Kanton Bern

Phosphor-Recycling im Kanton Bern

Verfahrensüberblick Phosphor-Rückgewinnung

3. Vollversammlung Cercle déchets
Ittigen, 16. September 2016

Inhalt

- Ausgangslage
- Vorgehen
- Resultate
- Schlussfolgerungen
- Weiteres Vorgehen

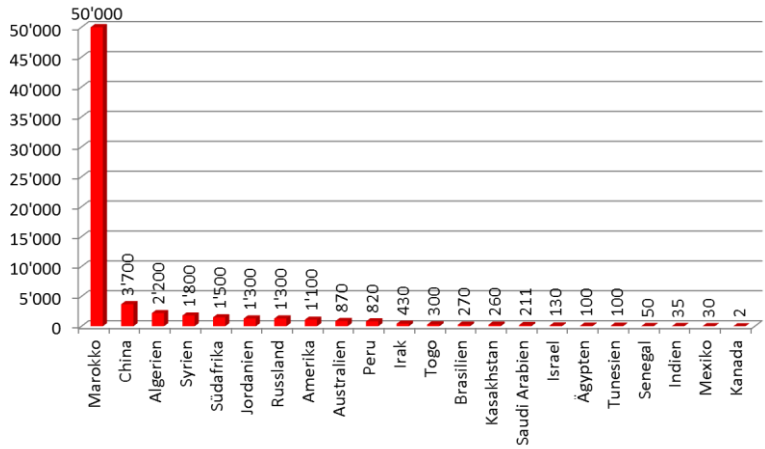
Phosphor als Nährstoff

- Phosphor ist ein essentieller Rohstoff, der in seinen hauptsächlichen Anwendungen **nicht substituierbar** ist.
- Der Bedarf an Düngemittel - und damit an Phosphor - steigt, weil die Weltbevölkerung zunimmt.
- Rund 82 % des weltweiten P-Verbrauchs wird für die Produktion von landwirtschaftlichen **Düngern** benötigt.

- Schadstoffarme P-Vorräte könnten bereits in etwa **50 bis 300 Jahren** erschöpft sein.
- Die Schweiz besitzt keine natürlichen P-Vorkommen und ist deshalb zu 100 % auf **Phosphorimporte** angewiesen.

Kanton Bern

Phosphorvorkommen Stand 2013
(in Mio Tonnen)

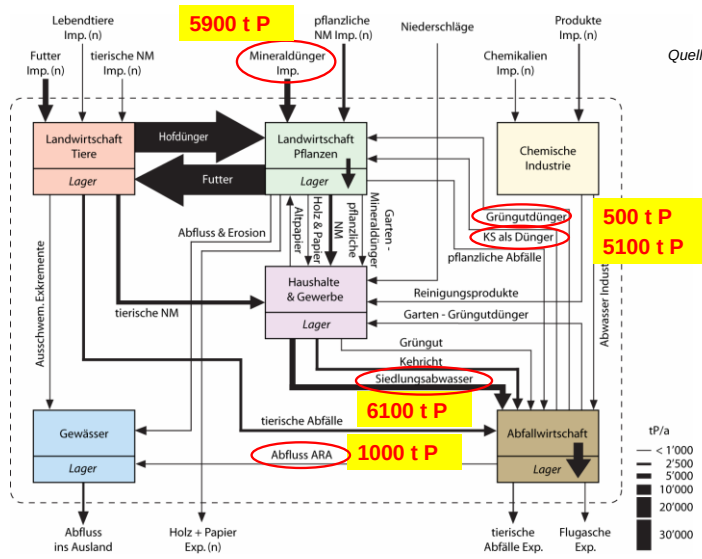


Quelle: http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/mcs-2014-phosp.pdf

AWA Amt für Wasser und Abfall

Kanton Bern

Phosphormassenbilanz der Schweiz



Quelle: Bafu, 2009

AWA Amt für Wasser und Abfall

Kanton Bern

Klärschlamm ist ein relevanter Phosphorlieferant

- Mit dem Recycling von Phosphor aus dem Klärschlamm sowie aus den tierischen Abfällen könnte praktisch die ganze Phosphormenge, die als Mineraldünger importiert wird, substituiert werden.

