

Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz

David Montag, Wibke Everding, Susanne Malms, Johannes Pinnekamp (Aachen)

Ute Arnold, Manfred Trimborn, Heiner Goldbach (Bonn)

Joachim Reinhardt, Horst Fehrenbach (Heidelberg)

Wolfgang Klett, Thomas Lammers (Köln)

Zusammenfassung

In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Prozesse zur Phosphorrückgewinnung erforscht und weiterentwickelt. Einige dieser Prozesse haben die technische Marktreife erlangt, können die Phosphat-Rezyklate jedoch bislang im Regelfall nicht kostendeckend produzieren. Ohne gesetzliche Vorschriften zur Phosphorrückgewinnung gibt es daher kaum großtechnische Umsetzungen derartiger Prozesse. Im Rahmen des UFOPLAN-Vorhabens „KoMa“ wurden konkrete Vorschläge für die nächsten Schritte erarbeitet, so dass eine Phosphorstrategie für Deutschland aufgestellt werden kann. Dabei wird sowohl die Phosphorrückgewinnung auf Kläranlagen als auch aus Klärschlammasche berücksichtigt. Optionen der Langzeitlagerung phosphathaltiger Aschen bzw. des Landfill Minings sowie die Qualität der erzeugten Rezyklate werden bewertet. Darüber hinaus werden Maßnahmen zur Einsparung von Phosphor in der Landwirtschaft und der Industrie aufgezeigt.

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund der aktuellen politischen Entwicklungen – insbesondere der angekündigten neuen Klärschlammverordnung mit integrierten Vorschriften zur Durchführung einer Phosphorrückgewinnung – wurden im Rahmen des UFOPLAN-Vorhabens „Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz“ (KoMa, FKZ: 3713 26 301) einzelne Fragestellungen zur Phosphorrückgewinnung beantwortet.

Schwerpunkte des Projektes bildeten das Einsparpotenzial von Phosphor in Produkten und von phosphathaltigen Produkten sowie die Qualität der Rezyklate und deren Einsatz als Düngemittel in der Landwirtschaft bzw. in der Düngemittelindustrie. Außerdem wurden Verfahren zur Phosphorrückgewinnung identifiziert und bewertet, die Kosten und der Energieaufwand der Verfahren dargestellt sowie mögliche Umstellungen der Kläranlagen in Bezug auf eine erleichterte Phosphorrückgewinnung geprüft. Weitere zentrale Inhalte waren Mengenberechnungen zur Entwicklung der thermischen Klärschlammstörung und die Möglichkeit des Landfill Minings sowie die Langzeitlagerung der Klärschlammaschen.

Zudem wurden Aspekte zur Markteinführung der Rezyklate diskutiert. Weiterhin wurden bereits durchgeführte Maßnahmen zur Klärschlamm Entsorgung und Phosphorrückgewinnung aus dem Ausland dargestellt. Abschließend erfolgte eine Prüfung der rechtlichen Umsetzungsmöglichkeiten, u.a. zur Finanzierung und Subventionierung der Phosphorrückgewinnung sowie zur Abnahmeverpflichtung der produzierten Rezyklate.

In diesem Beitrag werden die Vorschläge des Projektteams vorgestellt, die als Grundlage für die Entwicklung einer Phosphorstrategie für Deutschland herangezogen werden können. Gegliedert sind diese Aspekte nach den vier zentralen Themenschwerpunkten des UFOPLAN-Vorhabens „KoMa“.

2 Themenschwerpunkt: Phosphorrückgewinnung auf Kläranlagen

Im Entwurf der Novelle der Klärschlammverordnung ist ein Artikel vorgesehen, der die Anforderungen an die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm regelt [1].

Es wird diskutiert, dass der Klärschlammherzeuger eine Phosphorrückgewinnung aus dem anfallenden Klärschlamm durchzuführen oder durchführen zu lassen hat, wenn die Kläranlage eine bestimmte Größe erreicht. Zum Zeitpunkt der Projektdurchführung waren hierfür Kläranlagen der Größenklasse (GK) 4 und 5 vorgesehen, d.h. ab 10.000 Einwohnerwerten [1]. Aktuell wird auch über eine Grenze von 50.000 Einwohnerwerten diskutiert [2]. Weiterhin sind nur Kläranlagen von den Regelungen betroffen, deren Klärschlamm einen Phosphor(P)-Gehalt von mindestens 20 g P/kg TR aufweist. Evtl. ist hier bereits ein einmaliges Überschreiten dieses Schwellenwertes hinreichend, um von den Regelungen der Verordnung betroffen zu sein. Die angewendeten Phosphorrückgewinnungsverfahren sollen den P-Gehalt unter diesen Wert reduzieren. Ist dies aufgrund sehr hoher P-Konzentrationen nicht möglich, soll der P-Gehalt im Klärschlamm um mindestens 50 % reduziert werden. Derart behandelte Klärschlämme dürfen weiterhin in Mitverbrennungsanlagen entsorgt werden. Letzteres ist für Klärschlämme mit weniger als 20 g P/kg TR auch ohne weitere Maßnahmen möglich. [1]

