

## Aktuelle Entwicklungen der Phosphorrückgewinnung: Was macht die Schweiz?

Martin Theiler, Christian Fux, Michael Wächter und Thomas Vollmeier

1.	Ausgangslage.....	410
1.1.	Die bestehenden Klärschlammentsorgungswege in der Schweiz.....	410
1.2.	Aktuelle rechtliche Entwicklungen.....	411
1.2.1.	Vollzugshilfe phosphorreiche Abfälle.....	411
1.2.2.	Projekt <i>MinRec</i> .....	411
1.2.3.	Fazit.....	412
2.	Projekte zur Umsetzung der P-Rückgewinnung in der Schweiz .....	412
2.1.	P-Rückgewinnung in Bazenheid.....	412
2.2.	P-Rückgewinnung im Kanton Zürich .....	413
2.3.	P-Rückgewinnung aus Klärschlamm bei der ARA Bern.....	414
2.4.	P-Rückgewinnung im Drehrohr bei erzo in Oftringen.....	414
2.5.	Weitere Verfahren und Projekte.....	415
2.5.1.	P-Rückgewinnung mittels Pyrolyse bei AVA Altenrhein.....	415
2.5.2.	P-Rückgewinnung mittels Nassoxidation bei CIMO in Monthey.....	415
3.	Mögliche Umsetzung der P-Rückgewinnung in der Schweiz .....	415
3.1.	Klärschlammentsorgung.....	416
3.1.1.	Mitverbrennung in MVA .....	416
3.1.2.	Schlammverbrennungsanlagen SVA .....	416
3.1.3.	Mitverbrennung in Zementwerken .....	416
3.2.	P-Rückgewinnung.....	416
4.	Fazit.....	417
5.	Literatur.....	418

In der Schweiz ist die Phosphorrückgewinnung aus dem Abfallstrom Abwasser seit dem 1. Januar 2016 vorgeschrieben. Dabei gilt eine Übergangsfrist von zehn Jahren. Stand heute verbleiben also noch gut sieben Jahre bis zum Stichtag, wo der Phosphor (P) aus dem Abwasser zurückgewonnen werden muss. In Anbetracht dieser kurzen Frist werden in der Schweiz verschiedentlich große Anstrengungen unternommen, das *Problem P-Rückgewinnung* zu lösen.

Mit vorliegendem Fachbeitrag versuchen wir einen Überblick über diese Anstrengungen zu geben. Dafür wird in einem ersten Teil kurz auf die spezifische Ausgangslage in der Schweiz eingegangen. In einem zweiten Teil werden ausgewählte aktuelle Projekte in der Schweiz vorgestellt und ihre mögliche Bedeutung diskutiert. Zum Schluss wird ein Bild skizziert, wie die Klärschlamm Entsorgung in der Schweiz mit umgesetzter P-Rückgewinnung aussehen könnte.

## 1. Ausgangslage

Nachfolgende Abschnitte enthalten einen Überblick zu den bestehenden Klärschlamm Entsorgungswegen in der Schweiz sowie eine kurze Vorstellung der relevanten rechtlichen Entwicklungen.

### 1.1. Die bestehenden Klärschlamm Entsorgungswege in der Schweiz

Klärschlamm darf in der Schweiz bereits seit 2006 nicht mehr landwirtschaftlich ausgebracht werden. So werden die rund 200.000 t Trockensubstanz (TS) Klärschlamm, welche in der Schweiz jährlich anfallen, heute ausschließlich thermischen Entsorgungswegen zugeführt. Knapp zwei Drittel entfällt dabei auf den Entsorgungsweg Schlammverbrennungsanlagen (SVA), knapp ein Viertel auf die Mitverbrennung in Zementwerken und die übrigen rund 15 % auf Müllverbrennungsanlagen (MVA).

