

BUND-LÄNDER-ARBEITSGRUPPE „RESSOURCENSCHONUNG DURCH PHOSPHOR-RÜCKGEWINNUNG“ – BEWERTUNGS- ERGEBNISSE UND P-RÜCKGEWINNUNGSSTRATEGIE

**Martin Kneisel, Daniel Laux, Ministerium für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft Baden-Württemberg**

1 EINFÜHRUNG

Die steigende Weltbevölkerung bedarf zur Sicherstellung einer ausreichenden Versorgung mit Nahrungsmitteln einer leistungsfähigen Landwirtschaft und der dafür erforderlichen Düngemittel auf Phosphorbasis. Allerdings ist die internationale Düngemittelindustrie zur Gewinnung von Phosphor aus Rohphosphat vollständig auf wenige Exportländer für Phosphatgestein angewiesen. Anders als bei anderen wichtigen Rohstoffen gibt es für Phosphor keine alternativen Rohstoffquellen und auch keine Möglichkeiten einer Substitution. Die weltweite Nahrungsmittelproduktion kann durch zukünftige Versorgungsengpässe akut beeinträchtigt werden, wenn es nicht gelingt, die Abhängigkeit von den Exportnationen durch geeignete Maßnahmen zur Rückgewinnung von Phosphor zu vermindern.

Mit den weltweit verfügbaren Phosphatlagerstätten kann eine ausreichende Phosphorversorgung noch deutlich länger sichergestellt werden, als teilweise befürchtet. Die Rohphosphat-Förderung konzentriert sich aufgrund der geologischen Voraussetzungen jedoch weitgehend auf die Länder China, USA, Marokko, Russische Föderation, Israel und Tunesien. Es ist jedoch eine zunehmende Verunreinigung der Rohphosphate mit Schadstoffen, insbesondere Cadmium und Uran festzustellen. Politisch motivierte Versorgungsverknappungen und Preissteigerungen durch erhöhte Reinigungsanforderungen für Rohphosphat können dadurch nicht ausgeschlossen werden. Die hohe Volatilität der weltweiten Phosphormärkte in der jüngsten Vergangenheit ist ein deutliches Indiz dafür, dass sich die Märkte auf erhöhte Unsicherheit bei der Phosphorversorgung einstellen und entsprechend reagieren. Es ist daher für alle Staaten wichtig, schon lange vor dem Auslaufen der Phosphorreserven über einen Einstieg in die Rückgewinnung von Phosphor nachzudenken.

2 SITUATION IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Baden-Württemberg importiert aktuell etwa 12.000 - 12.500 t Phosphor (P) jährlich, davon werden 90 % (11.000 t) als phosphorhaltiges Düngemittel in der Land- und Forstwirtschaft sowie im Gartenbau eingesetzt (Statistisches Bundesamt, 2011). Laut Schätzungen des Umweltbundesamtes liegt der

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

zusätzliche Phosphorbedarf für Futtermittel bei mindestens 5 % des importierten Phosphors. Der Phosphorabsatz in den Bereichen Lebensmittelindustrie, Wasch- und Reinigungsmittel, Flammenschutzmittel und Trinkwasserversorgung kann nur schwierig abgeschätzt werden, dürfte aber im Vergleich zum Gesamtbedarf im unteren einstelligen Prozentbereich liegen.

Die baden-württembergische Landwirtschaft setzt Phosphatdünger im Gesamtwert von etwa 25 Mio. € jährlich ein. In den letzten Jahren wurde aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen der Einsatz von Phosphatdünger bereits optimiert und dadurch reduziert. Es ist vor diesem Hintergrund nicht damit zu rechnen, dass der Bedarf an Phosphor für die Landwirtschaft weiter abgesenkt werden kann.

