

PHOSPHOR-RÜCKGEWINNUNG AUS KOMMUNALEN ABWASSERSTRÖMEN – WO STEHEN WIR HEUTE?

Heidrun Steinmetz, Stuttgart

Die Rückgewinnung von Phosphor rückt zunehmend in den Fokus politischer und gesellschaftlicher Diskussionen. Inzwischen werden in Deutschland und weltweit zahlreiche Verfahren entwickelt und erprobt, die an unterschiedlichen Stellen der Abwasser- und Klärschlamm Entsorgung ansetzen. Das größte Rückgewinnungspotenzial weisen Klärschlämme und Klärschlammaschen auf, verfahrenstechnisch einfacher ist dagegen die Rückgewinnung aus Schlammwasser oder Urin. Obwohl ein wirtschaftlicher Betrieb meist noch nicht gegeben ist, ist die technische Machbarkeit einiger Verfahren belegt, so dass diese unter technischen Gesichtspunkten als Marktreif bezeichnet werden können.

Verfahrensvergleiche sind schwierig, da die verfügbare Datenlage oft nicht ausreichend ist, Bilanzgrenzen nicht sauber definiert werden und Ergebnisse von Untersuchungen in Labor- oder halbtechnischen Maßstäben kaum auf den großtechnischen Einsatz übertragbar sind. Auch sind die Randbedingungen und Anforderungen von Fall zu Fall unterschiedlich, so dass auch zukünftig ein weites Spektrum an Verfahren entwickelt, erprobt und anschließend großtechnisch umgesetzt werden sollte. Eine Fokussierung und Priorisierung auf einzelne Verfahren oder Stoffströme ist wenig sinnvoll.

1 EINLEITUNG

Phosphor, ein essentieller Stoff des Lebens, wird oft als „endliche“ Ressource bezeichnet. Es existieren unterschiedliche, entsprechend des aktuellen Kenntnisstandes regelmäßig zu korrigierende Schätzwerte bezüglich des Zeitraums bis zur Erschöpfung der Verfügbarkeit der Phosphaterze. Einige Schätzungen gehen von einer Reichweite von ca. 300 bis 400 Jahren aus (Wellmer, 2008). Dabei ist zu berücksichtigen, dass aufgrund verbesserter Abbaumethoden immer wieder neue Erzvorkommen erschlossen werden können und sich somit die Angaben, welche Mengen an abbauwürdigem Gestein verfügbar sind, im Laufe der Jahre ändern und z.B. trotz Verbrauch auch zunehmen können.

Aus aktuellen Daten des U.S. Geological Survey (USGS, 2012) lässt sich schließen, dass ca. 86 % der weltweit insgesamt ca. 71 Milliarden Mg nachgewiesenen Rohphosphaterz-Reserven in Marokko, Algerien, Syrien, China, im Irak und in der Westsahara liegen und sich somit in der Hand sehr weniger Staaten befinden. Alleine in Marokko und der Westsahara lagern nach derzeitigem Kenntnisstand rund 70 % der globalen Reserven. Weltweit soll der Phosphaterz-Abbau bis 2015 um 20 %, bezogen auf 2011, gesteigert werden. China wird - sofern lediglich die bestehende jährliche Phosphaterz-Abbaumenge zugrunde gelegt wird - seine Reserven in ca. 50 Jahren aufgebraucht haben.

Kongress "Phosphor-Rückgewinnung als wichtiger Baustein der Ressourcenpolitik"
am 24. und 25.06.2015 im Kursaal Stuttgart Bad Cannstatt

Über 90 % des produzierten Phosphats wird in Düngemitteln verwendet. Der Rest wird hauptsächlich in Seifen und Detergenzien, Lebensmitteln und Getränken, Futtermitteln und in der Wasseraufbereitung verarbeitet.

Phosphor wird somit derzeit fast ausschließlich durch Ausbeutung geogener Lagerstätten gewonnen, was zu einer Reduzierung der abbauwürdigen Gesteine und erheblichen Umweltschäden führt und damit dem Gebot der Nachhaltigkeit widerspricht. Weiterhin nehmen die Schadstoffgehalte wie Cadmium und Uran bei den noch verfügbaren Phosphatgesteinen zu. Es gibt somit zahlreiche Gründe dafür, nach Alternativen zur Phosphorgewinnung aus Phosphat-Erz zu suchen. Bei Betrachtung der organischen Siedlungsabfälle in Deutschland liegt dabei das weitaus größte Potential zur Rückgewinnung im Klärschlamm (Fricke und Bidlingmaier, 2003).

Die direkte landwirtschaftliche Klärschlammausbringung ist jedoch umstritten, da der Klärschlamm eine Senke für die im Abwasser enthaltenen organischen und anorganischen Schadstoffe ist. Einige Bundesländer, wie auch das Land Baden-Württemberg, verfolgen daher seit längerem aus Gründen der Vorsorge und zum nachhaltigen Schutz von Boden und Grundwasser den Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlammausbringung. Inzwischen ist dieses Ziel auch im Koalitionsvertrag festgeschrieben.

