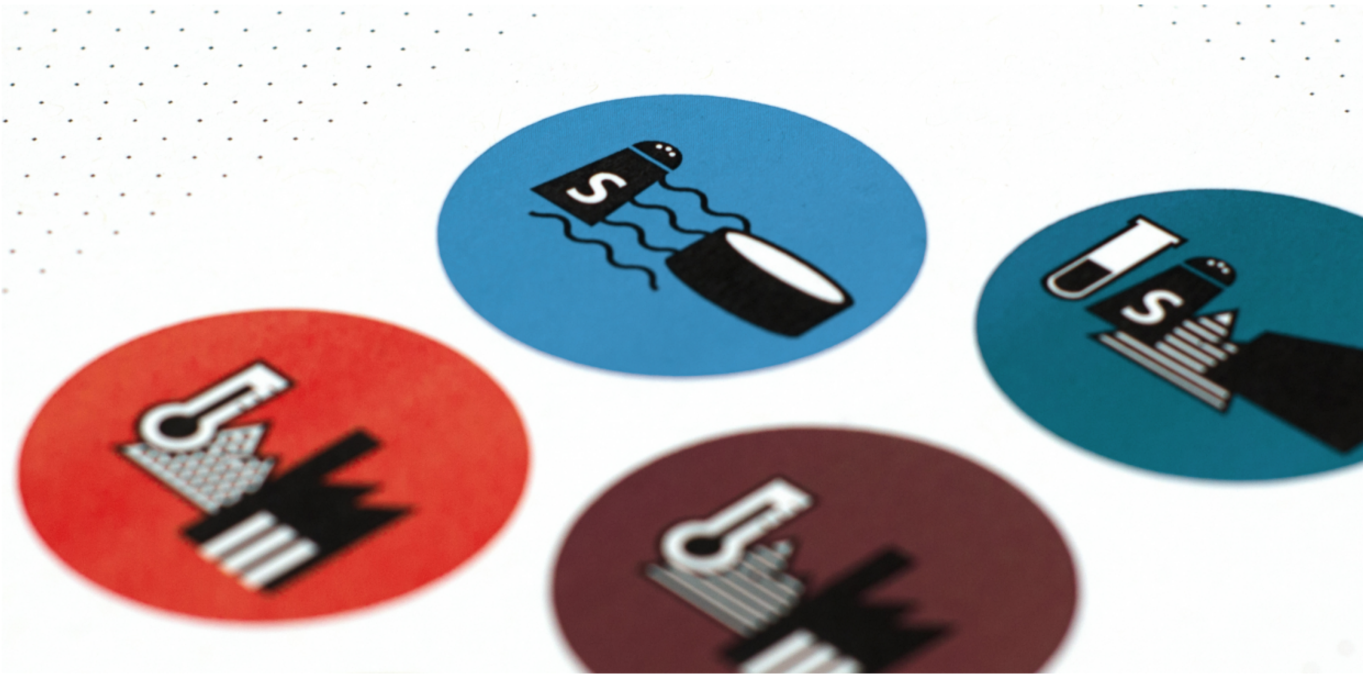
Project

Interactive report on phosphorus recovery



An interactive report featuring an intuitive infographic provides the reader with an overview of the various technologies used to recover phosphorus.

In the interest of enhanced conservation in the area of waste management, the Swiss Federal Council introduced legislation to require the recovery of phosphorus from phosphorus-rich waste materials. In response to the legislation, EBP carried out a study of the advantages and disadvantages of the various technologies used to recover phosphorus. In addition to specifying the parameters and methodology of the study itself, EBP was also responsible for the documentary layout used to present the study's results.