Anstelle einer unmittelbaren Phosphorrückgewinnung aus dem Klärschlamm oder falls eine Reduzierung auf einen P-Gehalt von unter 20 g P/kg TR bzw. das Erreichen eines Wirkungsgrades von mindestens 50 % nicht möglich ist, muss gemäß des Novellen-Entwurfes eine thermische Entsorgung des Klärschlammes in (Mono-)Klärschlammverbrennungsanlagen erfolgen. Aus den Verbrennungsrückständen muss anschließend Phosphor rückgewonnen werden oder die Asche einer stofflichen Verwertung unter Nutzung des P-Gehalts zugeführt werden. Des Weiteren ist die Lagerung der Verbrennungsrückstände zulässig, sofern eine Vermischung mit anderen Abfällen, Stoffen und Materialien ausgeschlossen ist und die Möglichkeit einer späteren Phosphorrückgewinnung oder stofflichen Verwertung unter Nutzung des P-Gehalts gewährleistet bleibt. [1]

Die Pflicht zur Phosphorrückgewinnung ist ab Inkrafttreten der neuen Klärschlammverordnung nach einer Übergangsfrist zu erfüllen. Zunächst waren hierfür zehn Jahre vorgesehen [1], zuletzt wurde

auch von einem zwölf- (> 100.000 E) bzw. fünfzehnjährigen (> 50.000 E) Übergangszeitraum berichtet [2]. Die Möglichkeit der Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft endet für die Klärschlämme aus den betroffenen Kläranlagen der GK 4 und 5 zum jeweils gleichen Zeitpunkt. Klärschlämme, die auf Kläranlagen kleinerer Ausbaugrößen anfallen, können weiterhin ohne vorherige Phosphorrückgewinnung unter Einhaltung der jeweils relevanten Regelwerke einem beliebigen Entsorgungsweg zugeführt werden. [1]

Folgende Empfehlungen wurden aus der rechtlichen Diskussion zum Zeitpunkt des Projektabschlusses Anfang des Jahres 2015 abgeleitet:

- Sofern Vorgaben zur Phosphorrückgewinnung definiert werden, sollten zunächst nur Kläranlagen der GK 5 einbezogen werden, wo tendenziell mehr Phosphor rückgewonnen werden kann. Nach erfolgreicher Implementierung können nachfolgend auch Kläranlagen der GK 4 einbezogen werden (gestuftes Vorgehen nach festgelegten Fristen), jedoch keinesfalls Kläranlagen der GK 1 bis GK 3 bzw. kleiner als 10.000 E.
- Es sollten deutschlandweit die P-Gehalte in Klärschlämmen für alle Entsorgungswege untersucht werden. Diese Untersuchungen sollten bundesweit koordiniert werden und auf Länderebene durchgeführt werden.
- Die Regelungen sollten erst in Kraft treten, nachdem ausreichend Zeit war, die entscheidenden offenen Fragen zu beantworten. Diese betreffen insbesondere die großtechnische Entwicklung von Verfahren im kontinuierlichen Pilotbetrieb, die Qualität der Rezyklate und deren Verwendbarkeit in der Landwirtschaft bzw. Düngemittelindustrie. Eine Übergangsfrist von 10 Jahren ist daher zwingend erforderlich.
- Es existiert bisher noch kein Verfahren, welches eindeutig als „beste verfügbare Technik“ identifiziert wurde. Einbezogen werden müssen auch die unterschiedlichen Randbedingungen vor Ort, so dass keine Festlegung für eine Entsorgungskette des Klärschlammes möglich ist: Eine Priorisierung der Phosphorrückgewinnung vor der Mitverbrennung oder die Monoverbrennung mit anschließender Phosphorrückgewinnung kann noch nicht vorgenommen werden. Daher sollten zum jetzigen Zeitpunkt noch keine rechtlichen Festlegungen getroffen werden, die später ein Phosphorrückgewinnungsverfahren oder eine Einsatzstelle (Schlammwasser, Faulschlamm, Klärschlammasche) ausschließen.
- Die rechtlichen Regelungen zur Phosphorrückgewinnung sollten derart ausgestaltet werden, dass der Einsatz von Maßnahmen im Schlammwasserbereich ermöglicht wird. Insbesondere bei großen Bio-P-Kläranlagen (GK 5) bietet sich ein punktuell großes Potenzial zur Erzeugung eines gut geeigneten Rezyklates (Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) bzw. Struvit).