Um dennoch das hohe Phosphorpotenzial von Klärschlamm nutzen zu können, ohne die bekannten Risiken, die mit einer direkten landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung verbunden sind, bedarf es der Entwicklung von Verfahren zur Rückgewinnung von im Abwasser enthaltenen Phosphor, bei denen direkt gering belastete und gut pflanzenverfügbare Dünger gewonnen werden oder Produkte, die in der Industrie als Phosphatquelle weiter verwendet werden können.

Während inzwischen die oben beschriebenen Gründe des nachhaltigen Umgangs mit Ressourcen und einer angestrebten geringeren Abhängigkeit vom Import aus wenigen, teilweise politisch instabilen Ländern immer mehr in den Fokus rücken, so war der Anlass für die ersten Entwicklungen zur Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser die Behebung von Betriebsproblemen. Je nach Randbedingungen kann gerade bei der Schlammbehandlung von Anlagen mit biologischer Phosphorelimination Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) unkontrolliert ausfallen, und zu Verkrustungen von Leitungen und Pumpen führen. Eine gezielte MAP Produktion kann die unerwünschten Ausfällungen an anderer Stelle vermeiden helfen. Dies war in Berlin der Anlass sich mit gezielter MAP Fällung auf der Kläranlage Waßmannsdorf zu befassen. Inzwischen werden dadurch nicht nur die Betriebsprobleme behoben, sondern mit der „Berliner Pflanze“ ist ein verwertbares Produkt geschaffen worden. Unter dem Aspekt möglichst viel des im Zulauf einer Kläranlage enthaltenen Phosphors zurück zu gewinnen reicht der Ansatz der Behandlung von Schlammwasser nicht aus. Hier bieten bei Anlagen mit gezielter Phosphorelimination Klärschlämme und Klärschlammaschen das größte Potenzial, so dass inzwischen die Entwicklung zahlreicher Verfahren bei diesen beiden Medien ansetzt.

Kongress "Phosphor-Rückgewinnung als wichtiger Baustein der Ressourcenpolitik"
am 24. und 25.06.2015 im Kursaal Stuttgart Bad Cannstatt

Bislang fehlen allerdings die politischen Rahmenbedingungen für eine flächendeckende Umsetzung, so dass zwar viele Entwicklungen von Verfahren in den letzten Jahren erfolgt sind, aber sich nur wenige auf dem Markt etablieren konnten. Im Folgenden wird eine Übersicht über mögliche Ansatzpunkte zur P- Rückgewinnung in Abwasser gegeben sowie wichtige Verfahrensprinzipien dargestellt.

2 ANSATZPUNKTE ZUR P- RÜCKGEWINNUNG AUS ABWASSER

Der im Zulauf einer Kläranlage vorhandene Phosphor wird während des biologischen Reinigungsprozesses zu ca. 30% in die Biomasse eingebaut, bei Anlagen mit gezielter Phosphatelimination wird fast der gesamte Phosphor (meist über 90%) aus dem Zulauf in den Klärschlamm eingebunden. Nur ein geringer Anteil der Fracht (im Mittel 5% bis 10%) gelangt mit dem Ablauf der Kläranlage in die Gewässer.

Tabelle 1 zeigt eine typische Phosphorbilanz für eine kommunale Kläranlage und verdeutlicht, dass die höchsten Rückgewinnungspotenziale beim Klärschlamm bzw. der Klärschlammasche aus Monoverbrennungsanlagen liegen. Dennoch befassen sich viele der bislang entwickelten Verfahren mit der Rückgewinnung von Phosphor aus Schlammwasser, da hier aufgrund der hohen Konzentrationen und der geringen Volumenströme die verfahrenstechnische Umsetzung vergleichsweise einfach zu realisieren ist. Höhere Rückgewinnungsraten als in Tabelle 1 angegeben, können aus Schlammwasser von Anlagen mit biologischer Phosphatelimination erzielt werden.

Bislang wenig beachtet ist die P- Rückgewinnung aus dem Hauptstrom der Abwasserreinigung, Hier ist das Rückgewinnungspotenzial zwar aufgrund des Einbaus von P in die Biomasse etwas geringer (ca. 70%) als im Klärschlamm, aber deutlich höher als im Schlammwasser. Nachteil bei einer Hauptstrombehandlung sind die großen Volumenströme und die geringen Konzentrationen. Eine mögliche Nachfällung zur P- Elimination würde zwar einen relativ reinen P-Schlamm erzeugen, erfolgt jedoch mit Metallsalzen, wodurch schlecht pflanzenverfügbare Metallphosphate entstehen. Neue Entwicklungen befinden sich noch im Labor- bzw. halbtechnischen Maßstab, z.B. die Elimination und Rückgewinnung von Phosphat mittels funktionalisierter superparamagnetischer Partikel (Drenkova-Tuthan et al., 2014).