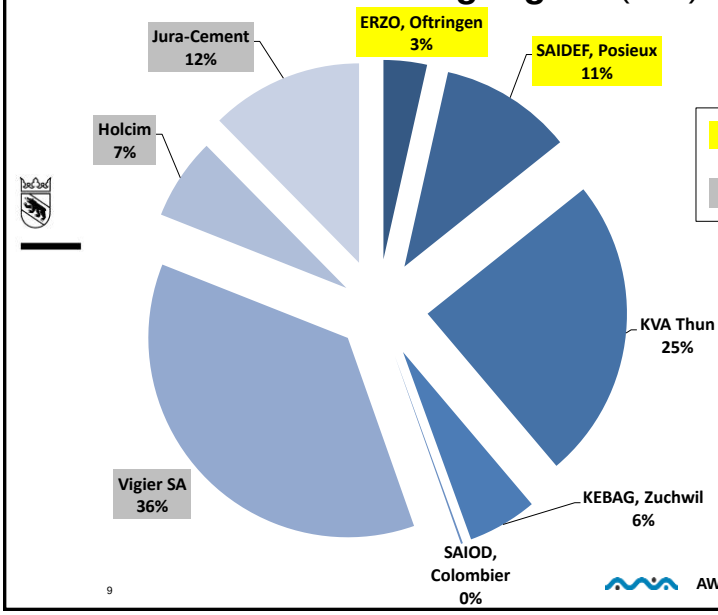
Kanton Bern

Klärschlammmengen Bern und Solothurn

- Pro Jahr fallen im Kanton Bern **21´000 – 23´000 t TS**, im Kanton Solothurn ca. **9´000 t TS** Klärschlamm an
- Der durchschnittliche P-Gehalt pro Tonne TS Klärschlamm beträgt ca. **26 kg**
- Berner und Solothurner Klärschlamm liefert somit jährlich ca. **780 – 830 t Phosphor**

Kanton Bern

Klärschlammentsorgung BE (t TS)