2. Kongress: Phosphor - Ein kritischer Rohstoff mit Zukunft -
am 26. und 27. Oktober 2016 im Kursaal Stuttgart Bad Cannstatt

- Zur Prüfung, ob der Umbau von Kläranlagen mit chemischer Phosphorelimination zu Kläranlagen mit ausschließlicher bzw. weitgehender Bio-P und der Integration einer Verfahrensstufe zur Phosphorrückgewinnung möglich ist, könnte die finanzielle Förderung von Machbarkeitsstudien (ähnlich der Energieanalysen für Kläranlagen) hilfreich sein. Hiermit können Anreize gesetzt werden, um Betreiber diese Option prüfen zu lassen.

Eine direkte oder indirekte Subventionierung des P-Recyclings durch staatliche Mittel ist aufgrund der Förderung von gemeinschaftsrechtlichen Umweltschutzziele grundsätzlich mit EU-Beihilferecht vereinbar. Ein rechtliches Hindernis für die Subventionierung kann sich jedoch aus dem in Art. 14 Abs. 1 AbfRRL festgelegten Verursacherprinzip bei der Kostentragung für Maßnahmen der Abfallbewirtschaftung ergeben. Abweichungen von diesem Grundsatz dürften allerdings aufgrund der Pflicht der Mitgliedstaaten zur Förderung eines qualitativ hochwertigen Recyclings (vgl. Art. 11 Abs. 1 UAbs. 2 AbfRRL) ausnahmsweise zulässig sein.

- Es sollten politische Anreize und staatliche Anschubfinanzierungen durch direkte Subventionen oder Abgabenerleichterungen (indirekte Subventionen) geschaffen werden, um die Entwicklung von Phosphorrückgewinnungsverfahren voranzutreiben. Erforderlich sind vollständige Investitionsförderungen und für eine begrenzte Übergangszeit auch zu den Betriebskosten für die ersten Pilotanlagen sowie die Finanzierung wissenschaftlicher Begleitprogramme, so dass weitere Prozessoptimierungen durchgeführt werden können.
- Gegen die Einführung einer Sonderabgabe zur Refinanzierung des besonderen Aufwands für die Phosphorrückgewinnung ergeben sich aus finanzverfassungsrechtlichen Gründen rechtliche Bedenken, weil es an der erforderlichen besonderen Finanzierungsverantwortung der Gruppe der Klärschlammherzeuger einerseits und der Düngemittelhersteller andererseits fehlen könnte. Deswegen wird empfohlen, für die Refinanzierung von der Einführung einer solchen Sonderabgabe abzusehen.
- Gegen die Einführung eines Finanzierungsmodells, das Kläranlagenbetreiber verpflichtet, Umlagen zur Förderung der Phosphorrückgewinnung zu zahlen, bestehen keine grundsätzlichen rechtlichen Bedenken. Bei einem solchen Umlagemodell würden die Maßnahmen der Phosphorrückgewinnung im Einzelfall mit den Mitteln der Umlage gefördert werden können. Bei der gleichzeitigen Einführung einer Pflicht zur Durchführung einer Phosphorrückgewinnung würde ein solches Umlagemodell allerdings leerlaufen. Im Falle der Einführung einer Umlage sollte diese alle Kläranlagengrößen umfassen. Eine Umsetzungspflicht der Phosphorrückgewinnung sollte nur für die Kläranlagen der GK 5 festgeschrieben werden. Sollte jedoch eine Kläranlage der GK 1 – 4 Maßnahmen zur Phosphorrückgewinnung durchführen wollen, muss auch dieser Kläranlage eine Förderung aus der Umlage gewährt werden.
- Eine Staffelung der Zuschussung von Investitionskosten für die Phosphorrückgewinnung wäre möglich. Solange noch keine Umsetzungspflicht besteht (d.h. während der im Verordnungsentwurf

vorgesehenen Übergangsfrist), könnten bspw. in den ersten zwei oder drei Jahren die gesamten Investitionskosten aus der Umlage gefördert werden und in den darauf folgenden Jahren nur noch reduzierte Prozentsätze.

- An dem Umlagemodell können auch Betreiber von Kläranlagen beteiligt werden, für die aufgrund der geringen Anschlussgröße die Einführung einer Pflicht zur Phosphorrückgewinnung nicht empfohlen wird, sofern diesen Kläranlagenbetreibern die Möglichkeit eingeräumt wird, durch freiwillige Maßnahmen der Phosphorrückgewinnung Mittel aus der Umlage zu erhalten. Eine Beteiligung aller Kläranlagenbetreiber an dem Umlagemodell würde vermeiden, dass bei der zu erwartenden Weitergabe der Kosten an die Abwassererzeuger nur diejenigen Abwassererzeuger die Einführung der Phosphorrückgewinnung zu finanzieren hätten, die zufällig an eine Kläranlage angeschlossen sind, in der – freiwillig oder aufgrund einer Rechtspflicht – Maßnahmen zur Phosphorrückgewinnung durchgeführt werden.