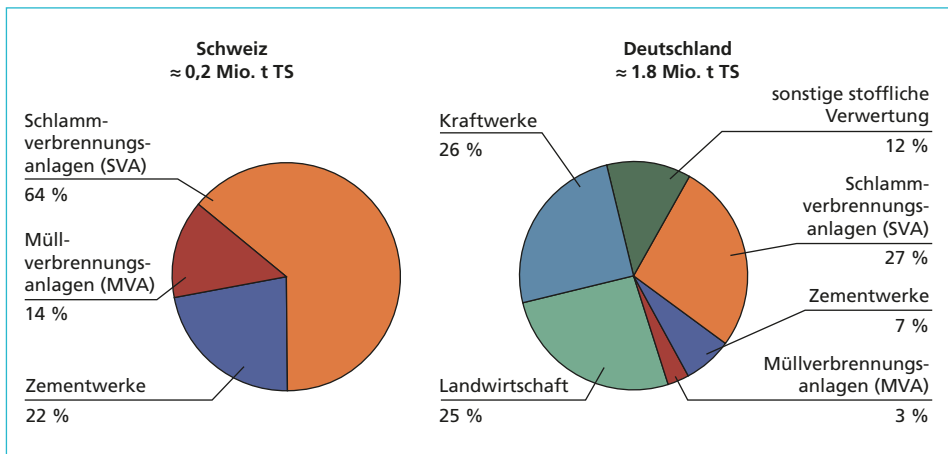


Bild 1: Prozentuale Anteile verschiedener Klärschlamm Entsorgungswege in der Schweiz [4] und in Deutschland [5] im Jahr 2016

Die Ausgangslage ist also im Vergleich zu Deutschland, wo heute noch ein großer Teil des Klärschlamm stofflich verwertet wird, eine deutlich andere. Um die neuen gesetzlichen Vorgaben zu erfüllen, müssen die bestehenden Entsorgungswegen grundsätzlich nicht angepasst werden. Es ist ausreichend, den Phosphor je nach Entsorgungsweg aus dem Rückstand der Schlammverbrennungsanlagen respektive aus dem kommunalen Abwasser oder dem Klärschlamm zurückzugewinnen.

## 1.2. Aktuelle rechtliche Entwicklungen

Die Pflicht zur Rückgewinnung und stofflicher Verwertung des Phosphors aus *kommunalem Abwasser, aus Klärschlamm zentraler Abwasserreinigungsanlagen oder aus der Asche aus der thermischen Behandlung von solchem Klärschlamm* ist in Artikel 15 der neuen Abfallverordnung (Verordnung zur Verwertung und Vermeidung von Abfall, VVEA) geregelt [6]. Der Gesetzgeber lässt dabei explizit offen, wo im Abfallstrom Abwasser der Phosphor zurückgewonnen werden soll. Im Unterschied zur deutschen Klärschlammverordnung werden in der Schweiz auf Stufe Verordnung keine weiteren Anforderungen (z.B. Rückgewinnungsquoten oder maximale Restgehalte) formuliert. Es ist deshalb nicht klar, in welcher Form und in welchem Umfang Phosphor zurückgewonnen werden muss, um die gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen. Einzig vorgeschrieben ist die stoffliche Verwertung. Zudem besteht keine Bagatellgrenze für kleine Abwasserreinigungsanlagen (ARA), wie sie in der deutschen Klärschlammverordnung für Anlagen kleiner 50.000 Einwohnerwerte (EW) formuliert wird. Alle *zentralen* ARA sind zur Rückgewinnung von Phosphor verpflichtet. Als zentral gelten ARA ab einer Ausbaugröße von mehr als 200 EW.

### 1.2.1. Vollzugshilfe phosphorreiche Abfälle

Wie ist also der Phosphor gesetzeskonform aus der Abwasserwirtschaft zurückzugewinnen? Dass der Gesetzgeber im Rahmen der Abfallverordnung keine detaillierten Vorgaben zur P-Rückgewinnungspflicht gemacht hat bedeutet nicht, dass diese nach freiem Ermessen umgesetzt werden können. Um einen einheitlichen Vollzug der Abfallverordnung zu fördern, erarbeitet das Bundesamt für Umwelt BAFU sogenannte Vollzugshilfen. Diese schaffen kein neues Recht, sondern dienen den Kantonen als Richtlinie für einen gesetzeskonformen Vollzug der Gesetzestexte. Die Vollzugshilfe *phosphorreiche Abfälle* wird derzeit erarbeitet und sollte, sofern alles nach Plan verläuft, Ende 2019 publiziert werden. Es kann erwartet werden, dass darin unter anderem auch quantitative Vorgaben zur Umsetzung der P-Rückgewinnung sowie Angaben zum Nachweis der Erfüllung derselben gemacht werden. Erst mit Publikation der neuen Vollzugshilfe besteht eine gewisse Sicherheit bezüglich der zu erwartenden Vollzugspraxis durch die Kantone.