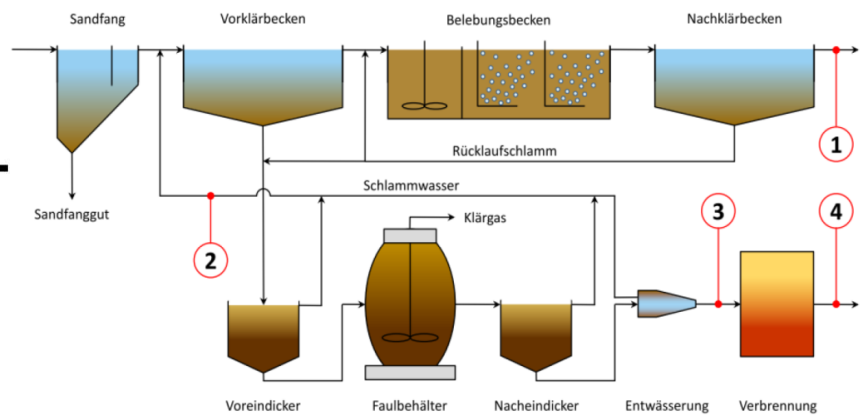


14% Schlammverbrennung
31% KVA
55% Zementindustrie

AWA Amt für Wasser und Abfall

Kanton Bern

P-Rückgewinnung aus Abwasser



Quelle: Ansorg, 2013

AWA Amt für Wasser und Abfall

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

Quelle: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, 2010

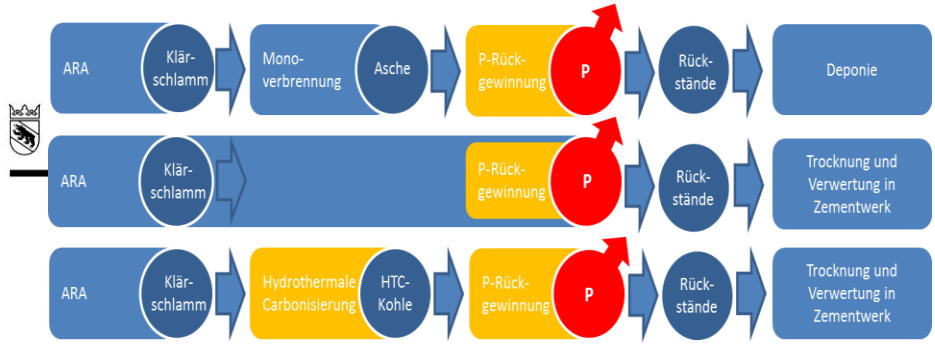
Verfahren zur P-Rückgewinnung

Ausgangsstrom Abwasser und Schlammwasser (Einsatzstellen 1 und 2)	Ausgangsstrom Klärschlamm (Einsatzstelle 3)	Ausgangsstrom Klärschlammasche (Einsatzstelle 4)
Kristallisations- und Fällungsverfahren	**Kristallisationsverfahren**	**Nasschemischer Aufschluss**
CSH-Verfahren Darmstadt (Petzet 2009)	AirPrex (Berliner Verfahren)	BioCon
CSIR Wirbelbettreaktor	FIX-Phos	Eberhard
DHV Crystalactor	Peco	ECOPHOS
Ebara	**Säureaufschluss**	LEACHPHOS (Fa. BSH)
Lysogest + P-Rückverfahren		PASCH
Kurita Festbettreaktor	KEMICOND	RECOPHOS (Fa. Recophos Consult, Jävenitz (D))
MAP-Fällung	Seaborne (Gifhorn)	SEPHOS
Nishihara	Stuttgarter Verfahren	SESAL
NuReBas	**Thermochemischer Aufschluss**	**Thermochemischer Aufschluss**
NuReSys		
Ostara PEARL	ATZ Eisenbadreaktor	ATZ Eisenbadreaktor
Peco	Mephrec	Mephrec
Phosnix	**Hydrothermaler Aufschluss**	SUSAN (Ash Dec)
Phospaq		Thermphos
Phostrip	HTC + P-Rückverfahren	RecoPhos (Uni Leoben + Stuttgart)
PRISA	Aqua-Reci	**Elektrokinese**
P-RoC (PROPHOS)	CAMBI	
REPHOS	KREPRO	EPHOS
Sydney Waterboard Reaktor	Phoxnan-Loprox	**Bioleaching**
Ionentauschverfahren	**Sonderverfahren**	
		P-bac
PHOSIEDI	Budenheim-Verfahren	**Sonderverfahren**
REM NUT		
Kombinations- und Sonderverfahren		Budenheim-Verfahren
Magnetseparator		
RECYPHOS		

