



Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm und Klärschlammasche

Eigenschaften verschiedener Verfahren

Einleitung

Klärschlamm fällt bei der Abwasserreinigung hauptsächlich in kommunalen Kläranlagen an. Er dient als Schadstoffsenke, beinhaltet jedoch neben organischen und anorganischen Schadstoffen auch die Ressource Phosphor. Phosphor wird als kritischer Rohstoff eingestuft und ist für die Lebensmittelproduktion in der Landwirtschaft essenziell.

Durch die im Jahr 2017 erfolgte Novellierung der Klärschlammverordnung wurde für den überwiegenden Teil der Klärschlämme eine Pflicht zum Phosphorrecycling gesetzlich verankert. Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen mit Ausbaugrößen von mehr als 100.000 Einwohnerwerten (EW) müssen ab dem Jahr 2029 Phosphor aus dem Klärschlamm zurückgewinnen, sofern dessen Phosphorgehalt 20 g/kg in der Trockenmasse überschreitet.

Ab 2032 besteht diese Pflicht bereits für Kläranlagen ab einer Ausbaugröße von mehr als 50.000 EW. Gleichzeitig mit dem Inkrafttreten der Pflicht zur Rückgewinnung von Phosphor ist für diese Kläranlagenbetreiber eine bodenbezogene Verwertung des Klärschlammes unzulässig.

Im Auftrag des NRW-Umweltministeriums und mit Beteiligung des LANUV wurde im Zeitraum Oktober 2018 bis Dezember 2020 das Vorhaben „Umsetzung der Anforderungen der Klärschlamm-Verordnung zur Phosphorrückgewinnung in Nordrhein-Westfalen“¹ durchgeführt. Ein Projektergebnis dabei war die Darstellung und Bewertung erfolversprechender Phosphorrückgewinnungsverfahren aus kommunalem Klärschlamm. Es wurden elf Verfahren mit unterschiedlichen Technologieansätzen bewertet, die vier Kategorien zugeordnet werden können.

Erfolversprechende Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor aus kommunalem Klärschlamm

Kategorie	Verfahren	Beschreibung
Klärschlamm-basierte nasschemische Verfahren für die Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm, Faulschlamm oder Schlammwasser während der Abwasserbehandlung auf der Kläranlage	AirPrex®	Struvitfällung aus Klärschlamm
	PhosForce	Co-Vergärung von Klärschlamm mit Bioabfällen, Flüssig-Feststoff-Separation, Struvitfällung
	Stuttgarter Verfahren	Saure Laugung von Faulschlamm, Struvitfällung
Klärschlamm-basierte thermische Verfahren für die Phosphorrückgewinnung aus entwässertem, zur Entsorgung anstehendem Klärschlamm (ohne vorherige Verbrennung)	EuPhoRe®	Thermochemische Behandlung von Klärschlamm
	Pyrophos	Thermochemische Behandlung von Klärschlamm
Klärschlamm-Asche-basierte Phosphorrückgewinnungsverfahren	AshDec®	Thermochemische Behandlung von Klärschlamm-Asche
	Ecophos®	Saure Laugung von Klärschlamm-Asche, Aufreinigung mit Ionentauscher
	Phos4Life	Saure Laugung von Klärschlamm-Asche, Aufreinigung mit Flüssig-Feststoff-Extraktion
	Parforce	Nasschemischer Aufschluss von Klärschlamm/Klärschlamm-Asche, Herstellung von Phosphorsäure
Verwertung der Asche direkt als Düngemittel oder als Rohstoff in der Düngemittelindustrie	Asche als Dünger	Nutzung von Klärschlamm-Asche als Dünger
	Asche in Düngerindustrie	Ansäuerung von Klärschlamm-Asche mit Phosphor- oder Schwefelsäure zu Tripel-Superphosphat/Single-Superphosphat

¹ Schlussbericht „Die Umsetzung der Anforderungen der Klärschlamm-Verordnung zur Phosphorrückgewinnung in Nordrhein-Westfalen“: https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/umwelt/Ressourcenschutz/umsetzung_der_anforderung_der_klaerschlammvo.pdf

Charakterisierung und Steckbriefe

Die Bewertungstabelle zur Charakterisierung liefert einen schnellen Überblick über die Verfahren und deren Unterschiede. Anhand eines Punktesystems werden die Stärken und Schwächen der untersuchten Phosphorrückgewinnungsverfahren hinsichtlich verschiedener wesentlicher Kriterien dargestellt.

Die detaillierten Verfahrenssteckbriefe geben einen ausführlichen Einblick in die Funktion und Eigenschaften der betrachteten Verfahren und beinhalten unter anderem die Kontaktdaten der Verfahrensanbieter.

Gliederung der Steckbriefe

- Kurzbeschreibung des Verfahrens in Textform
- Prozess-Schema – grafische Darstellung des Verfahrens
- Prozessdaten – Informationen zu Prozess-/Anlagentyp, Entwicklungsstand, Inputmaterial und zusätzliches Materialeinsatz-Potenzial, Outputmaterial und Anteil der Phosphorrückgewinnung aus dem Inputmaterial
- Weitere Kenndaten – P-Konzentration und dessen NAC-Löslichkeit im Outputmaterial, Information über die Einhaltung der Grenzwerte nach DüMV, Energie- und Chemikalienverbrauch, Betriebsanforderungen sowie Kategorie der eingesetzten Chemikalien und der anfallenden Abfälle
- Vorteile & Bemerkungen
- Auszug aus Referenzliste des Betriebs der Verfahren (je nach TRL zu Großmaßstab, Pilotierung oder Forschungsprojekten)
- Kontaktangabe

Zusätzliche Informationen zur Charakterisierung

- ¹ Eine hohe NAC-Phosphatlöslichkeit ist für die Nennung von P als Nährstoff in mineralischen Düngern nach Europäischer Düngemittelverordnung von 2019 Voraussetzung. Sie kann jedoch nicht für alle Erzeugnisse gleichermaßen als Indikator für die Pflanzenverfügbarkeit herangezogen werden. Pflanzenwachstumstests bieten hierfür eine aussagekräftigere Bewertung. (NAC = Neutrales Ammoniumcitrat)
- ² Die Wirtschaftlichkeitsangaben der Verfahren wurden zur Normalisierung der Daten je nach Verfahren auf eine standardisierte Materialeinsatzart und -menge basierend auf Daten einer/s durchschnittlichen Kläranlage / Klärschlamm in / aus Deutschland bezogen. Für schlammbasierte Verfahren entspricht dies 40.000 t/a entwässerten Klärschlamm mit 3,4 Gew.-% P in der Trockensubstanz (25 % TS) oder der äquivalenten Menge an Faulschlamm oder Primär-/Überschussschlamm; für aschebasierte Verfahren 30.000 t/a Klärschlammmasche mit 9 Gew.-% P (316.000 eKS t/a mit 25 % TS). Ausnahmen sind [1] PhosForce (Veolia) mit 24.750 t/a eingedicktem Primär- und Überschussschlamm (6 % TS) aus einer Bio-P-Anlage (spezifische Umsetzung am Standort Schönebeck) mit leicht abweichenden Eigenschaften von einem durchschnittlichen kommunalen Klärschlamm aus Deutschland mit 2,2 Gew.-% P in der Trockensubstanz (5.940 t eKS/a mit 25 % TS); [2] AshDec® (Outotec) bezogen auf die standardisierte KSA-Menge und Zusammensetzung, aber unter Einsatz von warmer Asche; [3] Phos4Life (Técnicas Reunidas) mit 30.000 t/a Klärschlammmasche des Klärschlammes aus Zürich und den dort gegebenen Standortbedingungen; P-Gehalt wurde mit 9 Gew.-% P an eine KSA aus einem durchschnittlichen kommunalen Klärschlamm aus Deutschland angepasst und [4] Ascheinsatz in der Landwirtschaft (sePura) mit 15.000 t/a Klärschlammmasche mit 9 Gew.-% P, die von der sePura GmbH jährlich abgesetzt werden (158.000 t eKS/a mit 25 % TS).
- ³ Je nach Verfahren sind in den Kosten folgende Entsorgungskosten enthalten: 15 €/t eKS für eKS Transport (50 km), 75 €/t eKS für Mitverbrennung (inkl. Aschedeponierung) und 105 €/t eKS für Monoverbrennung. (eKS = entwässerter Klärschlamm)
- ⁴ Diese Verfahren umfassen sowohl die thermische Entsorgung als auch Phosphorrückgewinnung. Aspekte, die aufgrund der erweiterten Bilanzgrenzen daher nicht direkt mit reinen P-Rückgewinnungsverfahren zu vergleichen sind, sind farblich in Lila gekennzeichnet.
- ⁵ Eine Abreicherung des P-Gehalts im Schlamm auf < 2 % nach Abfallklärschlammverordnung ist grundsätzlich möglich. Dies ist aber abhängig von der Phosphorkonzentration im Inputmaterial und kann somit zu veränderten Aufwänden und Kosten führen.
- ⁶ 2 %-ige Zitronensäurelöslichkeit 80 Gew.-% P; Rezyklate mit basisch wirksamen Substanzen maskieren z. T. neutrales Ammoniumcitrat, woraus eine niedrigere NAC Löslichkeit resultiert; Institut für Nutzpflanzenkunde (Prof. Goldbach, Universität Bonn) bestätigt aber eine mit Thomasphosphat vergleichbare Wirksamkeit.
- ⁷ Der Gefahrstoff, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ wird zur Rauchgasreinigung in der mit dem Verfahren kombinierten Verbrennungsanlage eingesetzt. Der Chemikalieneinsatz zur Rauchgasreinigung ist aber generell bei allen Klärschlammverbrennungsanlagen notwendig.
- ⁸ Investitionskosten für die Erweiterung einer bestehenden Verbrennungsanlage mit einer separaten Linie mit einem Drehrohrofen zur P-Rückgewinnung (EuPhoRe-Verfahren). Mit der Annahme, dass die Rauchgasreinigung der Verbrennungsanlage ausreichend Kapazitäten für die zusätzlich durch das EuPhoRe Verfahren anfallende Rauchgase besitzt.
- ⁹ Investitionskosten für eine freistehende Anlage inklusive Rauchgasreinigung zur thermischen Behandlung von entwässertem Klärschlamm zur Phosphorrückgewinnung und Klärschlamm Entsorgung.
- ¹⁰ Hohe Ausschleusung von Metallen ist zur Herstellung von Phosphorsäure mit Düngemittelqualität gegeben. Modulares Verfahren ermöglicht Anpassung zur Herstellung von Phosphorsäure mit technischer Qualität.
- ¹¹ 4 % des gesamten Feststoffabfalls.
- ¹² Hergestellte P-Säure wird im technischen Bereich eingesetzt, nicht als Düngerrohstoff.
- ¹³ < 0,1 % des gesamten Feststoffabfalls.
- ¹⁴ Nur 1 % des gesamten Feststoffabfalls, alternativ kostenpflichtige stoffliche Verwertung bzw. Beseitigung möglich.
- ¹⁵ Inputmaterial wird nicht zur P-Rückgewinnung oder Schwermetallabreicherung noch weiter behandelt.
- ¹⁶ Bezieht sich auf das Phosphat-Aufschlussverfahren in der Düngerindustrie.
- ¹⁷ Rückgewinnung ausgelagert an Düngerindustrie.
- ¹⁸ Bezieht sich auf die an die Düngerindustrie abgegebene Klärschlammmasche.

Struvitfällung

Am Beispiel von *AirPrex*[®]

Kurzbeschreibung

Struvitfällung (Magnesium-Ammonium-Phosphat) wird weltweit im Vollmassstab auf circa 80 Kläranlagen mit erhöhter biologischer Phosphatelimination eingesetzt. Die Verfahren bringen einige operative Vorteile mit sich und können somit wirtschaftlich betrieben werden:

1. Bessere Entwässerbarkeit des Klärschlammes
2. Geringerer Polymerbedarf bei der Entwässerung
3. Vermeidung ungewünschter Struvitbildung
 - a. in Rohren und
 - b. in Entwässerungsaggregaten
4. Geringere Rückbelastung von N und P in der Kläranlage
5. Reduzierung von Wartungsaufwand, -kosten und Verschleiß

Die Struvitfällung wird durch eine pH-Erhöhung und Zugabe von Magnesium ausgelöst. Dies kann entweder im Klärschlamm (1) oder im Zentrat der Klärschlamm-entwässerung (2) geschehen:

(1) *AirPrex*[®], gegebenenfalls mit vorgeschalteter Hydrolyse (*PONDUS*[®]). Ausbeute ist 5-15 %, da nur 50 % der Struvit-Kristalle abgeschieden werden können. Ermöglicht alle oben genannten Prozessvorteile (1-5).