3 Themenschwerpunkt: Düngemittel und Düngung

Einsparungen im Phosphor-Verbrauch sind vor allem durch Düngungsmaßnahmen zu erzielen. Aufgrund des aktuellen Versorgungsstatus der Böden kann Phosphor in Deutschland sowohl durch Reduzierung als auch durch eine regionale Umverteilung von Nährstoffen eingespart werden, da ein beachtlicher Anteil der Böden noch hoch bzw. sehr hoch mit Phosphor versorgt ist, v.a. in Gegenden mit intensiver Viehhaltung. Die größten Einsparungen erfolgen zurzeit durch den Abbau von über die letzten Jahrzehnte angehäuften Bodenvorräten. Diese Einsparungen können aber nur über eine begrenzte Zeit durchgeführt werden. In den nächsten 50 - 100 Jahren werden diese Bodenvorräte erschöpft sein, so dass wieder mehr Phosphor gedüngt werden muss, um die P-Bilanz (P-Düngung minus P-Entzug) auszugleichen.

- Dauerhaft lassen sich Einsparungen durch die Umverteilung von regionalen Gülle-Überschüssen erzielen. Das Potenzial dieser Einsparungen liegt nach eigener Abschätzung bei über 20.000 Mg P/a. Um diese Phosphatmengen kostengünstig zu transportieren, sollten Separationstechniken weiterentwickelt werden.

Bodenverbessernde Maßnahmen führen zwar zu einer Erhöhung der P-Ausnutzung, das Potenzial hierzu ist aber in der deutschen Landwirtschaft weitgehend ausgeschöpft. Im Zuge der weiteren Intensivierung des Ackerbaus ist eher von einer gleichbleibenden oder verschlechterten P-Ausnutzung auszugehen als von einer verbesserten.

Pflanzenbauliche Maßnahmen (Anbau von heimischen Hülsenfrüchten anstelle von bspw. Soja) haben zwar das Potenzial auf nationaler Ebene eine gewisse Menge an Phosphat einzusparen, sind aber für die globale P-Bilanz nicht maßgeblich und wären mit hohen volkswirtschaftlichen Kosten verbunden, so dass sie letzten Endes ungeeignet sind.

2. Kongress: Phosphor - Ein kritischer Rohstoff mit Zukunft -
am 26. und 27. Oktober 2016 im Kursaal Stuttgart Bad Cannstatt

- Um die P-Einsparpotenziale bei der Düngung auszuschöpfen, sollten die Informationen, die durch Landwirtschaftsämter und andere Beratungsstellen bereits erfolgen, beibehalten oder verstärkt werden.
- Für einzelne Regionen mit Überangebot von Wirtschaftsdüngern sind Fördermaßnahmen sinnvoll (Unterstützung beim Aufbau von Güllebörsen, Förderung von Verfahren zur Feststoffseparation bzw. Nährstoffabreicherung).

Ziel für die Verwertung von P-Rezyklaten sollte ihre Eignung als eigenständiges Düngemittel sein. Dazu müssen Qualitätsanforderungen des Düngemittelrechts sowie eine ausreichende Wirksamkeit (Pflanzenverfügbarkeit) vorliegen. Daneben sind Verkaufspreis und technische Eigenschaften wichtig. Besteht die Möglichkeit nicht, könnten Rezyklate anderen Düngemitteln beigemischt werden, sofern nicht schlechte Qualitäten in guten „versteckt“ werden bzw. das Ziel verfolgt wird, Schadstoffe zu verdünnen. Als dritte Möglichkeit könnten Rezyklate zusammen mit Rohphosphaten zu Super- oder Tripelphosphat aufgeschlossen werden. Auch eine Schadstoffentfrachtung belasteter P-Rezyklate im Zuge der Aufbereitung von P-Düngern wäre denkbar.

Zur Beurteilung der Düngewirkung dienen Untersuchungen des Düngers (P-Löslichkeit), Bodenuntersuchungen und Pflanzenversuche im Gefäß oder Feld. Die nach der Düngemittelverordnung vorgeschriebenen Löslichkeitsuntersuchungen dienen als erster Anhaltspunkt zur Wirksamkeit des Düngers, können jedoch die komplexe Situation im Boden nicht vollständig abbilden.

Die Düngewirkung resp. Pflanzenverfügbarkeit des im Dünger enthaltenen Phosphats wird über die Ausnutzung im Vergleich zu einem gut pflanzenverfügbaren Mineraldünger bewertet. Bei den untersuchten Rezyklaten zeigten sich folgende Wirksamkeiten: MAP verhält sich in seiner Wirkung ähnlich wie Super- bzw. Tripelsuperphosphat und stellt damit einen wirksamen P-Dünger dar. Etwas weniger wirksam zeigen sich Mg-Phosphate, Calcium-Silico-Phosphate und Calciumphosphate, die in ihrer Wirkung etwa im Bereich von Thomasphosphat liegen. Aufgrund ihrer i.d.R. mangelnden Wirksamkeit können Rezyklate mit Aluminiumphosphat- und Eisenphosphat-Verbindungen ebenso wie nicht aufbereitete Aschen nicht empfohlen werden. Zu beachten ist, dass die Düngewirkung mancher Rezyklate vom pH-Wert des Bodens beeinflusst wird.