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU

Beurteilung von Technologien zur Phosphor-Rückgewinnung

Gesamtheitliche Beurteilung der Nachhaltigkeit und Realisierbarkeit von P-Rückgewinnungstechnologien im Schweizer Kontext

JANUAR 2017

Ernst **Basler + Partner**

Client

Swiss Federal Office for the Environment (FOEN)

Facts

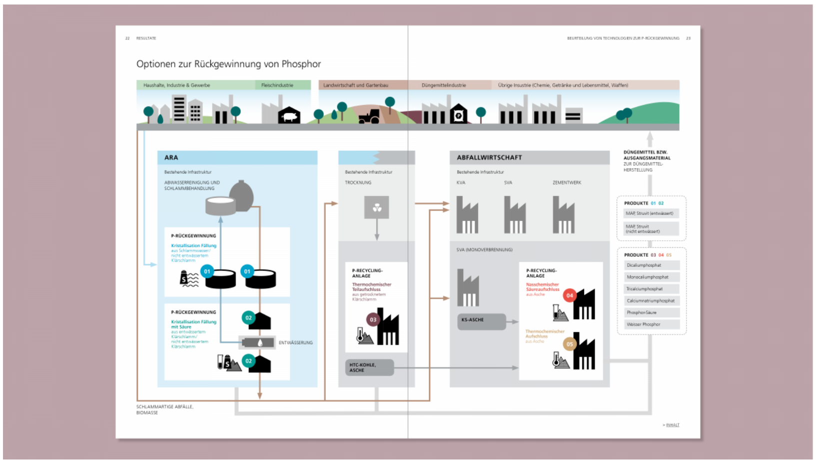
Period	2015 - 2017
Project Country	Switzerland

Contact persons

Dr. Andy Spörri
andy.spoerri@ebp.ch

Noa Spörri
noa.spoerri@ebp.ch

Interactive report on phosphorus recovery

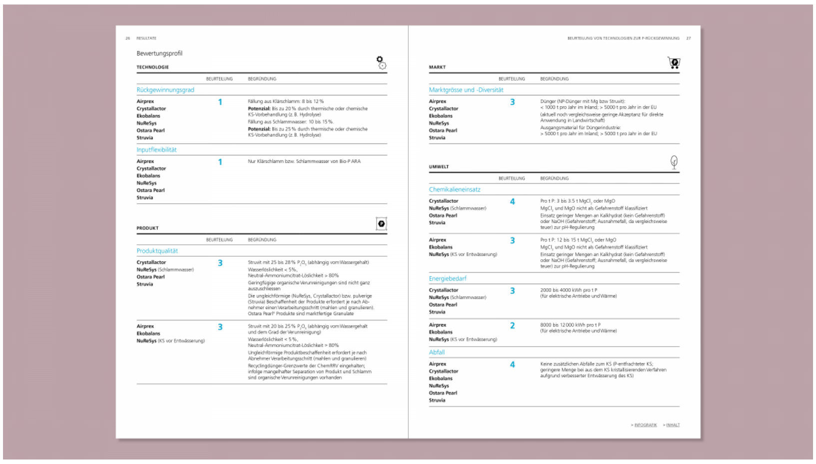


22 RESULTATE

Optionen zur Rückgewinnung von Phosphor

BEURTEILUNG VON TECHNOLOGIEN ZUR P-RÜCKGEWINNUNG 23

> INHALT



26 RESULTATE

Bewertungsprofil

TECHNOLOGIE

	BEURTEILUNG	BEGRÜNDUNG
Rückgewinnungsgrad		
Airprex **Crystallactor** **Ekobalans** **NuReSys** **Ostara Pearl** **Struvia**	1	Fällung aus Klärschlamm: 8 bis 12 % **Potenzial:** Bis zu 20 % durch thermische oder chemische KS-Vorbehandlung (z. B. Hydrolyse) Fällung aus Schlammwasser: 10 bis 15 %. **Potenzial:** Bis zu 25 % durch thermische oder chemische KS-Vorbehandlung (z. B. Hydrolyse)
Inputflexibilität		
Airprex **Crystallactor** **Ekobalans** **NuReSys** **Ostara Pearl** **Struvia**	1	Nur Klärschlamm bzw. Schlammwasser von Bio-P ARA