(2) *Pearl*[®], *Nuresys*[®], *Struvia*[™]. Ausbeute ist mit 5-25 % höher, da etwa 90 % der Struvit-Kristalle abgeschieden werden können. Reinheit und Kristalle sind größer, dafür

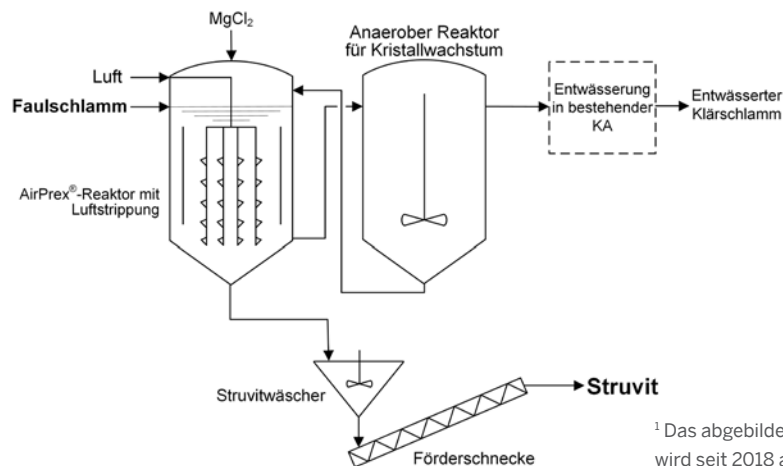
weniger Prozessvorteile (nur 3a, 4, 5). Mit vorhergehender Rücklösung / Versäuerung (*CalPrex*[®], *Wasstrip*[®]) bzw. thermischer Hydrolyse (*Haarslev*) auch Ausbeuten im Range von 15 - 40 % möglich. *CalPrex*[®] erzeugt nicht Struvit, sondern Di-Calciumphosphat (Brushit).

Mittels Struvitfällung kann die von der Abfallklärschlammverordnung geforderte Reduktion auf eine Konzentration von 20 g P/kg TS im Klärschlamm erreicht werden – jedoch nur, wenn der ausgefaulte Schlamm höchstens 33 g P/kg TS enthält.

AirPrex[®] wird als Beispiel solcher Verfahren im Folgenden detaillierter vorgestellt. Der ausgefaulte Schlamm wird nach dem Faulturm in ein Reaktorsystem geführt. Durch Luft-Strippung von CO₂ steigt der pH-Wert deutlich an. Die Zugabe von Magnesiumsalzen führt unter diesen Bedingungen zur Ausfällung von Struvit. Je nach Schlammcharakteristik und Entsorgungsstrategie ergeben sich zwei Möglichkeiten. Die eine Variante des Verfahrens sieht vor, die Struvit-Mikrokristalle im Schlamm zu belassen, um sie nach einer Monoverbrennung aus der Asche einfacher zu recyceln. Bei der zweiten Variante werden gezielt Struvit-Makrokristalle gebildet, die über eine spezielle Vorrichtung ausgeschleust und gewaschen werden, um so den P-Gehalt im Schlamm zu reduzieren.

Prozess-Schema *AirPrex*[®]

AirPrex[®]- Macro¹



¹ Das abgebildete *AirPrex*[®]-Macro Verfahren wird seit 2018 angeboten

Prozess-Daten AirPrex®

Prozesstyp: Nasschemisch
Anlagentyp: Belüfteter Schlaufenreaktor
Entwicklungsstand Technologie: TRL 9 – Qualifiziertes System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes
Inputmaterial: Faulschlamm (Bio-P)
Materialeinsatz-Potenzial: -
Outputmaterial: Struvit
P-Rückgewinnung aus Inputmaterial: 5-15 %



Anlage in Amsterdam. Quelle: CNP CYCLES

Vorteile & Bemerkungen

- Eine Struvitfällung kann grundsätzlich die Abfallklärslammverordnung bei Einsatz von Klärschlämmen mit Konzentrationen geringer als 33 g P/kg TS erfüllen
- Mit der Einführung des zweistufigen AirPrex®-Macro-Verfahrens werden CNP-Rückgewinnungsraten von über 20 % erwartet
- Umsetzung direkt am Standort, geeignet für Kläranlagen mit Bio-P-Elimination
- Verfahren sind wirtschaftlich auf Grund der Prozessvorteile im Kläranlagenbetrieb

Weitere Kenndaten² AirPrex®

P-Konzentration im Outputmaterial: 10 Gew.-%
NAC-Löslichkeit³: > 90 %
Einhaltung Grenzwerte nach DüMV: Ja
Ø Stromverbrauch: 0,9 kWh/t FS
Ø Wärmeverbrauch: -
Ø Chemikalienverbrauch MgCl₂ (30 %): 4,9 kg/t FS

Betriebsanforderungen

Platzbedarf: max. 200 m²
Know-How Betrieb/Unterhalt: Keine speziellen Anforderungen
Kategorie Chemikalien: Keine Gefahrstoffe
Kategorie Abfallentsorgung: Keine Abfälle

Auszug Referenzliste AirPrex®

Anlagen im Großmaßstab

- Mönchengladbach Neuwerk, 0,65 Mio EW, 1.500 m³ FS/d, 2009
- Berlin Waßmannsdorf, 1 Mio EW, 2.000 m³ FS/d, 2010
- Echten, NL, 0,2 Mio EW, 400 m³ FS/d, 2013
- Amsterdam West, NL, 1 Mio EW, 2.500 m³ FS/d, 2014
- Salzgitter, 0,12 Mio EW, 240 m³ FS/d, 2015
- 8 weitere Anlagen im Betrieb, 2 in Bau

² Bezogen auf 278.000 t/a Faulschlamm mit 3,4 Gew.-% P in der Trockensubstanz (3,6 % TS) einer durchschnittlichen kommunalen Kläranlage in Deutschland, entspricht 40.000 t/a entwässertem Klärschlamm mit 25 % TS

³ Neutrale Ammoniumcitrat-Löslichkeit als Indikator für Wirksamkeit mineralischer Dünger nach europäischer Düngemittelverordnung

Kontakt AirPrex®

CNP CYCLES GmbH
 Am Sportplatz 11
 63791 Karlstein am Main
 Bernhard Ortwein
 bernhard.ortwein@cnp-cycles.de
 +49 1512 5115612

Das Projekt „Umsetzung der Anforderungen der Klärschlamm-Verordnung zur Phosphorrückgewinnung in Nordrhein-Westfalen“ wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen von folgenden Institutionen gemeinsam bearbeitet:



Fachhochschule Nordwestschweiz
 Hochschule für Life Sciences



PhosForce

Extraktion aus Klärschlamm

Kurzbeschreibung

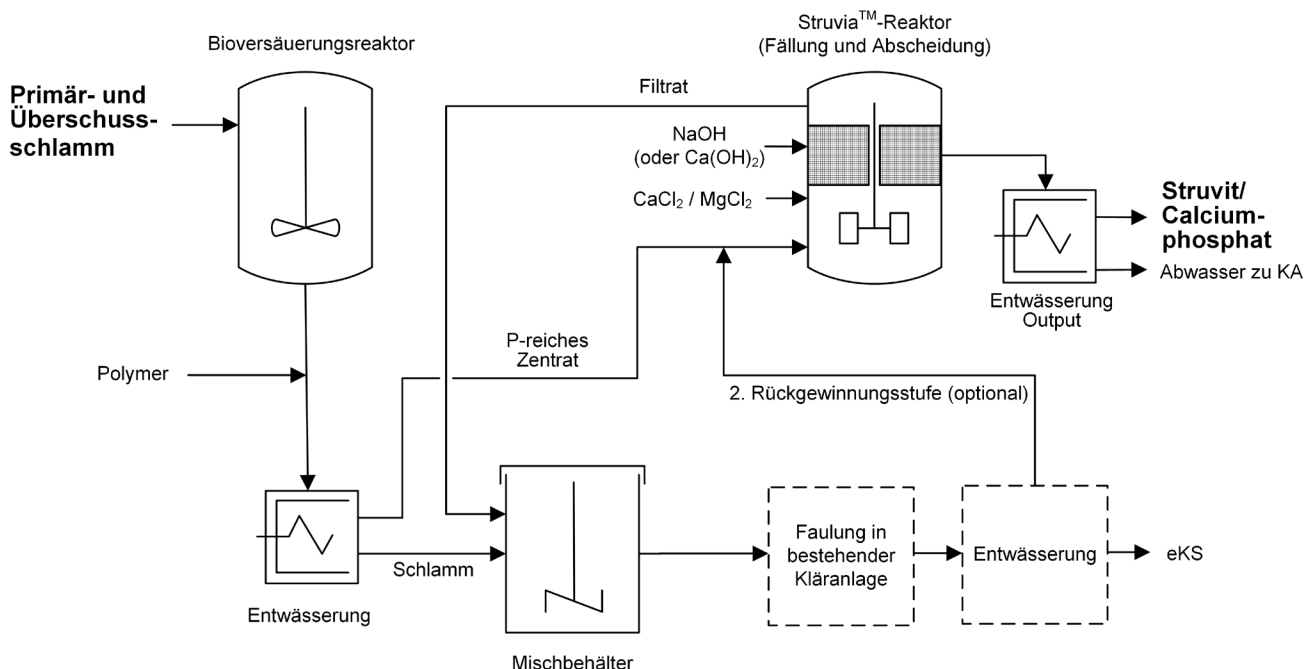
Das PhosForce-Verfahren ermöglicht die Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm als lokale Lösung auf der Kläranlage. Der wesentliche Verfahrensschritt ist eine Versäuerung mittels Mikroorganismen (pH-Senkung ohne Chemikalienzusatz) vor der Faulung. Das durch die nachfolgende Entwässerung entstehende Zentrat beinhaltet den für eine P-Rückgewinnung notwendigen gelösten Phosphor. Durch die Ausfällung der Phosphat-Ionen entsteht ein pflanzenverfügbare Dünger in Form von Struvit (Magnesium-basiert). Alternativ kann Calciumphosphat gefällt werden.

Nach der Faulung wird der Schlamm entwässert. Aus dem Filtrat kann nach Bedarf ein zusätzlicher Anteil von Phosphat zurückgewonnen werden. Durch ein aktives Phos-

phormanagement mit Echtzeit-Steuerung werden sowohl der P-Rückgewinnungsgrad als auch die Grenzwerte im Ablauf der Kläranlage eingehalten. Struvit-Inkrustationsprobleme entfallen, der Chemikalienverbrauch sinkt und Betriebskosten verringern sich damit spürbar.

PhosForce bietet Flexibilität bei der Entsorgung des Klärschlammes, da alle thermischen Verwertungswege offenbleiben. Die PhosForce-Technologie ist insbesondere für Kläranlagen mit biologischer P-Elimination geeignet. Durch eine Anpassung der Verfahrensschritte kann die Technologie auch auf Kläranlagen mit chemischer P-Elimination angewendet werden. Nach Betrachtung der lokalen Rahmenbedingungen wird für jede in Frage kommende Kläranlage ein individuelles Konzept erstellt.

Prozess-Schema



Prozess-Daten

Prozesstyp: Bioversäuerung und Fällung

Anlagentyp: Versäuerungs- und StruviaTM-Reaktor

Entwicklungsstand Technologie: TRL 7 – Prototyp im realen Einsatz

Inputmaterial: Eingedickter Primär- und Überschussschlamm (PS-ÜS)

Materialeinsatz-Potenzial: Zugabe zuckerreicher Co-Substrate

Outputmaterial: Struvit ($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$) oder Calcium-Phosphat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)

P-Rückgewinnung aus Inputmaterial: Gesetzliche Anforderungen können erfüllt werden

P-Gehalt im PS-ÜS(%): 2-3 3-4 >4

Ausbeute (%): <30 30-50 50



Pilotanlage Schönebeck. Quelle: Veolia

Vorteile & Bemerkungen

- Niedrigere P-Ablaufwerte ermöglichen Erlass der Abwasserabgaben für 3 Jahre als Investitionszuschuss
- Co-Versäuerung von zuckerreichen Substraten als Option für niedrigeren pH und höhere P-Ausbeuten
- Potenzielle Verbesserung der Entwässerung von Bio-P-Schlamm von ca. 2 % (absolut) durch P-Reduktion
- Stickstoffrückgewinnung wird erleichtert

Weitere Kenndaten¹

P-Konzentration im Outputmaterial: 10 - 20 Gew.-%

NAC-Löslichkeit²: > 80 % (Struvit)

Einhaltung Grenzwerte nach DüMV: Ja

Ø Stromverbrauch: 1,7 kWh/t PS-ÜS

Ø Wärmeverbrauch: 4,0 kWh/t PS-ÜS

Ø Chemikalienverbrauch

NaOH (50 %) oder $\text{Ca}(\text{OH})_2$: 1,6 kg/t PS-ÜS

MgCl_2 (30 %): 3,7 kg/t PS-ÜS

Polymer: 0,5 kg/t PS-ÜS

Betriebsanforderungen

Platzbedarf: 2.000 m²

Know-How Betrieb/Unterhalt: Keine spezielle Ausbildung der Mitarbeitenden notwendig