Aufgrund der sehr hohen Konzentrationen bei geringen Volumenströmen kann eine Stoffstromtrennung auf Haushaltsebene vorteilhaft sein. Etwa die Hälfte des Phosphors ist im Urin enthalten, sowie der größte Anteil an Stickstoff. Verfahren zur kombinierten Rückgewinnung von Phosphor und Stickstoff aus Urin könnten somit auch zu einer deutlichen Entlastung der Kläranlagen führen.

Tabelle 1 verdeutlicht die Potenziale an den einzelnen Stellen im Behandlungsprozess mit und ohne Berücksichtigung interner Stoffströme.

Tab. 1: Phosphorpotenziale im Behandlungsprozess (basierend auf Daten von Montag, 2008 und für Urin und Schwarzwasser aus DWA, 2008)

Anfallort	Einwohnerspezifische Fracht	
	rechnerisch mit Rückbelastung	ohne Rückbelastung z.B. bei Nebenstrombehandlung
Urin	1 g/(E*d)	1 g/(E*d)
Schwarzwasser	1,5 g/(E*d)	1,5 g/(E*d)
Zulauf Kläranlage	2 g/(E*d)	2 g/(E*d)
Zulauf nach Zulauf Prozesswasser	2,2 g/(E*d)	2 g/(E*d)
Primärschlamm	0,2 g/(E*d)	0,2 g/(E*d)
Überschussschlamm	1,8 g/(E*d)	1,6 g/(E*d)
Faulschlamm	2 g/(E*d)	1,8 g/(E*d)
Zentrifugat/Schlammwasser	0,2 g/(E*d)	0 g/(E*d)
Entwässerter Klärschlamm	1,8 g/(E*d)	1,8 g/(E*d)
Klärschlammmasche	1,8 g/(E*d)	1,8 g/(E*d)

3 VERFAHRENSPRINZIPIEN UND TECHNOLOGIEN

Wie in Kapitel 2 beschrieben, lässt sich Phosphor an verschiedenen Stellen im Prozess rückgewinnen:

- Aus Teilströmen des kommunalen Abwassers nach Stoffstromtrennung (z.B. Urinseparation oder Schwarzwasserbehandlung)
- Innerhalb einer Kläranlage aus unterschiedlichen Wasser- oder Schlammströmen
- Nach/während einer thermischen Behandlung des Klärschlammes, ggf. außerhalb der Kläranlage

Welcher Ansatzpunkt am besten geeignet ist, hängt von zahlreichen Randbedingungen ab. So macht eine Rückgewinnung aus Klärschlammmasche nur dann Sinn, wenn der Schlamm einer Monoverbrennungsanlage zugeführt wird. Der mögliche Entsorgungsweg bestimmt daher auch die Rückgewinnungsoptionen.

Kongress "Phosphor-Rückgewinnung als wichtiger Baustein der Ressourcenpolitik"
am 24. und 25.06.2015 im Kursaal Stuttgart Bad Cannstatt

Für die Wahl eines geeigneten Verfahrens sind weiterhin u.a. folgende Parameter relevant:

- Rückgewinnungspotenzial
- Konzentration von Phosphor im zu behandelnden Stoffstrom
- Zu behandelnder Volumenstrom
- Bindungsform des P (gelöst, ungelöst, chemisch gebunden, biologisch gebunden)
- Schadstoffkonzentrationen (organische Schadstoffe, Schwermetalle)
- Störstoffe (Metallsalze, organische Verbindungen, Feststoffe etc.)
- Auswirkungen der Behandlungsstufen auf die Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung
- Verbleib von Schad- und Reststoffen
- Betriebsmittel- und Energieeinsatz
- Betriebsstabilität und Komplexität des Verfahrens
- Flexibilität bei Änderungen der Verfahrensführung in der Abwasserbehandlung
- Zielsetzung, z.B. ausschließlich P- Rückgewinnung oder Behebung von Betriebsstörungen; Rückgewinnung weiterer Ressourcen, z.B. Stickstoff etc.
- Angestrebtes Produkt und Produktqualität (z.B. Dünger, Phosphorsäure, reiner Phosphor etc.)
- Wirtschaftlichkeit

Weltweit werden derzeit zahlreiche Verfahren zur Phosphorrückgewinnung entwickelt, die an verschiedenen Stellen im Behandlungsprozess ansetzen.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über einige in unterschiedlichen Maßstäben erprobte Verfahrenstechniken zur Phosphorrückgewinnung in Abhängigkeit davon, ob Phosphor aus den flüssigen Phasen (Abwasser, Schlammwasser) aus den Klärschlämmen oder den Aschen zurückgewonnen wird und beschreibt die zugrunde liegenden Mechanismen.