Zur Rückgewinnung der Rezyklate aus Klärschlämmen bzw. Klärschlammaschen werden verschiedene thermochemische oder nasschemische Verfahren angewendet, um die Schadstoffe zu separieren. Die wenigen hierzu verfügbaren Untersuchungen zeigen, dass diese Verfahren i.d.R. zu einer Reduzierung der Schadstoffgehalte führen, jedoch nicht immer ausreichen, um Qualitäten zu erzielen, die den Qualitätsanforderungen der DüMV entsprechen.

- Zur Beurteilung der Recyclingeffizienz reicht es nicht aus, den (Gesamt) P-Gehalt in einem potenziellen Düngerprodukt zu ermitteln, sondern es ist erforderlich, auch die Wirksamkeit, d.h. Pflanzenverfügbarkeit resp. P-Ausnutzung durch die Pflanze als Bewertungskriterium heranzuziehen.

2. Kongress: Phosphor - Ein kritischer Rohstoff mit Zukunft -
am 26. und 27. Oktober 2016 im Kursaal Stuttgart Bad Cannstatt

- Dringend erforderlich sind Untersuchungen zu (organischen) Schadstoffgehalten in den Rezyklaten, um eine fundierte Verfahrensbeurteilung zu ermöglichen. Zum Vergleich der Schadstoffabreicherung der Verfahren wäre idealerweise eine Aufbereitung mit gleichem bzw. sehr ähnlichem Ausgangsmaterial (z.B. Klärschlamm, Klärschlammasche) zu testen.
- Für die Bewertung von Schwermetall- oder anderen Schadstoff-Gehalten wird die Einführung einer auf Dünger-P-Äquivalent bezogenen Angabe empfohlen, da diese besser geeignet ist, den Eintrag in den Boden zu bilanzieren als eine reine Konzentrationsangabe.
- Die Festlegung konkreter rechtlicher Vorgaben an die Rezyklatqualität (u.a. P-Verfügbarkeit, Schadstoffe, Begleitstoffe), z.B. in Verbindung mit einer Positivliste an möglichen Rezyklaten, sollte vorangetrieben werden.
- Es wird empfohlen, die Entwicklung aussichtsreicher Verfahren für die Herstellung (direkte Düngerherstellung) von Rezyklaten mit einer hohen Düngewirksamkeit (z.B. >75 %) voranzutreiben (z.B. weitere Möglichkeiten zur Fällung von MAP). Bei Verfahren mit mittleren Rezyklat-Düngewirksamkeiten von 25 – 75 % (i.W. Calciumphosphate) ist zu prüfen, ob diese durch weitere Optimierung zu steigern sind. Hinsichtlich der Düngewirksamkeit ungeeignete Verfahren bzw. Verwertungswege sollten nicht weiterverfolgt werden (z.B. die meisten Rohaschen, Verdünnungen mit Phosphorsäure), auch wenn Schadstoff-Grenzwerte eingehalten werden.
- Es sollten größere Mengen an Testmaterialien verschiedener Rezyklat-Arten bereitgestellt werden, um die Integration dieser in den Düngemittel-Herstellungsprozess zu überprüfen. Nach positiven Tests: Hinwirken auf eine Selbstverpflichtung zur Abnahme und Verwendung der Rezyklate, so dass die aufwändig erzeugten Rezyklate auch tatsächlich zurück in den Kreislauf geführt werden.
- Zu prüfen wäre auch eine mögliche Eignung von Rezyklaten und Rohaschen als Ersatz für Rohphosphat im Aufbereitungsprozess der Düngerherstellung (technisch, energetisch, wirtschaftlich).
- Es sollten vorbereitende Maßnahmen zur Sicherstellung der Akzeptanz der Rezyklate bei Landwirten und Abnehmern landwirtschaftlicher Produkte getroffen werden, z.B. über Qualitätssiegel.
- Die Einstufung von P-Rezyklaten aus Abwasser, Klärschlamm oder Klärschlammaschen als Abfall kann aufgrund von Vorbehalten gegenüber dem Einsatz von Abfällen im Produktionsprozess zu Schwierigkeiten bei der Rückführung solcher Rezyklate zur Herstellung von Produkten in der Düngemittelindustrie führen. Als Maßnahme zur Förderung der Verwendung von P-Rezyklaten empfiehlt sich daher der Erlass einer auf § 5 Abs. 2 KrWG zu stützenden Rechtsverordnung, in der spezifische Anforderungen geregelt werden, die P-Rezyklate erfüllen müssen, um das Ende der Abfalleigenschaft zu erreichen. Durch eine solche Verordnung können zudem Rechtsunsicherheiten beseitigt werden, die die derzeit unmittelbar nach § 5 Abs. 1 KrWG vorzunehmende Einstufung von P-Rezyklaten als Abfall oder Produkt aufwirft.