PRODUKT

	BEURTEILUNG	BEGRÜNDUNG
Produktqualität		
Crystallactor **NuReSys** (Schlammwasser) **Ostara Pearl** **Struvia**	3	Struvit mit 25 bis 28 % P_2O_5 (abhängig vom Wassergehalt) Wasserlöslichkeit < 5%, Neutral-Ammoniumcitrat-Löslichkeit > 80% Geringfügige organische Verunreinigungen sind nicht ganz auszuschliessen Die ungleichförmige (NuReSys, Crystallactor) bzw. pulverige (Struvia) Beschaffenheit der Produkte erfordert je nach Abnehmer einen Verarbeitungsschritt (mahlen und granulieren). Ostara Pearl® Produkte sind marktfertige Granulate
Airprex **Ekobalans** **NuReSys** (KS vor Entwässerung)	3	Struvit mit 20 bis 25 % P_2O_5 (abhängig vom Wassergehalt und dem Grad der Verunreinigung) Wasserlöslichkeit < 5 %, Neutral-Ammoniumcitrat-Löslichkeit > 80% Ungleichförmige Produktbeschaffenheit erfordert je nach Abnehmer Verarbeitungsschritt (mahlen und granulieren) Recyclingdünger-Grenzwerte der ChemRRV eingehalten; infolge mangelhafter Separation von Produkt und Schlamm sind organische Verunreinigungen vorhanden

BEURTEILUNG VON TECHNOLOGIEN ZUR P-RÜCKGEWINNUNG 27

MARKT

	BEURTEILUNG	BEGRÜNDUNG
Marktgrösse und -Diversität		
Airprex **Crystallactor** **Ekobalans** **NuReSys** **Ostara Pearl** **Struvia**	3	Dünger (NP-Dünger mit Mg bzw Struvit): < 1000 t pro Jahr im Inland; > 5000 t pro Jahr in der EU (aktuell noch vergleichsweise geringe Akzeptanz für direkte Anwendung in Landwirtschaft) Ausgangsmaterial für Düngerindustrie: > 5000 t pro Jahr im Inland; > 5000 t pro Jahr in der EU

UMWELT

	BEURTEILUNG	BEGRÜNDUNG
Chemikalieneinsatz		
Crystallactor **NuReSys** (Schlammwasser) **Ostara Pearl** **Struvia**	4	Pro t P: 3 bis 3.5 t $MgCl_2$ oder MgO $MgCl_2$ und MgO nicht als Gefahrenstoff klassifiziert Einsatz geringer Mengen an Kalkhydrat (kein Gefahrenstoff) oder NaOH (Gefahrenstoff; Ausnahmefall, da vergleichsweise teuer) zur pH-Regulierung
Airprex **Ekobalans** **NuReSys** (KS vor Entwässerung)	3	Pro t P: 12 bis 15 t $MgCl_2$ oder MgO $MgCl_2$ und MgO nicht als Gefahrenstoff klassifiziert Einsatz geringer Mengen an Kalkhydrat (kein Gefahrenstoff) oder NaOH (Gefahrenstoff; Ausnahmefall, da vergleichsweise teuer) zur pH-Regulierung
Energiebedarf		
Crystallactor **NuReSys** (Schlammwasser) **Ostara Pearl** **Struvia**	3	2000 bis 4000 kWh pro t P (für elektrische Antriebe und Wärme)
Airprex **Ekobalans** **NuReSys** (KS vor Entwässerung)	2	8000 bis 12 000 kWh pro t P (für elektrische Antriebe und Wärme)
Abfall		
Airprex **Crystallactor** **Ekobalans** **NuReSys** **Ostara Pearl** **Struvia**	4	Keine zusätzlichen Abfälle zum KS (P-entfrachteter KS; geringere Menge bei aus dem KS kristallisierenden Verfahren aufgrund verbesserter Entwässerung des KS)

> INFOGRAFIK > INHALT

30 RESULTATE

Übergeordnete Beurteilungsaspekte

ENTSORGUNGSSICHERHEIT

Grundsätzlich ist die Entsorgungssicherheit als hoch einzustufen (vgl. aber auch Ausführungen zu den beiden anderen übergeordneten Kriterien):