### 1.2.2. Projekt *MinRec*

Eine zweite rechtliche Unsicherheit besteht derzeit bei den Anforderungen an die P-Rezyklate. Da Phosphor in erster Linie als Dünger Verwendung findet ist davon auszugehen, dass auch der aus dem Abwasser zurückgewonnene Phosphor letztendlich primär in der Landwirtschaft eingesetzt wird. Die aktuell geltenden Gesetze sind jedoch nicht für solche *mineralischen Recyclingdünger* ausgerichtet. Zurzeit muss ein Recyclingdünger, sei es Kompost, Gärgut oder ein Produkt aus der P-Rückgewinnung aus Abwasser, die bestehenden Schadstoffgrenzwerte für *Recyclingdünger* gemäß Anhang 2.6 Ziff. 2.2 der Chemikalien-Risiko-Reduktionsverordnung [7] einhalten. Diese wurden in den 1980er Jahren basierend auf den Eigenschaften damals vorhandener biogener Abfälle (Kompost, Gärgut) definiert. Für mineralische Recyclingdünger,

welche einen wesentlich höheren Nährstoffgehalt aufweisen, sind sie deutlich zu streng und deshalb nicht zweckmäßig. Das Bundesamt für Landwirtschaft hat dies erkannt und 2016 das Projekt *MinRec* aufgelegt, um eine neue Düngemittelkategorie im Gesetz zu verankern. Die nach dem Vorsorgeprinzip hergeleiteten Grenzwerte befinden sich zurzeit in der zweiten Ämterkonsultation. Wenn alles nach Plan verläuft, könnte das Gesetzespaket 2019 in Kraft treten.

### 1.2.3. Fazit

Klar definierte rechtliche Rahmenbedingungen sind für Investitionen in Anlagen zur Rückgewinnung von Phosphor aus dem Abfallstrom Abwasser eine entscheidende Voraussetzung. Aus heutiger Sicht kann davon ausgegangen werden, dass die maßgeblichen rechtlichen Rahmenbedingungen bis Ende 2019 definiert sind – etwa sechs Jahre vor Ende der Übergangsfrist zur P-Rückgewinnung.

## 2. Projekte zur Umsetzung der P-Rückgewinnung in der Schweiz

Trotz der derzeit noch bestehenden rechtlichen Unsicherheiten ist es für die Betreiber der Klärschlammabfuhrinfrastruktur keine Option, einfach abzuwarten. Einerseits zwingt sie die kurze Übergangsfrist zum Handeln. Andererseits haben sie sich aber auch selber einige ehrgeizige Ziele zur Umsetzung der P-Rückgewinnung gesteckt. Sie beschäftigen sich deshalb teilweise bereits seit einigen Jahren aktiv mit Umsetzung der P-Rückgewinnungspflicht. Einige Akteure haben sich dabei als besonders innovativ hervorgetan und unter anderem auch neue Rückgewinnungsverfahren entwickelt oder pilotiert. Nachfolgend werden ausgewählte Verfahren und Entwicklungen kurz vorgestellt. Diese Aufzählung ist nicht abschließend, sondern soll ein Überblick zu wichtigen Entwicklungen in der Schweiz geben. Eine wesentliche Grundlage für die nachfolgenden Beiträge bildet der Schlussbericht *verfahrenstechnische Marktanalyse für die Phosphorrückgewinnung aus dem Abwasserpfad* [4].

### 2.1. P-Rückgewinnung in Bazenheid

Der öffentliche Zweckverband Abfallverwertung Bazenheid (ZAB) sammelt und entsorgt die Abfälle der Ostschweizer Regionen Fürstentum, Wil, Toggenburg und Hinterthurgau. Unter anderem betreibt er eine Schlammverbrennungsanlage, welche im Hinblick auf die Umsetzung der P-Rückgewinnungspflicht umgebaut werden soll. Dafür hat der ZAB ein relativ einfaches Verfahren entwickelt, in welchem Klärschlamm zusammen mit tierischen Nebenprodukten in einem Wirbelschichtofen mineralisiert wird. Der Reststoff wird anschließend mit Phosphorsäure aufgeschlossen, getrocknet und granuliert. Durch diese Behandlung wird ein Triple-Super-Phosphat erzeugt, welches die voraussichtlichen Schadstoffgrenzwerte für mineralische Recyclingdünger einzuhalten vermag und direkt als Einnährstoffdünger oder zur Formulierung von Mehrnährstoffdüngern verwendet werden kann.