Tab. 2: Prozesse zur P- Rückgewinnung an unterschiedlichen Stellen im Behandlungsprozess mit Verfahrensbeispielen (nach Pinnekamp, 2011)

Abwasser und Schlamm- wasser	Klärschlamm	Klärschlammasche
Kristallisations- und Fällungsverfahren Phostrip DhV Crystalactor® Ostara PEARL® Unitika Phosnix® Nishihara NuReBas NuReSys Kurita Festbettreaktor Ebara MAP Kristallisation Treviso CSIR Wirbelschichtreaktor REPHOS® P-RoC Sydney Waterboard Reaktor Ionenaustauschverfahren REM NUT® PHOSIEDI Kombinations- und Sonderverfahren RECYPHOS Magnetseparator	Kristallisationsverfahren AirPrex-MAP-Verfahren PECO-Verfahren (mikrobielle Oxid.) PRISA-Verfahren Adsorptionsverfahren FIX-Phos Säureaufschluss Stuttgarter Verfahren Seaborne-Verfahren (Gifhorner Verf.) Hydrothormaler Aufschluss/Oxidation Cambi-Prozess Kemira KREPRO® LOPROX-Verfahren (mit Nanofiltration) Aqua-Reci Thermochemischer Aufschluss Mephrec ATZ-Eisenbadreaktor RecoPhos	Nasschemischer Aufschluss RÜPA-/PASCH-Verfahren (erweitertes) SEPHOS-Verfahren SESAL-PHOS BioCon Leachphos Eberhard Verfahren Thermochemischer Aufschluss AshDec-Verfahren Mephrec ATZ-Eisenbadreaktor RecoPhos (thermo-chemische fraktionierte Extraktion) Elektrokinese EPHOS Bioleaching Inocre-P-bac

Aus Tabelle 2 geht hervor, dass Kristallisations- und Fällungsverfahren am häufigsten untersucht wurden. Bislang spielen Ionenaustauschverfahren eine untergeordnete Rolle. Erkennbar ist auch, dass bei Verfahren zur Rückgewinnung aus Feststoffen (Klärschlämmen und Aschen) i.d.R. zusätzliche Verfahrensschritte zum Aufschluss der Phosphate erforderlich sind. Häufig werden hierzu saure Aufschlüsse aber vielfach auch thermische Aufschlussprozesse eingesetzt. Bei Verfahren zur P-Rückgewinnung aus Klärschlammaschen ermöglicht dies die Kombination des Verbrennungsprozesses mit dem Aufschlussprozess.

Viele Studien (z.B. Remy und Kabbe, 2013; Egle et al., 2014, Steinmetz et al., 2014)) haben sich in letzter Zeit mit dem Vergleich von Verfahren befasst. Beim derzeitigen sehr heterogenen Entwick-

Kongress "Phosphor-Rückgewinnung als wichtiger Baustein der Ressourcenpolitik" am 24. und 25.06.2015 im Kursaal Stuttgart Bad Cannstatt

lungsstand der Verfahren birgt dies allerdings einige Risiken. So basieren die erhältlichen Informationen bei manchen Verfahren auf Labor- oder bestenfalls halbertechnischen Versuchen, bei anderen auf Ergebnissen vom Betrieb von Pilotanlagen im technischen Maßstab. Einen Eindruck über die Unterschiede im Entwicklungsstand geben Remy und Kabbe (2013) mit der in Bild 1 zusammengestellten Auswahl einiger aktueller Verfahren zur Phosphorrückgewinnung. Auch wenn nicht alle derzeit untersuchten Verfahren aufgeführt sind, so vermittelt die Abbildung doch, dass großtechnische Umsetzungen bislang überwiegend im Bereich der Schlammwasser- bzw. Schlammbehandlung realisiert wurden. Dennoch, nicht alle der großtechnischen Anlagen sind noch in Betrieb. Häufig wurden diese im Rahmen von Forschungsprojekten gefördert und werden nach Auslaufen der Förderung nicht weiter betrieben, da sich der Betrieb noch nicht wirtschaftlich darstellen lässt.