- − Verfahren eignen sich ausschliesslich für die Behandlung von Klärschlamm bzw. Schlammwasser (kein Tier- und Knochenmehl und sonstige Biomasse)
- + Keine zusätzlichen Abfälle zum Klärschlamm, welcher unverändert mit bestehender Infrastruktur entsorgt werden kann (mit gleichzeitig besserer Entwässerbarkeit des KS bei Kristallisation aus nicht entwässertem KS)
- + International vielfach bewährte und einfache Verfahrensansätze mit hoher Betriebssicherheit
- + Ausreichend grosser und diverser Absatzmarkt für das rückgewonnene Struvit (Struvite aus AirPrex und Ostara verfügen über REACH-Zertifizierung, was für Absatz im Ausland erforderlich ist)
- + Die Verfahren sind kostendeckend umsetzbar, hauptsächlich wegen positivem Einfluss auf Betriebs- bzw. Unterhaltskosten und Schlammentsorgungskosten

KOMPATIBILITÄT MIT BESTEHENDEN INFRASTRUKTUREN UND RÄUMLICHEN GEGEBENHEITEN

Die Kompatibilität ist insgesamt als sehr gering einzuordnen:

- − Verfahren ist wenig bis nicht kompatibel mit Prozessstrukturen der Schweizer ARA-Landschaft, weil schweizweit lediglich auf 4 ARA eine biologische P-Elimination erfolgt (Funktionsweise der Verfahren setzt biologische P-Elimination jedoch voraus)
- + Die variabel kleine bis grossskalige Umsetzbarkeit der Verfahren ist kompatibel mit unterschiedlichen regionalen Gegebenheiten (dezentralste Umsetzungsvariante, die aber auch auf ARA > 50 000 EW beschränkt ist)
- + Bestehende Entsorgungsinfrastrukturen (Zementwerk inkl. Trocknungsanlagen, SVA, KVA) für Entsorgung des P-abgereicherten Klärschlamms weiterhin unverändert nutzbar

BEITRAG ZUR SCHWEIZER KREISLAUFSCHLIESSUNG

Der Beitrag ist stark limitiert:

- − Geringer Rückgewinnungsgrad von max. 15 % bei gleichzeitiger Beschränkung auf die Behandlung von Klärschlamm bzw. Schlammwasser
- − In weniger als 1 % der Schweizer ARA umsetzbar aufgrund der Voraussetzung einer biologischen P-Elimination
- − Potenzielle Ausbringung von im Produkt enthaltenen organischen Schadstoffen in die Umwelt (Ausnahme: Crystal Green® von Ostara Pearl)

Grundlagen

Dikov et al. (2014), ECHA (2010), Ewert et al. (2014), Fux et al. (2015), Gerhard (2013), Hermann (2009), Hukari et al. (2016), Kabbe (2015), Kraus & Seis (2015), Montag et al. (2015), Pinnekamp et al. (2011), Remy & Jossa (2015), Spoerri et al. (2016)

