



Recy & DepoTech 2018, Leoben, 07.-09.Nov.2018

## Phosphorrecycling aus Klärschlamm und Klärschlammmasche - Perspektiven für Österreich

Peter Mostbauer

Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt  
**Institut für Abfallwirtschaft**



## Phosphorrecycling - Inhalt

- Einleitung
- Recycling-Expertise für Südtirol: Phosphor aus Klärschlamm bzw. Klärschlammmasche
- Ergebnisse der Expertise für Südtirol
- Schlussfolgerungen für das Klärschlamm-Management
- Anregung zur Erarbeitung spezifischer Strategien in Österreich



## Phosphorrecycling: Strategien für Umwelt und Versorgungssicherheit

P-Erz, Mineraldünger

Akteure auf EU-Ebene

### P-Quellen

### Akteure (einbeziehen)

### Strategien in Ö:

Bioabfall und Wirtschaftsdünger

Landwirte/-verbände,  
Aerobe und anaerobe  
biologische Behandlung

z.B. "Strategie  
**BASTRA**"  
(z.B. UBA, 2014,  
RL Kompost 2010,  
RL Biogasgülle 2007)

Abwasser und Klärschlamm (KS)

Kläranlagen,  
Schlammverbrennung,  
P-Extraktion.

"Strategie  
**KS**"

Asche aus Tier-  
und Knochenmehl

Schlachthöfe, TKV,  
(Mit-) Verbrennung.

"Strategie  
**Tiermehl**"



## 2017: Erarbeitung einer P-Recycling-Strategie für Südtirol

### P-Quelle:

### Akteure (einbezogen):

### Focus:

Klärschlamm (KS)

Kläranlagen,  
Schlammverbrennung,  
P-Extraktion.

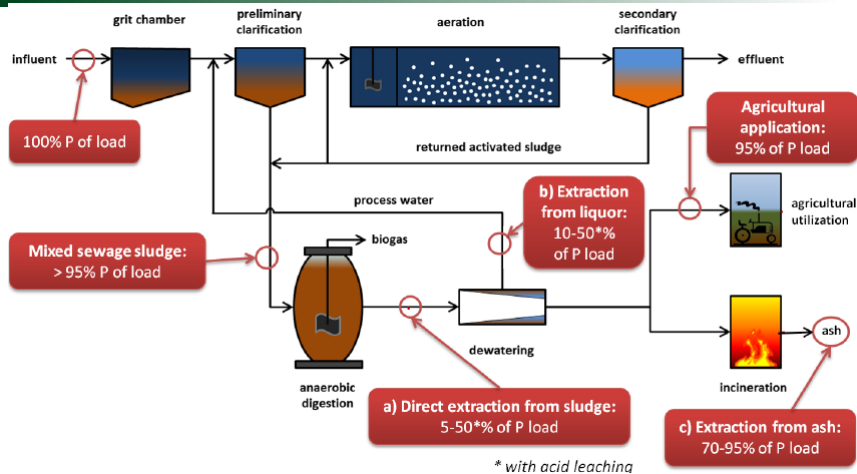
"Strategie  
**KS**"

### Auftraggeber: Autonome Provinz Bozen-Südtirol, LaFu

Arbeitsschritte im Überblick:

1. Status quo der P-Eliminierung bei Kläranlagen in Südtirol
2. Review der P-Recyclingverfahren
3. Vorauswahl von Verfahren → Kerngruppe von Verfahren
4. Analyse der Bewertungsmethoden anderer Experten
5. Entwicklung und Bewertung ausgewählter Szenarien

## P-Recycling aus Abwasser und Klärschlamm: Überblick (JOSSA & REMY, 2015)



JOSSA P., REMY C., 2015: Life Cycle Assessment of selected processes for P recovery from sewage sludge, sludge liquor or ash, P-REX – sustainable sewage sludge management fostering phosphorus recovery and energy efficiency, Project ID 308645, Funded under FP7-Environment.