Diese hohe Produktqualität ist allerdings nur dadurch erreichbar, da insgesamt rund drei Viertel des Phosphors aus tierischen Nebenprodukten respektive Phosphorsäure

beigegeben wird. Da tierische Nebenprodukte, welche thermisch verwertet werden müssen, in begrenztem Umfang anfallen, sind auch die Einsatzmöglichkeiten des ZAB-Verfahrens begrenzt. Grob geschätzt könnten maximal rund 20 % des Schweizer Klärschlammes (40.000 t TS pro Jahr) nach diesem Verfahren behandelt werden. Durch die Umsetzung des ZAB-Verfahrens erhöhen sich die Kosten für die Klärschlammverbrennung um etwa 20 %.

### 2.2. P-Rückgewinnung im Kanton Zürich

Der Kanton Zürich ist ein Pionier im Bereich P-Rückgewinnung. Er beschäftigt sich schon seit über einem Jahrzehnt intensiv mit der Weiterentwicklung seiner Klärschlamm-Sorgungsinfrastruktur und misst dem Schutz der Ressource Phosphor dabei konsequent ein hohes Gewicht bei. So hat er auch die entwickelte und mittlerweile umgesetzte Strategie, den gesamten Klärschlamm des Kantons in einer zentralen Monoverbrennungsanlage zu verwerten, mitunter auf eine optimale P-Rückgewinnung ausgerichtet. Im Rahmen der Evaluation des bestgeeignetsten Verfahrens zur Rückgewinnung von Phosphor wurde diverse Varianten vertieft geprüft. Unter anderem wurde das Leachphos-Verfahren der Firma BSH in einem großtechnischen Versuch getestet. Aufgrund von Vorbehalten bezüglich Vermarktbarkeit des Produktes wurde das Verfahren jedoch zurückgestellt und die Firma Tecnicas Reunidas mit der Entwicklung eines neuen Verfahrens beauftragt. Interessierte Leser werden für detailliertere Informationen auf die Hintergrundberichte und Projektblätter in [2] verwiesen.

Im auf den Namen Phos4Life getauften Verfahren wird der Verbrennungsrückstand in einem ersten Schritt mit Schwefelsäure gelaugt. Phosphor und Metalle werden damit in die Flüssigphase überführt. In einem zweiten Schritt werden die Bestandteile der Flüssigphase mittels mehrstufiger Solvent-Extraktion abgetrennt. Neben handelsüblicher, technisch reiner Phosphorsäure (75 %) fallen als Nebenprodukte eine Eisenchloridlösung sowie eine Schwermetalllösung an. Die Eisenchloridlösung lässt sich in ARA zur Phosphatfällung einsetzen, womit hier ein Kreislauf geschlossen werden kann. Im Idealfall lassen sich auch der Laugungsrückstand sowie die Schwermetalllösung einer stofflichen Verwertung zuführen, sodass praktisch keine Reststoffe übrigbleiben. Die ökologische Bewertung [3] attestiert dem Verfahren eine sehr vorteilhafte Ökobilanz, insbesondere auch dank der Gutschrift für das Nebenprodukt der Eisenchloridlösung.

Mitte 2018 wurde die Pilotierungsphase des Verfahrens erfolgreich abgeschlossen. In einem nächsten Schritt soll nun bis Ende 2020 ein Vorprojekt für die Realisierung einer großtechnischen Umsetzung mit einer Kapazität von rund 30.000 bis 40.000 t TS Klärschlammaschen (KSA) pro Jahr erarbeitet werden, was mehr als der Hälfte der in der Schweiz anfallenden Menge entspricht. Im Anschluss daran soll nochmals eine verfahrenstechnische Marktanalyse durchgeführt werden, bevor ein definitiver Variantenentscheid gefällt wird. Nach heutigem Kenntnisstand betragen die Behandlungskosten für eine Anlage dieser Größe rund 400 CHF pro t TS KSA, damit erhöhen sich die Kosten für die Klärschlammverwertung um rund 50 %. Verfahren, welche grundsätzlich als Alternative in Frage kommen sind z.B. das Verfahren von Ecophos sowie Tetrachos von Remondis.