Kategorie Chemikalien: Gefahrstoff – NaOH

Kategorie Abfallentsorgung: Keine Abfälle

Auszug Referenzliste

Umsetzung Großmaßstab

- Schönebeck (Elbe), 90.000 EW, mit Bio-P, 2020

Pilotierung

- Tergnier, Frankreich, (Chem-P, mit Co-Substraten), 2019, 3 Monate
- Amiens, Frankreich, 3 m³/d (mit Co-Substraten), 2019, 4 Monate
- Schönebeck, Deutschland, 3 m³/d (Bio-P ohne Co-Substrate), 2018, 4 Monate
- Lille, Frankreich, 3 m³/d (mit Co-Substraten), 2018, 4 Monate

¹Bezogen auf die spezifische Umsetzung am Standort Schönebeck mit einer Kapazität von 24.750 t/a eingedicktem Primär- und Überschussschlamm (6 % TS) aus einer Bio-P-Anlage mit leicht abweichenden Eigenschaften von einem durchschnittlichen kommunalen Klärschlamm aus Deutschland mit 2,2 Gew.-% P in der Trockensubstanz, entspricht 5.940 t/a entwässertem Klärschlamm mit 25 % TS

² Neutrale Ammoniumcitrat-Löslichkeit als Indikator für Wirksamkeit mineralischer Dünger nach europäischer Düngemittelverordnung

Kontakt

Veolia Deutschland GmbH
 Unter den Linden 21, 10117 Berlin
 Boris Lesjean, Christophe Sartet
 boris.lesjean@veolia.com
 christophe.sartet@veolia.com

Das Projekt „Umsetzung der Anforderungen der Klärschlamm-Verordnung zur Phosphorrückgewinnung in Nordrhein-Westfalen“ wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen von folgenden Institutionen gemeinsam bearbeitet:



Fachhochschule Nordwestschweiz
 Hochschule für Life Sciences



Stuttgarter Verfahren

Extraktion aus Klärschlamm

Kurzbeschreibung

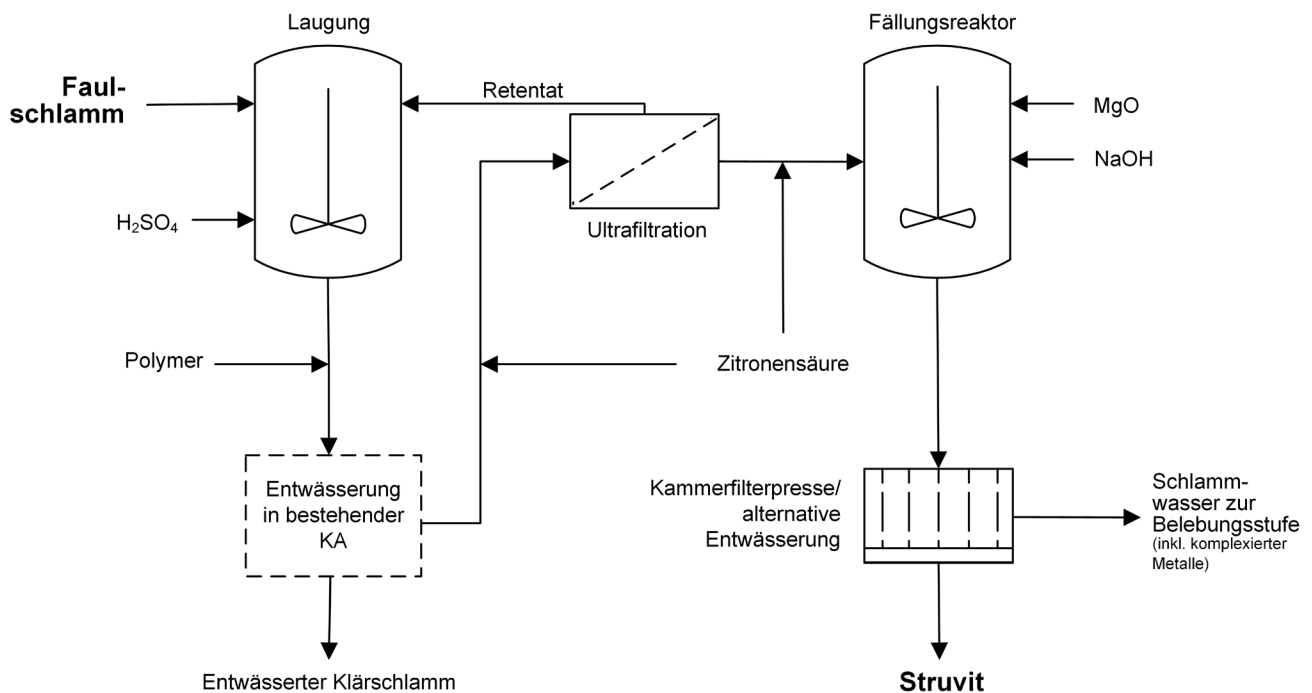
Die Phosphor-Rückgewinnung nach dem Stuttgarter Verfahren ist eine saure Laugung von Faulschlamm. Als erster Schritt erfolgt dabei die saure Hydrolyse von Faulschlamm mit Schwefelsäure bei einem pH-Wert von 3-5 (abhängig vom angestrebten Rückgewinnungspotenzial und der erzielbaren Wirtschaftlichkeit). Anschließend wird mit einer Kammerfilterpresse ein saures, phosphatreiches Filtrat gewonnen, welches zur Entfernung von Fremdpartikeln noch mit einer Ultrafiltration zur Erhöhung des Reinheitsgrades behandelt wird. Zur angestrebten Komplexierung und Ausschleusung der in Lösung gegangenen Metalle und Schwermetalle (Fe, Al, Ca) als auch zur Verbesserung der Filtrationsleistung wird Zitronensäure vor und nach der Ultrafiltration dem Prozessstrom zugegeben.

Unter den genannten Hydrolyse-Bedingungen verbleiben die Schwermetalle aber größtenteils im sauren und zu ent-

sorgenden Klärschlamm. Durch die Dosierung von Magnesium (MgO) und Natronlauge (NaOH) bis pH 8 wird das gelöste Phosphat im zuvor sauren Permeat als Struvit ausgefällt. Mit einer Kammerfilterpresse oder einer anderen Separationstechnik wird das Struvit-Rezyklat abgetrennt.

Das Molverhältnis von Mg:N:P im gewonnenem Struvit und der äußerst geringe Schadstoffgehalt (Schwermetalle, organische Schadstoffe) zeigen den hohen Reinheitsgrad des Outputmaterials. In Pflanzenwachstumsversuchen zeigt das Produkt eine sehr gute Düngewirkung, die mit Triplesuperphosphat (TSP) vergleichbar ist. Das hellgraue bis weiße, sandige Produkt lässt sich gut zu einem streufähigen Granulat aufbereiten. Für die Anwendung des Verfahrens ist keine Änderung der Abwasserreinigung (P-Elimination) erforderlich. Eine dezentrale Umsetzung auf der Kläranlage mit dem Personal vor Ort ist möglich.

Prozess-Schema



Prozess-Daten

Prozesstyp: Saure Laugung und Struvitfällung
Anlagentyp: Ultrafiltration und Fällungsreaktor
Entwicklungsstand Technologie: TRL 7 – Prototyp im realen Einsatz
Inputmaterial: Faulschlamm
Materialeinsatz-Potenzial: Klärschlammasche, Tiermehl, desintegrierter Klärschlamm
Outputmaterial: Struvit ($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$)
P-Rückgewinnung aus Inputmaterial: 24 - 67% über Säurezugabe steuerbar



Pilotanlage Stuttgarter Verfahren. Quelle: FHNW

Vorteile & Bemerkungen

- P-Rückgewinnungsgrad kann gezielt über die Säurezugabe gesteuert werden, eine Abreicherung des P-Gehalts im Schlamm auf < 2% nach Abfallklärschlammverordnung ist möglich
- Keine Abhängigkeit der Outputqualität vom Inputmaterial
- In Betrieb einer bestehenden Kläranlage integrierbar
- Einsatz möglich auf Kläranlagen mit chemischer Phosphorelimination oder mit Bio-P

Weitere Kenndaten¹

P-Konzentration im Outputmaterial: 12 Gew.-%
NAC-Löslichkeit²: > 90 %
Einhaltung Grenzwerte nach DüMV: Ja
Ø Stromverbrauch: 3,0 kWh/t FS
Ø Wärmeverbrauch: -
Ø Chemikalienverbrauch
H₂SO₄ (78 %): 6,4 kg/t FS
Zitronensäure (50 %): 9,5 kg/t FS
MgO (97 %): 1,3 kg/t FS
NaOH (20 %): 7,6 kg/t FS

Betriebsanforderungen

Platzbedarf: ca. 1.000 - 3.000 m²
Know-How Betrieb/Unterhalt: Keine speziellen Anforderungen an KA-Personal
Kategorie Chemikalien: Gefahrstoff – H₂SO₄, NaOH, Zitronensäure
Kategorie Abfallentsorgung: Keine Abfälle

Auszug Referenzliste

Pilotierung

- KA Offenburg, 4.000 t FS/a mit 3% TS, 2010-2017, Dauerbetrieb mit Ausnahmen (Winterzeit, Modifikationen, Instandhaltung)
- MSE Mobile Schlammmentwässerungs GmbH, mobile Pilotanlage für Stuttgarter Verfahren, ca. 30.000 t FS/a, seit 2016, erfolgreiche Testphase auf verschiedenen Kläranlagen

¹ Bezogen auf 278.000 t/a Faulschlamm mit 3,4 Gew.-% P in der Trockensubstanz (3,6% TS) einer durchschnittlichen kommunalen Kläranlage in Deutschland, entspricht 40.000 t/a entwässertem Klärschlamm mit 25% TS und auf die gemittelte P-Rückgewinnungsrate des Verfahrens

² Neutrale Ammoniumcitrat-Löslichkeit als Indikator für Wirksamkeit mineralischer Dünger nach europäischer Düngemittelverordnung

Kontakt

iat-Ingenieurberatung GmbH, Stuttgart
 Dr. Werner Maier, Dr. Birgit Poppe
 +49 711/814 775 0
 info@iat-stuttgart.de
 Dipl.-Ing. RBM Carsten Meyer (ISWA)
 +49 711/685 637 54
 carsten.meyer@iswa.uni-stuttgart.de

Das Projekt „Umsetzung der Anforderungen der Klärschlamm-Verordnung zur Phosphorrückgewinnung in Nordrhein-Westfalen“ wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen von folgenden Institutionen gemeinsam bearbeitet:



Fachhochschule Nordwestschweiz
 Hochschule für Life Sciences



EuPhoRe®

Thermochemische Behandlung von Klärschlamm

Kurzbeschreibung

Das EuPhoRe®-Verfahren ist ein thermochemischer Behandlungsprozess für Klärschlämme und andere Biomassen (Wirtschaftsdünger, Gärreste, ggf. Komposte). Es ermöglicht zahlreichen Erzeugern den Einsatz ihrer Schlämme zum Zweck der Phosphorrückgewinnung. Dabei können aufgrund der angewendeten Einsatzstoffe und Verfahrensschritte auch solche kommunalen Klärschlämme als Rohstoffe Verwendung finden, die für eine direkte landwirtschaftliche Verwendung aufgrund der aktuellen gesetzlichen Lage nicht mehr zur Verfügung stehen.