## Vorgangswise für Studie Südtirol

> 35 Recyclingverfahren in Entwicklung /am Markt:

### 1) Strategische Vorgaben und 2) Vorauswahl

- Ende der direkten Aufbringung u. KS-Kompostierung
- Nach Möglichkeit hoher Entwicklungsstand
- Ökologische und technische Kriterien

### 3) Bewertung von zwölf Szenarien

- Basisdaten, Stoffbilanzen
- Analyse und Diskussion von Bewertungsmethoden
- Festlegung von Bewertungs-Kriterien
- Zusammenfassende **multikriterielle Bewertung**



## Vorauswahl – grundsätzliche Kriterien / Überlegungen für Klärschlamm (KS)

### Südtiroler “*Abfallwirtschaftsplan für Sondermüll*” 2017:

- Behandlung von KS im Landesgebiet
- P-Recycling anzustreben
- Keine landwirtschaftliche Verwertung von KS

---

**Vorhandene Vorplanungen** in Südtirol waren zu beachten (MVA-Mitverbrennung, WSF, HTC)

Fehlende bzw. **knappe Deponievolumina** in Südtirol, Substitution von Primärenergie (z.B. solare Trocknung) →

- Focus bei Verfahren für Klärschlammasche



## Vorauswahl - Ausschlusskriterien

- Stillgelegte Verfahren, Konkurse
- Wenn Umstellung auf Al-Fällung erforderlich wäre – Kosten! Technische Nachteile bei Fällung!
- Säure-Extraktion des Klärschlammes, wenn danach Verbrennung erschwert wird (Eintrag von Cl, S)
- Rückgewinnungsgrad  $RC_{ZUL} < 40\%$
- Verfahren die beabsichtigen viele, auch P-arme Materialien einsetzen
- “In Entwicklung”: Konzept, Labormaßstab, oder die Pilotanlage(n) lieferte(n) noch keine Stoffbilanzen



## Szenario 1 bis 7

\*) = Szenario wurde ohne vollständige Sachbilanz bewertet

Akronym	Szenario	Beschreibung
1P38	WSF – Seraplant	Teil-Trocknung und Verbrennung in WSF, danach Herstellung eines Sekundärdüngers durch Mischen von Asche und Säure, allfällige Zugabe von düngewirksamen Zusätzen, Granulation der Asche-Säure-Suspension
1PCa	WSF – sePURA (PCa Dünger)	Teil-Trocknung und Verbrennung in WSF, danach Herstellung eines Sekundärdüngers durch Mischen v. Asche mit Kalk, Dolomit oder H <sub>2</sub> O
1HTC+ *)	HTC – WSF – sePURA (PCa Dünger)	Wie 1PCa, zusätzlich wird eine HTC mit dem Ziel der Verringerung des Wassergehaltes und Erhöhung des Heizwertes vorgeschaltet
2LP	WSF – LeachPhos	Teil-Trocknung und Verbrennung in WSF, Extraktion der Asche durch pH-Senkung mittels H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Filtration, P-Fällung
2TP	WSF – TetraPhos	Teil-Trocknung und Verbrennung in WSF, Extraktion der Asche mittels H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , danach Filtration, Ca-Fällung mittels H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Ionenaustausch, Eindickung → H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
3AD	WSF – AshDec Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> -Variante (Variante 2c)	Teil-Trocknung und Verbrennung in WSF, danach Zusatz von Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> und thermische Behandlung der Asche zur Verringerung der Schwermetallgehalte
3KUB	Kubota	Thermische Behandlung des getrockneten Klärschlammes im KUBOTA Reaktor; Schlacke als P-Sekundärdünger



## Szenario 8 bis 12

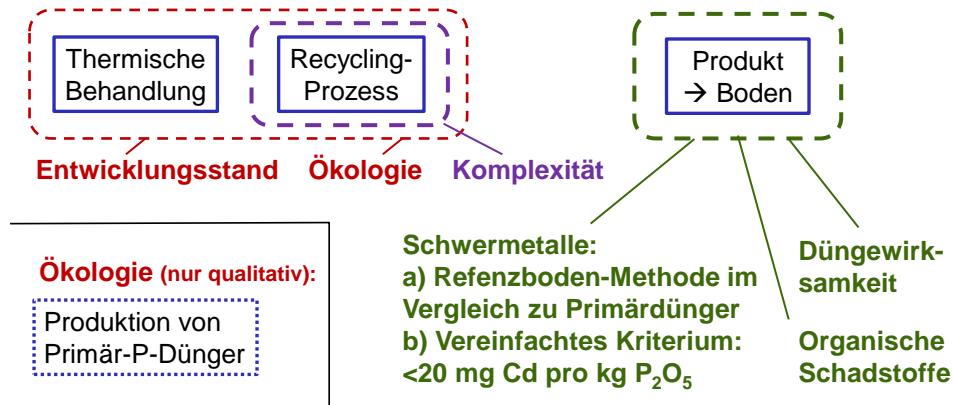
\*) = Szenario wurde ohne vollständige Sachbilanz bewertet