### 2.3. P-Rückgewinnung aus Klärschlamm bei der ARA Bern

Wie im vorherigen Kapitel aufgezeigt wurde, wird heute knapp ein Viertel des Schweizer Klärschlammes in Zementwerken entsorgt. Dieser Entsorgungsweg wird gemeinhin als ökologisch sinnvoll betrachtet, da der Klärschlamm im Zementwerk sowohl energetisch als auch stofflich verwertet wird. Aus Sicht der Behörden, der Zementindustrie und der Betreiber von Trocknungsanlagen besteht also ein Interesse daran, diesen Entsorgungsweg aufrecht zu erhalten. Die größte und modernste Trocknungsanlage der Schweiz betreibt die ara region bern AG am Standort Bern. Gut 10.000 t TS Klärschlamm pro Jahr werden hier mit Fernwärme aus der nahegelegenen Müllverbrennungsanlage Forsthaus getrocknet, pelletiert und anschließend in umliegenden Zementwerken verwertet.

Damit dieser Entsorgungsweg auch in Zukunft beibehalten werden kann, muss der Phosphor vorgängig zur thermischen Verwertung zurückgewonnen werden. Der Betreiber der ARA hat bereits im Jahr 2014 mit der Evaluation möglicher Verfahren begonnen. Die Evaluation [1] hat ergeben, dass die meisten Verfahren für einen Einsatz in Bern nicht infrage kommen, sei es aufgrund zu hoher Kosten, eines unverhältnismäßig großen Einsatzes von Chemikalien oder geringer Rückgewinnungsraten. Eine Ausnahme dabei bildet aber das mittlerweile unter dem Namen Extraphos bekannte Verfahren der Firma Budenheim. Es überzeugt mit verfahrenstechnischer Einfachheit und Synergien zum bestehenden Betrieb, insbesondere die Nutzung von CO<sub>2</sub> aus der bestehenden Biogasaufbereitung als Extraktionsmittel für Phosphat aus Faulschlamm.

ARA Bern beabsichtigt nun, nach Abwarten der Pilotversuche in Mainz und Itzehoe, das Verfahren in Bern großtechnisch zu pilotieren. Die Erfahrungen in Bern sollen dann auch anderen Anlagen in der Schweiz mit ähnlicher Ausgangslage als Entscheidungsgrundlage dienen. Eine wesentliche Herausforderung des Pilotversuches wird es sein, die noch unbekanntenen Anforderungen seitens Vollzugshilfe zuverlässig zu erfüllen und einen Verwertungskanal für das erzeugte Rezyklat zu etablieren.

### 2.4. P-Rückgewinnung im Drehrohr bei erzo in Oftringen

Das EuPhoRe Verfahren ist das einzige hier genannte Verfahren, welches über viele Stunden großtechnischer Betriebserfahrung verfügt – und zwar beim Verband Entsorgung Region Zofingen erzo am Standort Oftringen im Kanton Aargau. Der Standort Oftringen war für eine Pilotierung prädestiniert, da sich das Verfahren durch leichte Modifikationen (Additivzugabe, gezielte Verfahrensführung und Austrag) am bereits bestehenden Verfahrenskonzept, welches die Müllverbrennung in der Rostfeuerung mit der Klärschlammverbrennung im Drehrohr kombiniert, umsetzen lässt. Das Konzept besticht durch Einfachheit sowie guter Wirtschaftlichkeit dank der Nutzung großer Synergien mit der Müllverbrennung. Diese Stärke ist aber in der Schweiz gleichzeitig auch eine Schwäche. Da die wirtschaftlichen Vorteile des Verfahrens nur in Kombination mit der Müllverbrennung realisiert werden können, wird ein Betreiber benötigt, welcher dazu bereit ist. Da erzo seine Müllverbrennungsanlage, welche per etwa 2025 ihr Lebensende erreicht, nicht erneuert wird, kann das Verfahrenskonzept deshalb nicht weitergeführt werden. Stattdessen steht nun die Realisierung einer Wirbelschichtverbrennung im Vordergrund.

Trotzdem ist denkbar, dass der eine oder andere Betreiber einer MVA im Zuge der Anlagenerneuerung die Umsetzung des Verfahrens prüft. Als mögliches Hindernis für die Umsetzung wird die Einbindung des Drehrohrs in die Müllverbrennung gesehen. Es ist beispielsweise offen, wie sich das Verfahrenskonzept auf die Beschaffungskosten einer MVA auswirken. Es wird sich in den nächsten Jahren, wenn verschiedene MVA in der Schweiz erneuert werden müssen, zeigen, ob das Verfahren trotz der prädestinierenden Vorgeschichte in der Schweiz künftig eine Rolle spielen kann.