Von allen organischen Siedlungsabfällen weist Klärschlamm das größte Potential als Sekundärrohstoffquelle für Phosphor auf (Abbildung 1). Täglich gibt jeder Einwohner über Reinigungsmittel und menschliche Ausscheidungen rund zwei Gramm Phosphor in das Abwasser ab, die zur Vermeidung von Umweltschäden in den Kläranlagen wieder abgereinigt werden müssen.

Von den etwa 10.200 t Phosphor, die 2012 über das Abwasser in die kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg gelangten, wurden 90 % abgereinigt und im Klärschlamm gespeichert (Umweltministerium BW, 2013b). Bei den kommunalen Kläranlagen fielen 2012 etwa 238.000 t Klärschlamm (Trockenmasse) an (Umweltministerium BW, 2013a), der rund 3,9 % Phosphor enthielt, was einer Phosphormenge von etwa 9.200 t entspricht. Bei einer aus heutiger Sicht realistischen Rückgewinnungsquote von 70 % könnten pro Jahr 6.400 t Phosphor aus dem Klärschlamm gewonnen werden. Damit ließe sich der Phosphorbedarf in Baden-Württemberg theoretisch zu etwa 54 % von aus Klärschlamm gewonnenem Phosphor decken.

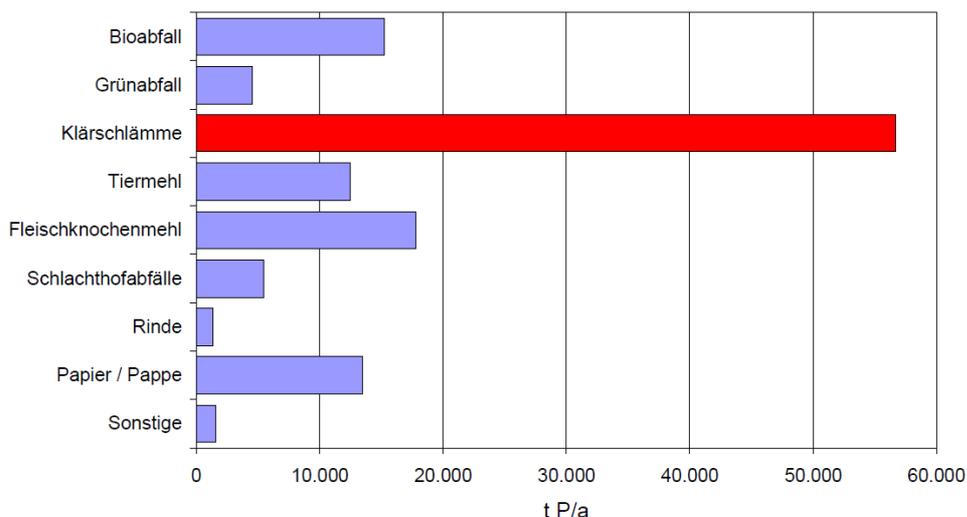


Abb. 1: Phosphorpotential der organischen Siedlungsabfälle in Deutschland (Fricke et al., 2003)

2.1 Eckpunkte der baden-württembergischen Phosphorstrategie

Das Umweltministerium Baden-Württemberg hat für das weitere Vorgehen eine Strategie zur Rückgewinnung von Phosphor entwickelt, die in Abbildung 2 schematisch dargestellt wird.