Akronym	Szenario	Beschreibung
4WSF	ExtraPhos – WSF	Extraktion von P aus Dünnschlamm unter Einsatz von Druck und CO <sub>2</sub> , danach Entwässerung, anschließend Teil-Trocknung und Verbrennung in WSF, <u>keine</u> P-Rückgewinnung aus der eher P-armen Asche
4ZEM	ExtraPhos Zementwerk	Extraktion von P aus Dünnschlamm unter Einsatz von Druck und CO <sub>2</sub> , danach Entwässerung, Trocknung (>85% TS), Verwertung als Brennstoff im Zementwerk
4MVA *)	ExtraPhos – Mitverbrennung in MVA	Extraktion von P aus Dünnschlamm unter Einsatz von Druck und CO <sub>2</sub> , danach Entwässerung, anschließend Trocknung und Verbrennung in MVA-Anlage
5MVA *)	Mitverbrennung in MVA	Trocknung und Verbrennung von KS in MVA-Anlage
6KS	Direktaufbringung	Landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes (KS)



## Fragestellung und Systemgrenzen, Prinzip der Bewertung

**Fragestellung: Bewertung von Szenarien**  
(mit, vereinzelt ohne thermische Behandlung)



## Bewertungskriterien und -skala

### Hilfsmittleinsatz

Stoffe, die insgesamt im System eingesetzt werden, d.s. Chemikalien für die Abgasreinigung der Verbrennung und Chemikalien für die P-Recyclingstufe, werden folgenden vier Kategorien zugeordnet:

- Aktivkoks
- Mineralische Hilfsmittel
- Säure, Salze, Basen
- Problematische Hilfsstoffe (Input war immer null)

Relevant vor allem: **Summe der Masse an Säuren, Salzen und Basen.**



## Bewertungskriterien und -skala

### Energiebilanz elektrische Energie und thermische Energie:

- Bewertet den Einsatz bzw. Überschuss von elektrischer und thermischer Energie **im Gesamtsystem** auf Basis von **Literaturdaten** (bei ExtraPhos: eigene Schätzung), sowie einer Betrachtung der Energiebilanz der Zementproduktion.
- WSF-Monoverbrennung mit integrierter Trocknung auf 42%TS: Zusätzlich **eigene Berechnungen** durchgeführt.
- Kumulative Energiebilanzen werden für einen Trocken- substanz (TS)-Gehalt von 23,2% TS (status quo in Südtirol) und 25,0% TS und für unterschiedlichen Heizwert des Klärschlammes ausgewertet.



## Bewertungskriterien und -skala

### P Recyclingquote $RC_{ZUL}$ bezogen auf Kläranlagenzulauf:

- Kategorie 1:  $RC_{ZUL} > 80\%$
- Kategorie 2:  $RC_{ZUL}$  70% bis 80%
- Kategorie 3:  $RC_{ZUL}$  40% bis 70%
- Kategorie 4:  $RC_{ZUL} < 40\%$

### Düngewirksamkeit P-Sekundärdünger:

Es wird auf Basis einer Literaturrecherche untersucht, ob bei der externen Beurteilung des jeweiligen Sekundärdüngers nur ein Weg (ein „approach“) oder mehrere Wege (mehrere „approaches“) der Untersuchung eingesetzt wurden, und ob die Ergebnisse grundsätzlich positiv sind.

- Kategorie 1“: mehrere Approaches, Ergebnisse positiv.



## Bewertungskriterien und -skala

### Entwicklungsstand

- Kategorie 1: Großtechnisch umgesetzt. Eine oder mehrere Anlagen sind in Betrieb
  - Kategorie 2: Marktreife erreicht (inklusive bereits verfügbarer Stoffbilanzen)
  - Kategorie 3: In Entwicklung bzw. derzeit noch andauernder Pilottest
- Kategorie 4 wurde in der Vorauswahl ausgeschieden



## Bewertungskriterien und -skala

### Komplexität

Hier wurde nur das P-Recyclingverfahren bewertet.

- **Kategorie 1 – geringe Komplexität:** Die P-Rückgewinnung erfolgt in wenigen, technisch einfachen Schritten, bei Raumtemperatur oder unterhalb von 100°C und bei Normaldruck bzw. unterhalb von 1,5 bar (150 kPa).
- **Kategorie 2 – mittlere Komplexität:** Zur P-Rückgewinnung wird zumindest ein technisch anspruchsvoller Schritt verwendet oder es werden viele technisch einfache Schritte aneinander gereiht.
- **Kategorie 3 – eher hohe Komplexität.** Es werden zwei oder mehrere technisch anspruchsvolle Schritte verwendet.