Eine Abnahmepflicht der Düngemittelindustrie für P-Rezyklate ist bei Wahrung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes mit der verfassungsrechtlich garantierten Berufsfreiheit vereinbar. Die Einführung einer gesetzlichen Abnahmepflicht ist daher zulässig, soweit die damit verbundenen Eingriffe in technischer, wirtschaftlicher und rechtlicher Hinsicht zu dem Vorteil der Ressourcenschonung in einem angemessenen Verhältnis stehen. Die gesetzgeberischen Eingriffe können umso weiter reichen, je dringlicher eine Schonung der natürlichen Ressource Phosphor unter Beachtung des umweltrechtlichen Vorsorgegrundsatzes wird.

- Trotz der grundsätzlich zu bejahenden rechtlichen Zulässigkeit einer Abnahmepflicht für P-Rezyklate wird eine solche Maßnahme derzeit nicht empfohlen, da ansonsten das Abwandern von Teilen der Düngemittelproduktion in das Ausland zu befürchten ist.
- Sollte entgegen dieser Empfehlung eine Abnahmepflicht eingeführt werden, wird diese im Hinblick auf den verfassungsrechtlichen Verhältnismäßigkeitsgrundsatz behutsam auszugestaltet sein. Zudem ist zu beachten, dass die Einführung der Abnahmepflicht nicht zu einer Beeinträchtigung der Verkehrsfähigkeit ausländischer Düngemittel in Deutschland führen darf, weil anderenfalls die unionsrechtlich gewährleistete Warenverkehrsfreiheit verletzt würde. Eine Abnahmepflicht wird sich daher unionsrechtskonform nur als Anforderung an den Produktionsprozess, nicht als produktbezogene Voraussetzung für das Inverkehrbringen von Düngemitteln ausgestalten lassen.

4 Themenschwerpunkt: Verbrennung, Langzeitlagerung und Landfill Mining

Im Mai 2013 trat die u.a. um § 23 Abs. 6 novellierte Deponieverordnung (DepV) [3] in Kraft. Es wurde eine Ausnahme zur Nachweispflicht der späteren Verwertung für Klärschlammaschen aus Monoverbrennungsanlagen (Langzeitlagerung) festgeschrieben. Diese Ausnahme ist auf maximal 5 Jahre befristet und kann bis längstens zum 30.06.2023 verlängert werden. Regelungen über diesen Zeitraum hinaus existieren derzeit nicht.

- Zur Ressourcensicherung sollte der Bau von Monoverbrennungsanlagen und die Lagerung von Klärschlammaschen forciert werden, auch ohne dass Phosphorrückgewinnungsverfahren aus Klärschlammasche aktuell marktreif/ wirtschaftlich sind.
- Die separate Lagerung von Verbrennungaschen ist technisch einfach umsetzbar, daher sollte dies nach einer möglichst kurzen Übergangsfrist für sämtliche Aschen ab einem P-Gehalt von bspw. 3 % vorgeschrieben werden.
- Für eine rechtssichere Langzeitlagerung, z.B. in Monokompartimenten von Deponien, sollte die Befristung bis 2023 aufgehoben und um ca. 30 Jahre verlängert werden. Auf Antrag soll die Frist abermals verlängert werden können. Sollte eine spätere Nutzung der Aschen aus technischen, wirtschaftlichen oder sonstigen Gründen nicht möglich sein, muss die Option eines ordentlichen Abschlusses der Deponie (Oberflächenabdichtung, Stilllegung) gegeben sein.

Bei der Mitverbrennung in Kohlekraftwerken werden derzeit (2014) ca. 13.300 Mg P/a mit der anfallenden Asche entsorgt und stehen zur Phosphorrückgewinnung nicht mehr zur Verfügung. Bei der Mitverbrennung in Kohlekraftwerken können aus technischer Sicht Klärschlammengen von 4 % bei Braunkohle und 1,5 % bei Steinkohle bezogen auf den Feststoffgehalt (5 – 10 % bezogen auf die Originalsubstanz) mitverbrannt werden [4, 5]. Unter Einbeziehung der zu verbrennenden Klärschlamm- und Kohlemengen, dem Trockenrückstand und dem Aschegehalt sowie einem durchschnittlichen P-Gehalt im Klärschlamm ergibt sich eine rechnerische P-Konzentration in der Verbrennungasche für Großkraftwerke von unter 5 g P/kg TR (0,5 % P). Dieser Wert wird durch Ascheanalysen bestätigt. Neben den Großkraftwerken wird Klärschlamm ebenso in Grubenkraftwerken (Zechenkraftwerken) mitverbrannt. Die dort verbrannte Veredlungskohle (Brikettierkohle) verbrennt ascheärmer als Kesselkohle und es werden mit ca. 15 % bezogen auf den Trockenrückstand deutlich höhere Klärschlammanteile mitverbrannt. Die anfallende Asche besteht zu ca. zwei Dritteln aus Klärschlammasche und zu einem Drittel aus Braunkohleasche [6]. Die anhand einer Mischungsrechnung ermittelte Phosphorkonzentration in der Asche beträgt ca. 40 g P/kg TR (4 % P).