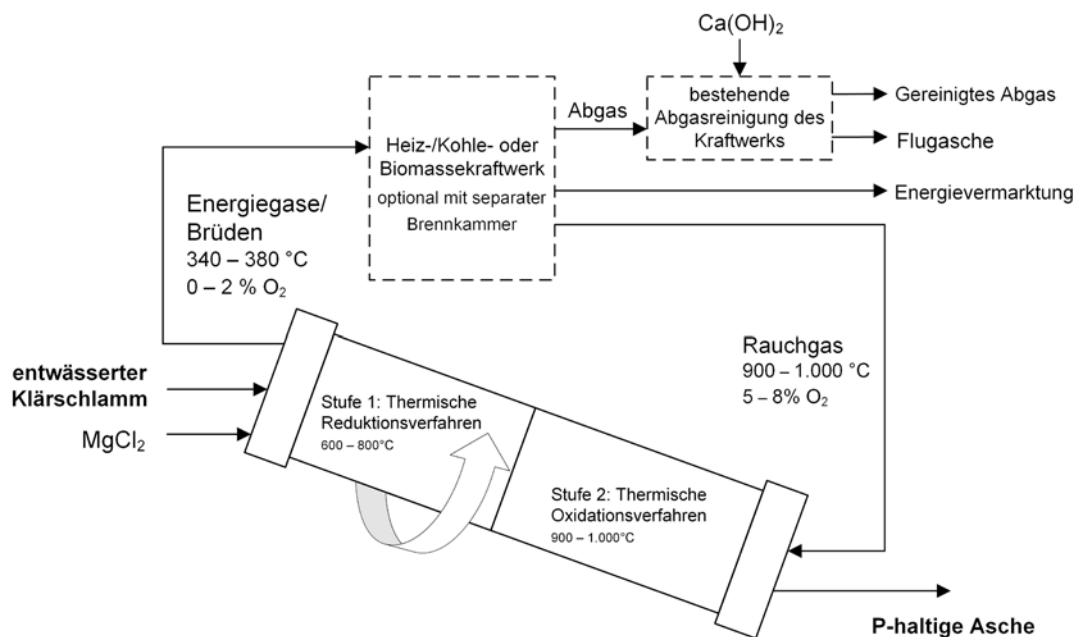
Die Schlammbehandlung beginnt mit der Additivierung, welche mittels Alkali- und/oder Erdalkalichloriden oder -sulfaten erfolgt. Diese werden dissoziiert unmittelbar in die Schlammphase eingebracht, womit einerseits der Schwermetallaustrag vorbereitet und andererseits die P-Löslichkeit im Ascheoutput verbessert wird. Die Verwendung von Magnesium- und/oder Kaliumsalzen führt darüber hinaus zu einer Anreicherung dieser wichtigen Makronährstoffe im Output. Zweck des ersten thermischen

Behandlungsschrittes ist die Trocknung der entwässerten Schlämme, gefolgt vom Übergang in die Reduktionsphase. Hier beginnt die chemische Reduktion zahlreicher Metalle aus ihren Verbindungen. Die leicht- und ein Teil der mittel-flüchtigen Schwermetalle verlassen das System bereits in diesem Abschnitt mit den Prozessgasen als Metallchloride oder -sulfate. Die anschließende Kohlenstoffverbrennung bei Temperaturen über 900°C über eine längere Verweildauer garantiert die Zerstörung aller organischen Schadstoffe. Diese Verfahrensweise inklusive des unmittelbaren Temperaturanstieges beim Übergang der Reduktionszone zur Oxidationszone führt zu einer Wandlung der Mineralsubstanz hin zu pflanzenverfügbaren Phosphatverbindungen.

Die wirtschaftlichste Umsetzung ist in Kombination mit einer Verbrennungsanlage. Dadurch können heiße Rauchgase und die vorhandene Rauchgasreinigung genutzt werden. Der Bau von autarken Anlagen ist aber ebenfalls wirtschaftlich umsetzbar und in Planung.

Prozess-Schema

Standardmäßige Umsetzung in Kombination mit Verbrennungsanlage



Prozess-Daten

Prozesstyp: Thermochemisch
Anlagentyp: Drehrohrofen
Entwicklungsstand Technologie: TRL 8 – Qualifiziertes System mit Nachweis der Funktionstüchtigkeit im Einsatzbereich
Inputmaterial: Entwässerter Klärschlamm
Materialeinsatz-Potenzial: Div. P-reiche Abfälle
Outputmaterial: P-haltige Asche
P-Rückgewinnung aus Inputmaterial: > 95 %



EuPhoRe® Drehrohrofen. Quelle: EuPhoRe® GmbH

Vorteile & Bemerkungen

- Kombinierte KS-Entsorgung und P-Rückgewinnung
- Niedrigere Kosten als bei standardmäßiger KS-Entsorgung mit Monoverbrennung
- Abhängigkeit der Outputqualität vom Inputmaterial

Kontakt

EuPhoRe® GmbH
 Raestrup 7, 48291 Telgte
 Siegfried Klose, Frank Zepke
 +49 2504/9859 281
 siegfried.klose@euphore.de
 frank.zepke@euphore.de

Weitere Kenndaten¹

P-Konzentration im Outputmaterial: 8,8 Gew.-%
NAC-Löslichkeit²: 55 %³
Zitronensäure-Löslichkeit: 80 %
Einhaltung Grenzwerte nach DüMV: Ja, für kommunale KS
Ø Strom – Verbrauch/ Erzeugung: 28 / – kWh/t eKS
Ø Wärme – Verbrauch/ Erzeugung⁴: – / 250 kWh/t eKS
Ø Chemikalienverbrauch
MgCl₂ (30 - 32 %): 16 kg/t eKS
Ca(OH)₂ (85 - 95 %): 12 kg/t eKS

Betriebsanforderungen

Platzbedarf: 700 m²
Know-How Betrieb/Unterhalt: Speziell ausgebildetes Personal oder zusätzliche Ausbildung für KA-Personal
Kategorie Chemikalien: Gefahrstoff – Ca(OH)₂⁵
Kategorie Abfallentsorgung: Flugasche – gefährlicher Abfall

Auszug Referenzliste

Umsetzung Großmaßstab

- ERZO, Oftringen, Schweiz, 30.000 t eKS/a, 2019⁶
- MVV, Mannheim, 135.000 t eKS/a im Bau mit Inbetriebnahmen in 20/21
- EVO, Offenbach, 80.000 t eKS/a im Bau mit Inbetriebnahmen in 20/21

Pilotierung

- EGLV, Klärwerk Dinslaken, Dinslaken, 100 kg eKS/h, 2019 - 2021
- UTO, Uvrier, Schweiz, 15.000 t eKS/a, 2017 - 2018, 8 Wochen

¹ Bezogen auf 40.000 t/a entwässerten Klärschlamm mit 3,4 Gew.-% P in der Trockensubstanz (25% TS) einer durchschnittlichen kommunalen Kläranlage in Deutschland

² Neutrale Ammoniumcitrat-Löslichkeit als Indikator für Wirksamkeit mineralischer Dünger nach europäischer Düngemittelverordnung

³ Rezyklate mit basisch wirksamen Substanzen maskieren z.T. neutrales Ammoniumcitrat, woraus eine niedrigere NAC Löslichkeit resultiert; Institut für Nutzpflanzenkunde (Prof. Goldbach, Universität Bonn) bestätigt aber eine mit Thomasphosphat vergleichbare Wirksamkeit

⁴ Rauchgas wird von Verbrennungsanlage bezogen und als energiereiches Gas nach eKS Verbrennung wieder zurückgeführt

⁵ Einsatz zur Rauchgasreinigung in der mit dem Verfahren kombinierten Verbrennungsanlage

⁶ Seit 1993 betriebener Drehrohrofen mit reduktiv-oxidativem Prozess; 2019 Nachrüstung Additivzugabe zur besseren Schwermetallabscheidung

Das Projekt „Umsetzung der Anforderungen der Klärschlamm-Verordnung zur Phosphorrückgewinnung in Nordrhein-Westfalen“ wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen von folgenden Institutionen gemeinsam bearbeitet:



Fachhochschule Nordwestschweiz
 Hochschule für Life Sciences



Pyrophos®

Thermochemische Behandlung von Klärschlamm

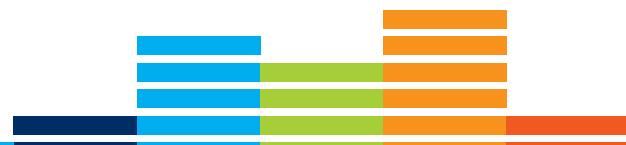
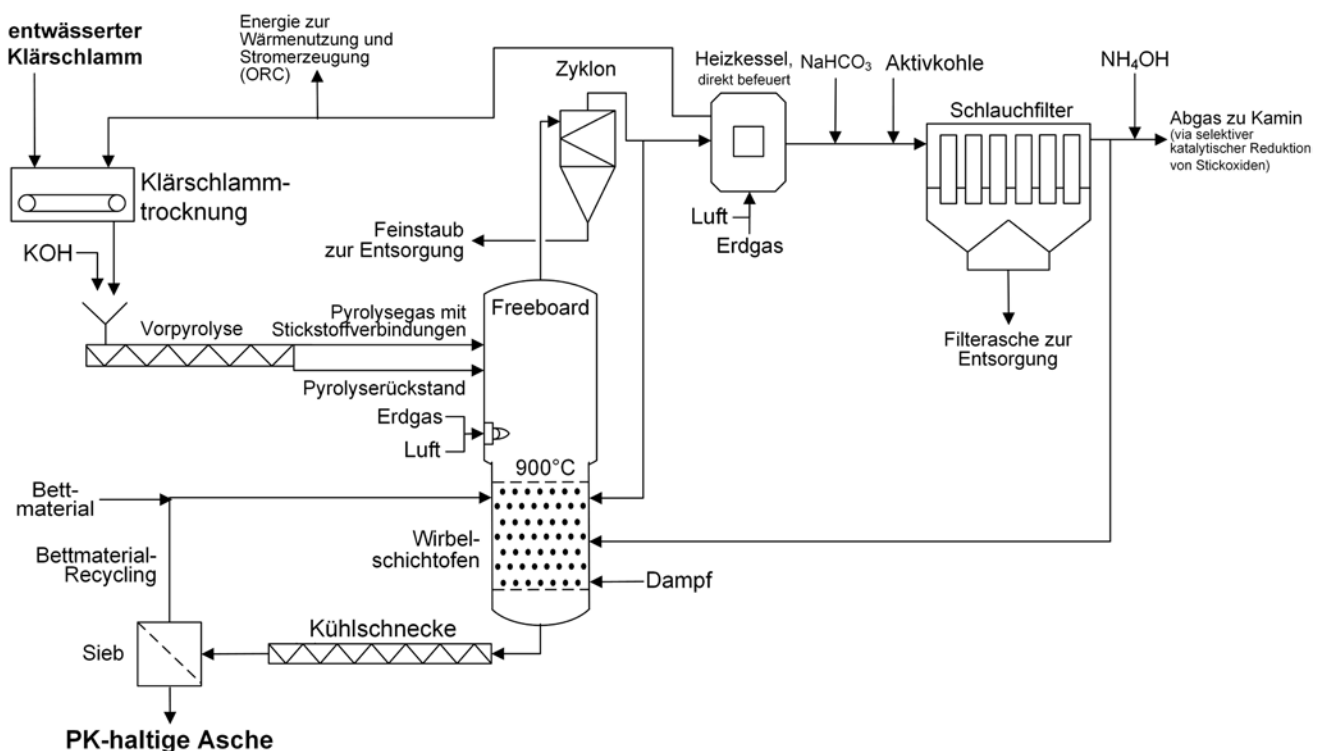
Kurzbeschreibung

Das von der FHNW, CTU AG, AVA Altenrhein, FiBL und Landor gemeinsam entwickelte Pyrophos®-Verfahren ist ein mehrstufiges thermochemisches Aufschlussverfahren für Klärschlamm über eine Wirbelschichtpyrolyse mit anschließender Nachverbrennung. Je nach Outputanforderungen und Verfügbarkeit können entwässertes oder getrocknetes Klärschlamm, Tiermehl, Tiermehlasche oder weitere P-haltige Abfälle mit geringer Schwermetallbelastung als Rohstoffe eingesetzt werden.

Die P-haltigen Rohstoffe werden mit Kaliumsalz als Additiv zur Verbesserung der Pflanzenverfügbarkeit der Phos-

phate gemischt und gemeinsam in den Reaktor gegeben. Im Prozess werden die unter reduzierenden Bedingungen flüchtigen Schwermetalle teilweise über die Gasphase ausgetrieben und in der Abgasreinigungsanlage zurückgehalten. Gleichzeitig bewirkt der thermische Prozess die Umwandlung der schlecht löslichen Phosphate in den Rohstoffen in Kaliumphosphate mit einer hohen Löslichkeit von über 80% in neutralem Ammoniumcitrat (NAC). Zur Qualitätsstabilisierung des Outputs kann Phosphorsäure eingesetzt werden. In einer Nachverbrennung entsteht eine kalium- und phosphathaltige Asche, die zu einem Mehrnährstoffdünger aufbereitet werden kann.