## Bewertungskriterien und -skala

### Boden / Organische Schadstoffe, Keime:

Bewertet ob ein relevanter Eintrag von (persistenten bzw. problematischen) organischen Schadstoffen und/oder Keimen in Böden erfolgt.

### Boden / Schwermetalle:

- Referenzbodenmethode: Diese Methode bewertet die anorganischen Schadstoffeinträge, bedingt durch den Schwermetallgehalt des erzeugten Sekundärdüngers. Der Boden wird vereinfachend als geschlossenes System betrachtet.
- Referenzwerte: a) Primärdünger mit hohem Cd-Gehalt; oder b) EU-Referenzwert < 20mgCd/kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>



## Studie Südtirol: Ergebnisse

Beurteilungskriterien →		P Recyclingquote RC <sub>ZUL</sub>	Düngewirksamkeit P-Sekundärdünger	Boden: Organische Schadstoffe, Keime	Boden: Vergleich zu 20 mg Cd/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Energiebilanz: elektrische Energie	Energiebilanz: Koks, thermisch, CH <sub>4</sub> -eq	Hilfsmittleinsatz	Andere ökologische Aspekte a) k)	Entwicklungsstand b)	Komplexität des P-Recyclingprozesses
.....Klasse 1 = beste Bewertung .....Klasse 4 = schlechtester Wert  Daten n.v.= unbekannt / wesentliche Datengrundlagen zur Beurteilung fehlen		G	G	G	G	G	G	G	G	G	Pr
Szenario	Kurzbeschreibung	Klassenbasierte Bewertung									
1P38	WSF – Seraplant	1	1	1	3	3	1	Daten n.v.		1, 1	2
1PCa	WSF – PCa Dünger	1	2	1	4 ⊕	1	2	1	---	1, 1	1
1HTC+	HTC – WSF – PCa Dünger	1	2	1	4 ⊕	1	1	1	---	2,1,1	2
2LP	WSF – LeachPhos	3	1	1	1	2	2	3	+ e)	1, 2	2
2TP	WSF – TetraPhos	2	1	1	1	2	3	2	- d) + g)	1, 2	2
3AD	WSF – AshDec (Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> )	1	2	1	1	2	2	2	---	1, 2	3





## Studie Südtirol: Ergebnisse

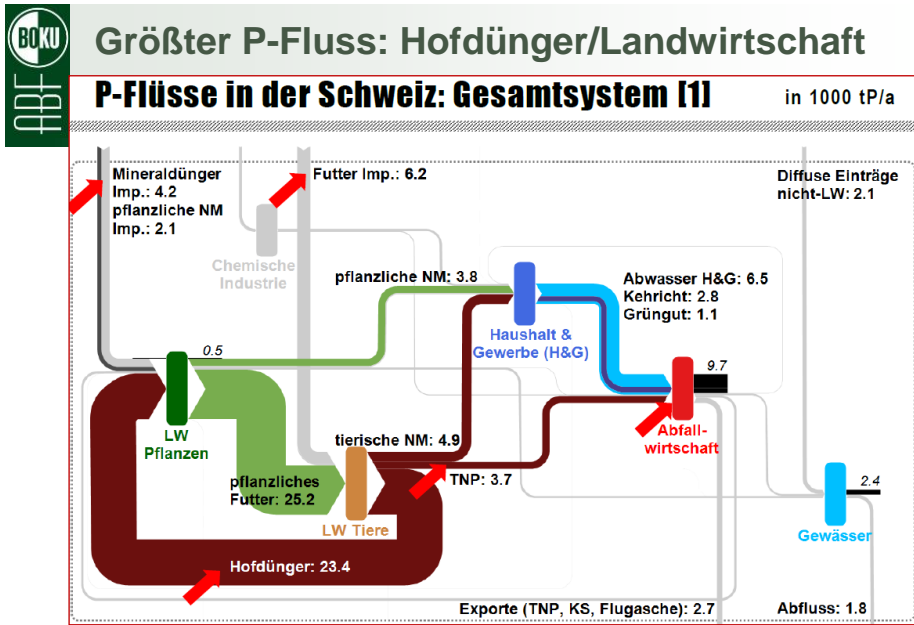
Beurteilungskriterien →		P Recyclingquote RC <sub>ZUL</sub>	Düngewirksamkeit P-Sekundärdünger	Boden: Organische Schadstoffe, Keime	Boden: Vergleich zu 20 mg Cd/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Energiebilanz: elektrische Energie	Energiebilanz: Koks, thermisch, CH <sub>4</sub> -eq	Hilfsmiteinsatz	Andere ökologische Aspekte a) k)	Entwicklungsstand b)	Komplexität des P- Recyclingprozesses
.....Klasse 1 = beste Bewertung .....Klasse 4 = schlechtester Wert  Daten n.v.= unbekannt / wesentliche Datengrundlagen zur Beurteilung fehlen											
3KUB	Kubota	1	2	2	1	1	4 ⊕	1	+ e)	1, 3	3
4WSF	ExtraPhos – WSF	3	2	1	1	2	2	2	+ f)	1, 2	2
4ZEM	ExtraPhos – Zementwerk	3	2	---	1	3	1	2	+ e)	2, 2	2
4MVA	ExtraPhos – danach Mitverbrennung in MVA	3	2	---	1	1 j)	1 j)	2	+ h)	1, 2	2
5MVA	Mitverbrennung in MVA	4 ⊕	---	---	---	1 j)	1 j)	1	+ h)	1	---
6KS	Direktaufbringung Klärschlamm	1	1	4 ⊕	3	1	1	1	c)	1	1

j) Längerfristig (Vollausbau der Fernwärme) wird die Wärme jedoch im kommunalen Bereich benötigt.



## Studie Südtirol: Schlussfolgerungen für Österreich

- Herstellung hochreiner, sehr schwermetallarmer und gut düngewirksamer Produkte → höherer Verbrauch von Primärressourcen (Primärenergie, Hilfsstoffe) und höhere Komplexität → Bei entsprechendem Nachweis genügt ggf. einfache Technik
- Mehrere technische Lösungen “marktreif” (??): Mehrere Pilotanlagen erforderlich + Auflagen zur transparenten Darstellung der Stoffflüsse / LCA
- Empfehlungen zur allfälligen Rolle der MVA's:
  - Nein: Mitverbrennung (P-Verlust)
  - Ja: Trocknung von Schlamm (bei Wärmeüberschuss)



Graphik aus: BINDER C.R., MEHR J., 2017: P-Flüsse in der Schweiz: Stand, Entwicklungen und Treiber. In: Phosphorrecycling: Wie weiter? 30.08.2017, Bern.

**BOKU ABF**

## Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt: [abf@boku.ac.at](mailto:abf@boku.ac.at)

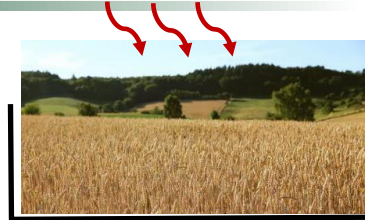
Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt  
**Institut für Abfallwirtschaft**  
[abf@boku.ac.at](mailto:abf@boku.ac.at), [www.wau.boku.ac.at/abf.html](http://www.wau.boku.ac.at/abf.html)  
Tel.: +43 (0)1 318 99 00, Fax: +43 (0)1 318 99 00 350  
Muthgasse 107/3, Stock, A-1190 Wien



## Ergänzung: Methoden zur Modellierung der Schwermetall-Akkumulation/ Böden



- a) Offenes System:**
- + Zufuhr durch Dünger
  - + Entzug durch Ernte
  - + P-Transfer im Bodenwasser
  - ? Welche Kulturen
  - ? Bodenbewirtschaftung
  - ? Klima (EU: nord – süd ?)



- b) Geschlossenes System:**
- + Zufuhr durch Dünger
  - Vereinfachungen
  - + Unabhängig von Kulturen, Klima und Bodenbewirtschaftg.
  - + Einfaches Modell



## Ergänzung: Für die Südtirol-Studie angewendete Referenzbodenmethode

### **Geschlossenes Modell für den Boden** (wie EGGLE ea., 2014a):

- Dichte  $1,3 \text{ g/cm}^3$
- Mächtigkeit 20 cm
- Bodenmasse  $260 \text{ kg/m}^2$  d.h. Bodenmasse 2.600 t/ha
- Jährliche P-Düngung 40 kg/ha
- Vernachlässigung des Massenzuwachses durch Ca-, Si-, Al-Verbindungen

### **Hintergrundkonzentrationen:**

Mittelwerte von Schwermetallanalysen von 98 Obstbau-Standorten in Südtirol Oberboden 0-20 cm  
(STIMPFL ea., 2006, Zustandserhebung Böden Südtirol)

Ausnahme: Cu-Hintergrund aus Grünland in Südtirol

**Zielwerte:** Bodensanierungsziele vom 4. April 2005, Nr. 1072 = Zielwerte für kontaminierte Flächen, A.Provinz Bozen-Südtirol