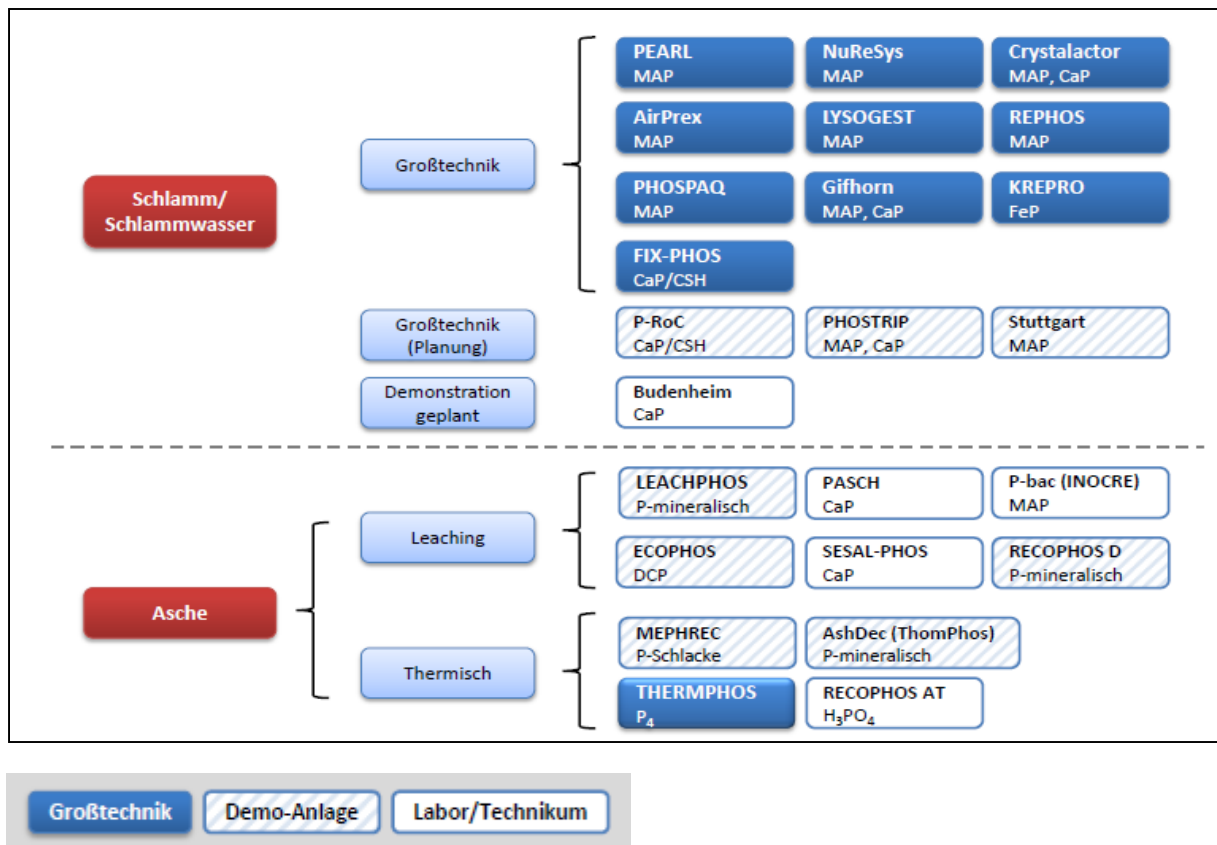


Bild 1: Auswahl aktueller Verfahren zum P- Recycling in Europa (aus Remy und Kabbe, 2013)

Ein Vergleich der Verfahren ist nicht nur aufgrund der sehr unterschiedlichen Maßstäbe schwierig. Oftmals sind keine umfassenden Stoffstrom- und Energiebilanzen erhältlich oder die Systemgrenzen sind nicht klar beschrieben. Dies lässt sich am Beispiel der Energieeffizienz von Verfahren zur P-Rückgewinnung aus Klärschlammaschen erläutern. Im Rahmen einer vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg durchgeführten Studie (Steinmetz et al.,

Kongress "Phosphor-Rückgewinnung als wichtiger Baustein der Ressourcenpolitik"
am 24. und 25.06.2015 im Kursaal Stuttgart Bad Cannstatt

2014) wurden Literaturdaten und Firmenangaben von fünf verschiedenen Verfahren u.a. bezüglich des Energieverbrauch pro Mg behandelter Klärschlammasche verglichen. Der Vergleich der Angaben stellte sich als schwierig heraus, da die Energieverbräuche für unterschiedliche Komponenten angegeben wurden. Auf den ersten Blick wirken die Verfahren Mephrec und PASCH effizienter als die anderen untersuchten Verfahren, das liegt jedoch daran, dass beim Mephrec Verfahren der Energieverbrauch durch das verwendete Koks und beim PASCH Produkt die Trocknung des Produkts und der Restasche nicht berücksichtigt wurden. Bei Annahme eines Heizwerts von etwa 8 kWh pro kg Koks würde sich der Energieverbrauch des Mephrec Verfahrens bereits auf über 1.000 kWh pro Mg behandelter Klärschlammasche erhöhen, wovon jedoch ca. ein Drittel als latente Wärme in der Monoverbrennung genutzt werden kann (Steinmetz et al., 2014). Generell lässt sich sagen, dass die Verfahren alle sehr energieintensiv sind. Die thermischen Verfahren benötigen viel Energie, um die Aschen zu erhitzen, während die nasschemischen Verfahren Energie benötigen, um die Produkte zu trocknen.

Ähnliche Probleme beim Vergleich der Verfahren haben sich auch bei anderen Kriterien wie Chemikalienverbrauch, Pflanzenverfügbarkeit des Produktes, Schwermetall- und Metallentfrachtung etc. ergeben, so dass eine Priorisierung von Verfahren unter Vorbehalten stehen sollte, zumal Pilotanlagen in der Regel verfahrenstechnisch noch nicht ausgereift sind. Dies gilt umso mehr, wenn Verfahren, die unterschiedliche Stoffströme mit unterschiedlichem Rückgewinnungspotenzial behandeln, verglichen werden.

Auch Egle et al. (2013) stellen bei ihren Arbeiten fest, dass „für viele ... Verfahren gilt ..., dass sie bis dato noch nicht ausreichend technisch beschrieben sind, d.h. es gibt keine verlässlichen Stoff-, Güter- und Energiebilanzen“. Daher haben die Autoren eine Methodik entwickelt, um Anlagen mit unterschiedlichen Verfahren und Ansatzpunkten ganzheitlich zu bewerten. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass Verfahren zur Behandlung von Klärschlammaschen Vorteile gegenüber denen mit Rückgewinnung von P aus Schlämmen aufweisen. Aber auch in dieser Studie ist nicht klar erkenntlich, wie gut die o.g. Datenlücken tatsächlich geschlossen werden und ein fairer Vergleich gewährleistet werden kann. Darüber hinaus geben solche Vergleiche den Status Quo von meist in der Entwicklung befindlichen Verfahren wieder. Welche Verbesserungspotenziale hier noch genutzt werden könnten, lässt sich daraus nicht ablesen.

Auch wenn sich die überwiegende Anzahl an Forschungsprojekten auf die Rückgewinnung von Phosphor auf Kläranlagen oder aus Aschen befasst, so gibt es auch erfolgreiche Projekte zur Rückgewinnung aus häuslichen Abwasserteilströmen. In einigen Forschungsprojekten (z.B. SANIRESCH (Winker und Rieck, 2013)) konnte MAP erfolgreich aus Urin rückgewonnen werden. Der Großtechnischen Umsetzung stehen hier teilweise die bestehenden Infrastrukturen und Sanitärtechnologien entgegen, die eine Stoffstromtrennung auf Haushaltsebene erschweren. Dennoch wird in Holland das patentierte SaNiPhos®- Verfahren von der Firma GMB bereits großtechnisch umgesetzt. Aus mittels Bringsystem angeliefertem Urin (5.000 m³/a) wird zunächst MAP und aus dem verbleibenden Stickstoff mittels

Kongress "Phosphor-Rückgewinnung als wichtiger Baustein der Ressourcenpolitik"
am 24. und 25.06.2015 im Kursaal Stuttgart Bad Cannstatt

Ammoniumstrippung und saurer Wäsche zusätzlich Ammoniumsulfat rückgewonnen. Der verbleibende Rest wird auf einer kommunalen Kläranlage mitbehandelt.

Weitere Ansätze befassen sich mit der Nährstoffrückgewinnung aus Schwarzwasser z.B. im Rahmen des aktuellen BMBF Verbundprojektes TWIST++ an der Universität Stuttgart.

4 WIRTSCHAFTLICHKEIT

Ein wesentlicher Aspekt für die Durchsetzung der Verfahren zur P- Rückgewinnung sind Kostenaspekte. Die DWA-Arbeitsgruppe KEK 1.1 hat hierzu Kostenberechnungen unterschiedlicher Verfahren zusammengestellt (siehe Tabelle 3). Berücksichtigt wurden Kapital- und Betriebskosten, die im Rahmen von Forschungsprojekten in Labor- und halbertechnischen Versuchen ermittelt wurden (DWA, 2013). Entsprechend breit sind die angegebenen Spannen so dass die Werte nur einen Anhaltspunkt geben. Dennoch zeigen die Berechnungen, dass für viele Verfahren die Produktkosten derzeit noch über denen von Mineraldüngern liegen, jedoch mit weiteren Verfahrensverbesserungen, verbesserten Vertriebswegen oder bei steigenden Rohphosphatpreisen zukünftig durchaus vergleichbare Preise erzielt werden können.

Tab.3: Kostenspanne für Produkt- und einwohnerspezifische Kosten unterschiedlicher P-Rückgewinnungsverfahren (aus DWA, 2013)

Stoffstrom	Anzahl Verfahren	Produktspezifische Kosten	Einwohnerspezifische Kosten	Schmutzwassermehrpreis
		€/kg P	€/(E*a)	€/m ³
Schlammwasser	3	9 – 15	1 - 3	0,02 – 0,07
Faulschlamm	4	2 – 25	0,5 - 18	0,01 – 0,04
Klärschlammassche	3	2,6 – 7,5	1,6 - 3	0,04 – 0,07

5 FAZIT UND AUSBLICK

Die Phosphorrückgewinnung und die Schaffung geschlossener Phosphorkreisläufe werden aus umwelt- und ressourcenbezogenen, aber auch aus gesellschaftspolitischen Gründen, zunehmend in den Fokus gesellschaftlicher und politischer Diskussionen rücken.

Zahlreiche Aspekte sprechen dafür, dass die Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser und anderen Reststoffen zukünftig an Bedeutung gewinnen wird:

- Abwasser weist ein hohes Potenzial zur Substitution geogener Ressourcen auf.
- Die Ausbeutung von Lagerstätten führt zu Umweltzerstörung und ist nicht nachhaltig.