Quelle: Ansorg, 2013

Kanton Bern

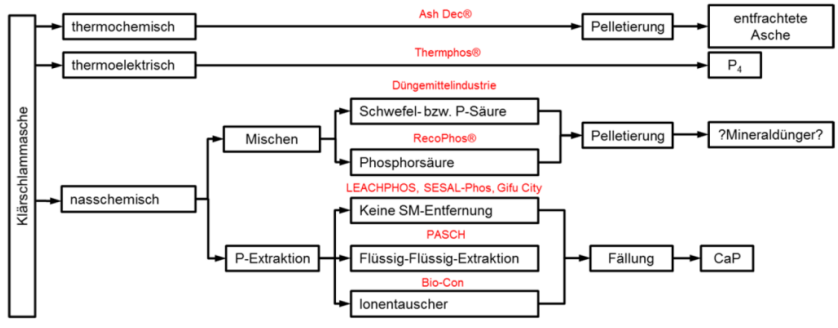
Szenarien im Kanton Bern



AWA Amt für Wasser und Abfall

Kanton Bern

P-Rückgewinnung aus Klärschlammasche



Quelle: Egle, 2014

AWA Amt für Wasser und Abfall

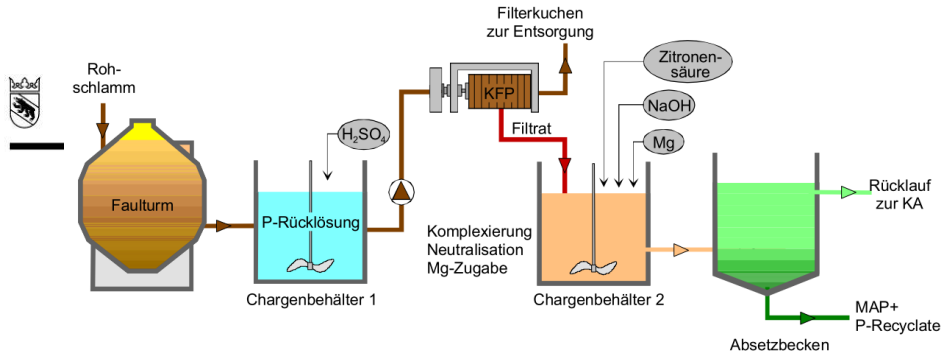
Kanton Bern

Nassverfahren

- Kristallisations- und Fällungsverfahren
- Ionenaustauschverfahren
- Säureaufschlussverfahren
- Thermochemische Aufschlussverfahren
- Hydrothermale Aufschlussverfahren
- Sonderverfahren