### 2.5. Weitere Verfahren und Projekte

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Aktivitäten werden zurzeit noch weitere Verfahren erprobt. Diesen wird, bei erfolgreichem Verlauf der Pilotprojekte, eine regionale Bedeutung zugemessen.

#### 2.5.1. P-Rückgewinnung mittels Pyrolyse bei AVA Altenrhein

Als möglichen Ersatz für den derzeitigen Entsorgungsweg der Klärschlamm-trocknung und Verwertung im Zementwerk entwickelt der Abwasserverband Altenrhein AVA zusammen mit CTU Clean Technology Universe AG sowie weiteren Projektpartnern das Pyrophos-Verfahren zur alkalischen Pyrolyse von getrocknetem Klärschlamm. Dem Klärschlamm wird zwecks Verbesserung der Pflanzverfügbarkeit Kalium beigemischt. Dank der Abwesenheit von Sauerstoff wird ein Teil der Schwermetalle über die Gasphase ausgetragen. Der phosphor- und kaliumhaltige Reststoff der Pyrolyse soll anschließend an die Düngemittelindustrie abgegeben werden. Die Einhaltung der mutmaßlichen Grenzwerte für mineralischen Recyclingdünger könnten für das Verfahren jedoch eine Herausforderung darstellen.

#### 2.5.2. P-Rückgewinnung mittels Nassoxidation bei CIMO in Monthey

Die Firma Cimo wurde als Joint Venture der beiden Konzerne BASF und Syngenta als Ver- und Entsorgungsunternehmen ihrer Industrieanlagen in Monthey gegründet. Bereits heute wird hier großtechnisch P-Rückgewinnung betrieben, wenn auch nicht aus dem Ausgangsstoff Klärschlamm-Asche. Dabei wird Trikalziumphosphat mit einem P-Gehalt von etwa 15 % produziert, welches an die Düngemittelindustrie als Rohphosphatersatz verkauft wird. Durch Modifikation der bestehenden Anlage zur Nassoxidation von phosphorhaltigen Abfällen könnte künftig bis zu 5.000 t KSA pro Jahr aus der Region Südwestschweiz mitverarbeitet werden. In anstehenden Pilotversuchen zum auf den Namen Sephelix getauften Verfahren muss aber erst geprüft werden, ob die erforderliche Produktqualität bei Mitverwertung substanzieller Mengen Klärschlamm-Asche gewährleistet werden kann.

## 3. Mögliche Umsetzung der P-Rückgewinnung in der Schweiz

Was für ein Gesamtbild könnte sich nun, unter Berücksichtigung der Ausgangslage sowie der oben beschriebenen Projekte, für die Klärschlamm-entsorgung in der Schweiz ergeben? Nachfolgend wird versucht hierzu eine Antwort zu geben. In einem ersten



Abschnitt wird dafür auf mutmaßliche Entwicklungen bei der Klärschlamm Entsorgung eingegangen. In einem zweiten Abschnitt wird darauf eingegangen, welche Verfahren dereinst in der Schweiz zum Einsatz kommen könnten.

### 3.1. Klärschlamm Entsorgung

Nachfolgend wird kurz beschrieben, wie sich die bisherigen drei thermischen Klärschlamm Entsorgungswege künftig weiterentwickeln könnten.

#### 3.1.1. Mitverbrennung in MVA

Die Mitverbrennung von Klärschlamm in MVA wird gemäß [4] aufgrund der fehlenden Verwertung der Mineralik künftig in der Schweiz nicht mehr möglich sein. Entsprechend müssen für die rund 15 % des Klärschlammes, welcher heute in MVA entsorgt wird, anderweitige Entsorgungswege erschlossen werden.

#### 3.1.2. Schlammverbrennungsanlagen SVA

Ein Großteil dieser zusätzlich benötigten Kapazitäten dürfte mit SVA bereitgestellt werden. Dies hat verschiedene Gründe: einerseits ist insbesondere die Technik der stationären Wirbelschicht ausgereift und zuverlässig, andererseits werden SVA in der Regel von der öffentlichen Hand betrieben. Eine Abhängigkeit von Privaten, wie sie bei der Entsorgung in Zementwerken besteht, gibt es nicht. Ferner bietet die Monoverbrennung auch für die Umsetzung der P-Rückgewinnung Vorteile. Erstens besteht bei den Betreibern von ARA kein Handlungsbedarf. Im Kontext der spezifischen Verhältnisse der Schweiz mit vielen kleinen ARA und generell engen Platzverhältnissen dürfte dies ein starkes Argument sein. Zweitens kann davon ausgegangen werden, dass die teilweise noch unbekanntesten gesetzlichen Anforderungen im Bereich P-Rückgewinnung mit verschiedenen Verfahren mehr oder weniger problemlos eingehalten werden können.