Kongress "Phosphor-Rückgewinnung als wichtiger Baustein der Ressourcenpolitik"
am 24. und 25.06.2015 im Kursaal Stuttgart Bad Cannstatt

- Weltweit steigt der Phosphorbedarf. Daher müssen umweltfreundliche Ressourcen erschlossen werden. Einher damit geht, dass mit steigendem Verbrauch auch die Fracht im Abwasser weltweit steigen wird, so dass Kreisläufe geschlossen werden können.
- Die P- Reserven befinden sich in der Hand sehr weniger Staaten. Dadurch ist eine starke wirtschaftliche und handelspolitische Abhängigkeit von diesen Staaten gegeben, die zu Konflikten führen kann. Um wirtschaftlich und politisch unabhängig zu werden, muss Deutschland seine in Reststoffen vorhandenen P- Ressourcen nutzen.
- Seit jeher wird Klärschlamm als Phosphorquelle in der Landwirtschaft genutzt. Damit wird bereits eine sekundäre Phosphorquelle eingesetzt, und es findet prinzipiell ein Phosphorrecycling statt. Jedoch ist die direkte landwirtschaftliche Klärschlammausbringung umstritten, da die nach üblicher Fällung enthaltenen Metallphosphate schlecht pflanzenverfügbar sind und der Klärschlamm eine Senke für die im Abwasser enthaltenen organischen und anorganischen Schadstoffe ist. Dies gilt bei anorganischen Schadstoffen auch für Klärschlammaschen. Zum Schutz der menschlichen Gesundheit bedarf es daher der Entwicklung und Umsetzung von Phosphorrückgewinnungsverfahren.
- Derzeit wird intensiv an politischen Vorgaben und Strategien zur Phosphorrückgewinnung gearbeitet, z. B. das Deutsches Ressourceneffizienzprogramm „ProgRes“ (BMU, 2012) oder das baden-württembergische Papier zur Phosphorrückgewinnungsstrategie (Umweltministerium B.-W., 2012). Bis dato existiert noch keine gesetzliche Verpflichtung zum Phosphorrecycling. Jedoch wird eine Phosphatgewinnungs-Verordnung (Bergs, 2012) intensiv diskutiert.
- Mit Verfahren zur gezielten P-Ausfällung können Inkrustationen in Schlammmentwässerungsaggregaten und Pumpen auf Kläranlagen, die nach dem Bio-P-Prinzip arbeiten, vermieden und gleichzeitig Phosphor zurückgewonnen werden. Damit können neben dem Aspekt der Ressourcenschonung auch weitere positive Effekte auf den Betrieb von Kläranlagen von großer Relevanz sein.

Die bislang entwickelten technologischen Ansätze sind vielfältig. Die Verfahren haben sehr unterschiedliche Entwicklungsstände, inzwischen sind viele Verfahren von der technischen Entwicklung her reif für den großtechnischen Einsatz, auch wenn es, wie bei der Einführung jeder neuen Technologie, sicherlich noch einer gewissen Zeit zur Optimierung der Verfahren und zur verbesserten Integration in betriebliche Abläufe von Kläranlagen bedarf. Für zahlreiche Verfahren konnte gezeigt werden, dass eine deutliche Entfrachtung an Schadstoffen gegenüber Klärschlämmen erreicht wird und die Schadstoffgehalte im Bereich derer von Mineraldüngern oder zum Teil auch deutlich darunter liegen. Die erzeugten Produkte variieren zwischen den Verfahren. Während manche Produkte (insbesondere Metallphosphate) schlechte Düngeeigenschaften haben, weisen andere (z.B. MAP) mindestens ebenso gute Düngequalitäten auf wie Mineraldünger. Dennoch steht bei einigen Verfahren der Nachweis noch aus, dass die Produktqualität und –zusammensetzung konstant ist. Weiterhin fehlen aufgrund der bislang nur geringen Mengen an Rezyklaten die Vermarktungswege.

Kongress "Phosphor-Rückgewinnung als wichtiger Baustein der Ressourcenpolitik"
am 24. und 25.06.2015 im Kursaal Stuttgart Bad Cannstatt

Interessant sind in diesem Zusammenhang auch Ansätze, statt eines Düngers reinen Phosphor zu erzeugen. Die Machbarkeit wurde im RecoPhos- Verfahren im Rahmen eines EU geförderten Verbundprojektes (<http://www.recophos.org>) aufgezeigt.

Bislang verhindern meist die noch erhöhten Kosten der Recyclingprodukte sowie noch nicht vorhandenen Zulassungen als Düngemittel in vielen Fällen die Verbreitung von Rückgewinnungsanlagen und die Umsetzung außerhalb von geförderten Pilotprojekten. Dies könnte sich mit Einführung gesetzliche Vorgaben zu Recyclingquoten sehr schnell ändern.