- Eine Phosphorrückgewinnung aus Mitverbrennungaschen von Klärschlämmen und aschearmen Kohlen könnte bei steigenden Phosphorpreisen wirtschaftlich werden. Daher sollte die Lagerung dieser Aschen in Monokompartimenten analog der separaten Lagerung von Monoverbrennungaschen erfolgen. Eine Mitverbrennung sollte also nicht per se verboten werden, sondern bedarf einer Einzelfallbetrachtung, insbesondere solange die Monoverbrennungskapazitäten nicht ausreichen, um den gesamten anfallenden Klärschlamm zu entsorgen. Auch die gemeinsame Verbrennung von Klärschlamm mit anderen aschearmen, schadstoffarmen und phosphorreichen Materialien (z.B. Tiermehl) sollte zulässig sein.
- Für die Überprüfung der Entwicklung der Mono- und Mitverbrennung von Klärschlamm wäre es sinnvoll, bei der statistischen Erhebung der Klärschlammengen und -entsorgungswege die Aufteilung des Entsorgungsweges „Thermische Behandlung“ in Mono- und die jeweilige Mitverbrennung zu unterscheiden.

Die gesamte in Deponien bzw. Lagern abgelagerte Phosphormenge von 1979 bis 2012 beträgt ca. 335.800 Mg P, wovon ca. 293.800 Mg P im Klärschlamm und 42.000 Mg P in den Klärschlammmonoverbrennungaschen vorhanden sind. Anfang der 1980er Jahre waren die abgelagerten Klärschlammengen (ca. 55 % Deponierung) sowie die Schwermetallgehalte im Klärschlamm hoch, die P-Konzentrationen im Klärschlamm jedoch gering. Zum Ende des Betrachtungszeitraums war das Verhältnis umgekehrt. Bei einem Inlandsabsatz von phosphorhaltigen Düngemitteln von derzeit ca.

130.000 Mg P/a könnte die in den Deponien vorhandene Phosphormenge bei vollständiger Rückholung den Düngemittelbedarf für ca. 2,7 Jahre decken. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein Großteil der im Betrachtungszeitraum abgelagerten Klärschlämme bzw. Klärschlammaschen gemeinsam mit Hausmüll bzw. Siedlungsabfällen abgelagert wurden. Der Klärschlammanteil betrug in Ab

hängigkeit der Einbauvariante zwischen 5 und 13 % bzw. 1 bis 3 % vom Hausmüll- bzw. Siedlungsabfallvolumen, so dass der Klärschlamm stark verdünnt in den Deponien bzw. Lagern vorliegt. Ebenso ist nicht davon auszugehen, dass bspw. bei der Mietendeponierung nur gezielt die Klärschlammiete rückgebaut werden kann. Verfahren und Techniken zur Phosphorrückgewinnung aus den Deponierückständen stehen derzeit nicht zur Verfügung und Erfahrungen liegen noch nicht vor. Ebenso ist fraglich, ob eine Trennung zwischen Hausmüll bzw. Siedlungsabfall und Klärschlamm möglich ist. Die Phosphormengen in den Lagern und Deponien stehen zwar theoretisch zur Verfügung, sie werden aber nach jetzigem Kenntnisstand nicht zur Ressourcenschonung beitragen können.

- Aufgrund zu geringer Gesamtpotenziale ist für Phosphor ein breit angelegtes Landfill Mining nicht sinnvoll. Lohnenswert erscheint die gezielte Betrachtung von Klärschlammmonodeponien/-lagern, die anhand von Studien zur Potenzialerhebung auf Länderebene durchgeführt werden sollte.
- Für die Durchführung von Landfill Mining Projekten sollte als Auflage festgelegt werden, dass auch der P-Gehalt bestimmt wird und Maßnahmen zur P-Gewinnung geprüft werden.

5 Themenschwerpunkt: Einsparpotenziale von Phosphor

Die außerlandwirtschaftlichen Anwendungen für Phosphor fallen vergleichsweise unbedeutend aus (ca. 10 % der Gesamtphosphormenge). Dennoch wurden einige Einsparungsmöglichkeiten ermittelt.