#### 3.1.3. Mitverbrennung in Zementwerken

Für die rund 22 % des Klärschlammes, welche heute in Zementwerken verwertet werden, stellt die P-Rückgewinnung heute einen großen Unsicherheitsfaktor dar. Aufgrund dessen, dass nach aktuellem Kenntnisstand mit verhältnismäßigem Aufwand im Vergleich zur Rückgewinnung aus Asche deutlich geringere Rückgewinnungsraten möglich sind, ist offen, ob die Anforderungen dereinst erfüllt werden können. Auch wenn eine gesetzeskonforme Umsetzung möglich ist, stellt sich die Frage, wie viele ARA die Bereitschaft zur P-Rückgewinnung vor Ort aufbringen. Aus heutiger Sicht ist daher tendenziell nicht davon auszugehen, dass künftig mehr Klärschlamm in Zementwerken entsorgt wird. Im Gegenteil zeichnet sich, wie das Beispiel vom AVA Altenrhein zeigt, eher ab, dass klärschlammbehandelnde P-Rückgewinnungsverfahren einen Teil der bisher in Zementwerken entsorgten Klärschlämme verwerten könnten.

### 3.2. P-Rückgewinnung

Mit welchen Verfahren könnte die Rückgewinnung von Phosphor in der Schweiz nun also erfolgen? Werden die vorgestellten Projekte sowie die Überlegungen zur zukünftigen Klärschlamm Entsorgung als Basis genommen, zeichnet sich folgendes Bild ab.



Rund 10 % des Klärschlammes könnte nach dem ZAB-Verfahren in Bazenheid behandelt werden. Aufgrund der mutmaßlich guten Wirtschaftlichkeit wird die Chance als intakt betrachtet, dass das gesamte Potenzial des ZAB-Verfahrens ausgenutzt wird und eine zweite Anlage realisiert wird.

Für die Rückgewinnung des Phosphors aus Monoverbrennungsasche könnte mit gewissen Ausnahmen (z.B. CIMO in Monthey) eine zentrale Anlage realisiert werden. Es ist noch offen, welches Verfahren eingesetzt werden wird. Die Betreiber der schweizerischen Schlammverbrennungsanlagen sehen vor, eine weitere verfahrenstechnische Marktanalyse durchzuführen, sobald neue Entscheidungsgrundlagen verfügbar sind. Dies dürfte dann der Fall sein, wenn das Vorprojekt zur großtechnischen Umsetzung des Phos4Life-Verfahrens vorliegt. Grundsätzlich wäre aber auch denkbar, dass die Klärschlamm-Asche im Ausland im noch größeren Maßstab verwertet wird.

Es ist offen, wie viel Klärschlamm künftig in Zementwerken entsorgt wird. Voraussetzung hierfür ist, dass sich die Vorgaben der Vollzugshilfe *phosphorreiche Abfälle* mit Verfahren zur P-Rückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm überhaupt erfüllen lassen. Zudem müssen solche Verfahren auch wirtschaftlich konkurrenzfähig sein. Sofern Pilotversuche (z.B. in Bern) zeigen, dass beide Voraussetzungen erfüllt sind – und dies rechtzeitig geschieht – könnte künftig auch ein Teil der Phosphorrückgewinnung zwecks Entsorgung im Zementwerk aus Klärschlamm erfolgen. Aus heutiger Sicht ist aus verschiedenen Gründen aber eher damit zu rechnen, dass dieser Anteil klein sein wird. Unter bestimmten Umständen wäre sogar denkbar, dass künftig kein Klärschlamm mehr in Zementwerken verwertet wird.

Klärschlammbehandelnde Phosphorrückgewinnungsverfahren wie Pyrophos oder EuPhoRe könnten künftig eine alternative zur klassischen Wirbelschichtverbrennung oder zur thermischen Verwertung im Zementwerk darstellen. Auch hier sind noch verschiedene Fragen zu klären, bevor einzelne Projekte realisiert werden könnten.

