

PHOSPHORRÜCKGEWINNUNG AUS KOMMUNALEN KLÄRSCHLÄMMEN

EINSATZ- BZW. ANWENDUNGS-ZIELE:

- Weiterbehandlung von Klärschlämmen aus der kommunalen Abwasserbehandlung und Klärschlammaschen aus der Monoverbrennung von Klärschlämmen zur Rückgewinnung von Phosphor als endliche Ressource

CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton		Gemischte Haushaltsabfälle		Sperrmüll	
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle	
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen	
Gefährliche Abfälle					
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	eventuell Überschusssgülle, Tiermehl, phosphorhaltige organische Verbindungen			
Andere Abfallarten	X	Klärschlamm aus dem Prozess der kommunalen Abwasserbehandlung bzw. daraus bei der Monoverbrennung zurückbleibende Aschen			

SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG

Notwendigkeit einer Vorbehandlung:

Damit der in Abwasserklärprodukten chemisch unterschiedlich gebunden vorliegende Phosphor rückgewonnen werden kann sind Vorbehandlungsschritte erforderlich. Da ein Großteil des Phosphors in gelöster Form vorliegt, muss vor allem ein partikulärer Zustand herbeigeführt werden, was durch chemische Fällung oder über biologische Aufkonzentration mittels phosphoraufnehmender Bakterien in der biologischen Stufe der Kläranlage erreicht werden kann. Mit den phosphatangereicherten Suspensionen kann im Sinne einer speziellen Extrahierung von Phosphor weiterverfahren werden. Voraussetzung für die Anwendung von Rückgewinnungsverfahren aus Klärschlammaschen ist die vorherige Monoverbrennung des Klärschlammes

Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials:

Die rückgewonnenen Phosphorverbindungen sind nach Reinigung und ggf. weiterer Aufbereitung relativ breit einsetzbar. Je nach Rückgewinnungsverfahren sind unterschiedliche Produkte für verschiedene Anwendungen möglich. Kalzium-Phosphate fallen bei nasschemischen sowie bei thermochemischen Verwertungen an. Sie werden durch Fällung oder Kristallisation gewonnen oder aber auch thermochemisch im Produkt aufkonzentriert. Vorwiegend werden Kalzium-Phosphate als Langzeitdünger und somit als Mineraldünger-Substitut verwendet. Aluminium- und Eisen- Phosphate fallen bei nasschemischen Verfahren und thermochemischen Behandlungen an. Ihr Einsatz als Düngemittel ist jedoch limitiert. Überdies lassen sich auch reiner Phosphor als Industrieprodukt sowie Schwermetalle für die Zink- und Kupferverhüttung gewinnen

Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten für Output-Material:

Klärschlamm kann in Mono- oder Co-Verbrennungsanlagen inertisiert werden, Restasche und sonstige Behandlungsreste sind wie Verbrennungsreste verwertbar bzw. auf Sonderabfalldeponie oder im Bergversatz abzulagern.

Besondere Schutzanforderungen:

Beim Umgang mit Klärschlämmen besteht jederzeit ein Gesundheitsrisiko durch die hohe Keimbelastung der Abwässer. Je nach Verfahren besteht während des Prozesses der Phosphorrückgewinnung ein Risiko durch die gesundheitsgefährdende Wirkung der eingesetzten Betriebsstoffe. Zudem sind die entstehenden Produkte direkt gesundheitsgefährdend und teilweise leicht entzündlich und eutroph. Dementsprechende Vorsorge- und personelle Schutzmaßnahmen sind zu betreiben.

Mögliche Finanzierung:

Die gewinnbaren Phosphorverbindungen sind düngefähige Produkte mit zumeist guter Pflanzenverfügbarkeit, so dass die Anlagen teilweise über deren Vermarktung refinanzierbar sind. Außerdem stellen Gebührenhaushalte zur Erfassung und Behandlung der kommunalen Abwässer eine weitere Finanzierungsoption dar. Gelegentlich sind auf europäischer und ggf. nationaler Ebene Fördermodelle existent, welche die Phosphorrückgewinnung in ihrer Entwicklung und Durchführung finanziell stützen können.