- Im Bereich Detergenzien wird empfohlen, die Forschung zur Substitution von Phosphaten mit gleichwertigen Rezepturen ohne negative Auswirkungen auf ökologische Systeme voranzutreiben.
- Im Bereich Lebensmittel wird die Entwicklung von gleichwertigen Alternativen für phosphorhaltige Zusatzstoffe und Alternativprodukte unter Einbezug von Lebensmittelchemikern empfohlen.
- Bei der Metallbearbeitung empfiehlt es sich, Phosphatiervverfahren durch freiwillige Herstellervereinbarungen und Zuschüsse auf umweltfreundliche Alternativen umzustellen.

6 Fazit und Ausblick

Zur Erstellung einer bundesweiten Phosphorstrategie, die von der Politik mit allen relevanten Akteuren aus den Bereichen Landwirtschaft, Düngemittelindustrie, Klärschlammherzeuger, Anlagenbetreiber und -ausrüster sowie Entsorgungsunternehmen unter Einbeziehung der Fachbehörden und Forschungseinrichtungen erarbeitet werden sollte, wurden zahlreiche Empfehlungen vorgelegt. Dabei wurde darauf hingewiesen, dass noch einige Fragen offen sind bzw. verschiedene Aspekte genauer betrachtet werden müssen. Vor dem Hintergrund der Klärschlammverordnung, die nach Inkrafttreten die rechtlichen Vorgaben zur Phosphorrückgewinnung definieren wird, ist somit Handlungsbedarf an mehreren Stellen gegeben. Die betroffenen Klärschlammherzeuger benötigen Planungssicherheit, die die rechtlichen Regelungen vorgeben werden, aber auch einen Rahmen, in den sich die örtlich vorzunehmenden Maßnahmen sinnvoll einbetten, so dass sich auch tatsächlich eine Kreislaufwirtschaft für Recycling-Phosphate ausbildet.

Dank

Dieses Vorhaben wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes im Rahmen des Umweltforschungsplanes – FKZ 3713 26 301 – erstellt und mit Bundesmitteln finanziert. Wir danken dem Umweltbundesamt für die Förderung und die vertrauensvolle fachliche Begleitung des Vorhabens. Der Abschlussbericht ist als UBA-Text 98/2015 veröffentlicht worden: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/bewertung-konkreter-massnahmen-einer-weitergehenden>

Literatur

- [1] C.-G. Bergs (2016): Stand der Klärschlammverordnung (AbfKlärV). In: 49. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft. Schriftenreihe Gewässerschutz-Wasser-Abwasser (GWA) Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp, Aachen.
- [2] C.-G. Bergs (2016): Aktueller Sachstand zur Novellierung der AbfKlärV. Perspektiven der Klärschlammverwertung. Tagung der Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) - Landesverband Nord, 13.-14. September 2016, Bremen.
- [3] DepV: Deponieverordnung vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), die zuletzt durch Artikel 7 der Verordnung vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973) geändert worden ist.
- [4] DWA (Hrsg.): Thermische Behandlung von Klärschlämmen – Mitverbrennung in Kraftwerken. DWA-Regelwerk, DWA-M 387, Mai 2012. ISBN 978-3-942964-29-6.
- [5] F. Lehrmann: Überblick über die thermische Klärschlammbehandlung – Trocknung, Monoverbrennung und Mitverbrennung-. In: Energie aus Abfall Band 10. Hrsg. K.J. Thomé-Kozmiensky und Michael Beckmann. TK Verlag Neuruppin, 2013. ISBN 978-3-944310-06-0.
- [6] U. Peters: Phosphorrückgewinnung aus Aschen der Mitverbrennung in Braunkohlekraftwerken der RWE Power AG. Vortrag und Manuskript, 8. DWA Klärschlammtag, Fulda, 4.-6. Juni 2013.

2. Kongress: Phosphor - Ein kritischer Rohstoff mit Zukunft -
am 26. und 27. Oktober 2016 im Kursaal Stuttgart Bad Cannstatt

Autoren

Dr.-Ing. David Montag
Dipl.-Ing. Wibke Everding
Dipl.-Ing. Susanne Malms
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp
RWTH Aachen University
Institut für Siedlungswasserwirtschaft
52056 Aachen
E-Mail: montag@isa.rwth-aachen.de

Dipl.-Biol. Horst Fehrenbach
Dipl.-Geoök. Joachim Reinhardt
IFEU Institut für Energie- und Umweltforschung
Wilckensstraße 3, 69120 Heidelberg
E-Mail: horst.fehrenbach@ifeu.de

Dr. Ute Arnold
Dr. Manfred Trimborn
Prof. Dr. Heiner Goldbach
Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz der Rheinischen-Friedrich-Wilhelms
Universität Bonn
Karlrobert-Kreiten-Str. 13, 53115 Bonn
E-Mail: uarnold@uni-bonn.de

Prof. Dr. Wolfgang Klett
Thomas Lammers
Köhler & Klett Partnerschaft von Rechtsanwälten mbB, Köln
Von-Werth-Straße 2, 50670 Köln
E-Mail: w.klett@koehler-klett.de