## 4. Fazit

Aufgrund des durch den Bund auferlegten Termindrucks zur Umsetzung der P-Rückgewinnung bis 2026 ist in der Schweiz einiges in Bewegung geraten. Ob die Phosphorrückgewinnung flächendeckend rechtzeitig umgesetzt sein wird, ist in Anbetracht der bestehenden rechtlichen Unsicherheiten, der fehlenden großtechnischen Erprobung vieler Verfahren sowie der föderalistischen Struktur der Abwasserwirtschaft aber zumindest fraglich.

ARA, welche ihren Klärschlamm in Monoverbrennungsanlagen entsorgen, können diesem Termindruck relativ entspannt entgegenblicken. Hier sind es die Betreiber der Monoverbrennungsanlagen, welche in der Pflicht stehen. Diese kümmern sich, wie das Projekt der verfahrenstechnischen Marktanalyse zeigt, bereits heute aktiv um die Entwicklung von Lösungen. Unter bestimmten Umständen sind, wie die Beispiele ZAB und CIMO zeigen, regionale Lösungen vielversprechend. Für die Mehrheit der Betreiber dürfte es aber vorteilhaft sein die Ressourcen zu bündeln und eine gemeinsame Lösung zu realisieren.

ARA, welche den Klärschlamm heute trocknen und im Zementwerk entsorgen, sind am stärksten von den bestehenden Unsicherheiten betroffen. Sollte sich herausstellen, dass sich eine gesetzeskonforme Rückgewinnung aus Abwasser oder Klärschlamm innerhalb der Frist nicht oder nur mit unverhältnismäßigem Aufwand realisieren lässt, müssten sie eine andere Lösung finden. Wie das Beispiel des AVA zeigt, sind einzelne Betreiber bereits heute dabei, solche Alternativen zu prüfen. Ob sich solche Lösungen bewähren, werden entsprechende Pilotprojekte zeigen.

## 5. Literatur

- [1] Fux, C.; Theiler, M.: Studie Phosphorrückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm – Gesamtbericht. TBF + Partner AG. Zürich: 2015
- [2] Kanton Zürich, Baudirektion, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL). Website *Rohstoffe aus Abfällen* [https://awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/abfall\\_rohstoffe\\_altlasten/rohstoffe/rohstoffe\\_aus\\_abfaellen/naehrstoffe.html](https://awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/abfall_rohstoffe_altlasten/rohstoffe/rohstoffe_aus_abfaellen/naehrstoffe.html)
- [3] Mehr, J.; Hellweg, S.: Studie zum ökologischen Vergleich der Produktion von Phosphorsäure aus Klärschlamm mittels Phos4life-Verfahren mit der Primärproduktion von P-Säure aus Rohphosphat – Endbericht. ETH Zürich, Institut für Umweltingenieurwissenschaften, Gruppe Ökologisches Systemdesign. Zürich: 2018.
- [4] Morf, L.: Schlussbericht *Verfahrenstechnische Marktanalyse für die Phosphorrückgewinnung aus dem Abwasserpfad*. Kanton Zürich, Baudirektion, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL). Zürich: 2018
- [5] Roskosch, A.; Heidecke, P.: Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Umweltbundesamt. 2018
- [6] Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA; SR 814.600)
- [7] Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV; SR 814.81)

## Ansprechpartner



### **Martin Theiler, M.Sc. Umweltnaturwissenschaften**

TBF + Partner AG  
Prokurist  
Naturgefahren + Umweltschutz  
Beckenhofstrasse 35  
8042 Zürich, Schweiz  
+41 43 2552851  
the@tbf.ch



### **Dr. Michael Wächter, Diplom-Chemiker**

TBF + Partner AG  
Abteilungsleiter  
Abwasser + Klärschlamm  
Beckenhofstrasse 35  
8042 Zürich, Schweiz  
+41 43 2552850  
waem@tbf.ch

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Olaf Holm, Elisabeth Thomé-Kozmiensky,  
Peter Quicker, Stefan Kopp-Assenmacher (Hrsg.):

### **Verwertung von Klärschlamm**

ISBN 978-3-944310-43-5 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Olaf Holm  
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2018  
Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Olaf Holm, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.  
Erfassung und Layout: Janin Burbott-Seidel, Ginette Teske, Roland Richter, Sarah Pietsch,  
Cordula Müller, Gabi Spiegel  
Druck: Beltz Grafische Betriebe GmbH, Bad Langensalza

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.