BEURTEILUNG VON TECHNOLOGIEN ZUR P-RÜCKGEWINNUNG 31

02 Säure-Aufschluss von Klärschlamm mit anschliessender Kristallisation

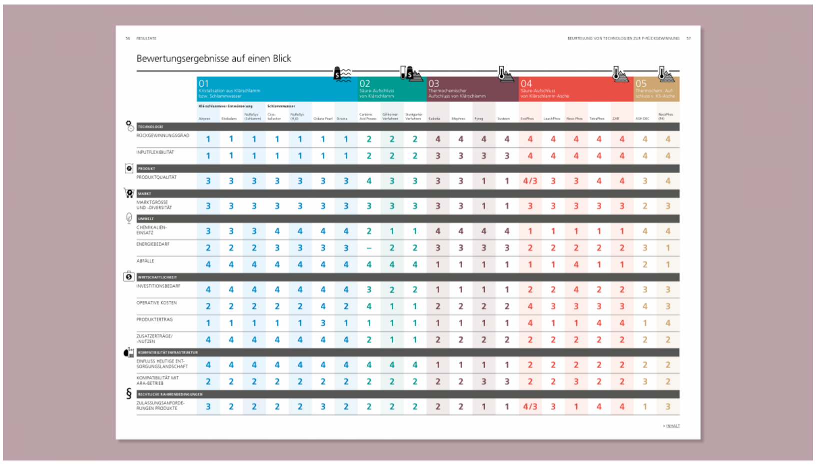
Diese Verfahren basieren auf einem Säure-Aufschluss von KS, um Phosphor in Lösung zu bringen. Beim Carbonic Acid Verfahren wird Kohlensäure unter Druck eingesetzt, welche im Prozess weitgehend zurückgewonnen wird; das Verfahren kommt bei Klärschlamm vor der Entwässerung zum Einsatz. Da Schwermetalle mit Kohlensäure nicht gelöst werden, landen sie auch nicht im Produkt. Bei den übrigen Verfahren wird Schwefel- oder Salzsäure eingesetzt und im Prozess weitgehend verbraucht; die Verfahren kommen bei entwässertem Klärschlamm zum Einsatz. Die Säure löst auch Schwermetalle, diese werden durch Komplexbildung und sequentielle Fällung entfernt.

Die Verfahren funktionieren auf allen ARAs unabhängig von der vorgängigen P-Ausfällung. Anschliessend wird das gelöste P und N durch Zugabe von Magnesium und durch eine pH-Anhebung (u. a. mit Natronlauge) in einem Rühr- oder Wirbelschichtreaktor zu Struvit kristallisiert oder zu CaP ausgefällt und ausgetragen. Nach dem P-Recycling kann der zurückbleibende Schlamm mit konventionellen Methoden weiterverwertet werden.

Übersicht über die Technologien und Praxisbeispiele

TECHNOLOGIE		BEISPIEL	
	PRODUKT	STANDORT	STATUS
Klärschlamm vor Entwässerung **Carbonic Acid Process (Budenheim)**	Calciumhydrogenphosphat (DCP) $CaHPO_4$	ARA Mainz Mombach (D)	Demonstrationsanlage vor Inbetriebnahme
Klärschlamm nach Entwässerung **Gifhorner Verfahren** **Stuttgarter Verfahren**	Struvit $(NH_4)Mg[PO_4] \cdot 6H_2O$	ARA Gifhorn (D) ARA Offenburg (D)	Gifhorn: Demonstrationsanlage zeitweise in Betrieb Offenbach: Demonstrationsanlage im ARA-Nebenstrom in Betrieb