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT

Ansatzpunkte der Rückgewinnung:

Potenziale, Aufwand und Effizienz der Phosphorrückgewinnung differieren u.a. in Abhängigkeit vom Ansatzpunkt der Behandlung. Orientierend hierfür sind u.a. folgende Eckwerte:

Tabelle 1: Eckwerte zur Phosphorrückgewinnung (aus TBF + Partner AG, Zürich 2015 / empirische Daten UBA)

Entnahmeort	Phosphorfracht (relativ zu Zulauffracht)	Phosphorkonzentration	wie vorliegend
Ablauf	10 %	< 0,8 mg P/l	gelöst und partikulär
Schlammwasser	Bei Fällung: < 5 % BioP: bis 50 %	< 20 mg P/l bis 400 mg P/l	gelöst und partikulär
Faulschlamm (bei 30 % TR)	90 %	>10–ca. 20 g P/kg Schlamm	biologisch und chemische gebunden
Asche	90 %	ca. 60 g P/kg Asche	chemisch gebunden

Infrastrukturelle Gegebenheiten:

Anlagen zur Phosphorrückgewinnung sollten möglichst in der Nähe der Anfallstellen der Klärschlämme errichtet werden, um den Logistikaufwand so gering wie möglich zu halten. Für den Betrieb der Anlagen ist ein Zugang zum Stromnetz wichtig. Zudem sind entsprechende Lagerflächen für die Stoffströme zu bemessen.

Klimatische Gegebenheiten:

ohne Einfluss

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG

Im Klärschlamm ist der Phosphor chemisch und auch biologisch gebunden. Bei der Aufbereitung der Klärschlämme zur Phosphorrückgewinnung haben sich, neben weiteren in Entwicklung befindlichen Ansätzen, bisher drei Möglichkeiten praktisch durchgesetzt. Dies sind

- Fällung und Kristallisation direkt aus Schlammwasser oder Faulschlamm (z. B. AirPrex®-Verfahren)
- die nasschemische Aufbereitung und der Aufschluss des Klärschlammes oder der Klärschlammasche mit Säuren oder Laugen (z. B. Seaborne-Verfahren);
- die thermochemische Rückgewinnung des Phosphors aus der Klärschlammasche

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN

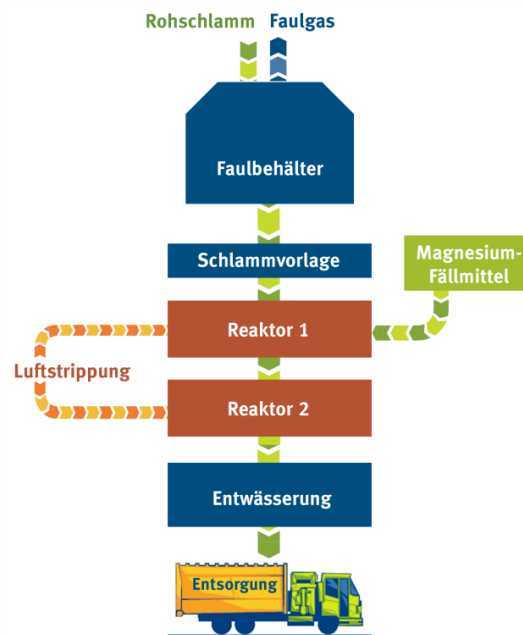
- Phosphor liegt im Zulauf zur Kläranlage teilweise als Phosphat gelöst und teilweise biologisch und chemisch gebunden vor. Der partikuläre Phosphor kann per Sedimentation erfasst werden. Ein Großteil des Phosphors liegt allerdings in gelöster Form vor. Da eine Phosphorelimination grundsätzlich angezeigt ist, muss auch dieser zuerst in eine partikuläre Form übergeführt werden, was durch chemische Phosphat-Fällung durch Zugabe von Fällungsmitteln oder durch biologische Phosphat-Fixierung durch überdurchschnittliche Phosphoraufnahme spezialisierter Bakterien in der biologischen Stufe der Kläranlage erreicht werden kann. Die so gewonnenen Schlammsuspensionen können je nach Rückgewinnungsverfahren vor bzw. nach der Faulung oder nach der Trocknung im Sinne einer Extrahierung von Phosphor behandelt werden.
- Im Falle der Anwendung von Rückgewinnungsverfahren aus Klärschlammaschen bedarf es der vorherigen Monoverbrennung des Klärschlammes und ggf. der Brikettierung oder Pelletierung der Aschen.

ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE

- Es findet eine substanzielle Phosphorentfrachtung der Klärschlämme bzw. Verbrennungsrestprodukte bei gleichzeitiger Gewinnung industriell nutzbaren Phosphors bzw. düngefähiger Phosphate statt. Eine endliche Rohstoffressource wird geschont.
- Phosphorfrachten in kommunalen Kläranlagen haben, nachdem phosphatfreie Waschmittel weitestgehend im Markt angekommen sind, größtenteils ihren Ursprung in menschlichen Fäkalien. Damit sind rückläufige Phosphorfrachten im Abwasser nicht mehr zu erwarten.

<p>BESONDERE VORTEILE</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mit den genannten Verfahren der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm kann der direkte Einsatz der Klärschlämme als Dünger, welcher aus mehreren Gründen nicht zielführend ist (u.a. Gehalte von gefährlichen, grundwassergefährdenden und endokrin wirksamen Substanzen, eingeschränkte Pflanzenverfügbarkeit von Nährstoffen) verzichtbar gemacht werden. Die angesprochenen Verfahren liefern alle düngefähige Produkte, deren Schadstoffbelastungen geringer sind (u.a. weniger Cadmium und Uran) als bei konventionellen Mineraldüngern, die aus Rohphosphat sedimentären Ursprungs hergestellt wurden. - Ein wesentlicher Vorteil der Rückgewinnung betrifft die deutlich verbesserte Entwässerbarkeit des Klärschlammes im weiteren Behandlungsprozess. - Die Installationen zur Phosphorrückgewinnung sind teilweise leicht nachzurüsten und in den Abwasser- bzw. Klärschlammbehandlungsprozess integrierbar. Zudem sind die Installationen nicht nur für Klärschlämme geeignet sondern es lassen sich andere Phosphorpotenziale damit ansprechen. - Bei dem thermischen Verfahren erfolgt eine simultane energetische und stoffliche Nutzung des Klärschlammes, außerdem eine nachhaltige Zerstörung der organischen Schadstoffe.
<p>SPEZIFISCHE NACHTEILE</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Die Phosphorrückgewinnungsraten der einzelnen Verfahren unterscheiden sich teils stark. - Bestimmte Inkompatibilitäten mit anderen Prozessanwendungen sind möglich. - Die Bau- und Betriebskosten differieren stark und können abhängig von der Art der Anlage sehr hoch sein, einige Verfahren sind nur in Kombination mit spezifischen Anlagen anwendbar. Die Verfahrensführung ist meist relativ aufwändig. - Langfristig belastbare Aussagen zur Wirtschaftlichkeit der einzelnen Verfahren lassen sich noch nicht treffen, die gesammelten Erfahrungen sind bislang erst gering und eher pilothaft.
<p>ANWENDUNGSDETAILS</p>	
<p>TECHNISCHE UMSETZUNG</p>	<p>Eine Phosphorrückgewinnung lässt sich innerhalb verschiedener Phasen der Behandlung von Abwässern in und aus kommunalen Kläranlagen integrieren. Üblicherweise ist der Großteil der Phosphorfracht in den anfallenden Klärschlämmen eingebunden, weshalb sich großtechnische Verfahren aktuell auf die Rückgewinnung von Phosphor aus diesem Medium konzentrieren. Die chemische Bindungsform und Konzentration des Phosphors in den zu behandelnden Medien ist von großer Bedeutung für den erforderlichen Aufwand und eine entsprechend hohe Rückgewinnungsrate.</p> <p>Mehrere Pilotprojekte haben die großtechnische Machbarkeit verschiedener Rückgewinnungsansätze grundsätzlich bestätigt, sind aber bislang nicht zur Markteinführung gelangt. Daher ist darauf hinzuweisen, dass Unternehmen und Verfahren mit der Aussicht eine Phosphorrückgewinnung ökonomisch realisieren zu können derzeit erst in geringer Zahl existieren. Im Folgenden wird auf Verfahren zur Phosphorrückgewinnung eingegangen die bereits vom Pilotanlagenstadium in Anwendungen mit stabiler Betriebsweise überführt wurden.</p> <p><u>Phosphorrückgewinnung aus Faulschlämmen durch Fällung und Kristallisation im Kläranlagenprozess</u></p> <p>Fällungs- und Kristallisationsverfahren lassen sich nur auf die gelöst vorliegende P-Fraktion anwenden. Daher kann es prozessabhängig zu Inkompatibilitäten mit einer Phosphorelimination mittels Eisen- und Aluminiumsalzfällung kommen. Bereits längerfristig erfolgreich praktiziert wird diese Art der Phosphorrückgewinnung aus entwässerten Faulschlämmen mittels folgender zwei Verfahren.</p> <p>AirPrex®-Verfahren:</p> <p>Das Verfahren beruht auf der Fällung von Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) und wurde ursprünglich von den Berliner Wasserbetrieben (BWB) entwickelt, um MAP Inkrustationen in Rohrleitungen zu verhindern. Dabei wird der Faulschlamm aus dem Faulturm in ein zweistufiges Reaktorsystem gegeben und einer Luftstrippung unterzogen. Durch das Ausgasen von CO₂ steigt der pH-Wert deutlich an. Die gleichzeitige Zugabe von Magnesium-Fällsalzen führt zur Bildung und Ausfällung von MAP-Kristallen, welche in einer späteren Stufe aus dem Schlamm abgetrennt werden können. Nach einer anschließenden Aufbereitung kann MAP als Düngeprodukt für u.a. die Landwirtschaft vermarktet werden. Die nachfolgende Abbildung stellt das Verfahren vereinfachend dar:</p>