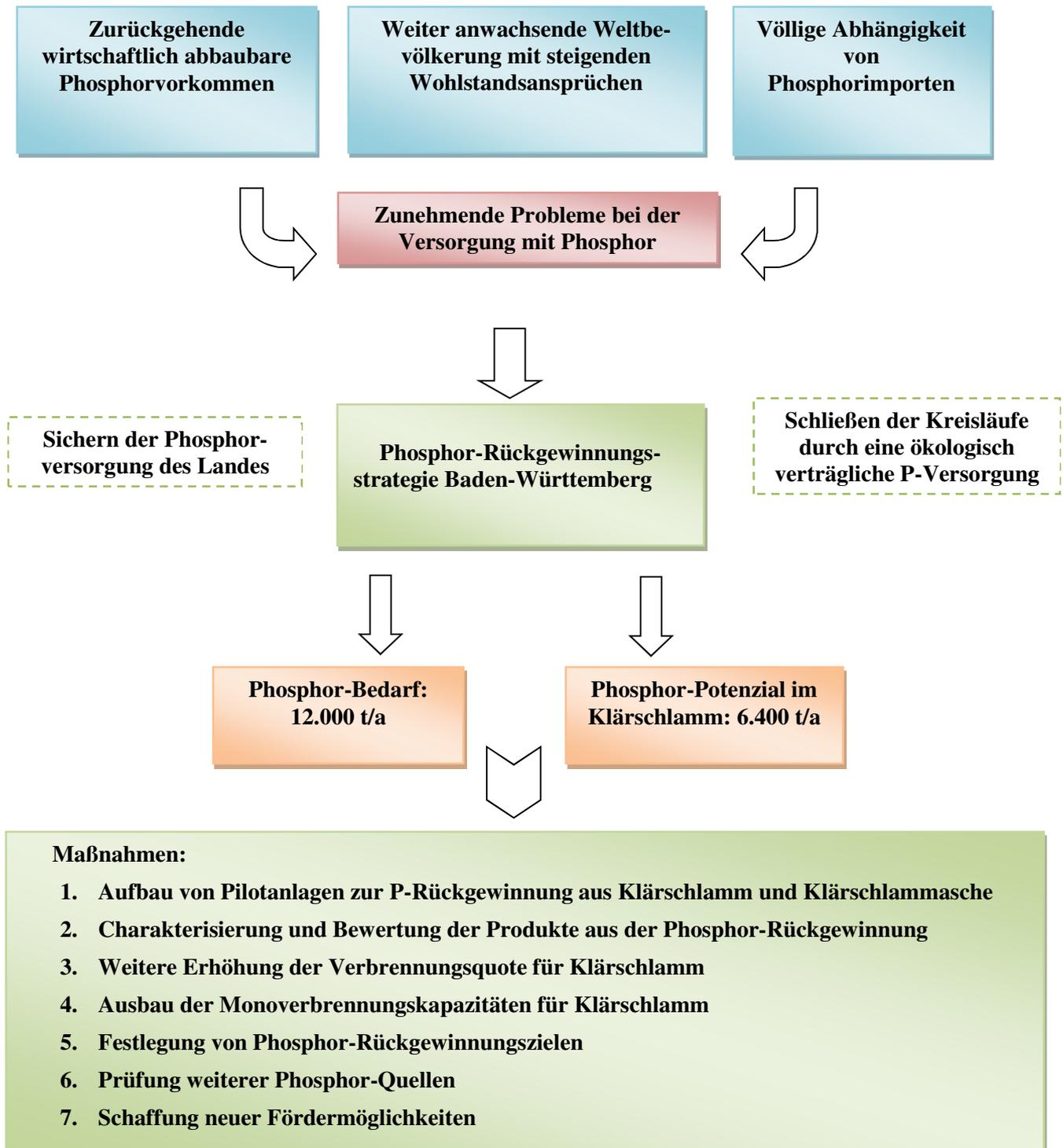


Abb. 2: Phosphor-Rückgewinnungsstrategie Baden-Württemberg

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

Ziel der Phosphor-Rückgewinnungsstrategie Baden-Württemberg ist es, durch Errichtung einer ausreichenden Infrastruktur für die Phosphor-Rückgewinnung langfristig eine nennenswerte Eigenversorgung des Landes mit Phosphor sicherzustellen. Dabei beschränkt sich die Strategie zunächst auf die Stoffströme Klärschlamm und Klärschlammasche, da diese das höchste Phosphor-Rückgewinnungspotenzial aufweisen. Für die unterschiedlichen Möglichkeiten der P-Rückgewinnung aus Klärschlamm zeichnen sich nach aktuellem Kenntnisstand folgende Rückgewinnungspotenziale ab:

Tab. 1: Erzielbare Phosphor-Rückgewinnungsquoten (modifiziert nach LAGA, 2012)

Ausgangsstoff	Technisch mögliche Rückgewinnung (in % der Zulauffracht)
Kläranlagenablauf	max. 50 %
Schlammwasser	45%
Entwässerter (Faul-) Schlamm	70%
Klärschlammasche	80%

Zur Frage eines wirtschaftlichen Betriebes von Phosphor-Rückgewinnungsanlagen liegen bislang nur wenige belastbare Erkenntnisse vor, die noch keine betriebswirtschaftlich fundierte Entscheidung über die Auswahl der Verfahren zulassen. Aktuell ist mit den bisher in Betrieb befindlichen (Pilot-)Anlagen ein wirtschaftlicher Betrieb lediglich unter bestimmten Randbedingungen möglich. Bei steigenden Weltmarktpreisen für Phosphaterze etwa durch eine gezielte Angebotsverknappung kann sich dies jedoch ändern und die Verfahren können rascher als erwartet wirtschaftlich konkurrenzfähig werden. Darüber hinaus können im Rahmen der weiteren Anlagenentwicklung noch Optimierungspotentiale etwa beim Energie- und Chemikalienbedarf erwartet werden.

Die produktspezifischen Kosten für rückgewonnenen Phosphor (P) liegen nach Literaturangaben (Everding et al., 2012) je nach Verfahren zwischen 3 und 12 € pro kg. Für Phosphor aus Rohphosphat muss nach derzeitiger Marktlage etwa 1-2 € pro kg Phosphor (P) bezahlt werden. Allerdings sind diese Angaben nur eingeschränkt belastbar, da unter anderem die Qualität der unterschiedlichen Rückgewinnungsprodukte (z. B. Löslichkeit im Boden, Düngewirkung, Schadstoffgehalte) und die Erlöse aus dem Verkauf der Rückgewinnungsprodukte nicht berücksichtigt werden. Auch können die verfügbaren Daten aufgrund stark unterschiedlicher Rahmenbedingungen sowie fehlender Standardisierung nicht verglichen werden. Um die Datenlage zu verbessern, können (und müssen) an Pilotanlagen weiterhin wertvolle Hinweise zu Verfahrenskosten und Qualität der Phosphor-Rückgewinnungsprodukte erarbeitet werden.

Beim Aufbau der für die Phosphorrückgewinnung aus Klärschlämmen erforderlichen Infrastruktur ist auch die Struktur der kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg zu berücksichtigen. Die 36

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

größten Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von über 100.000 Einwohnerwerten entfernen etwa 40 % des gesamten eliminierten Phosphors aus dem Abwasser. Kläranlagen mit einer Ausbaugröße unter 10.000 Einwohnerwerten tragen in der Summe lediglich 10 % des eliminierten Phosphors bei.

Das Land möchte die großtechnische Rückgewinnung von Phosphor weiter voranbringen und wird deshalb im Rahmen der Förderperiode 2014-2020 des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) Fördergelder zur Verfügung stellen, um Forschung, technologische Entwicklung und Innovation zu stärken. Unter dem Ziel „Rückgewinnung von Phosphor“ wird das Umweltministerium Baden-Württemberg auf Kläranlagen mit einer Ausbaugröße ab 100.000 EW die Errichtung von Anlagen zur Rückgewinnung von Phosphor mit einem hohen Fördersatz unterstützen. Eine vergleichbar hohe Förderung ist für die Phosphorrückgewinnung aus Monoverbrennungsaschen sowie für Rückgewinnungsanlagen im Zusammenhang mit der Klärschlamm-Mitverbrennung vorgesehen.

2.2 Weitere Vorgehensweise in Baden-Württemberg

Ziel ist der schrittweise Aufbau von Anlagen zur Phosphor-Rückgewinnung auf der Basis einer verlässlichen Datengrundlage zu Produkteigenschaften (Düngewirkung und Schadstoffgehalte), wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und verfügbarer Anlagentechnik. Hierzu ist vorgesehen:

- Aufbau von Pilotanlagen zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm und Klärschlammasche. Beide Ansätze sollen gleichwertig behandelt werden.
- Errichtung von Anlagen zur Rückgewinnung aus der Klärschlammasche beispielsweise für KS-Monoverbrennungsanlagen Stuttgart, Karlsruhe, Ulm
- Errichtung weiterer Anlagen zur Rückgewinnung aus dem Klärschlamm auf Kläranlagen, vorrangig auf großen Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von mehr als 100.000 Einwohnerwerten
- Fortführung und Weiterentwicklung des Pilotvorhabens auf der Kläranlage Offenburg mit dem Ziel einer weiteren Optimierung des Verfahrens und der Betriebskosten. Darüber hinaus sollen Auslegungsparameter für eine weitgehend standardisierte, auf anderen Kläranlagen einsetzbare P-Rückgewinnungsanlage gewonnen werden.
- Erarbeitung von Aussagen zu den Eigenschaften der Produkte aus der Phosphor-Rückgewinnung (Löslichkeit im Boden und Pflanzenverfügbarkeit, Schadstoffgehalte, weitere technische Eigenschaften für die Anwendung) und Bewertung der Produkte vor dem Hintergrund der aktuellen und zukünftigen rechtliche Regelungen zu Düngemitteln
- Erarbeitung eines Vertriebs- und Absatzkonzepts für den rückgewonnenen Phosphor in der Landwirtschaft und in der Düngemittelindustrie

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

- Wissenstransfer an die Betreiber der Kläranlagen (Workshops, Tagungen)
- Weitere Erhöhung der Verbrennungsquote für Klärschlamm von 90 % im Jahr 2010 auf 95 % im Jahr 2015
- Festlegung von Phosphor-Rückgewinnungszielen mit einer schrittweisen Anhebung der Rückgewinnungsquoten
- Prüfung weiterer Maßnahmen wie der Phosphor-Rückgewinnung aus anderen Quellen und die Zwischenlagerung Phosphorhaltiger Verbrennungaschen
- Förderung von Phosphor-Rückgewinnungsanlagen mit EFRE-Mitteln. Ein entsprechendes Förderprogramm befindet sich in der Schlussabstimmung. Der Start des Förderprogramms ist baldmöglichst vorgesehen.

3 LAGA-AD-HOC-AG „RESSOURCENSCHONUNG DURCH PHOSPHOR-RÜCKGEWINNUNG“

3.1 Aufgabenstellung der Ad-hoc-AG

Die 80. Umweltministerkonferenz hat die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) am 7. Juni 2013 gebeten, die bekannten Verfahren zur Phosphorrückgewinnung auf der Grundlage aktueller Forschungsergebnisse und unter Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeit, Einsatzfähigkeit sowie der Ressourcen- und Energieeffizienz zu bewerten. Dabei sollten auch Düngewirkung, Pflanzenverfügbarkeit und Schadstoffgehalte von sekundär gewonnenem Phosphor untersucht und im Rahmen der Verfahrensbewertung berücksichtigt werden. Auf dieser Basis sollte die LAGA einen Vorschlag für eine Phosphorstrategie erarbeiten und der Umweltministerkonferenz bis zum Herbst 2015 vorlegen.

Zur Bearbeitung dieser umfangreichen Aufgabe hat die LAGA einen Arbeitskreis „Ressourcenschonung durch Phosphor-Rückgewinnung“ eingerichtet, der seine Arbeit im November 2013 unter der Obmannschaft von Baden-Württemberg aufgenommen hat. In die Arbeiten des Arbeitskreises flossen die Inhalte des LAGA-Papiers „Bewertung von Handlungsoptionen zur nachhaltigen Nutzung sekundärer Phosphorreserven vom 30.01.2012 ebenso ein, wie die Ergebnisse der jüngsten Forschungsvorhaben zur Phosphorrückgewinnung (P-Rex, UFOPLAN 1 und 2, Zwiphos u.a.).