Kanton Bern

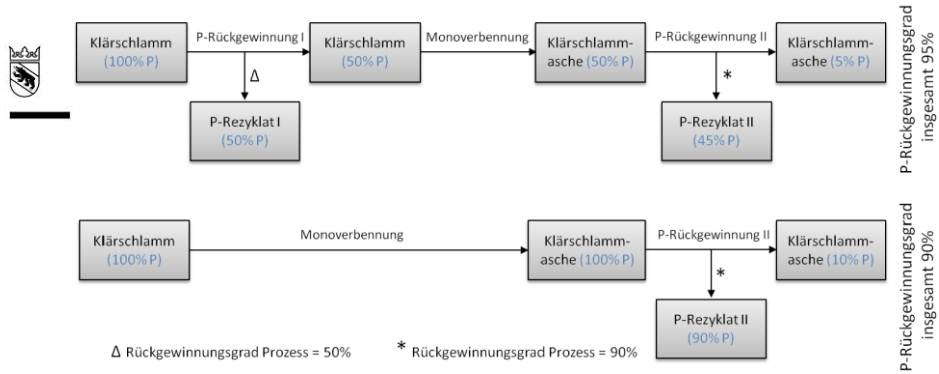
Stuttgarter Verfahren



Quelle: iat Ingenieruberatung GmbH, 2014

Kanton Bern

Kombination Monoverbrennung/Nassverfahren

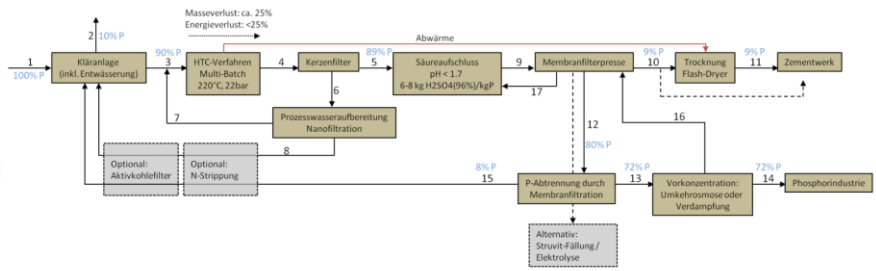


Quelle: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, 2010

AWA Amt für Wasser und Abfall

Kanton Bern

HTC-Prozess



1 Kläranlagenzulauf
2 Kläranlagenablauf
3 Entwässerter Klärschlamm (20 – 30 % TR)
4 Biokohle-Slurry (12 % TR), ca. 130 °C
5 Filterkuchen (40-50 % TR)
6 Prozesswasser
7 Filtrat (langkettiger DOC und P), Vermischung mit KS
8 Permeat (leicht abbaubarer DOC)
9 Slurry (ca. 23% TR)
10 Entwässerte Biokohle (70 (-80%) TR)
11 Getrocknete HTC-Kohle (70 - 95% TR), Heizwert 10 – 20 MJ/kg
12 Permeat (90% Phosphor)
13 Phosphorsäure (5%)
14 Phosphorsäure (20-30%)
15 Rückführung Filtrat (reich an Eisen, Aluminium und Sulfat)
16 Spülwasser
17 Recycling (ca. 40 %)

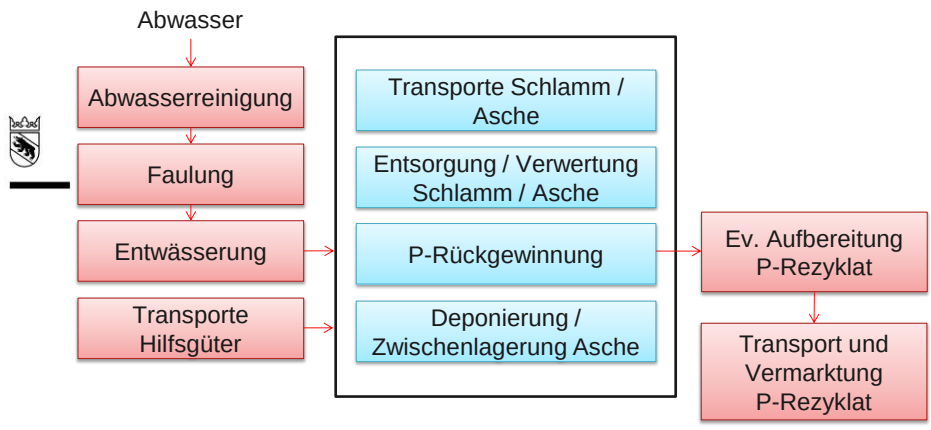
Quelle: TBF + Partner AG auf Basis Kläusli und Meyer (2014)

AWA Amt für Wasser und Abfall

Bewertung der Szenarien

- Sozioökonomische Kriterien
  - Realisierbarkeit, Wirtschaftlichkeit
  - Entsorgungsinfrastruktur (bestehend)
  - Entsorgungssicherheit
- Ökologische Kriterien
  - Energiebilanz
  - Treibhausgasemissionen, Luftschadstoffe
  - Landverbrauch
- Effektivität
  - P-Rückgewinnung, P-Qualität

Systemgrenze



Quelle: tbf, 2015

Schätzung der Investitionskosten

	Mono-verbrennung	Nass-verfahren	HTC
Investitionskosten Total (CHF)	62 Mio.	20 Mio.	22 Mio.
Monoverbrennungsanlage	45 Mio.		
P-Rückgewinnungsanlage	15 Mio.	14 Mio.	
Rückbau Schlammtrocknungen	2 Mio.		2 Mio.
Schlammtrocknungsanlage		6 Mio.	
HTC-Anlage (inkl. P-Rückgewinnung)			20 Mio.

Quelle: AWA/tbf, 2015

Schätzung der jährlichen Kosten

	Mono-verbrennung	Nass-verfahren	HTC
Betriebskosten Total	5.7 Mio.	7.8 Mio.	3.3 Mio.
Betriebsmittel	1.4 Mio.	1.2 Mio.	0.1 Mio.
Wartung und Unterhalt	1.4 Mio.	0.9 Mio.	0.6 Mio.
Personal	1.3 Mio.	1.5 Mio.	1.0 Mio.
Energie	1.1 Mio.	4.0 Mio.	1.5 Mio.
Abfälle	0.6 Mio.	0.3 Mio.	0.1 Mio.
Transportkosten	3.4 Mio.	2.5 Mio.	3.2 Mio.
Gutschriften	-2.2 Mio.	0.0 Mio.	0.0 Mio.
Zwischenlagerung / Entsorgung	2.2 Mio.	1.1 Mio.	0.0 Mio.
Kapitalkosten	5.3 Mio.	3.4 Mio.	1.8 Mio.
Total (CHF)	**14.5 Mio.**	**14.7 Mio.**	**8.3 Mio.**