Prozess-Schema



Prozess-Daten

Prozesstyp: Thermochemisch
Anlagentyp: Wirbelschicht-Pyrolysereaktor
Entwicklungsstand Technologie: TRL 6 – Prototyp in vereinfachter Einsatzumgebung
Inputmaterial: Entwässertes Klärschlamm
Materialeinsatz-Potenzial: TKS, KSA und diverse P-reiche Abfälle¹
Outputmaterial: Kaliumphosphathaltige Asche
P-Rückgewinnung aus Inputmaterial: > 95 %



Pyrophos® -Pilotierung, Italien. Quelle: FHNW

Vorteile & Bemerkungen

- Entsorgung und P-Rückgewinnung auch dezentral und für kleinere Klärschlamm-mengen möglich
- Wirtschaftlichkeit stark abhängig von Energienutzungsmöglichkeiten am Standort
- Potenzial für Kostenreduktion durch Mitnutzung der Wärmegewinnung und Abluftreinigung einer bestehenden Verbrennungsanlage

Kontakt

CTU Clean Technology Universe AG
 Buerglistrasse 29, CH-8400 Winterthur
 Martin Schaub
 +41 52 557 52 52
 martin.schaub@ctu.ch

Weitere Kenndaten²

P-Konzentration im Outputmaterial: 6,4 Gew.-%
NAC-Löslichkeit³: ≥ 80 %
Einhaltung Grenzwerte nach DüMV: Ja, für kommunale KS
Ø Strom – Verbrauch/ Erzeugung: 81/97 kWh/t eKS
Ø Wärme – Verbrauch/ Erzeugung: 590/810 kWh/t eKS
Ø Chemikalienverbrauch
 KOH: 44 kg/t eKS
 NaHCO₃: 6 kg/t eKS
 Aktivkohle: 0,2 kg/t eKS
 NH₄OH: 0,5 kg/t eKS

Betriebsanforderungen

Platzbedarf: 800 m², max. Höhe 25 m
Know-How Betrieb/Unterhalt: Speziell ausgebildetes Personal oder zusätzliche Ausbildung für KA-Personal erforderlich
Kategorie Chemikalien: Gefahrstoff – KOH, NH₄OH
Kategorie Abfallentsorgung: Filterasche/Feinstaub – gefährlicher Abfall

Auszug Referenzliste

Umsetzung Wirbelschichtanlagen für Schlämme inklusive Klärschlamm

- Kläranlage Hard, Winterthur, Schweiz, 30.000 t/a, 1992
- RENI, Niedergösgen, Schweiz, 70.000 t/a, 1995
- Daejeon, Südkorea, 200.000 t/a, 1999
- Ujongbu, Südkorea, 150.000 t/a, 2002
- Daejeon, Südkorea, 350.000 t/a, 2014 (Erweiterung Anlage 1999)

Pilotierung

- Civitella del Tronto, Italien, 60 kg Input/h, 6 Wochen, 2019-2020

¹ Zum Beispiel Tiermehl, Tiermehlasche und weitere phosphorhaltige Abfälle mit geringer Schwermetallbelastung

² Bezogen auf 40.000 t/a entwässerten Klärschlamm mit 3,4 Gew.-% P in der Trockensubstanz (25% TS) einer durchschnittlichen kommunalen Kläranlage in Deutschland

³ Neutrale Ammoniumcitrat-Löslichkeit als Indikator für Wirksamkeit mineralischer Dünger nach europäischer Düngemittelverordnung

Das Projekt „Umsetzung der Anforderungen der Klärschlamm-Verordnung zur Phosphorrückgewinnung in Nordrhein-Westfalen“ wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen von folgenden Institutionen gemeinsam bearbeitet:



Fachhochschule Nordwestschweiz
 Hochschule für Life Sciences

AshDec®

Thermochemische Behandlung von Klärschlamm

Kurzbeschreibung

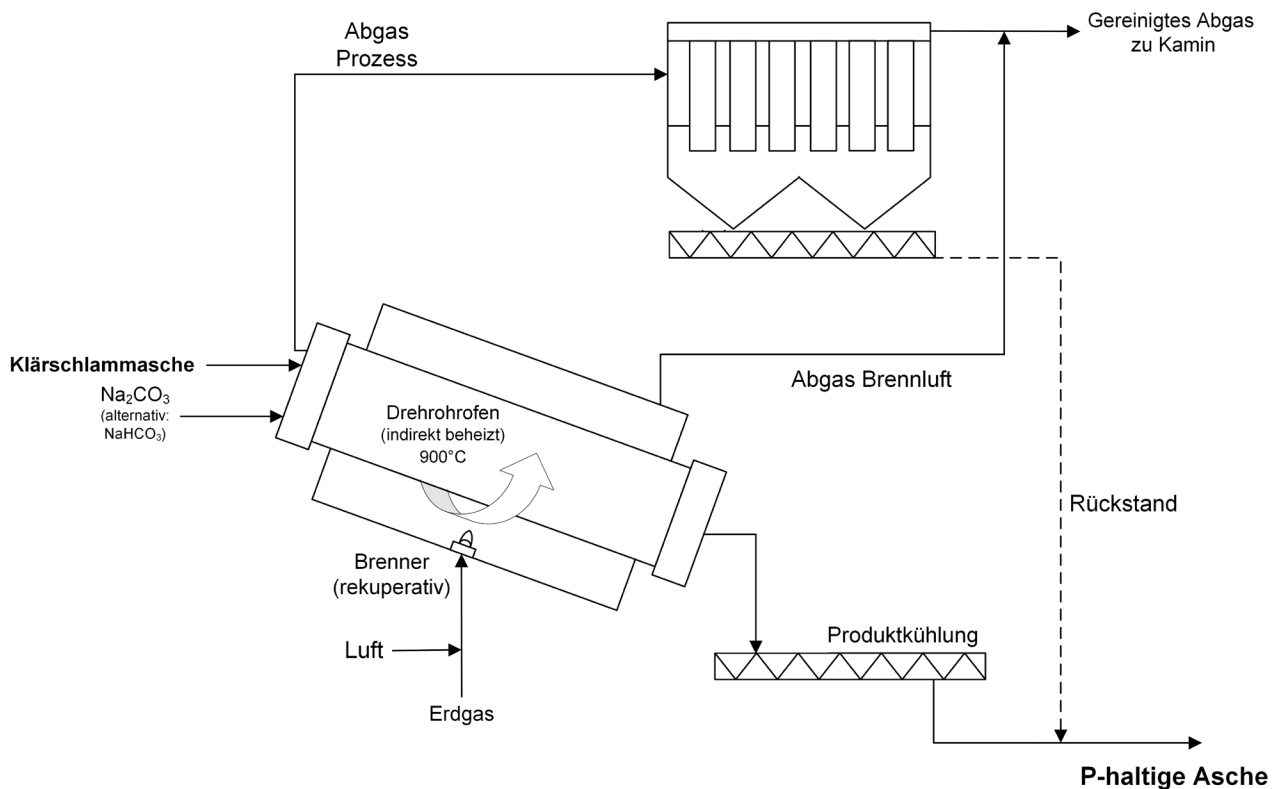
Das AshDec®-Verfahren von Outotec erleichtert die Integration eines nachhaltigen Asche-zu-Düngemittel-Prozesses in eine Anlage zur Gewinnung von Energie und Nährstoffen aus Biomasse und Klärschlamm. Die AshDec®-Technologie ist ein thermochemischer Behandlungsprozess von Asche mit Additivzusatz. Das Verfahren ist für die Phosphorrückgewinnung aus Aschen geeignet, die als Nebenprodukt bei der Verbrennung von kommunalem Klärschlamm, Gülle oder Hühnerstreu sowie Rückständen aus anaerober Faulung oder Schlachthöfen anfallen.

Asche und Additiv werden in einem Drehrohrenreaktor bei 850-1.000 °C behandelt. Die meisten Schwermetalle werden bei diesen Temperaturen gasförmig und in den Filtern der Anlage aufgefangen. Je nach Belastung des Einsatzmaterials kann die Flugasche dem Outputmaterial

wieder zugeführt werden. Feste alkalische Verbindungen (z.B. Na_2CO_3) reagieren mit den schlecht pflanzenverfügbaren aschebasierten Phosphaten und ergeben einen Sekundärphosphor-Dünger, der eine sehr gute Pflanzenverfügbarkeit aufweist. Nach der thermochemischen Behandlung kann das phosphathaltige Material durch eine mechanische Nachbehandlung zu marktfähigen Phosphor- und Mehrnährstoffdüngern aufbereitet werden.

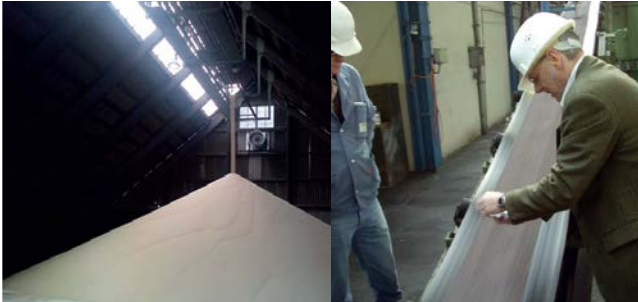
Die Produkte erfüllen die bestehenden und absehbaren Anforderungen aller Düngemittelgesetze in Europa. Sie enthalten 99% weniger Cadmium und 90% weniger Uran als die meisten mineralischen Düngemittel auf Basis von Phosphatgestein und sind vergleichbar in deren Wirkung auf Ertrag und Pflanzenverfügbarkeit.

Prozess-Schema



Prozess-Daten

Prozesstyp: Thermochemisch
Anlagentyp: Drehrohrofen
Entwicklungsstand Technologie: TRL 7 – Prototyp im realen Einsatz
Inputmaterial: Klärschlammasche
Materialeinsatz-Potenzial: Diverse P-reiche Aschen¹
Outputmaterial: Kalzinierte Asche mit CaNaPO_4
P-Rückgewinnung aus Inputmaterial: 95 - 100 %



Outputmaterial AshDec®. Quelle: Outotec GmbH & Co. KG

Vorteile & Bemerkungen

- Kosten- / Nutzenoptimierung der P-Pflanzenverfügbarkeit mittels Anpassung der Additivzugabe
- Einsatz von kalter Asche bei höherem Erdgasverbrauch möglich
- Outputmaterial eignet sich nach Mahlung und Pelletierung als Dünger für Direkt-Vertrieb
- Abhängigkeit der Outputqualität vom Inputmaterial

Kontakt

Outotec GmbH & Co.KG
 Ludwig-Erhard-Str. 21, 61440 Oberursel
 Dr. Andreas Orth, Dr. Tanja Schaaf
 Julian Ulbrich, M.Eng.
 +49 6171/9693 325
 andreas.orth@outotec.com
 tanja.schaaf@outotec.com
 julian.ulbrich@outotec.com

Weitere Kenndaten²

P-Konzentration im Outputmaterial: 8 Gew.-%
NAC-Löslichkeit³: 93 %
Einhaltung Grenzwerte nach DüMV: Ja, für kommunale KSA
Ø Stromverbrauch: 40 kWh/t KSA
Ø Wärmeverbrauch⁴: 410 kWh/t KSA
Ø Chemikalienverbrauch
 Na_2CO_3 : 310 kg/t KSA

Betriebsanforderungen

Platzbedarf: 1.200 m²
Know-How Betrieb/Unterhalt: Speziell ausgebildetes Personal oder zusätzliche Ausbildung für KA-Personal erforderlich
Kategorie Chemikalien: Gefahrstoff – Na_2CO_3
Kategorie Abfallentsorgung: Keine Abfälle⁵

Auszug Referenzliste

Pilotierung

- IBU-tec Weimar, 25 kg KSA/h, 2018-2020, 4 Wochen (CLOOP)
- Pilotanlage (Vorgängerprozess), Leoben, Österreich, 300 kg KSA/h, 2008-2010

Forschung

- CLOOP, Entwicklung eines NextGen Düngers, 2017-2020
- ReNu2Farm, Erhöhung der NPK-Recyclingraten in NW-Europa, 2017-2020
- InPhos, Entwicklung einer P-Strategie für das Baltikum, 2018-2019
- P-Rex, Evaluation von Techniken zur P-Rückgewinnung, 2012-2015

¹ Aschen aus der Verbrennung von Gülle oder Hühnerstreu, von Rückständen aus anaerober Faulung oder Schlachthöfen. Stark mit Schwermetallen belastete Aschen sind für das Verfahren ungeeignet

² Bezogen auf 30.000 t/a Klärschlammasche mit 9 Gew.-% P eines durchschnittlichen kommunalen Klärschlamm aus Deutschland, entspricht 316.000 t/a entwässertem Klärschlamm mit 25 % TS

³ Neutrale Ammoniumcitrat-Löslichkeit als Indikator für Wirksamkeit mineralischer Dünger nach europäischer Düngemittelverordnung

⁴ Wärmeverbrauch beim Einsatz von warmer Asche;

⁵ Flugasche wird bei geringem Schwermetallgehalt dem Outputmaterial zugeführt

Das Projekt „Umsetzung der Anforderungen der Klärschlamm-Verordnung zur Phosphorrückgewinnung in Nordrhein-Westfalen“ wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen von folgenden Institutionen gemeinsam bearbeitet:



Fachhochschule Nordwestschweiz
 Hochschule für Life Sciences



EcoPhos®

Extraktion aus Klärschlammasche

Kurzbeschreibung

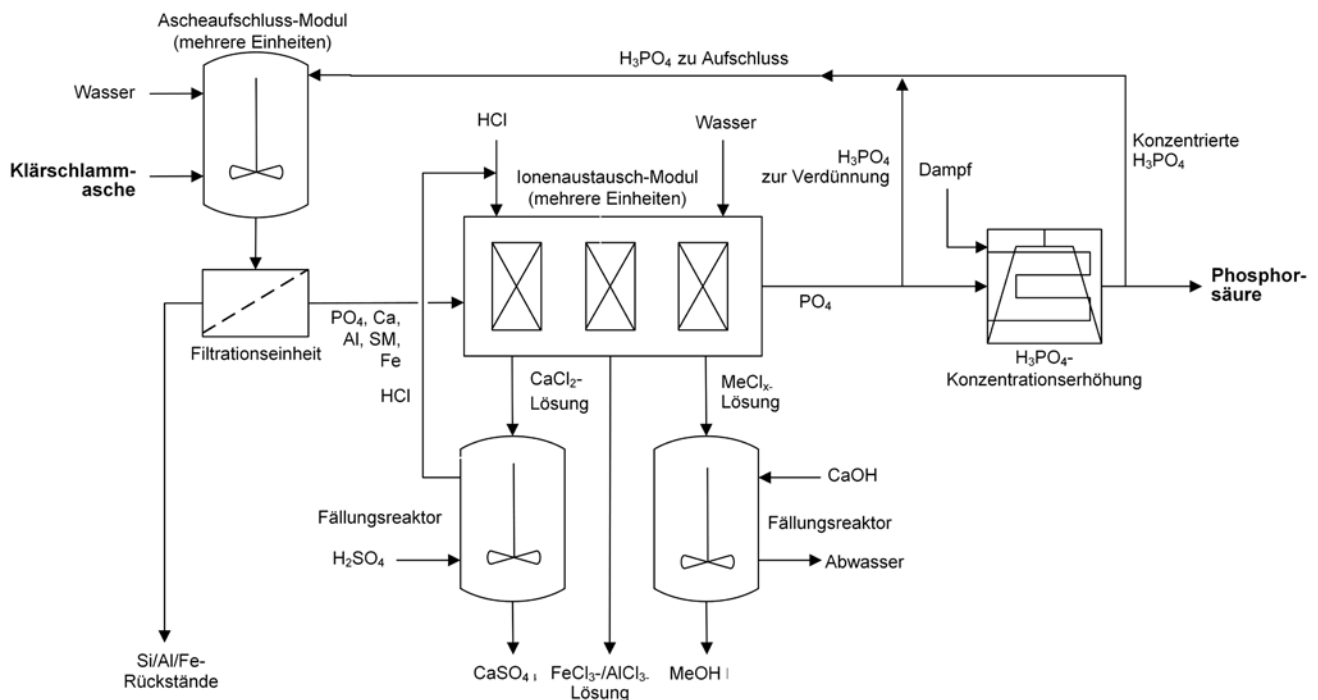
Die Rechte am EcoPhos Verfahren wurden nach der Insolvenz im Frühling 2020 von Prayon übernommen. Es handelt sich dabei um ein nasschemisches Verfahren, welches Phosphor aus der Klärschlammasche extrahiert. Die Umsetzung erfolgt unabhängig vom Betrieb der Abwasserreinigungsanlagen.

Im hier betrachteten EcoPhos-Verfahren (Phosphorsäure als Produkt) wird Klärschlammasche mit Phosphorsäure gelaugt. Die dabei entstehende angereicherte Phosphorsäure wird mit einem Filter von unlöslichen Rückständen (etwa ein Drittel der eingesetzten Asche) abgetrennt. Calcium, Aluminium, Eisen und andere Metallrückstände

werden über Ionenaustauscher aus der Phosphorsäure entfernt. Die Kationenaustauscher werden mit Salzsäure regeneriert.

Die gewonnene Phosphorsäure wird teilweise prozessintern verwertet, während der andere Teil aufkonzentriert und als Phosphorsäure mit Düngemittelqualität (75%) abgesetzt wird. Aus der Calciumchlorid-Lösung der Ionenaustauscher kann Gips gefällt und Salzsäure regeneriert werden. Die Eisen-/Aluminiumchloridlösung kann in der Kläranlage als Fällmittel eingesetzt werden. Die anderen Metallrückstände (MeCl_x -Lösung) werden aufbereitet und entsorgt.

Prozess-Schema



Prozess-Daten

Prozesstyp: Nasschemisch

Anlagentyp: Laugung, Ionenaustauscher und Fällung

Entwicklungsstand Technologie: TRL 6 – Prototyp in vereinfachter Einsatzumgebung

Inputmaterial: Klärschlammasche

Materialeinsatz-Potenzial: Alle P-reichen Abfälle

Outputmaterial: Phosphorsäure H_3PO_4 (75 %), Düngemittel-Qualität

P-Rückgewinnung aus Inputmaterial: > 90 %



Technophos Demonstrationsanlage. Quelle: Prayon Technologies (PRT)

Vorteile & Bemerkungen

- Modulares Verfahren ermöglicht Inputs und Outputs an Standort- und Marktbedingungen anzupassen
- Komplexes Verfahren
- Erfahrener Technologieanbieter aus der Phosphorindustrie
- Überprüfung der Einsatzmöglichkeit von diversen Aschen mit Demonstrationsanlage möglich

Kontakt

Prayon Technologies (PRT)

Rue J. Wauters 144, 4480 Engis, Belgium

Hubert Halleux

hhalleux@prayon.com

Tibaut Theys

TTheys@prayon.com

Weitere Kenndaten¹

P-Konzentration im Outputmaterial: 32 Gew.-%

NAC-Löslichkeit²: 100 %

Einhaltung Grenzwerte nach DüMV: Ja

Ø Stromverbrauch: 80 kWh/t KSA

Ø Wärmeverbrauch: 2.200 kWh/t KSA

Ø Chemikalienverbrauch

HCl (30 %): 840 kg/t KSA

Ca(OH)₂ (90 %): 50 kg/t KSA

H₂SO₄ (98 %): 150 kg/t KSA

Betriebsanforderungen

Platzbedarf: 1.500 m²

Know-How Betrieb/Unterhalt: Speziell ausgebildetes Personal oder zusätzliche Ausbildung für KA-Personal erforderlich

Kategorie Chemikalien: Gefahrstoffe – HCl, H₂SO₄, H₃PO₄, Ca(OH)₂

Kategorie Abfallentsorgung: Schwermetallkonzentrat – gefährlicher Abfall

Auszug Referenzliste

Pilotierung Klärschlammasche

- Ecophos/Prayon Laboratory, Louvain-la Neuve, Belgien, 2014
- Technophos Varna, Bulgarien, Pilot- und Demonstrationsanlage

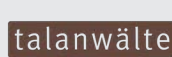
Großmaßstab – Verarbeitung von niedrigwertigem Phosphaterz, u.a.:

- Dunkerque, Frankreich, 220.000 t/a Dicalciumphosphat, 2017
- Lima, Peru, 85.000 t/a Dicalciumphosphat & Phosphorsäure, 2014
- Decaphos, Devnya, Bulgarien, 60.000 t/a Mono-/Dicalciumphosphat, 2006

¹ Bezogen auf 30.000 t/a Klärschlammasche mit 9 Gew.-% P eines durchschnittlichen kommunalen Klärschlamm aus Deutschland, entspricht 316.000 t/a entwässertem Klärschlamm mit 25 % TS

² Neutrale Ammoniumcitrat-Löslichkeit als Indikator für Wirksamkeit mineralischer Dünger nach europäischer Düngemittelverordnung

Das Projekt „Umsetzung der Anforderungen der Klärschlamm-Verordnung zur Phosphorrückgewinnung in Nordrhein-Westfalen“ wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen von folgenden Institutionen gemeinsam bearbeitet:



Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Life Sciences



PARFORCE

Extraktion aus Klärschlammasche

Kurzbeschreibung

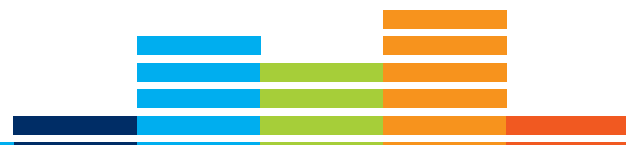
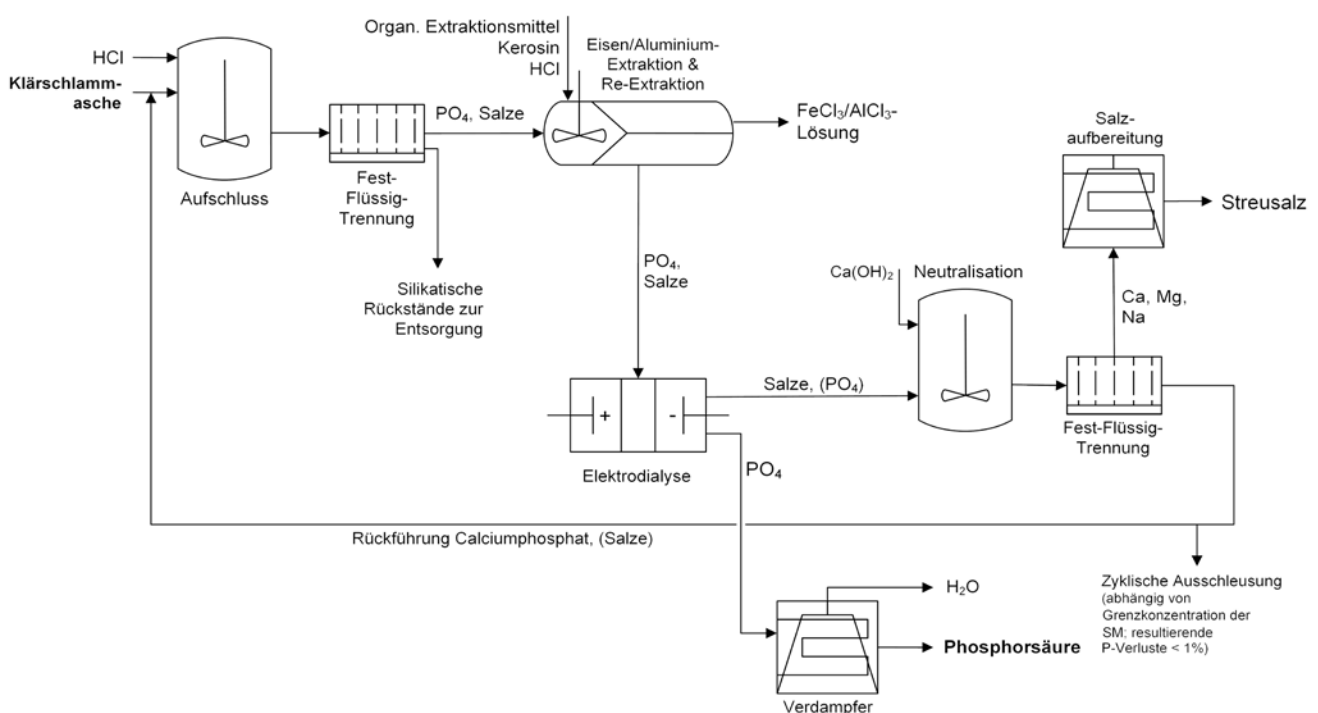
Mit der PARFORCE-Technologie können verschiedene phosphorhaltige Rest- und Wertstoffe, die unter anderem bei der Abwasserreinigung oder Klärschlamm-Entsorgung anfallen, zu Phosphorsäure verarbeitet werden. Die Einsatzstoffe umfassen Struvit, Calciumphosphate sowie Klärschlammasche und phosphorhaltige Filterstäube aus der Klärschlammverbrennung.

In einem nasschemischen Verfahren wird mittels Salz- oder Salpetersäure der phosphathaltige Rohstoff aufgeschlossen. Nach der Fest-Flüssig-Trennung wird die Rohphosphorsäure durch Elektrodialyse von den übrigen gelösten Verunreinigungen (Ca, Mg, Cl, ein- und zweiwertige Schwermetalle usw.) abgetrennt. Die entstehende Rohphosphorsäure (5-20 Gew.-% je nach P_2O_5 -Gehalt des Ausgangsstoffes) wird anschließend konzentriert. Bei Klärschlammaschen ist vor der Elektrodialyse eine Extraktion der Störstoffe Eisen und Aluminium notwendig. Mittels Re-Extraktion wird eine $AlCl_3/FeCl_3$ -Lösung gewonnen,

die wieder zur chemischen Phosphatfällung im Klärwerk eingesetzt werden kann. Die aus der Überführung der Verunreinigungen resultierende Salzlösung kann entweder zu Streusalz aufbereitet werden oder zur Rückgewinnung der Aufschlussäure genutzt werden.

Zur Erfüllung der gesetzlichen Verpflichtung zur Phosphor-Rückgewinnung kann die PARFORCE-Technologie alternativ auch über eine optimierte Struvitkristallisation direkt in eine Kläranlage mit Bio-P integriert werden. Durch eine thermische Behandlung der Kristalle werden verbliebene Klärschlamm-Anhaftungen beseitigt und der freiwerdende Ammoniak in einer Abgaswäsche als zum Beispiel Ammoniakwasser gebunden. Als Zwischenprodukt entsteht ein Magnesiumphosphat, das anschließend im PARFORCE-Verfahren nasschemisch aufgeschlossen und zu hochwertiger, schwermetallfreier Phosphorsäure umgesetzt wird.

Prozess-Schema



Prozess-Daten

Prozesstyp: Nasschemisch

Anlagentyp: Elektrodialyse und Solventextraktion

Entwicklungsstand Technologie: TRL 6 – Prototyp in vereinfachter Einsatzumgebung

Inputmaterial: Klärschlammasche

Materialeinsatz-Potenzial: Apatit, TCP/DCP, Struvit, Tier- und Knochenmehlasche

Outputmaterial:

- Phosphorsäure H_3PO_4 (75 %), technische Qualität
- Eisen/Aluminium(III)chlorid $FeCl_3/AlCl_3$ (20 %)
- Streusalz $CaCl_2$

P-Rückgewinnung aus Inputmaterial: 85-90 % (KSA), 99 % (andere Einsatzstoffe)



Prototyp Elektrodialyse PARFORCE-Verfahren. Quelle: PARFORCE GmbH

Vorteile & Bemerkungen

- Hohe stoffliche Verwertung von Phosphor, Eisen-, Aluminium- und Calcium-Salzen
- Prozesskomplexität erfordert chemisch-technisches Know-how
- Phosphorsäure als Outputmaterial erfüllt Spezifikationen für bestehende Produkte am Markt

Weitere Kenndaten¹

P-Konzentration im Outputmaterial: 24 Gew.-%

NAC-Löslichkeit²: Nicht relevant für technische P-Säure³

Einhaltung Grenzwerte nach DÜMV: Nicht relevant für technische P-Säure₃

Ø Stromverbrauch: 780 kWh/t KSA

Ø Wärmeverbrauch: 2.500 kWh/t KSA

Ø Chemikalienverbrauch

HCl (36 %): 2.100 kg/t KSA

Organ. Extraktionsmittel: 2 kg/t KSA

Kerosin: 13 kg/t KSA

Ca(OH)₂ (90 %): 70 kg/t KSA

Betriebsanforderungen

Platzbedarf: 2.000 m²

Know-How Betrieb/Unterhalt: Speziell ausgebildetes Personal oder chemisch-technische Zusatzausbildung für KA-Personal erforderlich

Kategorie Chemikalien: Gefahrstoffe – HCl, Ca(OH)₂

Kategorie Abfallentsorgung: SM-haltiges Fällungsprodukt – gefährlicher Abfall

Auszug Referenzliste

Pilotierung

- TU Bergakademie Freiberg, 50 kg KSA/h, 2017-2018

¹ Bezogen auf 30.000 t/a Klärschlammasche mit 9 Gew.-% P eines durchschnittlichen kommunalen Klärschlamm aus Deutschland, entspricht 316.000 t/a entwässertem Klärschlamm mit 25 % TS

² Neutrale Ammoniumcitrat-Löslichkeit als Indikator für Wirksamkeit mineralischer Dünger nach europäischer Düngemittelverordnung

³ Hergestellte technische P-Säure wird nicht als Düngerrohstoff eingesetzt

Kontakt

PARFORCE Engineering & Consulting GmbH
 Am St.-Niclas-Schacht 13, 09599 Freiberg
 Dipl.-Kfm. Jürgen Eschment
 juergen.eschment@parforce-technologie.de
 +49 176/66 998 168

Das Projekt „Umsetzung der Anforderungen der Klärschlamm-Verordnung zur Phosphorrückgewinnung in Nordrhein-Westfalen“ wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen von folgenden Institutionen gemeinsam bearbeitet:



Fachhochschule Nordwestschweiz
 Hochschule für Life Sciences



Phos4Life

Extraktion aus Klärschlammmasche

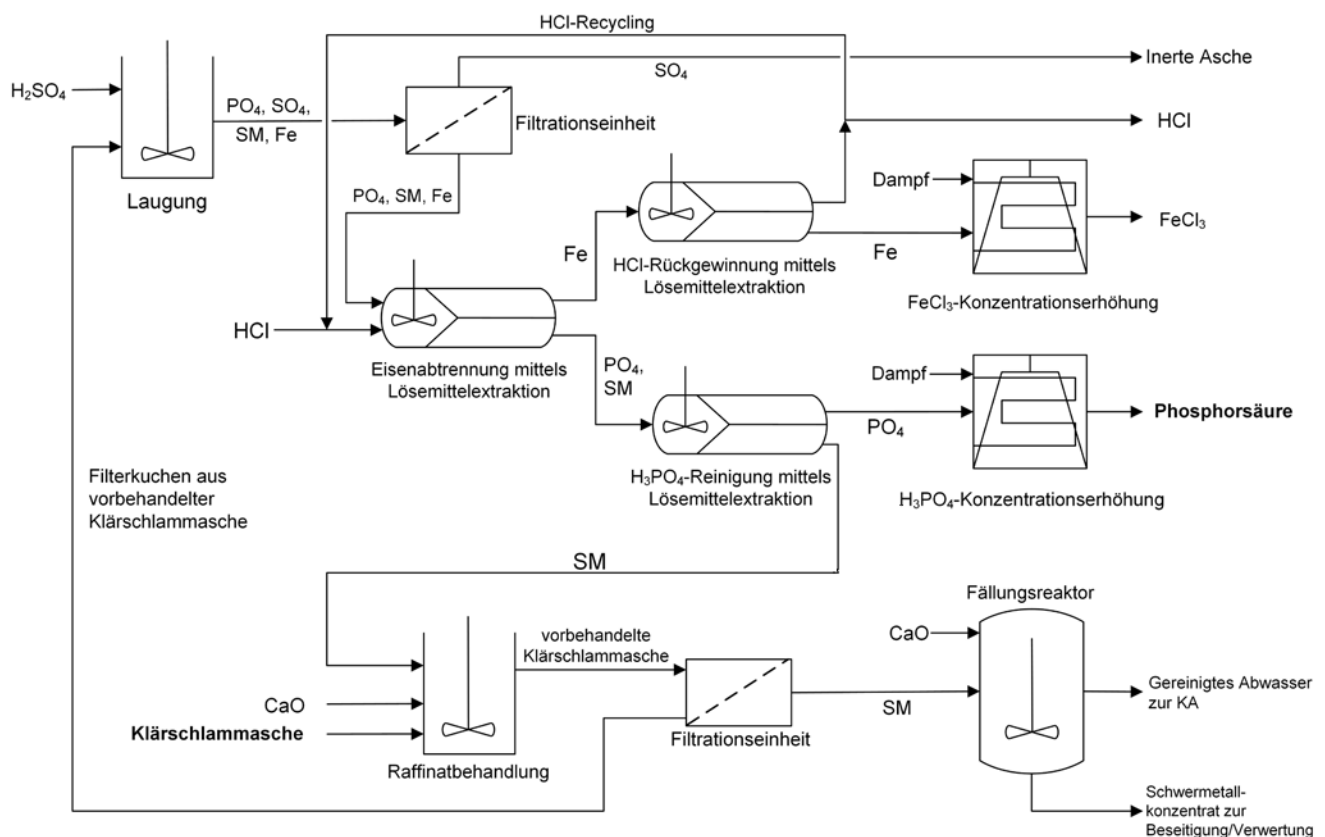
Kurzbeschreibung

Aus Klärschlammmasche (KSA) und anderen phosphorhaltigen, anorganischen Verbindungen wird Phosphor (P) mit hoher Ausbeute durch eine stark schwefelsaure Laugung extrahiert. Neben Phosphor gehen dabei auch die meisten der in der KSA enthaltenen Schwermetalle in Lösung. Der verbleibende metallarme mineralische Anteil wird abgetrennt und einer stofflichen Verwertung zugeführt.

In einer ersten Solventextraktionsstufe wird Eisen als Eisenchloridlösung separiert und aufbereitet. Diese Lösung kann in Kläranlagen wieder als Fällmittel eingesetzt

werden. In einer zweiten Solventextraktionsstufe wird die Phosphorsäure von den Schwermetallen befreit, aufkonzentriert und in handelsübliche technisch reine, 75%ige Phosphorsäure überführt. Die gelösten Schwermetalle werden anschließend ausgefällt und beseitigt. Alternativ kann das Schwermetallkonzentrat auch kostenpflichtig einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Mit der in diesem Fall nahezu 100-prozentigen stofflichen Verwertung wird der ursprüngliche Abfall KSA in wiederverwertbare, hochwertige Produkte umgewandelt und Stoffkreisläufe effizient geschlossen.

Prozess-Schema



Prozess-Daten

Prozesstyp: Nasschemisch

Anlagentyp: Solventextraktionsanlage

Entwicklungsstand Technologie: TRL 7 – Prototyp im realen Einsatz

Inputmaterial: Klärschlammasche

Materialeinsatz-Potenzial: Diverse P-reiche, anorganische Stoffe

Outputmaterial:

- Phosphorsäure H_3PO_4 (75 %), technische Qualität
- Eisen(III)chlorid $FeCl_3$ (40 %)
- Salzsäure HCl (17 %)

P-Rückgewinnung aus Inputmaterial: > 90 %



Pilotierung des Phos4Life-Verfahrens. Quelle: Técnicas Reunidas, José Lladó Technology Centre, Madrid

Vorteile & Bemerkungen

- Hohe stoffliche Verwertung von Phosphor, Eisen-salzen sowie inerten Rückständen
- Solventextraktion gewährleistet konstante und hohe Produktqualität
- Prozesskomplexität erfordert chemisch-technisches Know-how
- Phosphorsäure als Outputmaterial erfüllt Spezifikationen für bestehende Produkte am Markt
- Kosten stark standortabhängig, optimale Umsetzung an Standort mit KA, MonoVA und weiteren Abnehmern von Nebenprodukten

Weitere Kenndaten¹

P-Konzentration im Outputmaterial: 24 Gew.-%

NAC-Löslichkeit²: Nicht relevant für technische P-Säure³

Einhaltung Grenzwerte nach DÜMV: Nicht relevant für technische P-Säure₃

Ø Stromverbrauch: 430 kWh/t KSA

Ø Wärmeverbrauch: 8.200 kWh/t KSA

Ø Chemikalienverbrauch

HCl (33 %): 1.300 kg/t KSA

H₂SO₄ (96 %): 1.500 kg/t KSA

CaO: 230 kg/t KSA

Betriebsanforderungen

Platzbedarf: 4.000 m²

Know-How Betrieb/Unterhalt: Speziell ausgebildetes Personal oder chemisch-technische Zusatzausbildung für KA-Personal erforderlich

Kategorie Chemikalien: Gefahrstoffe – HCl , H_2SO_4 , CaO

Kategorie Abfallentsorgung: Schwermetallkonzentrat – gefährlicher Abfall

Auszug Referenzliste

Pilotierung

- Técnicas Reunidas SA, Madrid, Spanien, 0,5 kg KSA/h, 2017–2019

Solventextraktion

- AZR, Mooresborough, USA, 135.000 t/a Zn, 6.500 t/a Pb, 18 t/a Ag, 2013
- Glencore, Portovesme, Italien, 53.000 t/a Zn, 2012
- Vedanta, Namibia, 150.000 t/a Zn, 2003

¹ Bezogen auf 30.000 t/a Klärschlammasche des Klärschlamm aus Zürich und den dort gegebenen Standortbedingungen, entspricht 316.000 t/a entwässertem Klärschlamm mit 25 % TS; P-Gehalt wurde mit 9 Gew.-% P an eine KSA aus einem durchschnittlichen kommunalen Klärschlamm aus Deutschland angepasst

² Neutrale Ammoniumcitrat-Löslichkeit als Indikator für Wirksamkeit mineralischer Dünger nach europäischer Düngemittelverordnung

³ Hergestellte technische P-Säure wird nicht als Düngerrohstoff eingesetzt

Kontakt

Técnicas Reunidas SA (TR), Madrid, Spanien

Angél Galindo Carbajo

agalindoc@tecnicasreunidas.es

+34 91/1589 809

Dr. Stefan Schlumberger (Stift. ZAR, Schweiz)

stefan.schlumberger@kebag.ch

Das Projekt „Umsetzung der Anforderungen der Klärschlamm-Verordnung zur Phosphorrückgewinnung in Nordrhein-Westfalen“ wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen von folgenden Institutionen gemeinsam bearbeitet:



Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Life Sciences

Ascheeinsatz in Landwirtschaft

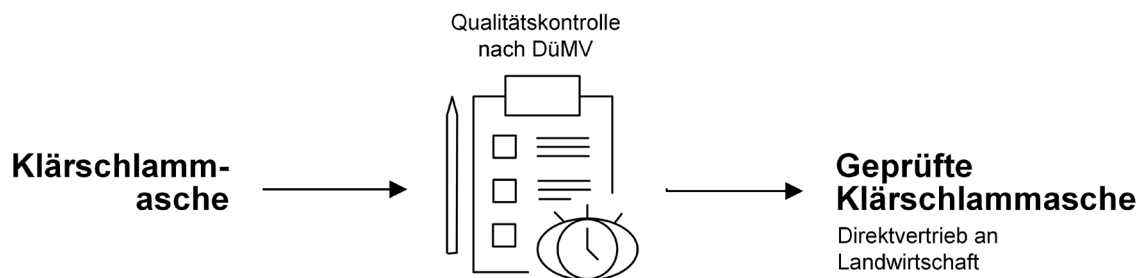
Kurzbeschreibung

Pro Jahr setzt sePura rund 15.000 t Klärschlammasche als Phosphatdünger (soliPur® 170P) in der Landwirtschaft ab. Das leicht feuchte Produkt kann mit Hilfe von Kalkstreuern ausgebracht werden. Die Grenzwerte für Schadstoffe in der Düngemittelverordnung (DüMV) schließt jedoch den direkten Einsatz von Aschen als Düngemittel von manchen Verbrennungsanlagen aus. Auch führt die Pflicht zur ausgeglichenen Nährstoffbilanz in landwirtschaftlich genutzten Böden in der Düngerverordnung (DüV) auf Grund der begrenzten Löslichkeit des in der Asche enthaltenen Phosphors zu langsam rückläufigen Umsätzen. In Zukunft wird die neue Düngemittelverordnung der EU als Nachweis der Wirksamkeit von mineralischen Düngern, eine Phosphat-Löslichkeit in neutralem Ammoniumcitrat von

mindestens 75% fordern. Unbehandelte Klärschlammaschen erreichen diese Anforderung aber nicht.

Alle Phosphatdünger von sePura basieren auf Nebenprodukten gemäß dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG). Damit zeigt sePura, dass die Phosphatrückgewinnung bereits heute technisch möglich und ökonomisch sinnvoll ist. Da die Phosphate regional erzeugt und vermarktet werden, führen kurze Wege von der Produktion zum Anwender zu einer deutlichen Reduzierung von Treibhausgasemissionen. Die Phosphatprodukte von sePura zeichnen sich gegenüber konventionellen Düngern durch niedrige Cadmium- und Urangehalte aus und leisten damit einen Beitrag zum Boden- und Grundwasserschutz.

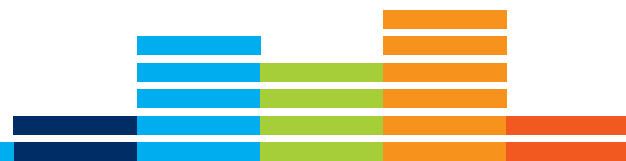
Prozess-Schema



Klärschlamm-ascheanlieferung bei sePura.
Quelle: sePura GmbH



Musterentnahme für Qualitätskontrolle.
Quelle: sePura GmbH



Prozess-Daten

Prozesstyp: Abgabe an Landwirtschaft

Entwicklungsstand Technologie: TRL 9 – Qualifiziertes System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes

Inputmaterial: Klärschlammasche

Outputmaterial sePura: P-Dünger (geprüfte Klärschlammasche)

P-Rückgewinnung aus Inputmaterial: 100 %



Direkte Klärschlammascheausbringung in der Landwirtschaft.

Quelle: sePura GmbH

Vorteile & Bemerkungen

- Regelmäßige Qualitätskontrolle der verwendeten Asche erforderlich
- Schadstoff-Grenzwerte in DüMV (vor allem für Nickel und Blei) begrenzen die Anzahl der Anlagen mit einsetzbarer KSA
- Anforderung an die vorgeschriebene Mindestlöslichkeit von Phosphat der neuen EU-Düngemittelverordnung wird nicht erreicht und könnte zukünftig den Absatz der Asche gefährden

Weitere Kenndaten¹

P-Konzentration im Outputmaterial: 8-9 Gew-%

NAC-Löslichkeit²: 30-50 %

Einhaltung Grenzwerte nach DüMV: Ja

Ø Stromverbrauch: Ausgelagert an sePura GmbH

Ø Wärmeverbrauch: -

Ø Chemikalienverbrauch: Ausgelagert an sePura GmbH

Betriebsanforderungen

Platzbedarf: Nicht erforderlich, direkte Verwertung von Klärschlammasche

Know-How Betrieb/Unterhalt: -

Kategorie Chemikalien: Ausgelagert an sePura GmbH

Kategorie Abfallentsorgung: -

Auszug Referenzliste

Umsetzung Großmaßstab

- sePura GmbH, Veitshöchheim, Vertrieb von 15.000 t KSA pro Jahr zum direkten Einsatz als Dünger in der Landwirtschaft

¹ Bezogen auf 15.000 t/a Klärschlammasche mit 9 Gew.-% P eines durchschnittlichen kommunalen Klärschlamm aus Deutschland, die von der sePura GmbH abgesetzt werden und 158.000 t/a entwässertem Klärschlamm mit 25 % TS entsprechen

² Neutrale Ammoniumcitrat-Löslichkeit als Indikator für Wirksamkeit mineralischer Dünger nach europäischer Düngemittelverordnung

Kontakt

sePura GmbH

Raiffeisenstraße 1, 97209 Veitshöchheim

Dieter Leimkötter

+49 931/26 02 73 21

+49 931/26 02 73 00

dieter.leimkoetter@sepura.de

Das Projekt „Umsetzung der Anforderungen der Klärschlamm-Verordnung zur Phosphorrückgewinnung in Nordrhein-Westfalen“ wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen von folgenden Institutionen gemeinsam bearbeitet:



Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Life Sciences

Klärschlammasche als Rohstoff in Düngerindustrie

Abgabe von geprüfter Klärschlammasche¹ am Beispiel von ICL Fertilizers

Kurzbeschreibung

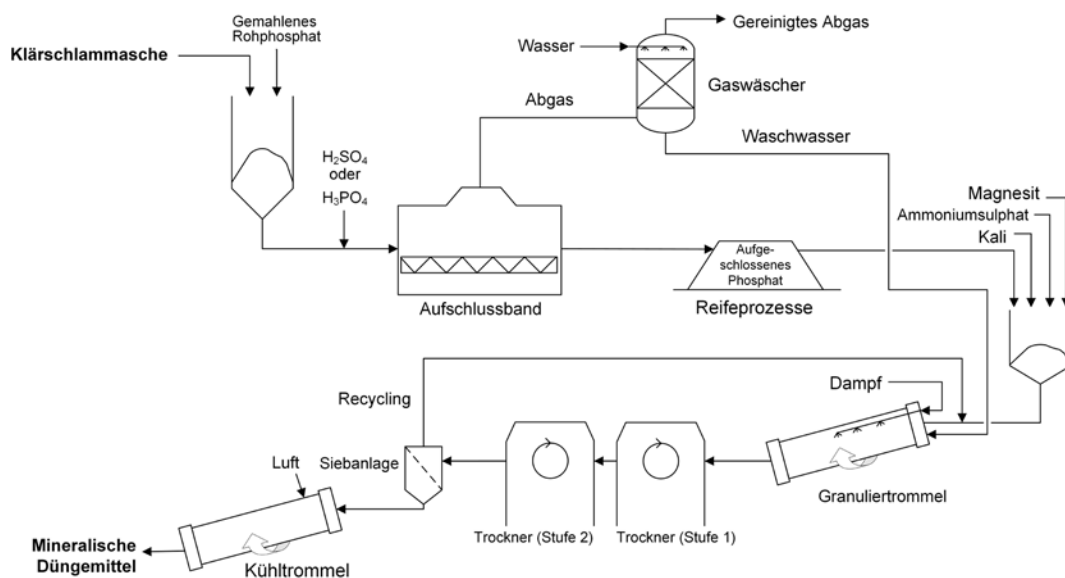
Im herkömmlichen Produktionsprozess für Superphosphat-Dünger von ICL Fertilizers können KSA und weitere P-reiche Aschen als Ersatz für sedimentäre Phosphate eingesetzt werden. Die Klärschlammasche wird nach der Monoverbrennung einer Qualitätskontrolle nach dem Annahmekatalog von ICL unterzogen und danach als Rohstoff in der Düngerindustrie weiterverarbeitet.

ICL Fertilizers möchte Rohphosphate langfristig komplett durch Recyclingphosphate ersetzen. Dazu müssen allerdings die P-Gehalte ausreichend hoch und die Reaktionsfähigkeit der Recyclingphosphate gegeben sein.

Zusätzlich dürfen die Grenzwerte für Schadstoffe in den Recyclingphosphaten (je nach Verarbeiter nach der deutschen oder europäischen Düngemittelgesetzgebung) nicht überschritten werden. Eine weitere Voraussetzung ist die Genehmigung zur Einarbeitung der Recyclingphosphate in unbegrenzter Menge in der Produktionsanlage. Die sekundären Rohstoffe müssen sich bezüglich der Wirtschaftlichkeit mit dem Rohphosphat messen. Dieses kann je nach Versorgungslage für 60-100€/t für Phosphaterz (30-32% P₂O₅) inklusive Anlieferung nach Ludwigshafen beschafft werden.

Prozess-Schema

Phosphat-Aufschluss von ICL Fertilizers (Düngerindustrie)



¹ Aus Entsorgersicht sind vor allem der Ablauf von der Prüfung bis zur Abgabe der Klärschlammasche an die Düngerindustrie und die damit verbundenen Kennwerte relevant (vgl. Abbildung rechts). Je nach Darstellung oder zur Nachvollziehbarkeit der geprüften KSA-Abgabe als Entsorgungsweg wird deren Verarbeitung in der Düngerindustrie in den Steckbrief miteinbezogen. Die entsprechenden Punkte sind gekennzeichnet.



Prozess-Daten

Prozesstyp: Abgabe an Düngerindustrie
Entwicklungsstand der Verarbeitungstechnologie in der Düngerindustrie: TRL 9 – Qualifiziertes System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes
Inputmaterial Düngerindustrie: Klärschlammasche
Outputmaterial Düngerindustrie: Mineralische Düngemittel
P-Rückgewinnung aus Inputmaterial in Düngerindustrie: 100 %



Quelle: ICL Fertilizers

Vorteile & Bemerkungen

- Abnahme von Klärschlammasche steht in Konkurrenz zu anderen Rohstoffen und unterliegt daher Marktschwankungen
- Regelmäßige Qualitätskontrolle der verwendeten Asche nötig
- Nur Verwendung von Aschen möglich, welche die Qualitätskriterien des Annahmekatalogs der ICL Fertilizers GmbH erfüllen

Weitere Kenndaten²

P-Konzentration im Outputmaterial: 2 - 20 Gew.-%
NAC-Löslichkeit³: > 90 %
Einhaltung Grenzwerte nach DüMV: Ja (DE oder EU)
Ø Stromverbrauch: Ausgelagert an Düngerindustrie
Ø Wärmeverbrauch: -
Ø Chemikalienverbrauch: Ausgelagert an Düngerindustrie

Betriebsanforderungen

Platzbedarf: Nicht erforderlich, Rückgewinnung ausgelagert an Düngerindustrie
Know-How Betrieb/Unterhalt: -
Kategorie Chemikalien: Ausgelagert an Düngerindustrie
Kategorie Abfallentsorgung: Ausgelagert an Düngerindustrie

Auszug Referenzliste

Großmaßstab

- ICL Fertilizers GmbH, Ludwigshafen, Deutschland Produktion von 250.000 t/a mineralische Düngemittel

² Bezieht sich auf Abgabe der KSA an Düngerindustrie und deren Outputmaterialien

³ Neutrale Ammoniumcitrat-Löslichkeit als Indikator für Wirksamkeit mineralischer Dünger nach europäischer Düngemittelverordnung

Kontakt

ICL Fertilizers Deutschland GmbH
Giulinistraße 2
67065 Ludwigshafen am Rhein
Markus.Heene@icl-group.com

Das Projekt „Umsetzung der Anforderungen der Klärschlamm-Verordnung zur Phosphorrückgewinnung in Nordrhein-Westfalen“ wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen von folgenden Institutionen gemeinsam bearbeitet:



Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Life Sciences

IMPRESSUM

Herausgeber Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen (LANUV)
Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
Telefax 02361 305-3215
E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de

Diese Publikation enthält die Ergebnisse des Projektes „Umsetzung der Anforderungen der Klärschlamm-Verordnung zur Phosphorrückgewinnung in Nordrhein-Westfalen“, das folgende Institutionen im Auftrag des Ministeriums Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW durchgeführt haben:



Bearbeitung Sweco GmbH, Graeffstraße 5, 50823 Köln, www.sweco-gmbh.de
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe, www.isi.fraunhofer.de/de/kontakt.html
ATEMIS GmbH, Ingenieurbüro für Abwassertechnik, Energie-Management und innovative Systementwicklung, Dennewartstraße 25-27, 52068 Aachen, www.atemis.net
Deutsche Phosphor-Plattform DPP e.V., Bornheimer Landwehr 46HH, 60385 Frankfurt am Main, www.deutsche-phosphor-plattform.de
Talanwälte, Hofaue 41 - 45, 42103 Wuppertal, <https://www.talanwaelte.de/>
Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Bahnhofstrasse 6, 5210 Windisch, Schweiz, www.fhnw.ch

Fachredaktion Claudia Lodwig (LANUV)

Titelbild Adobe Stock / Werner

Informationsdienste Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter
• www.lanuv.nrw.de
Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im
• WDR-Videotext

Bereitschaftsdienst Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV
(24-Std.-Dienst) Telefon 0201 714488

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Landesamt für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuv.nrw.de

www.lanuv.nrw.de