Phosphorrückgewinnungsverfahren (Auswahl)

Abwasser und Prozesswasser	Klärschlamm	Klärschlammasche
Kristallisation/Fällung P-RoC Ostara PEARL® NuReSys®	Kristallisation/Adsorption AirPrex®, Berliner Verfahren Fix-Phos	nasschemischer Aufschluss Pasch LEACHPHOS TETRAPHOS Verfahren
Ionenaustausch PHOSIEDI	Säureaufschluss Stuttgarter Verfahren Budenheimer-Verfahren Gifhorner Verfahren	Bioleaching P- bac
Kombinations- und Sonderverfahren RECYPHOS	hydrothermaler Aufschluss Cambi Kemira KREPRO® TerraNovaUltra HTC-Verfahren AVA-CO_2	Elektrokinese EPHOS
	thermochemischer Aufschluss/ metallurgische Prozesse MePhrec® ATZ Eisenbadreaktor PYREG®	thermochemischer Aufschluss/ metallurgische Prozesse MePhrec® ATZ Eisenbadreaktor ASH DEC/Outotec-Verfahren

Quelle: nach Montag et.al (2016)

Bewertung P-Abreicherung

Verfahren	max. Wirkungsgrad bezogen auf den Zulauf zur Kläranlage (%)	derzeitige Zielerreichung P< 20 g/kg TR oder 50 % P-Abreicherung des Klärschlamms
Rückgewinnung aus Abwasser/Prozesswasser		
P-Roc	30	nein
NuReSys	26	nein
DHV-Crystalactor	28	nein
Ostra Pearl Process	28	nein
Rückgewinnung aus Klärschlamm		
AirPrex	11/22	nein
Fix-Phos	33	nein
Stuttgarter	43	möglich
Budenheim	43	möglich

Quelle: UBA 2015

Bewertung Phosphorrückgewinnungsverfahren I

	nasschemische MAP- Verfahren	thermische Verfahren
Vorteile	- kostengünstiger - leichter nachzurüsten - bessere Pflanzen-verfügbarkeit	- hoher Rückgewinnungsgrad (90%) - simultane stoffliche und energetische Nutzung des Klärschlamms - flexibel einsetzbar (für alle Klärschlämme und andere Stoffe geeignet) - vollständige Zerstörung organischer Schadstoffe - deutlich weniger Reststoffe (Abfall)
Nachteile	- geringer Rückgewinnungs-grad (40%) - nur für Bio-P-Anlagen geeignet	- höhere Investitionskosten - aufwändigere Verfahrensdurchführung

Quelle: UBA (2012)

Bewertung Phosphorrückgewinnungsverfahren II

Verfahren	Phosphor-rückgewinnung	Pflanzenver-fügbarkeit	Schadstoffab-reicherung[1]	Einsatzfähigkeit, Anwendbarkeit
Fällung, Kristallisation	gering	mittel	mittel	mittel
nasschemischer Aufschluss	mittel	gut	gut	gut
thermochemischer Aufschluss	gut	mittel	mittel	mittel bis gut
metallurgischer Aufschluss	gut	mittel	mittel	mittel bis gut

[1] Organische und anorganische Schadstoffe können in unterschiedlichem Maße abgereichert werden

Quelle: nach LAGA (2015)

Bewertung Phosphorrückgewinnungsverfahren III

Verfahrensprinzip	Betriebsmittelverbrauch, Energieeffizienz	Reife des Verfahrens	Kosten pro kg Phosphor
Fällung, Kristallisation	mittel bis gut	gut	niedrig
nasschemischer Aufschluss	gering	mittel	mittel
thermochemischer Aufschluss	gering	mittel	hoch
metallurgischer Aufschluss	mittel	gering	mittel bis hoch

Quelle: nach LAGA (2015)

Phosphorrückgewinnungsverfahren

- Kristallisations- und Fällungsverfahren sowie nasschemische Verfahren bisher am häufigsten untersucht
- Säureaufschlussverfahren benötigen z. T. hohe Mengen an Chemikalien, Budenheimer Verfahren: weniger Chemikalien, dafür hoher Druck
- bei thermischen Verfahren können sich Schwermetalle aufkonzentrieren
- Entwicklungsstand unterschiedlich, teils großtechnisch erprobt und kommerziell im Einsatz (AirPrex/Berliner Verfahren), teils Probebetrieb
- Verschiebung bei den Gewinnungsorten: von Prozesswasser und Klärschlamm zu Klärschlammaschen
- Klärschlammaschen müssen aufbereitet oder separat deponiert werden

Anlagen in Deutschland (I)

Verfahren	Anlagenstandort	Betriebs-beginn	Produkt
AirPrex®/ Berliner Verfahren	Mönchengladbach-Neuwerk Waßmannsdorf Berlin Uelzen Salzgitter Steinhof (Braunschweig)	2009 2011 2014 2012 2015	MAP (Struvit)
FixPhos	Hildesheim	2012	P-haltiges CSH (Calcium-Silicat-Hydrat)
Budenheim ExtraPhos	Mainz-Mombach	2017	Ca-Phosphat
Stuttgarter Verfahren	Offenburg Stuttgart (mobile Schlammentwässerungsanlage)	2011 2016	MAP (Struvit)
Gifhorner Verfahren	Gifhorn	2007	MAP (Struvit)
P-Roc	Neuburg	2016	P-haltiges CSH

Quelle: nach Steinmetz (2016)

Anlagen in Deutschland (II)

Verfahren	Anlagenstandort	Betriebs-beginn	Produkt
EloPhos	Lingen	2015	MAP
MePhrec	Kläranlage Nürnberg	2016	P-haltige Schlacke
PYREG	Linz-Unkel Homburg	2015 2016	Phosphathaltiges Granulat
TetraPhos	Hamburg	2015	Phosphorsäure
Solar Mining	Grünstadt	2015	Düngekohle

Quelle: nach Steinmetz (2016)

Aspekte der Verfahrensauswahl (I)

- Bindungsform des Phosphors (Biologische P-Elimination, chemisch: Eisen- und Aluminiumfällung) und P-Konzentration
- Schadstoffbelastung des Klärschlamm bzw. der Klärschlammasche
- zu behandelnder Volumenstrom (Anlagengröße)
- technischer Entwicklungsstand (großtechnische Umsetzung, Pilotprojekt)
- Betriebsstabilität und Komplexität des Verfahrens (Verfahrensschritte)
- Modulisierbarkeit/Flexibilität (verschiedene Anlagengrößen)
- Platzbedarf (Anlagengröße, Lagerung Chemikalien)

Aspekte der Verfahrensauswahl (II)

- möglicher Entsorgungsweg (Verbrennung)
- kurzfristige Umsetzbarkeit
- Infrastruktur (Anbindung an Verbrennungsanlage)
- Phosphorrückgewinnungsgrad (Einhaltung AbfKlärV)
- ökologische Auswirkungen (z.B. Chemikalieneinsatz, Energieaufwand, Transporte, erzeugte Abfälle)
- Produktqualität (Pflanzenverfügbarkeit, Schadstoffbelastung, Marktfähigkeit)
- Kosten (Investitionskosten, Betriebskosten)

Quelle: nach TBF + Partner AG (2015) u. Montag et al. (2016)

Kosten für Phosphorrückgewinnung

Stoffstrom	Anzahl Verfahren	Produkt-spezifische Kosten	einwohnerspezifische Kosten	Schmutzwasser-spezifische Kosten[1)]
		[EUR/kg P]	[EUR/(E·a)]	[EUR/m³]
Schlammwasser	3	9 – 15	1 – 3	0,02 – 0,07
Faulschlamm	4	2 - 25	0,5 – 18	0,01 – 0,40
Klärschlammasche	3	2,6 – 7,5	1,6 - 3	0,04 – 0,07

1) Annahme 120 l(E*a)

Quelle: DWA (2013)

Zusammenfassung und Ausblick

- Akteure in Sachsen sind erheblich von Änderung der gesetzlichen Rahmenbedingungen betroffen
- Vielzahl von Phosphorrückgewinnungsverfahren und Verfahrensvarianten in Entwicklung und Anwendung
- bei Verfahrensauswahl sind vielfältige Aspekte zu berücksichtigen
- frühzeitiger Beginn erforderlich, weil langwierige Planungen, Genehmigungen und Umsetzungen zu erwarten, insbesondere für Monoverbrennung und Deponierung
- kommunale Zusammenarbeit prüfen
- Netzwerke nutzen (z.B. DWA)
- Bedeutung der Phosphorrückgewinnung wird steigen

Vortrag wird auf Internetseite des LfULG eingestellt

Veröffentlichung Klärschlammkonzeption 2015

www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wertstoffe/13772.htm

Quellenangaben

- Pinnekamp J.; Montag D.; Bastian D. (2016): Technische und strategische Ansätze zum Phosphorrecycling, DWA Bundestagung September 2016
- Montag, D.; Bastian, D.; Pinnekamp, J. (2016): Gutachten zur Umsetzung einer Phosphorrückgewinnung in Hessen aus dem Abwasser, dem Klärschlamm bzw. der Klärschlammasche, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
- H. Steinmetz (2016): Phosphor-Rückgewinnung – Aktuelle Entwicklungen in Deutschland, Phosphorrückgewinnung, Kongress Stuttgart
- TBF+Partner AG (2015): Studie Phosphorrückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm, Schweiz
- Montag et al. (2013): Phosphorrecycling, Düngemittel mit Recycling-P, Themenpapier
- DWA (2013): Stand und Perspektiven der Phosphorrückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm, Korrespondenz Abwasser, Abfall
- Umweltbundesamt (2015): Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz
- Umweltbundesamt (2012): Klärschlammentsorgung in der Bundesrepublik Deutschland
- LAGA (2015): Abschlussbericht Ressourcenschonung durch Phosphor-Rückgewinnung
- BGR (2013): Phosphat Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit
- LfULG: Entwurf Lagebericht 2016
- LfULG: Klärschlammkonzeption 2015