Baden-Württemberg wird seine Phosphor-Rückgewinnungsstrategie nach dem Abschluss der Arbeiten an den genannten Forschungsvorhaben und der Vorlage des LAGA-Berichtes evaluieren und erforderlichenfalls anpassen.

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

Nach intensiver Bearbeitung der umfangreichen Fragestellungen der UMK hat die Ad-hoc-AG ihre Arbeiten im Frühjahr 2015 abgeschlossen und dem Abfalltechnik-Ausschuss (ATA) der LAGA für die Sitzung vom 16. und 17. Juni einen Abschlussbericht vorgelegt. Dieser Bericht wird in der Folge in die Vollversammlung der LAGA und schließlich in die Herbstsitzung 2015 der Umweltministerkonferenz eingebracht.

3.2 Wesentliche Bewertungsergebnisse

Durch Studien und Pilotanlagen wurde die grundsätzliche Einsatzfähigkeit mehrerer Verfahren inzwischen belastbar nachgewiesen. Eine großtechnische Umsetzung erscheint bei diesen Verfahren vertretbar und wurde in ersten großtechnischen Anlagen bereits umgesetzt. Dabei wurde im Ergebnis – auch unter Nutzung der Resultate der Projekte KoMa und P-Rex – festgestellt, dass eine allgemein gültige Bewertung der Verfahren derzeit jedoch nicht möglich ist, da diese bei unterschiedlichen Stoffströmen ansetzen. Auch zur Wirtschaftlichkeit sind nur begrenzt belastbare Aussagen möglich, die einen fundierten Vergleich der Verfahren noch nicht gestatten.

Mit Blick auf die Notwendigkeit zum Aufbau einer Rückgewinnungs-Infrastruktur in vertretbaren Zeiträumen hält es die LAGA AG Phosphor für prioritär, eine Phosphor-Rückgewinnung direkt nach dem Anfall des Klärschlammes oder der Klärschlammaschen anzustreben. Die Zwischenlagerung dieser Aschen sollte dagegen nicht als vorrangige Maßnahme durchgeführt werden und damit nicht den Aufbau einer industriellen Phosphor-Rückgewinnungs-Infrastruktur ersetzen. Ein Rückbau bereits bestehender Asche- oder Klärschlammdeponien wird wegen der hohen Rückbaukosten und der teilweise zu geringen Phosphor-Gehalte nur in wenigen Fällen als sinnvoll eingeschätzt.

Recyclingphosphate können inzwischen mit ausreichend hoher Pflanzenverfügbarkeit und geringen Schadstoffgehalten, insbesondere bei Cadmium und Uran, aus Klärschlämmen und Klärschlammaschen gewonnen werden. Hierzu liegen belastbare Nachweise zu einer Reihe von Phosphor-Rückgewinnungsverfahren vor. Klärschlamm-Monoverbrennungaschen sollten aus Vorsorgegründen und zur Verbesserung der Pflanzenverfügbarkeit vor der flächenbezogenen Verwertung generell aufbereitet und von Schadstoffen entfrachtet werden.

3.3 Eckpunkte für eine Phosphorstrategie

Die Ad-hoc-AG hat zahlreiche Ansätze für eine Phosphorstrategie diskutiert und sich schließlich auf die folgenden wesentlichen Eckpunkte verständigt:

- Die großtechnische Umsetzung der Phosphor-Rückgewinnung ist mit den derzeit verfügbaren Verfahren möglich und sinnvoll.

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

- Rechtliche Vorgaben zur Phosphor-Rückgewinnung sind sinnvoll und auch mit Blick auf die Planungssicherheit erforderlich.
- Für die Auswahl der Phosphor-Rückgewinnungsverfahren werden keine Vorgaben für erforderlich erachtet, da eine große Auswahl von Verfahren zur Verfügung steht, die im Hinblick auf die jeweilige Zielsetzung der Anlage ausgewählt werden müssen.
- Eine Mitverbrennung von Klärschlamm mit relevanten Phosphorgehalten sollte zukünftig nur nach vorheriger Phosphor-Rückgewinnung möglich sein.
- Die Umsetzung der Phosphor-Rückgewinnung sollte zunächst bei Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5 (größer 10.000 bzw. 100.000 Einwohnerwerte) und Monoverbrennungsanlagen beginnen und später sukzessive auf weitere Phosphor-Sekundärquellen (u.a. tierische Nebenprodukte) ausgeweitet werden. Bei Kläranlagen der Größenklassen 1 bis 3 (kleiner 10.001 Einwohnerwerte) sollte zunächst unter Berücksichtigung der Umsetzungserfahrungen überprüft werden, wann Maßgaben zur Phosphor-Rückgewinnung auch unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten erforderlich sind.
- Die Lagerung von Klärschlammaschen oder der Deponierückbau sind als nachrangig zu betrachten, da die Rückgewinnung aus wirtschaftlichen und verfahrenstechnischen Gründen aus dem aktuellen Phosphoranfall in Kläranlagen und Verbrennungsanlagen erfolgen sollte.
- Zum großindustriellen Einstieg in die Phosphor-Rückgewinnung sollte eine freiwillige Selbstverpflichtung der Hersteller von Phosphor-Mineraldüngern mit dem Ziel eines teilweisen Umstiegs von Phosphaterzen auf Phosphor-Sekundärquellen angestrebt werden.
- Für alle phosphorhaltigen Düngemittel einschließlich der Sekundär-Phosphor-Recyclingdünger sind stoffliche Qualitätsanforderungen und standardisierte Prüfverfahren zu entwickeln und verbindlich vorzugeben.

4 LITERATUR

- Cordell D., White S., Lindström T. (2001). Peak phosphorus: the crunch time for humanity, The Sustainable Review
- Everding W., Montag D., Rinnekamp J. (2012): Ergebnisse und Schlussfolgerungen der BMBF-Förderinitiative "Phosphorrecycling", 45. Essener Tagung für Wasser und Abfallwirtschaft in Essen GWA 230, 20/1-20/15, Aachen
- Fricke K., Bidlingmaier W. (2003): Phosphatpotenziale qualitativ hochwertiger organischer Siedlungsabfälle, Rückgewinnung von Phosphor in der Landwirtschaft und aus Abwasser, RWTH Aachen, Umweltbundesamt, Berlin

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

- LAGA Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (2012): Bewertung von Handlungsoptionen zur nachhaltigen Nutzung sekundärer Phosphorreserven
- Wave GmbH (2003): Studie zum Phosphorrecycling aus kommunalem Abwasser in Baden-Württemberg – Möglichkeiten und Grenzen, Stuttgart
- Meyer C, Preyl V. Steinmetz H. (2011): Großtechnische In-situ-P-Rückgewinnung aus Klärschlämmen, Tagungsband zum 3. Internationalen Symposium „Re-Water Braunschweig“ Implementierung Realisierung, Fördergesellschaft an der TU Braunschweig e. V. (Hrsg.), Band 81, S. 45-58, Braunschweig
- Umweltministerium Baden-Württemberg (2013a): Abfallbilanz 2012, Stuttgart
- Umweltministerium Baden-Württemberg (2013b): Kommunales Abwasser, Lagebericht 2013, Stuttgart
- Umweltministerium Baden-Württemberg (2012): Phosphor-Rückgewinnungsstrategie Baden-Württemberg, Stuttgart
- Statistisches Bundesamt (2011): Produzierendes Gewerbe – Düngemittelversorgung, Fachserie 4, Reihe 8.2, 8 S., Wiesbaden
- Van Kauwenbergh S. (2010): World Phosphate Rock Reserves and Resources International Fertilizer Development Center, Alabama