Abbildung 1. Grundkonfiguration für das AirPrex®-Verfahren (Darstellung nach BAFU, 2009)

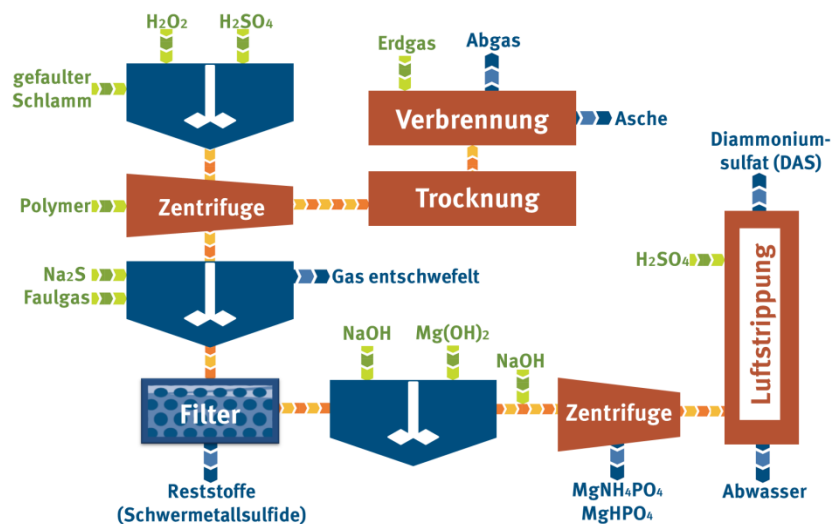


In Berlin wird – je nach Belüftungsaufwand – zwischen 3.5 % und 8 % des Phosphors der Zulaufkraft zur Kläranlage zurückgewonnen

Seaborne-Verfahren:

Dieses Verfahren wird an der Kläranlage Gifhorn in Niedersachsen erfolgreich praktiziert. Es handelt sich um ein relativ komplexes und aufwendiges Verfahren. Der Klärschlamm wird dabei mit Wasserstoffperoxid (H₂O₂) unter Zugabe von Schwefelsäure hydrolysiert. Als nächster Schritt erfolgt eine Entwässerung mittels Zentrifuge, wobei sich der Phosphor und die Schwermetalle nun überwiegend im Zentrat befinden. Durch eine sulfidische Fällung werden die Schwermetalle entfernt und der Phosphor wird unter Erhöhung des pH-Wertes durch Zugabe von Magnesium und Natronlauge zu MAP gefällt. Das MAP wird anschließend zentrifugiert und getrocknet. In einer weiteren Stufe wird unter Luftstrippung und Schwefelsäurezugabe Diammoniumsulfat (DAS) gefällt, um die NH₃-Belastung im verbleibenden Abwasser zu minimieren. Ein vereinfachtes Verfahrensschema ist in folgender Abbildung dargestellt:

Abbildung 2: Verfahrensschema Seaborne-Verfahren (Darstellung nach BAFU, 2009)



Großtechnisch auf gutem Weg und daher ggf. in Zukunft ebenfalls zu beachten sind auch Verfahren wie Ostara Pearl®, NuReSys® oder Fix-Phos.

Verfahren zur Rückgewinnung aus Klärschlammaschen

Die hier vorzustellenden Verfahren basieren ausschließlich auf der Behandlung von Aschen aus der Monoverbrennung von Klärschlamm. Grundsätzlich sind zwei Methoden zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammaschen in Anwendung. Hierbei handelt es sich einerseits um die nasschemische Aufbereitung und zum anderen um die thermische Extraktion. In den Aschen ist der Phosphor chemisch in Form von Eisen-, Aluminium- und Calciumphosphaten gebunden, wobei Calciumphosphate die Hauptverbindungsform bilden. Der Gehalt an Phosphor in den Aschen beträgt in etwa 5–10% (durchschnittlich 64 g pro kg Asche). Im günstigen Fall können Rückgewinnungsraten von bis zu 90% erreicht werden.

Nasschemische Aufbereitung:

Hier wird der Phosphor mittels eines Eluierungsverfahrens mit z.B. Schwefelsäure aus den Aschen in Lösung gebracht. Problematisch ist dabei der Anteil an Schwermetallen, welcher mit in Lösung geht. Diese können jedoch anschließend z.B. als Sulfide ausgefällt und von dem gelösten Phosphor abgetrennt werden. Abhängig vom pH-Wert fällt der Phosphor während der Neutralisation der sauren Elution als Eisen-, Aluminium- und Calciumphosphat aus. Letzteres ist eines der Hauptprodukte der nasschemischen Aufbereitung, da zur Neutralisation der Elutionen häufig Calciumhydroxid (Kalkmilch) verwendet wird. Großtechnisch auf gutem Weg und daher ggf. in Zukunft beachtenswert sind als Säureaufschlussverfahren das Stuttgarter Verfahren sowie der Budenheim Carbonic Acid Process und das Tetraphos-Verfahren.

Thermische Extraktion:

Hierzu lassen sich zwei Verfahren beschreiben, die sich im Laufe der Zeit von Pilotversuchen zu Verfahren entwickelt haben, welche industriell zur Anwendung gelangen.

ASH DEC (Outotec)-Verfahren:

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der Separation der Schwermetalle und einem phosphorreichen Produkt, welches als landwirtschaftlicher Dünger verwendet werden kann. Die Asche wird mit Alkali- und /oder Erdalkalichloriden in einem Intensivmischer homogenisiert und pelletiert. Zusammensetzung und Dosierung der Additive sind wesentliche Parameter dieses Prozesses, da sie für die Überführung der Calcium- aber auch Aluminiumphosphate in lösliche Phosphatverbindungen entscheidend sind. Die folgende Abbildung zeigt die ursprüngliche Pilotanlage dieses Verfahrens.