Die deutsche Abwasserwirtschaft ist u.a. deshalb so erfolgreich, weil Kläranlagen an die jeweiligen Randbedingungen angepasste Unikate darstellen. Grundlegende Verfahrensprinzipien liegen zwar allen Reinigungsverfahren zu Grunde, durch zahlreiche Modifikationen gibt es jedoch eine Vielfalt, die es ermöglicht, eine auf die jeweilige Situation angepasste Lösung zu entwickeln. Wir sind gut beraten, eine solche Offenheit und Vielfalt an verfahrenstechnischen Lösungen auch bei der Phosphorrückgewinnung zuzulassen und weiter zu verfolgen. Eine einseitige Festlegung auf die Rückgewinnung aus einem bestimmten Stoffstrom (z.B. Klärschlamm oder Asche) ist wenig zielführend und wird der Heterogenität der bestehenden Abwasserbehandlungsanlagen, der Schlammentsorgungskonzepte und den unterschiedlichen Randbedingungen nicht gerecht. Es sollte daher weiterhin an neuen Verfahrensvarianten geforscht und unterschiedliche Konzepte großtechnisch umgesetzt werden.

6 LITERATUR- UND QUELLENACHWEIS

Bergs (2012): Umweltpolitische Ziele der Bundesregierung bei Klärschlammverwertung und Phosphorrecycling; Vortrag Wiesbaden, 21.9.2012; <http://www.bwk-bund.de/fileadmin/Dokumente/Veranstaltungen/Kongresse/2012/BWK-FF-1-Bergs-Ziele.pdf> (05.06.2015)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2012): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess), Beschluss des Bundeskabinetts vom 29.02.2012; http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/progress_bf.pdf (05.06.2015)

Drenkova-Tuhtan, A.; Mandel, K.; Paulus, A.; Meyer, C.; Hutter, F.; Gellermann, C.; SEXTL, G.; Franzreb, M.; Steinmetz, H. (2013): Phosphate recovery from wastewater using engineered superparamagnetic particles modified with layered double hydroxide ion exchangers. *Water Research* 47, 5670-5677

DWA (2008): Neuartige Sanitärsysteme. Hrsg. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef

DWA (2013): Stand und Perspektiven der Phosphorrückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm Zweiter Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.1 „Wertstoffrückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm“. Sonderdruck aus KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, 60. Jahrgang, Heft 10 und 11/2013

Kongress "Phosphor-Rückgewinnung als wichtiger Baustein der Ressourcenpolitik"
am 24. und 25.06.2015 im Kursaal Stuttgart Bad Cannstatt

Egle, L., Rechberger, H., Zessner, M. (2013): Möglichkeiten der Phosphornutzung aus Abwasser und Klärschlamm. Wiener Mitteilungen (2013) Band 228, 133-156

Fricke, K.; Bidlingmaier, W. (2003): Phosphatpotenziale qualitativ hochwertiger organischer Siedlungsabfälle und deren Nutzung. In: Umweltbundesamt (Hg.): Tagungsband zum Symposium "Rückgewinnung von Phosphor in der Landwirtschaft und aus Abwasser und Abfall". Berlin, 6.-7. Februar.

Montag, D., 2008. Phosphorrückgewinnung bei der Abwasserreinigung – Entwicklung eines Verfahrens zur Integration in kommunalen Kläranlagen. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinischen-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. 2008. Dissertation, http://publications.rwth-aachen.de/record/50037/files/Montag_David.pdf (05.06.2015)

Pinnekamp (Hrsg.) (2011): „Kreislaufwirtschaft für Pflanzennährstoffe, insbesondere Phosphor“ Schlusspräsentation der Förderinitiative am 14.09.2011 in Berlin. GWA Bd. 228, Aachen

Remy, C. ; Kabbe, C. (2013): Übersicht der Umsetzung von Verfahren in Europa - Erfahrungen aus P-REX. Vortrag Bonn, 09. Oktober 2013. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/uebersicht_der_umsetzung_von_verfahren_in_europa_-_erfahrungen_aus_p-rex.pdf (06.05.2015)

Steinmetz, H., Meyer, C., Reinhardt, T, (2014): Interkommunales Pilotprojekt zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammaschen in Baden-Württemberg. Abschlussbericht. https://www.efre-bw.de/lgl-internet/web/sites/default/de/Microsite_EFRE/Aktuelles/Galerien/Dokumente/Interkommunales_Pilotprojekt_zur_Phosphorrueckgewinnung.pdf (05.06.2015)

USGS (2012): U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2012; <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcs2012.pdf> (05.06.2015); <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcsapp2012.pdf> (05.06.2015)

Umweltministerium Baden-Württemberg (2012): Phosphor-Rückgewinnungsstrategie Baden-Württemberg, <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/98879/Phosphor-Rueckgewinnungsstrategie.pdf?command=downloadContent&filename=Phosphor-Rueckgewinnungsstrategie.pdf> (05.06.2015)

Wellmer, F.-W. (2008) Reserves and resources of the geosphere, terms so often misunderstood. Is the life index of reserves of natural resources a guide to the future? Z. dt. Ges. Geowiss. 159, 575-590

Winker, M., Rieck, C. (2013): SANitärRecycling ESCHborn (SANIRESCH). Abschlussbericht des BMBF- Forschungsprojektes http://www.saniresch.de/images/stories/downloads/Abschlussbericht/abschlussbericht-saniresch_final.pdf