Quelle: AWA/tbf, 2015

Schätzung der Kosten pro kg P

	Mono-verbrennung	Nass-verfahren	HTC
Betriebskosten Total	10.9	24.7	5.9
Transportkosten	6.4	7.9	5.7
Gutschriften	-4.0	0.0	0.0
Zwischenlagerung / Entsorgung	4.1	3.4	0.0
Kapitalkosten	10.1	10.5	3.2
Total (CHF)	**27.4**	**46.4**	**14.7**

Quelle: AWA/tbf, 2015

Einfluss auf bestehende Entsorgungsinfrastruktur

	Monoverbrennung	Nassverfahren	HTC
Zusätzlich	• Monoverbrennung • P-Rückgewinnung • Zwischenlagerung	• Schlammtrocknung ARA Thunersee • P-Rückgewinnung Schlammzentren	• HTC-Anlage (inkl. P-Rückgewinnung)
Fällt weg	• Schlammtrocknungen Bern und Biel • Verlust Ersatzbrennstoff Zementwerke • Monoverbrennungen ausserkantonal	• Monoverbrennungen ausserkantonal	• Schlammtrocknungen Bern und Biel • Monoverbrennungen ausserkantonal

Quelle: AWA/tbf, 2015

Kanton Bern

Entsorgungssicherheit

	Monoverbrennung	Nassverfahren	HTC
+	• robuste, erprobte Technik • Redundanzen Vortrocknung	• Absatz in Zementwerken heute problemlos möglich	• Teilredundanzen durch Anbieter einkalkuliert
-	• 1 Feuerung	• Redundanzen Trocknung • Abhängigkeit von Konzernen	• (noch) Keine grosstechnische Erfahrung