Abbildung 3: ASH DEC (Outotec)-Pilotanlage Leoben in Österreich, 2008 (Foto: Outotec GmbH & Co. KG)



	<p>Klärschlamm pellets werden in einen Thermoreaktor aufgegeben und bis zu 30 Minuten bei einer Temperatur von etwa 1.000 °C behandelt. In dieser Zeit reagieren bis zu 99 % der Schwermetalle, insbesondere die toxischen Stoffe Quecksilber, Cadmium und Blei mit den Additiven und verdampfen. Weitere Schwermetalle, die in verträglicher Dosis als Spuren-nährstoffe wirken, werden ebenfalls bis auf die erwünschten Betriebswerte oder gesetzlich einzuhaltenden Grenzwerte abgeschieden. 97 % der eingesetzten Asche wird als phosphorreiches Granulat ausgetragen. Die restlichen 3 % der Asche werden in einer mehrstufigen Rauchgasreinigungsanlage aufgefangen und können als verwertbares Metallkonzentrat weiterverwendet werden. Nachteil dieses Verfahrens ist der besonders hohe Energieaufwand.</p> <p>Mephrec®-Verfahren: Dieses metallurgische Verfahren erlaubt die Rückgewinnung von Phosphor als fertiges Düngeprodukt. Hier wird nur gering getrockneter Klärschlamm (z.B. 25 % TS) allein oder in Mischung mit beispielsweise Klärschlammaschen oder Tiermehl mit entsprechenden P₂O₅-Gehalten brikkettiert und unter reduzierenden Bedingungen bei Temperaturen bis zu 2.000 °C einer Schmelzvergasung in einem Schachtofen unterzogen. Die entstehende Schlacke wird in einem Wasserbad granuliert und kann wie oben beschrieben als phosphorreiches Düngeprodukt verwertet werden. Hoch schmelzende Schwermetalle finden sich in der abstechbaren Metalllegierung wieder, wohingegen niedrig schmelzende Metalle wie (Zink, Cadmium, Quecksilber) verdampfen und in einer Rauchgasreinigungsanlage abgeschieden werden.</p>
<p>STOFFFLUSS UND -MENGEN</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Verfahrensabhängig unterschiedlich. <p>Der Fachpublikation "Klärschlamm entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland" [1] vom September 2013 können folgende Orientierungswerte entnommen werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bei einem Input von 100m³/h liefert das AirPrex®-Verfahren 2 Mg MAP/Tag - Aus 120 m³/Tag Faulschlamminput fällt das Seaborne-Verfahren durchschnittlich 1,3 Mg MAP/Tag, was einer jährlichen Phosphormenge von ca. 60 Mg entspricht. - Nasschemische Verfahren mit dem Fällungsprodukt MAP ermöglichen eine Rückgewinnung von rund 40% bis 70% des im Kläranlagenzulauf enthaltenen Phosphors. - Thermisch-metallurgische Verfahren ermöglichen nahezu eine vollständige Rückgewinnung (>90%) des im Kläranlagenzulauf befindlichen Phosphors. - Das thermochemische Verfahren der Firma Outotec (ehemals ASH DEC) generierte im Rahmen des EU-Projektes SUSAN bei einem Input von 12.000 Mg/a Klärschlammasche, basierend auf einem Phosphoranteil im Kläranlagenzulauf von rund 9%, in etwa 10.000 Mg/a an Phosphordünger. - Das Mephrec®-Verfahren der Firma Ingitec aus Bayern liefert als metallurgisches Verfahren 12.000 Mg/a an Phosphorasche aus ca. 60.000 Mg/a Klärschlamm (25% TS). Die damit letztlich realisierbare Phosphorsubstitution beläuft sich auf ca. 500 Mg/a. <p><i>* Umrechnung der Phosphoranteile von P₂O₅ = 43,64% und MAP = 12,62%</i></p>
<p>ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Die Verfahren sind in den Gesamtprozessablauf von kommunalen Kläranlagen gut integrierbar und können bei entsprechender Anlagennachrüstung bzw. Zusatzinstallation auch unmittelbar am Kläranlagenstandort realisiert werden. - Als empfehlenswerte Entsorgungsoption für anfallenden Klärschlamm kann die Monoverbrennung mit der Phosphorrückgewinnung gekoppelt und somit simultan umgesetzt werden. Der Verbrennungsprozess kann auch für die Rückgewinnung benötigte Energie liefern.
<p>ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ</p>	
<p>ENERGIEBILANZ</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Der Energiebedarf bei der Phosphorrückgewinnung kann verfahrensabhängig erheblich sein. Beim ASH DEC Verfahren ist der Energieverbrauch mit 400–850 kWh/t Asche angegeben. Die Gewinnung der Energie kann mit der Klärschlammverbrennung erfolgen.

PERSONALBEDARF	<ul style="list-style-type: none"> - Zum Betrieb von Phosphorrückgewinnungsanlagen ist qualifiziertes Personal, speziell für die Bereiche Betriebsleitung und Prozessüberwachung erforderlich. Der genaue Personalbedarf ist abhängig von der Anlagengröße und dem Grad der Automatisierung. - Im Regelfall kann ein Großteil der Abläufe mit von geschultem Kläranlagenpersonal getätigt werden.
BENÖTIGTE HILFSMITTEL ODER ZUSATZSTOFFE	<ul style="list-style-type: none"> - Je nach Verfahren verschiedene chemische Zusatzmittel zur Fällung sowie Extraktion der Phosphoranteile, wie mit Beispielen in den Verfahrensbeschreibungen angegeben.
FLÄCHENBEDARF	<ul style="list-style-type: none"> - Ist verfahrensabhängig. Kristallisations- und Fällungsverfahren weisen generell einen geringen Platzbedarf auf. Im Gegensatz dazu sind Säureaufschlussverfahren platzintensiv. - Der Platzbedarf hängt zudem mit dem behandelten Substrat zusammen. Je geringer der zu behandelnde Volumenstrom, desto geringer sind auch die benötigten Reaktorvolumina und damit auch der Platzbedarf. - Installationen können oft am Kläranlagenstandort integriert werden.
NACHSORGE-AUFWAND	<ul style="list-style-type: none"> - Restprodukte der Verfahren, also Klärschlamm und Restasche sind gemäß der hierfür vorhandenen Standards weiter zu behandeln und zu entsorgen.
ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
INVESTITIONSKOSTEN	<ul style="list-style-type: none"> - Sehr variabel. Bei der in Gifhorn (D) mit einer täglichen MAP-Produktion von 1,3–1,8 Mg/Tag errichteten Referenzanlage (Seaborne-Verfahren, s.o.) betrug der Investitionsaufwand im Jahr 2007 7,6 Mio. EUR. Davon entfielen ca. 4 Mio. EUR auf die Anlagentechnik und deren Ausrüstung. - Beim nasschemischen Aufschluss von Klärschlammaschen wird ein Investitionsvolumen von 11 Mio. EUR bei einer jährlichen Aschebehandlung von 15.000 Tonnen angesetzt. - Der bekannte Investitionswertebereich für Phosphorrückgewinnungsanlagen bewegt sich in einer Spanne von 6–20 Mio. EUR. (basierend auf diversen Angaben/Quellen bis ca. 2014)
BETRIEBSKOSTEN	<ul style="list-style-type: none"> - Für die meisten Verfahren sind die Betriebskosten bzw. die Kosten für die benötigten Chemikalien die wesentlichen Kostentreiber. Generell sind diese Kosten noch vergleichsweise hoch und zumeist mit marktgängigen Phosphoreinkaufspreisen nicht konkurrenzfähig. - Für das Fällern von MAP werden die Prozesskosten bei etwa 3–4 EUR/kg P angesiedelt. - Für die nasschemische Aufbereitung werden aufgrund des hohen Verbrauches an Chemikalien sogar jährliche Betriebskosten von bis zu 5,80 EUR/kg gelöstem Phosphor berichtet - (basierend auf diversen Angaben/Quellen bis ca. 2010). Durch fortlaufende Prozessoptimierungen lassen sich inzwischen jedoch teilweise deutlich reduzierte Kosten realisieren.
MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN	<ul style="list-style-type: none"> - Durch Vermarktung der erhaltenen Rückgewinnungsprodukte (meist düngefähige Phosphate). Für geplante ASH DEC-Anlagen wurden Beträge zwischen 4–12 Mio. EUR als Jahreserlös erwartet.

MASSE-SPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN	<ul style="list-style-type: none"> - Aufgrund der noch jungen großtechnischen Erprobung und geringen Erfahrungen bei der Umsetzung im Dauerbetrieb sind die Rückgewinnungskosten noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Generell sind die Rückgewinnungskosten der Kristallisations- und Fällungsverfahren niedriger als jene für Säureaufschlussverfahren bei der thermochemischen Rückgewinnung. Insgesamt liegen die Rückgewinnungskosten deutlich höher als die Kosten für konventionellen Phosphordünger. - Für die Beurteilung der Gesamtbilanz bei der Phosphorrückgewinnung sind neben den reinen Verfahrenskosten aber auch Einsparungen zu berücksichtigen, welche sich aus dem Einsatz des Verfahrens für die Kläranlage ergeben. Durch die Berücksichtigung der möglichen Einsparungen können die an sich sehr teuren thermochemischen Aufschlussverfahren die tiefsten Rückgewinnungskosten erreichen. Dabei spielt insbesondere die Einsparung von Klärschlamm Entsorgungskosten eine entscheidende Rolle.
SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
REFERENZANWENDUNGEN <i>(wichtiger Hinweis: die Aufzählung in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)</i>	<p>Für folgende Anlagen in Deutschland ist lt. Quelle [1] bisher eine Nutzung von Phosphorrückgewinnungstechniken im Regelbetrieb bekannt bzw. avisiert.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kläranlage Gifhorn (Seaborne-Verfahren, MAP-Fällung), seit 2007 - Kläranlage Waßmannsdorf, Berliner Wasserbetriebe (AirPrex-Verfahren) - Kläranlage Offenburg, Baden-Württemberg (Stuttgarter-Verfahren) - Klärwerk 1, Stadt Nürnberg (Mephrec-Verfahren, Schmelzvergasung Klärschlammbricketts – aktuell noch in Planungsphase) <p>An weiteren Anlagen befinden sich (teilweise auch alternative) Verfahren derzeit im Versuchsstadium (u.a. Hildesheim/Fix-Phos, Kläranlage Rastatt/PHOSIEDI).</p>
ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER <i>(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)</i>	<p>Technologie- und Verfahrensentwickler der beschriebenen Ansätze zur Phosphorrückgewinnung sind u.a.:</p> <p>Seaborne -Verfahren:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Oxytabs (ehemals Seaborne), D-24768 Rendsburg <p>AirPrex®-Verfahren:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Polution Control Service GmbH, D-22143 Hamburg www.pcs-consult.de <p>Mephrec®-Verfahren:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ingitec®Engineering GmbH, D-04178 Leipzig www.ingitec.de <p>ASH DEC-Verfahren:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Outotec GmbH & Co. KG www.outotec.com/en/About-us/Acquisitions/ASH-DEC/
ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE	
<p>Weitere unterstützende Detailinformationen und Einblicke zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm sind u.a. erhältlich über:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Publikation “Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland“ vom September 2013; Quelle [1] http://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/klaerschlamm Entsorgung in bundesrepublik - Forschungsbericht “Phosphorrecycling – Ökologische und wirtschaftliche Bewertung verschiedener Verfahren und Entwicklung eines strategischen Verwertungskonzepts für Deutschland” vom November 2011 http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/n/de/publikationen/Abschlussbericht_Phobe-1.pdf - Bericht zur großtechnischen Anwendung der Seaborne-Technologie auf der Kläranlage Gifhorn, September 2012 http://www.asg-gifhorn.de/docs/abschlussbericht_seaborne_technologie_gifhorn.pdf - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), www.dwa.de; u.a. DWA-Bibliothek: http://www.dwa.de/dwa/sitemapping.nsf/literaturvorschau?openform&bestandsnr=48447 	