> INFOGRAFIK > INHALT



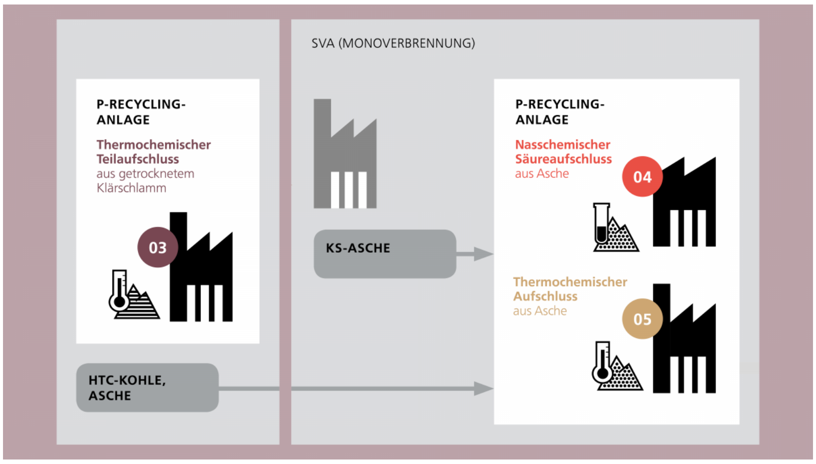
56 RESULTATE

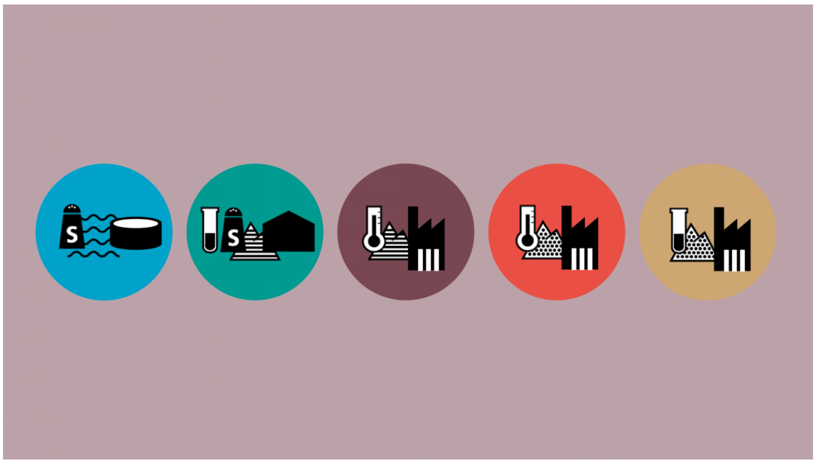
Bewertungsergebnisse auf einen Blick

	01 Kristalisation aus Klärschlamm bzw. Schlammwasser							02 Säure-Aufschluss von Klärschlamm			03 Thermochemischer Aufschluss von Klärschlamm				04 Säure-Aufschluss von Klärschlamm-Asche					05 Thermochem. Aufschluss v. KS-Asche	
	Klärschlamm vor Entwässerung			Schlammwasser																	
	Airprex	Ekobalans	NuReSys (Schlamm)	Crystallactor	NuReSys (H_2O)	Ostara Pearl	Struvia	Carbonic Acid Process	Gifhorner Verfahren	Stuttgarter Verfahren	Kubota	Mephrec	Pyreg	Susteen	EcoPhos	LeachPhos	Reco-Phos	TetraPhos	ZAR	ASH DEC	RecoPhos (P4)
TECHNOLOGIE																					
RÜCKGEWINNUNGSGRAD	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
INPUTFLEXIBILITÄT	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
PRODUKT																					
PRODUKTQUALITÄT	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	1	1	4/3	3	3	4	4	3	4
MARKT																					
MARKTGRÖSSE UND -DIVERSITÄT	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	3	3	3	3	3	2	3
UMWELT																					
CHEMIKALIEN-EINSATZ	3	3	3	4	4	4	4	2	1	1	4	4	4	4	1	1	1	1	1	4	4
ENERGIEBEDARF	2	2	2	3	3	3	3	–	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	1
ABFÄLLE	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	4	1	1	2	1
WIRTSCHAFTLICHKEIT																					
INVESTITIONSBEDARF	4	4	4	4	4	4	4	3	2	2	1	1	1	1	2	2	4	2	2	3	3
OPERATIVE KOSTEN	2	2	2	2	2	4	2	4	1	1	2	2	2	2	4	3	3	3	3	4	3
PRODUKTERTRAG	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	4	4	1	4
ZUSATZERTRÄGE/-NUTZEN	4	4	4	4	4	4	4	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
KOMPATIBILITÄT INFRASTRUKTUR																					
EINFLUSS HEUTIGE ENTSORGUNGSLANDSCHAFT	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
KOMPATIBILITÄT MIT ARA-BETRIEB	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	3	2	2	3	2
RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN																					
ZULASSUNGSANFORDERUNGEN PRODUKTE	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	1	1	4/3	3	1	4	4	1	3

BEURTEILUNG VON TECHNOLOGIEN ZUR P-RÜCKGEWINNUNG 57

> INHALT





Infographic as centerpiece

In order to best communicate the complex study results to target groups of industry representatives and public officials, we developed an infographic offering an intuitive summary. The infographic provides an overview of the various technologies used to recover phosphorus and includes links to the report’s chapters that describe the technologies in greater detail. Moreover, the report is interactive and thus ideally suited to onscreen reading.
Intuitive icons and a smart color concept offer additional navigational help, essentially allowing users to find their way around the report easily.