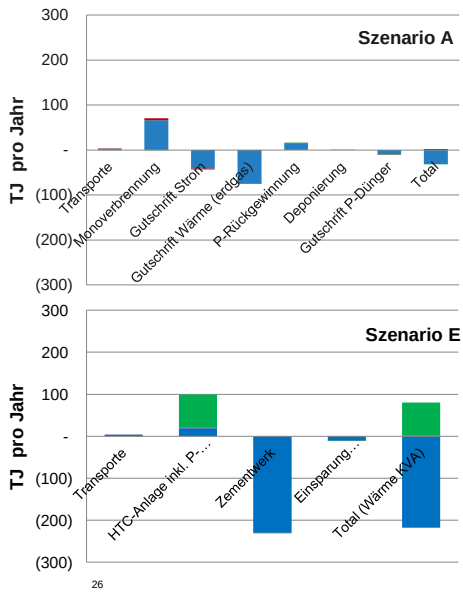
Quelle: AWA/tbf, 2015

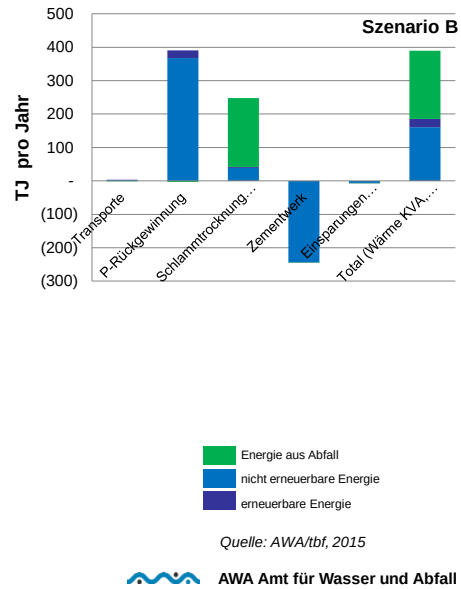
25

AWA Amt für Wasser und Abfall

Kanton Bern

Energiebilanz



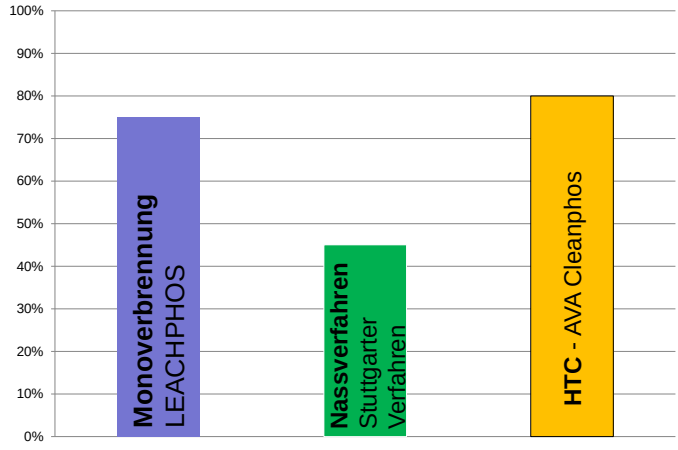


Quelle: AWA/tbf, 2015

26

AWA Amt für Wasser und Abfall

P-Rückgewinnung



P-Qualität

- Abhängigkeit vom Ausgangsstoff
- Ungenügende Datengrundlage
- Thermische Verfahren → keine organischen Verunreinigungen
- SM-Abreicherung ist teuer
- Sehr unterschiedliche Produkte
- Erhöhung Qualität = Kosten- und Ressourcenfrage

Kanton Bern

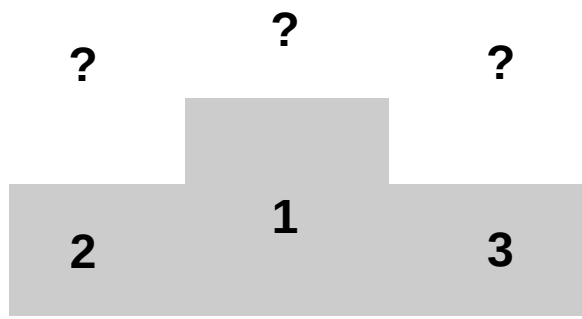
Realisierbarkeit

	Mono-verbrennung	Nass-verfahren	HTC
Baulich / technisch	5 Jahre	3 Jahre	5 Jahre
Politisch / gesellschaftlich	5 – 10 Jahre	3 – 10 Jahre	10 – 20 Jahre

Quelle: AWA/tbf, 2015

Kanton Bern

Resultate



Schlussfolgerungen

- Zurzeit drängt sich keine voreilige Umsetzung des P-Recyclings aus Klärschlamm auf.
- Monoverbrennung ist eine bewährte Technologie zur Verwertung von Klärschlamm. Die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammasche ist jedoch, genau gleich wie die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm, grosstechnisch noch nicht erprobt.
- Verschiedene Phosphorrückgewinnungsverfahren mit Potenzial (z.B. Budenheimer Verfahren, HTC, Ecophos und Tetraphos) befinden sich zurzeit im Versuchsstadium. Resultate, und damit Grundlagen für die Entwicklung der zukünftigen Strategie, liegen in **2-3 Jahren** vor.
- Eine interkantonale Zusammenarbeit ist erwünscht und wird angestrebt.
- Der Kanton Bern bevorzugt beim P-Recycling möglichst zentrale Lösungen, insbesondere im Fall der Monoverbrennung.
- Mit einer Umsetzung des P-Recyclings im Kanton Bern wird die Co-Verbrennung von Klärschlamm in KVA beendet.

Weiteres Vorgehen

- Viele Unsicherheiten verhindern heute Festlegung einer P-Strategie im Kanton Bern
- Entwicklung der Verfahren wird weiterverfolgt
- Neubeurteilung ab 2018

Nume nid gsprängt, aber gäng echly hü!

Herzlichen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit!