



Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall

## **Bericht**

# **„Bewertung von Handlungsoptionen zur nachhaltigen Nutzung sekundärer Phosphorreserven“**

**Stand 30. Januar 2012**

Herausgeber: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall

erarbeitet von einem Ad-hoc-Arbeitskreis  
unter Vorsitz des Landes Baden-Württemberg

## Inhaltsverzeichnis

- 0 Zusammenfassung
- 1 Auftrag des Ad-hoc-Arbeitskreises
- 2 Struktur des Phosphoreinsatzes in Deutschland
- 3 Bewertung der Handlungsoptionen
  - 3.1 Rückgewinnungsgebot für Phosphor aus relevanten Stoffströmen
    - 3.1.1 Klärschlamm
    - 3.1.2 Wirtschaftsdünger
    - 3.1.3 Gärrückstände
    - 3.1.4 Komposte
    - 3.1.5 Rückstände aus der biologischen Behandlung von Hausmüll
    - 3.1.6 Tierische Nebenprodukte
    - 3.1.7 Ehemalige Klärschlammdeponien
    - 3.1.8 Abwasser
    - 3.1.9 Weitere Abfälle
    - 3.1.10 Flankierende Regelungen
    - 3.1.11 Zusammenfassung des Abschnitts
  - 3.2 Rückgewinnungsquoten gemäß dem Stand der Technik
    - 3.2.1 Randbedingungen für eine Rückgewinnungsquote
    - 3.2.2 Berücksichtigung der Ausgangsstoffe
  - 3.3 Beimischungsquote für sekundär gewonnenen Phosphor
  - 3.4 Förderung der Etablierung und Weiterentwicklung geeigneter P-Rückgewinnungsverfahren
  - 3.5 Bewertung der technischen Machbarkeit und der Wirtschaftlichkeit von geeigneten Rückgewinnungsverfahren, insbesondere bei der Übernahme in den Regelbetrieb von Abwasserbehandlungsanlagen
  - 3.6 Bewertung der Sekundärprodukte als Düngemittel
    - 3.6.1 Anforderungen an Düngemittel
    - 3.6.2 Untersuchungen zur Düngewirkung und Auswirkung auf die Umwelt
  - 3.7 Verdünnungsverbot für Matrices mit Phosphor-Gehalten über 5 % (Monoverbrennung, räumlich getrennte rückholbare Ablagerung, Aufnahme des Parameters P in die Versatzverordnung)

- 3.8 Stärkere P-Nutzung von Tiermehl<sup>1</sup> aller Kategorien, sofern keine anderweitige Verwertung des Tiermehls erfolgt
- 3.9 Beobachtung und Bewertung von Entwicklungen der Phosphorrückgewinnung in anderen Staaten
- 3.10 Vorschläge des Arbeitskreises

---

<sup>1</sup> Der Begriff „Tiermehl“ wird im Recht der tierischen Nebenprodukte nicht mehr verwendet. Laut Begriffsbestimmung der Verordnung (EU) Nr. 142/2011 wird zwischen „verarbeitetem tierischen Protein“ (ausschließlich Kat.3-Material) sowie „Fleisch- und Knochenmehl“ aus Material der Kategorie 1 oder 2 unterschieden.

## 0 Zusammenfassung

Bei steigender Weltbevölkerung auf 9 Milliarden Menschen im Jahre 2050 (UN Prognose) und zunehmenden Wohlstandsansprüchen wird der Phosphorbedarf weltweit deutlich steigen. Die derzeit wirtschaftlich abbaubaren Phosphorvorkommen weisen insgesamt immer höhere Schadstoffbelastungen auf. Der Abbau in den Herkunftsländern sowie die Verarbeitung zu Mineraldüngern sind mit erheblichen Umweltbelastungen und hohem Energiebedarf verbunden. Daher wird es zukünftig notwendig werden, Phosphor verstärkt aus Abfällen und anderen Stoffen zu gewinnen, um insbesondere aus Primärrohstoffen hergestellte mineralische Phosphordünger durch Recyclingprodukte zu substituieren. Die effiziente Nutzung der in Deutschland vorhandenen sekundären Phosphorquellen ist deshalb anzustreben. Durch die Etablierung von geeigneten P-Rückgewinnungsverfahren kann künftigen Abhängigkeiten entgegengewirkt, die Ernährung der Bevölkerung gesichert und die mit dem Phosphorabbau verbundene Umweltbelastung reduziert werden. Die wichtigsten Quellen für die Rückgewinnung von Phosphor sind Abwasser, Klärschlamm, Klärschlammasche und tierische Nebenprodukte (z. B. Tiermehl).

Derzeit befindet sich eine Vielzahl von Phosphorrückgewinnungsverfahren in der Entwicklung. Die großtechnische Umsetzung ist jedoch gegenwärtig erst in wenigen Fällen erfolgt und wirtschaftlich möglich. Weitere Arbeiten sind daher notwendig, um die noch vorhandenen technischen Probleme zu lösen und die Wirtschaftlichkeit zu verbessern.

Die UMK hat die LAGA mit Beschluss vom 12.11.2010 mit der Bewertung von Handlungsoptionen zur Phosphorrückgewinnung beauftragt. Hierzu gibt die LAGA die folgenden Bewertungen ab:

### 1. Rückgewinnungsgebot für Phosphor aus relevanten Stoffströmen

Rückgewinnungsgebote sind grundsätzlich sinnvoll und erforderlich, vor allem für kommunales Abwasser, kommunalen Klärschlamm und tierische Nebenprodukte.

## 2. Rückgewinnungsquote gemäß dem Stand der Technik

Grundsätzlich sind Rückgewinnungsquoten sinnvoll, um Rückgewinnungsgebote umzusetzen. Rückgewinnungsquoten setzen allerdings einen für viele relevante Anwendungsfälle bisher noch nicht vorhandenen Stand der Technik voraus.

## 3. Festlegung einer Beimischungsquote für sekundär gewonnenen Phosphor zu mineralischen P-Düngern

Die Einführung einer Beimischungsquote wird derzeit wegen der dafür erforderlichen definierten Eigenschaften von Düngemitteln nicht empfohlen. Es sind jedoch andere Instrumente vorstellbar, die in ähnlicher Weise wie die Beimischungsquote die Markteinführung sicherstellen. Allerdings sind derartige Markteinführungsinstrumente kaum national, sondern nur auf EU-Ebene realisierbar.

## 4. Förderung der Etablierung und Weiterentwicklung geeigneter P-Rückgewinnungsverfahren

Die Etablierung und Weiterentwicklung geeigneter P-Rückgewinnungsverfahren sind notwendig und weiter zu fördern. Es wird die Einrichtung einer Phosphor- Informations- und Monitoringplattform empfohlen, um Forschungsergebnisse zu bündeln und Interessenten zur Verfügung zu stellen.

## 5. Bewertung der technischen Machbarkeit und der Wirtschaftlichkeit von geeigneten Rückgewinnungsverfahren, insbesondere bei der Übernahme in den Regelbetrieb von Abwasserbehandlungsanlagen

Es gibt bereits positive Betriebserfahrungen für P-Rückgewinnungsverfahren, die zur Übernahme in den Regelbetrieb von bestimmten Abwasserbehandlungsanlagen geeignet sind. Bei größeren Umbauten und neu zu errichtenden Kläranlagen sollte es in der Regel auch unter Wirtschaftlichkeits- und Förderaspekten möglich sein, P-Rückgewinnungsverfahren zu integrieren.

## 6. Bewertung der Sekundärprodukte bzgl. ihrer Verwendung (bei Düngemitteln insbesondere der Kriterien Wirksamkeit und Unschädlichkeit)

Die bisher vorliegende Datenbasis ist noch nicht ausreichend, um valide Aussagen zur Düngewirkung, Auswirkung auf Umweltmedien und zum Verbraucherschutz zu treffen. Weitere Untersuchungen – insbesondere Freilandversuche – sind deshalb

notwendig. Bisher gemessene Schadstoffgehalte von Phosphorrecyclingprodukten sind fast durchgängig als unkritisch zu bewerten.

7. Verdünnungsverbot für Matrices mit Phosphor-Gehalten über 5 % (Monoverbrennung, räumlich getrennte, rückholbare Ablagerung, Aufnahme des Parameters P in die Versatzverordnung)

Ein Verdünnungsverbot für Matrices mit Phosphor-Gehalten über 2 % wird empfohlen, damit Phosphor einer Verwertung nicht entzogen wird. Die Mitverbrennung solcher Matrices ist durch die Monoverbrennung zu ersetzen, es sei denn, der Phosphor wird vorher zurück gewonnen. Sofern Monoverbrennungsaschen nicht direkt zu Düngemitteln aufbereitet werden, sind separate Langzeitlager für diese Aschen in der Diskussion, damit der Phosphor zu einem späteren Zeitpunkt zurückgewonnen werden kann. Kurzfristig ist hierfür die Entwicklung von Verfahren zur wirtschaftlich effizienten Lagerung von Monoverbrennungsaschen notwendig, die eine für die spätere P-Rückgewinnung nachteilige Veränderung der Aschen ausschließen. Danach ist über eine Verpflichtung zur separaten Lagerung dieser Aschen zu entscheiden. Eine Aufnahme des Parameters P in die Versatzverordnung ist zu prüfen.

8. Stärkere P-Nutzung von Tiermehl aller Kategorien, sofern keine anderweitige Verwertung des Tiermehls erfolgt

Mit Blick auf das bei Kategorie 1 vorhandene, bisher nicht genutzte P-Potenzial sollten die dafür erforderlichen rechtlichen Änderungen hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit erörtert werden.

9. Beobachtung und Bewertung von Entwicklungen der Phosphorrückgewinnung in anderen Staaten

Die Entwicklung von Phosphorrückgewinnungsverfahren hat im internationalen Maßstab in den vergangenen Jahren ganz erheblich an Dynamik zugelegt. Mittlerweile werden in zahlreichen Staaten derartige Projekte und Initiativen durchgeführt. Diese Entwicklungen sind weiterhin zu beobachten und im Hinblick auf den Einsatz in Deutschland zu bewerten.

## **1 Auftrag des Ad-hoc Arbeitskreises**

Zur Problematik der Ressource Phosphor (P) ist in der Öffentlichkeit und in der Politik bisher wenig bekannt. Teilweise abnehmende Qualitäten der abgebauten Rohphosphate sowie zurückgehende wirtschaftlich abbaubare Phosphorvorkommen führen langfristig zu einer Verknappung von Phosphor auf dem Weltmarkt. Eine weiter anwachsende Weltbevölkerung und steigende Ernährungs- und Wohlstandsansprüche lassen in einigen Jahrzehnten Probleme bei der Versorgung mit Phosphor erwarten, denen heute vorausschauend und vorbeugend begegnet werden kann. Darüber hinaus sind die Gewinnung der Rohphosphate in den Herkunftsländern und ihre Verarbeitung zu Mineraldüngern mit erheblichen und immer weiter zunehmenden Umweltbelastungen verbunden. Es ist daher erforderlich, bei politischen Entscheidungsträgern und Öffentlichkeit das Bewusstsein für die ökologischen Aspekte des Imports von herkömmlichen mineralischen Phosphatdüngern und das Interesse für die Bedeutung einer ausreichenden Versorgung mit Phosphor zu schärfen. Die Entwicklung geeigneter Maßnahmen zur teilweisen Substitution der Phosphatimporte durch Phosphorrückgewinnung stellt in der aktuellen Situation ein wichtiges Handlungsfeld für die langfristige Sicherstellung einer ökologisch verträglichen Phosphorversorgung dar.

Die Zersplitterung der Kenntnisse zum Phosphormarkt auf verschiedene Politikbereiche wie Wirtschaft, Außenhandel, Landwirtschaft, Industrieproduktion und Umwelt bzw. Entsorgungswirtschaft machen es notwendig, die Belange aller Beteiligten zusammenzufassen und einen ganzheitlichen Ansatz zu entwickeln.

Die Länder Baden-Württemberg und Bayern haben bereits 2008 die Initiative ergriffen für eine Bund-Länder-Strategie Phosphor-Recycling. Aufgrund dieser Initiative wurde ein erster Bericht in die UMK vom 12.11. 2010 eingebracht. Die UMK hat unter TOP 30 Nachhaltige Nutzung der Ressource Phosphor aus Abwasser, Klärschlamm und weiteren Stoffen den Bericht der Länder Baden-Württemberg, Bayern, Berlin, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und des Bundes zur Kenntnis genommen und einen Prüfauftrag an die LAGA erteilt.

Die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) hat vor diesem Hintergrund mit Umlaufbeschluss 2011/01 vom 21. Februar 2011 den Ad-hoc Arbeitskreis „Bewertung

von Handlungsoptionen zur nachhaltigen Nutzung sekundärer Phosphorreserven“ eingerichtet. Aufgabe des Arbeitskreises ist es, entsprechend dem Beschluss der 75. Umweltministerkonferenz vom 12. November 2010 in Dresden unter Beteiligung der LAWA und der LABO sowie der Acker- und Pflanzenbaureferenten die folgenden Handlungsoptionen zu bewerten:

1. Rückgewinnungsgebot für Phosphor aus relevanten Stoffströmen (z.B. Abwasser inklusive Klärschlamm, Tiermehl, Überschussgülle, Klärschlammassche)
2. Rückgewinnungsquote gemäß dem Stand der Technik
3. Festlegung einer Beimischungsquote für sekundär gewonnenen Phosphor zu mineralischen P-Düngern
4. Förderung der Etablierung und Weiterentwicklung geeigneter P-Rückgewinnungsverfahren
5. Bewertung der technischen Machbarkeit und der Wirtschaftlichkeit von geeigneten Rückgewinnungsverfahren, insbesondere bei der Übernahme in den Regelbetrieb von Abwasserbehandlungsanlagen
6. Bewertung der Sekundärprodukte bzgl. ihrer Verwendung (bei Düngemitteln insbesondere der Kriterien Wirksamkeit und Unschädlichkeit)
7. Verdünnungsverbot für Matrices mit Phosphor-Gehalten über 5 % (Monoverbrennung, räumlich getrennte, rückholbare Ablagerung, Aufnahme des Parameters P in die Versatzverordnung)
8. Stärkere P-Nutzung von Tiermehl aller Kategorien, sofern keine anderweitige Verwertung des Tiermehls erfolgt

## 9. Beobachtung und Bewertung von Entwicklungen der Phosphorrückgewinnung in anderen Staaten

Der Arbeitskreis hat die vorgegebenen Handlungsoptionen in gemeinsamen Sitzungen sowie mehreren Unterarbeitsgruppen geprüft und bis zum 13. Januar 2012 den folgenden Bewertungsstand erarbeitet.

## 2 Struktur des Phosphoreinsatzes in Deutschland

- (1) Natürlicherweise kommt Phosphor ausschließlich in gebundener Form meist in Form von Phosphat<sup>2</sup> in der Erdkruste vor (Gehalt in der Erdkruste: ca. 0,09 %). Die wichtigste Mineralgruppe für die Herstellung von Phosphor und Phosphorverbindungen sind die Apatite. 95 % des Phosphors auf der Erde ist in Apatiten gebunden. Dabei stehen das Fluorapatit und der mit Calciumcarbonat durchsetzte Phosphorit ökonomisch im Vordergrund. Ferner sind mehr als 200 phosphorhaltige Minerale wie Wavellit, Vivianit oder Türkis bekannt, die > 1 Massen-% Phosphat enthalten. Elementarer Phosphor wird durch thermische Behandlung (1400 - 1500°C) eines Gemisches von Phosphatkonzentrat mit Koks und Quarz gewonnen. 8 Mg Phosphat (mit 31 M.-% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 2,8 Mg Quarzkies (> 95 M.-% SiO<sub>2</sub>), 1,25 Mg Koks und Energie (1300 kW/Mg P) ergeben etwa 1 Mg Phosphor.
- (2) Neben der Verwendung in mineralischen Düngemitteln werden Phosphate und Phosphorverbindungen in verschiedenen Branchen vielfältig benutzt. Beispielsweise wird Phosphat in Futtermitteln (Dicalciumphosphat), als Korrosionsschutzmittel (Phosphatierung) und in Flammschutzmitteln eingesetzt. Des Weiteren haben organische Phosphorsäure-Verbindungen in Kunststoff- und Lackergezeugnissen die Funktion eines Weichmachers. Für die Wasserenthärtung in Wasch- und Reinigungsmitteln wird unter anderem Pentanatriumtriphosphat verwendet. Schwefelhaltige Phosphorverbindungen dienen u.a. zur Herstellung von Schädlingsbekämpfungsmitteln. In Form von Lebensmittelzusatzstoffen finden Phosphate wie Natriumphosphat (E 339), Kaliumphosphat (E 340), Calciumphosphat (E 341), Magnesiumphosphat (E 343), die Salze der ortho-Phosphorsäure

---

<sup>2</sup> Im Bericht wird zwischen den Begriffen Phosphat und Phosphor nicht differenziert

Diphosphat (E 450), Triphosphat (E 451), Polyphosphat (E 452) und Phosphorsäure (E 338) als Konservierungsmittel, Säuerungsmittel, Säureregulatoren, Emulgatoren, Festigungsmittel, Schmelzsatz oder Antioxidationsmittel Verwendung. Vielfach wird Phosphat auch zum Erhalt des Wasserbindevermögens bei der Fleischerzeugung eingesetzt.

- (3) Da Deutschland über keine eigenen Phosphatlagerstätten verfügt, mussten im Jahr 2010 rund 118.000 Mg an ungemahlene Phosphaten importiert werden. Davon kamen rund 83 % aus Israel, die restlichen 17 % aus Syrien, Algerien und Ägypten (Quelle: BGR). Ca. 50 % dieser Rohphosphate wurden durch ein einziges Unternehmen zu Düngemitteln verarbeitet. Darüber hinaus importiert und exportiert Deutschland eine Vielzahl industriell hergestellter Phosphate und Phosphorverbindungen u. a. Calciumphosphate, Phosphorsäure und Düngemittel.

Tabelle 2.1: Zusammenstellung des P-Einsatzes in Deutschland pro Jahr nach Branchen unterteilt (Schätzung des Umweltbundesamt nach den Angaben der verschiedenen Branchen und Verbände, Bezugszeiträume teilweise unterschiedlich, Stand Juli 2011)

<b>Branche/ Verwendungszweck</b>	<b>P verwendet als</b>	<b>Einsatz pro Jahr ca. [Mg]</b>	<b>Umgerechnet auf P ca. [Mg]</b>
Düngemittel	$P_2O_5$	235.160	102.530
Futtermittel	$PO_4$	115.000	37.490
Wasch-, Pflege- und Reinigungsmittel im Bereich Privathaushalte	$Na_5P_3O_{10}$	31.800	8.050
	Phosphonate	3.900	880
	$H_3PO_4$	700	220
Wasch-, Pflege- und Reinigungsmittel im industriellen & institutionellen Bereich (I&I)	$Na_5P_3O_{10}$	3.180	810
	Phosphonate	780	180
	$H_3PO_4$	180	60
Lebensmittelindustrie	$P_2O_5$	23.000	10.030
Flammschutzmittel			4.000
Trinkwasserversorgung			4.300
Korrosionsschutz			k.A.
Pharmazeutische Erzeugnisse			k.A.
Pflanzenschutzmittel, Insektizide u. ä.			k.A.
<b>Gesamt</b>			<b>168.550</b>

In Tabelle 2.1 sind die gesamten Einsatzmengen an Phosphor in Deutschland für die verschiedenen Branchen und in Abbildung 2.1 deren prozentuale Verteilung graphisch dargestellt. Zusammengefasst lässt sich demnach für Deutschland ein P-Einsatz von insgesamt ca. 170.000 Mg P pro Jahr ermitteln, wobei zu den Anwendungsbereichen Korrosionsschutz (Farben, Lacke, Beschichtungen, Kühlkreisläufe), pharmazeutische Erzeugnisse und Produkte wie Pflanzenschutzmittel und Insektizide keine Schätzungen vorliegen. Außerdem ist von einer gewissen Unvollständigkeit der Angaben auszugehen, weil Phosphor in vielen unterschiedlichen Formen und Verbindungen verwendet wird, für die nicht in jedem Fall Angaben zu ermitteln sind. Im Futtermittelbereich muss zudem beachtet werden, dass ein weiterer Teil der Phosphate aus Calciumphosphaten tierischen Ursprungs, d.h. nicht aus mineralischen Rohphosphaten stammen.

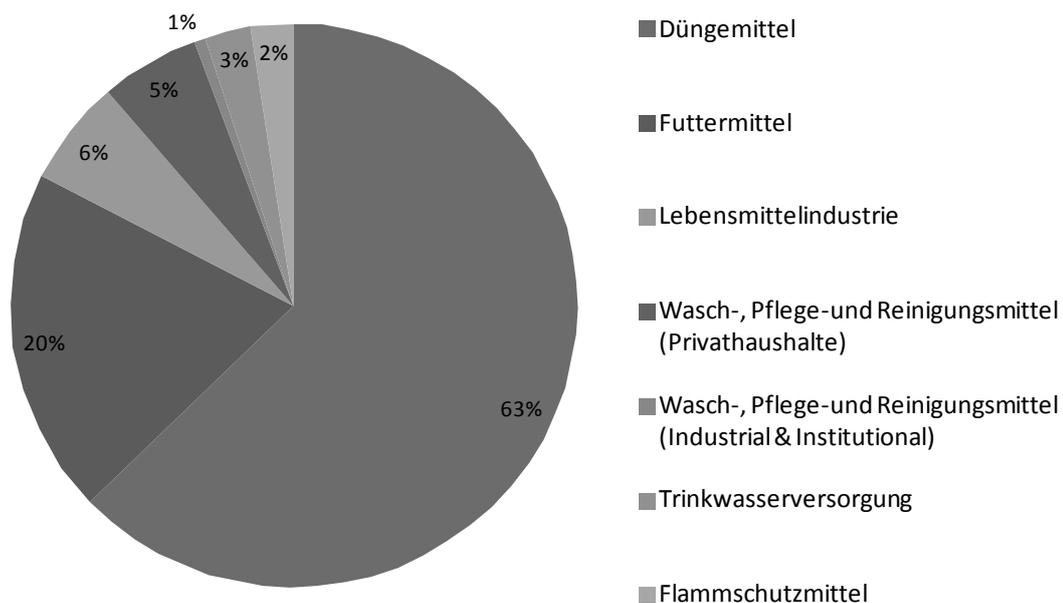


Abb. 2.1: Abschätzung der prozentualen Verteilung der Phosphor-Einsatzmengen in Deutschland (Schätzung des Umweltbundesamtes nach den Angaben der verschiedenen Branchen und Verbände, Stand Juli 2011)

### **3 Bewertung der Handlungsoptionen**

#### **3.1 Rückgewinnungsgebot für Phosphor aus relevanten Stoffströmen**

- (1) Bereits aus den Bestimmungen zur Abfallhierarchie (Recycling vor sonstiger Verwertung vor Beseitigung) in § 6 und zur Rangfolge und Hochwertigkeit der Verwertung in § 8 KrWG-E ist der Vorrang der Phosphorrückgewinnung für Abfälle ableitbar. Eine besondere gesetzliche Regelung ist für Bioabfälle und Klärschlämme nach § 11 Abs. 2 Nr. 3 KrWG-E möglich. Voraussetzung für die Anwendung von §§ 6 und 11 KrWG-E ist, dass Abfälle Gegenstand der Regelung sind, auf die das KrWG-E Anwendung findet.
  
- (2) Da ca. 60% des benötigten Phosphors zu Dünge Zwecken genutzt wird, sollte der Phosphor in der Regel in pflanzenverfügbare Form vorliegen. In anderen Anwendungsfällen (chemische Industrie oder bei bestimmten Ausgangsmaterialien) kann es zweckmäßiger sein, den Phosphor in anderer Form zu gewinnen. Für jedes Ausgangsmaterial und jeden Anwendungsfall ist zu klären, in welcher Form der Phosphor benötigt wird und wie er im Falle eines Rückgewinnungsgebotes zurückzugewinnen ist.
  
- (3) Die nachfolgend genannten Ausgangsmaterialien fallen in relevanten Mengen an. Für sie ist ein Rückgewinnungsgebot vom Arbeitskreis geprüft worden. Zu bedenken ist allerdings, dass Stoffe organischer Herkunft - wenn auch in unterschiedlicher Ausprägung - immer auch wertvolle organische Substanz und weitere Pflanzennährstoffe enthalten. Eine Bewertung des Nutzens der organischen Substanz oder weitere Inhaltsstoffe der unterschiedlichen P-haltigen Materialien ist nicht Gegenstand dieses Berichts.

##### **3.1.1 Klärschlamm**

- (1) Klärschlamm kann im Sinne des Düngerechts entweder als Ausgangsstoff zur Herstellung von Düngemitteln eingesetzt oder unter Beachtung der Vorgaben der Klärschlammverordnung zur direkten Verwertung als Düngemittel verwendet werden. Die Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Flächen wird

unter den Ländern sowie zwischen Bund und Ländern kontrovers diskutiert. Eine einheitliche Position der Länder besteht nicht.

- (2) Aus Klärschlämmen direkt (ohne P-Rückgewinnung) erzeugte Düngemittel enthalten den gesamten Phosphor des Schlammes. Der Herstellungsprozess kann bereits in der Kläranlage stattfinden. Dabei muss sichergestellt sein, dass das fertige Düngemittel ohne Verdünnung und bei Zugabe von Zusatzstoffen insbesondere die Bestimmungen des Düngerechts zu Schadstoffen, Nebenbestandteilen und Komplexbildnern einhält. Ergänzend zu den Anforderungen der Klärschlammverordnung sind die düngerechtlichen Vorgaben ggf. um weitere Schadstoffe insbesondere organische Schadstoffe zu ergänzen. Für auf diese Weise genutzten Klärschlamm ist kein P-Rückgewinnungsgebot erforderlich.
- (3) Untersuchungspflichten und der Nachweis über den Verbleib des Klärschlammes sind weiterhin erforderlich, um beispielsweise den Verursacher von unzulässigen Bodenbelastungen ermitteln zu können. Hierfür ist ggf. das Düngerecht um entsprechende Vorschriften zu ergänzen.
- (4) Sofern Klärschlamm direkt verwertet wird, haben vorherige Behandlungstechniken während der Entwässerung des Schlammes und der Phosphorelimination aus dem Abwasser Einfluss auf die Pflanzenverfügbarkeit des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors. Zur Phosphoreliminierung aus dem Abwasser werden chemisch-physikalische und biologische Verfahren eingesetzt. Die chemisch-physikalische Elimination erfolgt durch Fällung oder Flockung, wobei Metallsalze dem Abwasser zugegeben werden. Durch die Zugabe von Metallsalzen wird die Pflanzenverfügbarkeit des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors eingeschränkt. Bei der biologischen Elimination werden die im Belebtschlamm befindlichen Mikroorganismen zur erhöhten Phosphataufnahme veranlasst. Die Düngewirkung dürfte umso größer sein, je weniger Metallsalze während des Behandlungsprozesses eingesetzt worden sind.
- (5) Soweit Klärschlamm nicht direkt als Düngemittel verwendet wird, bieten sich die nachfolgenden Alternativen an. Für diese Fälle hält der Arbeitskreis zur Sicherstellung einer ausreichenden Phosphor-Rückgewinnung ein Rückgewinnungsgebot für erforderlich:

- Flüssigschlamm: Einige Verfahren ermöglichen es, Phosphor bereits während des Klärvorgangs aus dem Flüssigschlamm abzutrennen. Nach derzeitigem Stand liegt die Rückgewinnungsquote bei 45% bis 50%. Neuere Erkenntnisse lassen erwarten, dass diese Quote weiter bis auf 70 % gesteigert werden kann.
- Klärschlammasche: Ist aufgrund von rechtlichen Einschränkungen die Phosphornutzung weder in Form von aufbereitetem Klärschlamm noch durch Abtrennen aus dem Flüssigschlamm zulässig oder eine energetische Nutzung gewünscht, sollte im Hinblick auf eine Rückgewinnung der Klärschlamm getrocknet und in einer Monoverbrennungsanlage verbrannt werden. Es existieren Verfahren, die aus der Asche bis zu 90% des Phosphors gewinnen können. Auch die Asche selbst kann nach einer Aufbereitung als Düngemittel genutzt werden.
- Andere Formen der Klärschlammnutzung: Ausgefaulter Klärschlamm hat neben dem Phosphor auch weitere Eigenschaften, die an anderer Stelle genutzt werden können, wie Energiegehalt oder mineralische Bestandteile. Beides zusammen macht ihn zu einem wichtigen Zuschlagstoff z.B. bei der Zementherstellung. In solchen Fällen ist ein P-Rückgewinnungsgebot vor der weiteren Verwendung erforderlich.

### **3.1.2 Wirtschaftsdünger**

- (1) Wirtschaftsdünger sind nach der Definition des Düngegesetzes Düngemittel, die als tierische Ausscheidungen bei der Haltung von Tieren zur Erzeugung von Lebensmitteln oder bei der sonstigen Haltung von Tieren in der Landwirtschaft (Festmist, Gülle, Jauche) oder als pflanzliche Stoffe im Rahmen der pflanzlichen Erzeugung oder in der Landwirtschaft, auch in Mischungen untereinander, anfallen oder erzeugt werden. Zu den Wirtschaftsdüngern werden auch Gärrückstände und Komposte nach anaerober bzw. aerober Behandlung der genannten Stoffe gezählt.

- (2) Diese Materialien haben einen hohen Phosphorgehalt. Wirtschaftsdünger werden meist direkt auf landwirtschaftliche Flächen zur Düngung aufgebracht. Ein Rückgewinnungsgebot ist zurzeit nicht erforderlich, da der Phosphor vollständig zu Dünge Zwecken genutzt wird.
- (3) Eine regionale Beschränkung der Gülleaufbringung und Umverteilung in mit Phosphor unterversorgte Gebiete ist denkbar. Hinsichtlich der hierzu notwendigen Technik (z. B. Separationstechniken) zur Erhöhung der Transportwürdigkeit besteht allerdings Forschungsbedarf.
- (4) Werden Wirtschaftsdünger zur Biogasgewinnung genutzt, ist ein Rückgewinnungsgebot ebenfalls nicht erforderlich. Es kann jedoch für jene Gärrückstände sinnvoll werden, die nicht direkt als Dünger eingesetzt werden.

### **3.1.3 Gärrückstände**

- (1) Gärrückstände entstehen bei der anaeroben Vergärung organischer Stoffe. Ziel der Verfahren ist meist die Erzeugung von Biogas. Je nach Zulassung der Anlage werden Wirtschaftsdünger, gezielt angebaute Energiepflanzen (z.B. Mais, Sonnenblumen), tierische Abfälle oder Nebenprodukte, Bioabfälle oder Mischungen unterschiedlicher Zusammensetzung eingesetzt. Die Gärrückstände werden in der Regel zu Dünge Zwecken verwendet. Sie enthalten den gesamten Phosphor der ursprünglichen Einsatzstoffe, da dieser nicht in Biogas umgewandelt wird.
- (2) Ein Rückgewinnungsgebot für diese Gärrückstände ist nicht erforderlich, soweit sie tatsächlich im Rahmen des Düngerechts als Düngemittel genutzt werden. Hierbei ist auf das erforderliche Qualitätsmanagement in den Behandlungsanlagen sowie auf die Durchführung von Analysen zu achten. Es könnte ergänzend vorgegeben werden, dass der Phosphor nach einer Aufbereitung in einer gut pflanzenverfügbaren Form vorliegen muss.

- (3) Ein Phosphorrückgewinnungsgebot kann für Gärrückstände sinnvoll werden, wenn aufgrund einer festgestellten Belastung die Entsorgung als Abfall erforderlich wird.

#### **3.1.4 Komposte**

- (1) Komposte entstehen durch die aerobe Behandlung von Bioabfällen. Fertige Komposte unterliegen in der Regel einer Qualitätskontrolle. Für Kompost, Mulch oder Häckselgut ist ein Phosphor-Rückgewinnungsgebot nicht erforderlich.
- (2) Damit Ausgangsmaterialien aus der Nahrungs- und Futtermittelherstellung der Phosphorrückgewinnung unterzogen werden, sollten Vorgaben zur getrennten Erfassung und Abgabe an geeignete Behandlungsanlagen gemacht werden. Sofern holzige Grünabfälle (wie Baum- und Strauchschnitt) energetisch verwertet werden, sollte auf eine Nutzung der Aschen zu Dünge Zwecken oder Phosphor-Rückgewinnung geachtet werden.

#### **3.1.5 Rückstände aus der biologischen Behandlung von Hausmüll**

- (1) Die Rückstände fallen bei der mechanisch-biologischen Behandlung von Hausmüll und anderen Siedlungsabfällen an. Der für die anaerobe und/oder aerobe Behandlung in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) aussortierte organische Anteil dieser Abfälle ist aufgrund der heterogenen Zusammensetzung und des unbekanntes Schadstoffgehaltes grundsätzlich nicht für die Aufbereitung zu Düngemitteln geeignet. Die Rückstände werden gewöhnlich deponiert oder verbrannt. Hier könnte gegebenenfalls ein Phosphorrückgewinnungsgebot sinnvoll sein. Es ist vorher jedoch abzuklären, wie hoch der P-Anteil in diesen Resten ist und ob ökologisch und ökonomisch verträgliche Verfahren zur P-Extraktion vorhanden sind bzw. entwickelt werden können.
- (2) Recherchen des Umweltbundesamtes haben ergeben, dass zu den Phosphatgehalten in MBA-Rückständen keine Daten vorliegen. Die beabsichtigte Ausweitung der Getrennterfassung von Bioabfällen auf der Grundlage des neuen Kreis-

laufwirtschaftsgesetzes wird dazu führen, dass das Phosphorpotenzial der MBA-Rückstände weiter zurückgehen wird.

### **3.1.6 Tierische Nebenprodukte**

- (1) Bei tierischen Nebenprodukten ist der Phosphorgehalt abhängig vom Knochenanteil und variiert zwischen 0,1 % und 6,1 % P. Allerdings ist der Phosphor in der Knochensubstanz gebunden und deshalb nur schlecht pflanzenverfügbar. Tierische Nebenprodukte der Kategorie 2 und 3 werden bereits als organische Düngemittel und Bodenverbesserungsmittel verwendet. Hier ist vor allem der Stickstoff das entscheidende Düngepotenzial.
- (2) Rückgewinnungsgebote sind unter Berücksichtigung der bisherigen Nutzung als organische Düngemittel und Bodenverbesserungsmittel vorstellbar. Sofern eine thermische Behandlung erfolgt, ist die Monoverbrennung zu bevorzugen, um die Rückgewinnung des Phosphors aus der Asche zu ermöglichen. Für die erzeugten Produkte gelten die Aussagen zum Klärschlamm analog.
- (3) Für Fleisch- und Knochenmehle aus Material der Kategorie 1, die beispielsweise ohne Nutzung des Phosphors beseitigt oder energetisch verwertet werden, ist ein Rückgewinnungsgebot ebenfalls vorstellbar.

### **3.1.7 Ehemalige Klärschlammdeponien**

- (1) Bis 2005 durfte Klärschlamm ohne Vorbehandlung auf Deponien, vorrangig auf Monodeponien abgelagert werden. Klärschlamm hat möglicherweise früher einen höheren Phosphorgehalt aufgewiesen als heute, da Regelungen zur P-Begrenzung z.B. in Waschmitteln nicht existierten. Mitte der 1980er Jahre wurde der Phosphorgehalt im Kläranlagenablauf begrenzt. Deshalb wurden viele Einrichtungen zur Phosphatfällung gebaut. Hierdurch dürfte der Phosphorgehalt im Klärschlamm zumindest zeitweilig weiter angestiegen sein. Dadurch hat sich im Laufe der Jahre ein verwertbarer Phosphorvorrat angesammelt.

- (2) Es ist vorstellbar, dass mittelfristig ein Rückbau dieser Deponien zur Phosphorversorgung beitragen kann. Hierfür sind noch Untersuchungen erforderlich. Für den Fall des Rückbaus kann ein Rückgewinnungsgebot hilfreich sein. Es dürfte insbesondere dann erforderlich sein, wenn die Deponie aufgrund äußerer Zwänge zurückgebaut wird.

### **3.1.8 Abwasser**

- (1) Die geltende Abwasserverordnung fordert im Ablauf von Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von 10.000 EW (Einwohnerwert) bis 100.000 EW einen Gehalt von 2 mg/l  $P_{\text{gesamt}}$  und für Kläranlagen größer 100.000 EW einen Gehalt von 1 mg/l  $P_{\text{gesamt}}$ . Diese Reglementierung trägt erheblich zur Reduzierung der Eutrophierung in Gewässern bei. Für Kläranlagen mit Ausbaugrößen kleiner als 10.000 EW ist bezüglich der P-Konzentration im Ablauf keine einheitliche Reglementierung getroffen. Der im gereinigten Abwasser verbleibende Phosphor geht jedoch für die Nutzung verloren.
- (2) Wege zur Erschließung der Möglichkeiten zur direkten P -Rückgewinnung aus dem Abwasser sind die weitere Begrenzung der P-Überwachungswerte über die Abwasserverordnung, die Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EWG) und ein Rückgewinnungsgebot für Phosphor im Rahmen der Abwasserreinigung. Der für die P-Begrenzung erforderliche Aufwand kann jedoch zu einer erheblichen Belastung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses der Kläranlagen führen. Daher bedürfen solche Vorgaben einer ergänzenden Prüfung.
- (3) Ein relevanter Teil des im Abwasser enthaltenen Phosphors kann durch entsprechende Verfahren auf der Kläranlage im Rahmen der Abwasserbehandlung zurückgewonnen werden. Der P-Anteil, der zum Aufbau der Biomasse bei der biologischen Abwasserreinigung benötigt wird, ist einer direkten P-Rückgewinnung aus dem Abwasser jedoch nicht zugänglich.
- (4) Praxiserfahrungen zeigen, dass Maßnahmen zur P-Rückgewinnung auf einer Kläranlage einen positiven Effekt auf die Stabilität des Kläranlagenbetriebes ha-

ben können und damit in der Lage sind zusätzliche positive wirtschaftliche Effekte zu erbringen.

- (5) Der Arbeitskreis empfiehlt, dass vor Neu- oder Umbauten von Kläranlagen ein Konzept zur P-Rückgewinnung erarbeitet und eine Umsetzung geprüft werden sollte.

### **3.1.9 Weitere Abfälle**

- (1) In der chemischen Industrie gibt es viele Produktionsprozesse, in denen Phosphor verwendet wird, z.B. für Flammschutzmittel, Weichmacher, Zündhölzer, Düngemittel, Trockenmittel, Phosphorsäure oder Nebelmunition. Die bei dieser Produktion anfallende Abfälle und Abwässer können eine Quelle für Phosphor sein. In einigen Produktionsanlagen wird der Phosphor verfahrensintern wieder zurück gewonnen. Eine weitere Quelle sind die Aschen aus der Verbrennung von Biomasse, die jedoch mit Schwermetallen belastet sein können.
- (2) Weiter wird von Phosphatfällungen an eutrophierten Seen zur Vermeidung von Algenblüten berichtet, bei denen die ausgefällten P-Verbindungen ungenutzt am Boden des Sees wieder abgelagert werden.
- (3) Insgesamt sind die Mengen vermutlich vergleichsweise gering. Empfehlungen zu Rückgewinnungsgebieten können ohne eine genaue Kenntnis der rückholbaren Anteile, Anfallstellen, P-Gehalte und Rückgewinnungsverfahren nicht ausgesprochen werden. Der Arbeitskreis spricht sich dafür aus, die Mengen zu bilanzieren und Untersuchungen zur Effizienz der Verwertung oben genannter Abfälle durchzuführen.

### **3.1.10 Flankierende Regelungen**

Um den Phosphor im Klärschlamm in pflanzenverfügbarer Form zu nutzen, sind neben einem Rückgewinnungsgebot flankierende Regelungen erforderlich:

- (1) Verbot der Mitverbrennung von Klärschlamm ohne vorherige P-Rückgewinnung: Soweit Phosphor nicht bereits in der Kläranlage oder mit Hilfe anderer Verfahren zurückgewonnen wird, bietet nach derzeitigem Stand die P-Rückgewinnung aus der Verbrennungssasche von Monoverbrennungsanlagen das höchstmögliche Rückgewinnungspotenzial. Hohe Mengen an Phosphor sind zu erzielen, wenn die Verbrennung des Klärschlammes in Monoverbrennungsanlagen bedeutend ausgebaut und die Mitverbrennung in Müllverbrennungsanlagen oder Kraftwerken sowie die anderweitige energetische und stoffliche Nutzung beispielsweise in Zementwerken ohne vorherige P-Rückgewinnung untersagt wird. Langfristig sollte die Mitverbrennung von phosphorhaltigen Klärschlämmen in Braun-, oder Steinkohlekraftwerken bzw. in Zementwerken generell durch die Monoverbrennung ersetzt werden.

Eine Vorgabe für Monoverbrennungsanlagen sollte darin bestehen, dass diese möglichst energieautark betrieben werden. Zumindest sollte der Klärschlamm mit der Verbrennungswärme getrocknet werden können. Ergänzend sollte die gemeinsame Verbrennung von Klärschlamm mit anderen phosphorhaltigen Materialien wie tierischen Nebenprodukten in Monoverbrennungsanlagen geprüft werden.

Es liegen Erkenntnisse vor, dass das im Klärschlamm angereicherte Quecksilber beim derzeitigen Niveau der Emissionsgrenzwerte bei der Mitverbrennung in Kraftwerken ohne besondere Quecksilbersenke zu höheren Emissionsmassenströmen führt als bei der Verbrennung in Monoverbrennungsanlagen. Das BMU plant, die Emissionsgrenzwerte für Quecksilber sowohl bei Großfeuerungsanlagen als auch bei Abfallverbrennungsanlagen deutlich abzusenken und strebt ein einheitliches Emissionsniveau für alle Anlagen an. Von der LAWA wurde zwischenzeitlich im Zusammenhang mit der flächendeckenden Quecksilberbelastung der oberirdischen Gewässer unter dem Titel „Luftbürtige Einträge als Belastungsursache für Quecksilber in Biota“ ein Arbeitskreis eingerichtet. Aufgabe dieses aus Vertretern der LAWA, dem BLAK Abwasser, der LAGA, der LABO und der LAI einzuberufenden Arbeitskreises ist zunächst, sich gemeinsam über die Eintragspfade zum Parameter Quecksilber Klarheit zu verschaffen.

(2) Lagerung von Aschen aus der Klärschlammmonoverbrennung:

Bisher stehen noch keine hochwertigen wirtschaftlichen großtechnischen Verfahren zur direkten P-Rückgewinnung aus Klärschlammaschen zur Verfügung. Aus diesem Grunde ist eine Lagerung dieser Aschen in der Diskussion, um den Phosphor in den Klärschlammaschen zu einem späteren Zeitpunkt zurückgewinnen zu können. Im Hinblick auf den aktuellen Kenntnisstand und die Vermarktungssituation wird vielfach ein Langzeitlager einzurichten sein

Die materiellen Anforderungen an die Lagerung sowie an die abzulagernden Aschen ergeben sich im Wesentlichen aus der Deponieverordnung. Durch die Art und Weise der Lagerung muss gewährleistet sein, dass sich die abgelagerten Aschen nicht nachteilig verändern, so dass sie für die spätere Verwertung nicht mehr brauchbar sind. Im Hinblick darauf spricht sich der Arbeitskreis dafür aus, die wertgebenden Inhaltsstoffe, die mechanischen Eigenschaften der Aschen und die Veränderungen durch die Lagerung weiter zu untersuchen.

(3) Aus Abfällen gewonnene phosphorhaltige Stoffe sollten als Produkt auf den Markt kommen, sofern die Anforderungen zum Ende der Abfalleigenschaft gemäß KrWG-E erfüllt sind. Hierfür sind konkrete Anforderungen zu entwickeln und ggf. gesetzliche Regelungen anzupassen. Mit dem Ende der Abfalleigenschaft übernimmt der Hersteller in vollem Umfang die Produkthaftung, ist also für mögliche Folgeschäden genauso verantwortlich und haftbar wie der Hersteller eines Düngers aus Naturstoffen. Auch unterliegt ein solches Produkt den Bestimmungen nach REACH.

### 3.1.11 Zusammenfassung des Abschnitts

- (1) Die Entscheidung, ein Rückgewinnungsgebot für Phosphor aus relevanten Stoffströmen einzuführen, hängt von verschiedenen Faktoren wie Pflanzenverfügbarkeit, technische Durchführbarkeit und Wirtschaftlichkeit ab. Ziel eines Rückgewinnungsgebotes sollte ein möglichst hoher Rückgewinnungsanteil sein. Die Einführung eines Rückgewinnungsgebotes erfordert in jedem Fall auch eine Festlegung einer generellen oder mehrerer stoffstrom- bzw. verfahrensspezifischer Rückgewinnungsquoten. Hierfür können Quotenvorgaben, die dem Stand der Technik flexibel angepasst sind, hilfreich sein. Vorteilhaft ist, dass bei geeigneten Verfahren die zurück gewonnenen Phosphate häufig einen niedrigeren Schadstoffgehalt als Primärphosphate aufweisen. In Tabelle 3.1 ist dargelegt, für welche Stoffströme der Arbeitskreis ein Rückgewinnungsgebot befürwortet.

Tabelle 3.1: Rückgewinnungsgebot für relevante Stoffströme (Geschätzte P-Mengen aus dem Verbundprojekt PhoBe, 2011)

Stoffstrom	Geschätzte P-Mengen [Mg/a]	Derzeitige Verwertung	Rückgewinnungsgebot sinnvoll
Kommunale Abwässer (Zulauf)	54.000	nein	ja
Kommunaler Klärschlamm	50.000	teilweise	ja
Industrielle Abwässer (Zulauf)	15.000	nein	eventuell
Wirtschaftsdünger	444.000	ja	eventuell
Gärrückstände	125.000	teilweise	eventuell
Komposte	k. A.	ja	nein
Rückstände aus biol. Behandlung von Hausmüll	k. A.	nein	eventuell
Tierische Nebenprodukte (Kategorie 1-3, ohne Tierfette)	20.000	teilweise	ja
Ehemalige Klärschlammdeponien	k. A.	nein	Untersuchungsbedarf

## **3.2 Rückgewinnungsquoten gemäß dem Stand der Technik**

- (1) Wird ein Rückgewinnungsgebot für Phosphor ausgesprochen, ist damit unvermeidlich die Frage verbunden, welche Mindestquote für die Rückgewinnung vorzugeben ist. Diese sollte nicht nur den Stand der Technik beachten, sondern so ausgelegt sein, dass sie die technische Entwicklung hin zu möglichst effizienten Maßnahmen fördert.

### **3.2.1 Randbedingungen für eine Rückgewinnungsquote**

- (1) Eine Rückgewinnungsquote ist nur sinnvoll, sofern die zu ihrer Bestimmung erforderlichen Kennzahlen belastbar ermittelt werden können. Die Rahmenbedingungen für eine Rückgewinnungsquote bedürfen einer präzisen Prüfung. So ist für Klärschlamm, der nicht direkt als Dünger oder zur Herstellung von Düngemitteln verwendet wird, zu entscheiden, ob sich die Quote auf den verbleibenden Anteil des Klärschlammes in Deutschland insgesamt oder auf einzelne Rückgewinnungsverfahren beziehen soll.
- (2) Vorgaben für die Phosphorrückgewinnung machen wenig Sinn, wenn dieser Phosphor in einer nicht pflanzenverfügbaren Form vorliegt und beim Einsatz als Düngemittel von Pflanzen nicht als Nährstoff genutzt werden kann. Soll eine Rückgewinnungsquote vorgegeben werden, sollte sich diese daher auf pflanzenverfügbares Phosphat, ggf. auch auf andere, industriell verwertbare P-Verbindungen, beziehen.
- (3) Aufgrund des derzeitigen Entwicklungsstandes der P-Rückgewinnungsverfahren von Phosphor aus den relevanten Ausgangsstoffen wird es gegenwärtig und auch in den nächsten Jahren noch nicht möglich sein, für die einzelnen Stoffe Rückgewinnungsquoten gemäß dem Stand der Technik zu entwickeln und verbindlich vorzugeben. Rückgewinnungsquoten setzen einen für viele relevante Anwendungsfälle bisher noch nicht vorhandenen Stand der Technik voraus.

Die Rückgewinnungsquote sollte sich auf einen konkreten Massenstrom mit bekannter Zusammensetzung oder Herkunft und auf klar definierte Herkunftsanlagen beziehen. Beispielsweise könnten bei Klärschlamm für große Kläranlagen ab

einer bestimmten Kapazität ambitionierte Quoten festgelegt werden. Für kleine Kläranlagen könnte es eine niedrigere Quote geben, u.a. um größere Transporte zu zentralen Verbrennungsanlagen zu vermeiden und lokal angepasste, eher einfache Technologien zu fördern.

- (4) Trotz der genannten bislang noch offenen Fragestellungen spricht sich der Arbeitskreis grundsätzlich für Rückgewinnungsquoten bei P-haltigen Abfällen aus, wenn am Markt geeignete Rückgewinnungsverfahren zur Verfügung stehen. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf eine notwendige, möglichst weitgehende P-Rückgewinnung. Entsprechende Verfahren sollten gefördert werden.
- (5) Mit der Festlegung der Rückgewinnungsquote sollten Anforderungen an geeignete Bezugsgrößen und Kennzahlen festgelegt werden, damit die Quoten belastbar ermittelt werden können.
- (6) Grundsätzlich sind Rückgewinnungsquoten sinnvoll, um Rückgewinnungsgebote umzusetzen. Rückgewinnungsquoten setzen allerdings einen für viele relevante Anwendungsfälle bisher noch nicht vorhandenen Stand der Technik voraus.

### 3.2.2 Berücksichtigung der Ausgangsstoffe

- (1) Die verschiedenen Ausgangsstoffe sind unterschiedlich zusammengesetzt und enthalten oftmals unterschiedliche P-Verbindungen. Deshalb ist es sinnvoll, eine Rückgewinnungsquote vom Ausgangsstoff abhängig zu machen. Für die unterschiedlichen Möglichkeiten der P-Rückgewinnung aus Klärschlamm zeichnen sich je nach Ausgangsstoff nach aktuellem Kenntnisstand folgende Potenziale ab:

Tabelle 3.2: Rückgewinnungspotenziale von Klärschlamm (modifizierte Tabelle nach Montag et al., 2010)

<b>Ausgangsstoff</b>	<b>Rückgewinnungspotenzial (in % P der Zulauffracht)</b>	<b>Aktuell (2011) mögliche Rückgewinnung (in % der Zulauffracht)</b>
Kläranlagenablauf	max. 55%	50 %
Schlammwasser	max. 50%	45%
Entwässerter (Faul-) Schlamm	~ 90 %	60%
Klärschlammasche	~ 90 %	80%

Danach können die Verfahren der P-Rückgewinnung aus Klärschlammasche höhere Rückgewinnungspotenziale als andere genannte Verfahren erreichen. Die Quote kann hierfür höher angesetzt werden als für die Rückgewinnung aus Faulschlamm oder dem Kläranlagenablauf. Neuere Forschungsergebnisse weisen jedoch auf eine höhere Rückgewinnungsquote bei Rückgewinnungsverfahren aus Faulschlamm von bis zu 70 % hin. Allerdings bedürfen die Verfahren für Klärschlammaschen im Hinblick auf die Nährstoffverfügbarkeit noch der Optimierung, wohingegen die P-Verbindungen im Faulschlamm möglicherweise weit besser pflanzenverfügbar sind. Für die Verfolgung der derzeitigen Entwicklung ist eine transparente Dokumentation auf der empfohlenen Monitoringplattform hilfreich.

- (2) Soweit für Gärrückstände, Wirtschaftsdünger oder sonstige Abfälle, die Phosphor nicht direkt als Düngemittel oder zur Herstellung von Düngemitteln zur Verfügung stellen, ein Rückgewinnungsgebot ausgesprochen wird, sollte auch hier eine Quote festgelegt werden. Allerdings liegen derzeit für entsprechende Verfahren

noch keine Daten zum Stand der Technik vor, aus denen sich bereits heute Quoten ableiten ließen. Zudem dürften für die Vielzahl unterschiedlicher Abfälle unterschiedliche Verfahren zur Anwendung kommen, für die auch unterschiedliche Quoten in Frage kommen.

- (3) Technische Weiterentwicklungen dürften mittelfristig höhere Rückgewinnungsquoten für Phosphor aus Klärschlamm und andere Materialien zulassen, sowohl in Bezug auf einzelne Verfahren, bestimmte Materialien oder auch die Gesamtmenge der verfügbaren Abfälle. Um dies von vornherein zu berücksichtigen, kann es hilfreich sein, eine variable Quote mit vorgegebenen Steigerungsraten festzulegen.

### **3.3 Beimischungsquote für sekundär gewonnenen Phosphor**

- (1) Beimischungsquoten für Stoffe aus ökologisch förderungswürdiger Produktion können sichern, dass vorgegebene Mengen dieser Stoffe eingesetzt werden. Beimischungsquoten sind technologieneutral. Sie sorgen dafür, dass die Verpflichteten die entsprechenden Stoffe auf dem Markt nachfragen und die effizientesten Erzeuger dieser Stoffe den größten Erfolg in dem so geschaffenen Markt haben. Beimischungsquoten setzen allerdings voraus, dass im Ergebnis der Beimischung ein effektives Düngemittel entsteht. Die Einführung einer Beimischungsquote wird derzeit wegen dafür erforderlichen, definierten Eigenschaften von Düngemittel nicht empfohlen. Es gibt jedoch andere Instrumente, die ähnliche Markteinführungseigenschaften wie die Beimischungsquote besitzen.
- (2) Denkbare andere Instrumente zur Markteinführung sind:
  - Verpflichtung bzw. Selbstverpflichtung der Produzenten  
Die Produzenten von P-haltigen Düngemitteln verpflichten sich oder werden verpflichtet, beispielsweise bei 10 % der von ihnen in Verkehr gebrachten P-haltigen Düngemittel sekundär gewonnenen Phosphor zu verwenden.
  - Fonds-Lösung (Abgaben-Lösung)  
Diejenigen, die P-haltigen Dünger für den Endverbraucher in Verkehr bringen, müssen pro Mg Dünger einen bestimmten Betrag in einen Fonds einzahlen.

Wer sekundär gewonnenen Phosphor produziert, erhält aus einem Fonds einen Förderbeitrag, um sein Produkt konkurrenzfähig am Markt anbieten zu können.

– Abnahme-Lösung

Verpflichtungen zur Abnahme von sekundär gewonnenem Phosphor für Inverkehrbringer P-haltiger Düngemittel. Die Abnahmemenge bemisst sich nach der Menge des in Verkehr gebrachten Düngers.

- (3) Unabhängig davon, welche Markteinführungsstrategie für sekundär gewonnenen Phosphor eingesetzt wird, muss berücksichtigt werden, dass mit mineralischen Düngemitteln in Deutschland jährlich grob geschätzt rund 120.000 Mg Phosphor aufgebracht werden. Von diesen Düngemitteln unterliegen nur etwa 5% nicht der EU-Düngemittelverordnung. Daraus ergibt sich, dass die oben diskutierten Markteinführungsinstrumente nicht national, sondern nur auf EU-Ebene mit entsprechendem Erfolg umzusetzen sind.

### **3.4 Förderung der Etablierung und Weiterentwicklung geeigneter P-Rückgewinnungsverfahren**

- (1) Es wurden bereits zahlreiche Forschungsvorhaben zur Entwicklung von P-Rückgewinnungsverfahren durchgeführt, die durch Bund und Länder gefördert wurden. Die Untersuchungen wurden im Labor- und Technikumsmaßstab durchgeführt und beschreiben den Stand der Wissenschaft. Die bisher gewonnenen Erkenntnisse stellen einzelne Bausteine dar.
- (2) Ein großtechnischer Einsatz von P-Rückgewinnungsverfahren ist gegenwärtig nur für wenige ausgewählte Fraktionen unter bestimmten Bedingungen technisch und wirtschaftlich möglich. Für den überwiegenden Teil der in Deutschland erzeugten, relevante Phosphoranteile enthaltenden Abfälle oder Nebenprodukte sind jedoch weitere Entwicklungsarbeiten notwendig, um die noch vorhandenen technischen Probleme zu lösen und die Wirtschaftlichkeit der P-Rückgewinnungsverfahren zu verbessern. Verschiedene Veröffentlichungen ge-

hen davon aus, dass die Verfahren ab Zeiträumen zwischen 2020 und 2030 wirtschaftlich betrieben werden können. Es ist daher notwendig, die Etablierung und Weiterentwicklung geeigneter P-Rückgewinnungsverfahren weiter zu fördern.

- (3) Die alleinige Betrachtung von Teilsegmenten der P-Nutzung (Landwirtschaft) und P-Rückgewinnung (Abwasser, Klärschlamm) ist für ein umfassendes P-Management nicht ausreichend. Weitergehende Potenziale der P-Reduktion (Wasch- und Reinigungsmittelbereich) und der P-Rückgewinnung (relevante industrielle Prozesswasserströme und Produktionsabfälle sowie Fleisch- und Knochenmehl aus Material der Kategorie 1) müssen in die Betrachtung einbezogen werden.
- (4) Es gibt bereits positive Betriebserfahrungen bei P-Rückgewinnungsverfahren, die zur Übernahme in den Regelbetrieb von bestimmten Abwasserbehandlungsanlagen geeignet sind. Bei größeren Umbauten und neu zu errichtenden Kläranlagen sollte es in der Regel auch unter Wirtschaftlichkeits- und Förderaspekten möglich sein, P-Rückgewinnungsverfahren zu integrieren, soweit nicht eine Behandlung außerhalb der Anlage wirtschaftlicher oder erfolgversprechender ist.
- (5) Es besteht weiterhin erheblicher Forschungsbedarf aufgrund von Datendefiziten bei der ganzheitlichen Analyse von Stoffflüssen, der Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen unter Einbeziehung der gesamten Wertschöpfungskette und zur großtechnischen Umsetzung und Optimierung der bisher bekannten Verfahren.
- (6) Zur Sicherstellung einer zeitnahen Einführung von P-Rückgewinnungsverfahren und einer ausreichenden Marktdurchdringung werden Fördermaßnahmen für erforderlich gehalten. Der Arbeitskreis hält hierzu die Entwicklung einer Förderstrategie für notwendig, in deren Rahmen ein geeignetes Bewertungsschema für Fördervorhaben mit spezifischen Beurteilungskriterien festzulegen ist. Wichtig ist dabei auch Verfahren festzulegen, wie die Düngewirksamkeit in Feld- und Freilandversuchen untersucht werden kann.

- (7) Darüber hinaus spricht sich der Arbeitskreis für die Etablierung einer „Phosphor- Informations- und Monitoringplattform“ aus, die als übergreifendes Instrument zur Bündelung von Informationen und Ergebnissen sowie zur Koordinierung von Vorhaben zur nachhaltigen Ressourcennutzung von Phosphor eingesetzt werden kann. Die Option zum Ausbau der Plattform zu einem EU-weiten Netzwerk sollte offengehalten werden.

### **3.5 Bewertung der technischen Machbarkeit und der Wirtschaftlichkeit von geeigneten Rückgewinnungsverfahren, insbesondere bei der Übernahme in den Regelbetrieb von Abwasserbehandlungsanlagen**

- (1) Die am erfolgversprechendsten erscheinenden technischen Ansätze sind zurzeit die P-Rückgewinnung durch Fällung oder Adsorption aus Schlammwasser oder Faulschlamm (z. B. MAP-Fällung) direkt auf der Kläranlage sowie die Herstellung von P-Düngern aus Klärschlammaschen nach deren thermischer Verwertung in Monoverbrennungsanlagen. Die technische Machbarkeit beider Rückgewinnungsvarianten konnte bei MAP im größeren technischen Maßstab und bei Klärschlammaschen in Pilotanlagen gezeigt werden.
- (2) MAP-Produkte werden bereits im größeren technischen Maßstab produziert und sind teilweise verhältnismäßig kostengünstig zu gewinnen. Das bisher erfolgreichste Verfahren am Markt kann offenbar wirtschaftlich betrieben werden.
- (3) Da bisher noch kein Rückgewinnungsverfahren auf der Grundlage von Klärschlammaschen im industriellen Maßstab umgesetzt wurde, können hier keine belastbaren Angaben zur Wirtschaftlichkeit gemacht werden. Die Produkte aus Anlagen, die zurzeit in Planung sind, sollen zu Marktpreisen vertrieben werden. Aufgrund des hohen technischen Aufwandes, wird die wirtschaftliche Tragfähigkeit dieser Verfahren bei dem zu erwartenden Anstieg der Rohphosphat-Marktpreise erst in ca. 10 Jahren erwartet. Zu beachten ist das vergleichsweise hohe Rückgewinnungspotential (bis zu 90 % des Kläranlagenzulaufs).
- (4) Die einwohnerspezifischen Kosten für die Etablierung der P-Rückgewinnung werden je nach Verfahren auf jährlich 0,5 bis 3,5 €/EW geschätzt. Allerdings sind diese Angaben nur eingeschränkt zu vergleichen, da unter anderem die Ergeb-

nisse der Düngewirkung und die Erlöse aus dem Verkauf der Rückgewinnungsprodukte nicht berücksichtigt werden und verfügbare Daten aufgrund stark unterschiedlicher Rahmenbedingungen sowie der fehlenden Standardisierung nicht verglichen werden können.

### **3.6 Bewertung der Sekundärprodukte als Düngemittel**

#### **3.6.1 Anforderungen an Düngemittel**

- (1) Als grundsätzliche Anforderungen an P-Düngemittel sind bei der Zulassung von Düngemitteltypen neben der Ertragswirkung (P-Gehalte) und der P-Löslichkeit (Sofortwirkung/Depotwirkung) Schadstoffgrenzwerte, Hygieneanforderungen sowie die erforderliche technische Aufbereitung (Fällmittel, Granulierung, Abrieb, Oberfläche, Härte, Korngröße, geeignete Behältnisse etc.) zu berücksichtigen. Darüber hinaus sind für die Beurteilung der Düngewirkung von Phosphat im Gegensatz zu anderen Pflanzennährstoffen noch Bodenart, pH-Wert des Bodens und der P-Gehalt der Bodenlösung als weitere Einflussfaktoren heranzuziehen.
- (2) Rechtsgrundlage für das Inverkehrbringen von P-Düngemitteln, die nicht als EG-Düngemittel bezeichnet werden, ist die Düngemittelverordnung (DüMV). Sie regelt insbesondere
  - die Zuordnung von phosphorhaltigen Aschen, Stoffen bzw. Ausgangsstoffen auch aus der Abwasserbehandlung zu bestimmten Düngemitteltypen,
  - die Anforderungen an geeignete Ausgangsstoffe und
  - die Anforderungen an die Phosphatlöslichkeit.
- (3) Gemäß § 5 KrWG-E kann das „Ende der Abfalleigenschaft“ festgestellt werden. Dafür ist im Einzelnen der Verwendungszweck, das Bestehen eines Marktes, die Erfüllung technischer Anforderungen, Rechtsvorschriften und Normen sowie die Verhinderung schädlicher Auswirkungen für die jeweiligen Düngemittel auf Sekundär-P-Basis zu prüfen. Beispielsweise erfüllen Magnesium-Ammonium-Phosphate (MAP) als Ausgangsstoffe für Düngemittel die Produkteigenschaft. Bei den aus Klärschlammverbrennungsaschen hergestellten Düngemitteln ist die

Abfalleigenschaft beendet, wenn sie die Anforderungen des § 5 KrWG-E und der Düngemittelverordnung erfüllen.

### 3.6.2 Untersuchungen zur Düngewirkung und Auswirkung auf die Umwelt

(1) Hinsichtlich der Wirksamkeit und Unschädlichkeit von P-haltigen Stoffen gibt es bundesweit nur wenige Forschungsvorhaben. In den Versuchsreihen ist die sofortige und langfristige Düngewirkung in Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit (Bodenart, pH-Wert, P-Bodenlösungskonzentration) untersucht worden. Die Nährstoff- und Schadstoffgehalte (Schwermetalle, organische Schadstoffe) der P-Sekundärprodukte wurden mit den Gehalten der Handelsdünger (Rohphosphat, Triplesuper-Phosphat) verglichen. Im Ergebnis sind die bisher vorliegenden Materialien auf Sekundär-P-Basis grundsätzlich eine gleichwertige Alternative zu handelsüblichen Mineraldüngern. Bei der Gewinnung dieser Stoffe ist eine P-Aufkonzentrierung erfolgt und eine substrat- und prozessabhängige Verminderung der Schadstoffgehalte nachgewiesen worden.

(2) P-Sekundärprodukte aus Klärschlämmen, Klärschlammaschen und tierischen Nebenprodukten lassen sich in die beiden Kategorien

- thermisch produzierte und
- nasschemisch hergestellte Stoffe unterteilen.

Die Pflanzenverfügbarkeit des enthaltenen Phosphors ist verfahrensabhängig. Sie kann nach den vorliegenden Untersuchungen unter Berücksichtigung von P-Aufnahme, Calcium-Acetat-Lactat-P-Gehalten und P-Bodenlösungskonzentration in erster Näherung wie folgt bewertet werden (Reihung in absteigender Pflanzenverfügbarkeit):

Triplesuper-Phosphat = MAP > Klärschlammaschen > verarbeitete tierische Proteine/Fleisch- und Knochenmehle > Rohphosphat

Hinsichtlich der Löslichkeit und Pflanzenverfügbarkeit verhielten sich die getesteten MAP-Produkte wie Triplesuper-Phosphat und wurden in ihrer Düngewirkung uneingeschränkt empfohlen. Alle geprüften Materialien weisen jedoch eine gute Depotdüngewirkung (nachhaltige Düngewirkung für die Folgefrucht) auf.

- (3) Aufgrund unterschiedlicher Versuchsbedingungen ist eine präzise Vergleichbarkeit der bisherigen Untersuchungen und ihrer Ergebnisse zur Pflanzenverfügbarkeit nicht gegeben. Der Arbeitskreis hält daher weitergehende, umfassender angelegte Studien, die Düngewirkung und Pflanzenverfügbarkeit für alle derzeit verfügbaren Sekundär-P-Produkte auf der Basis vergleichbarer Rahmenbedingungen erheben, für unverzichtbar. Diese Studien sollten Freilandversuche einschließen und die Auswirkungen auf die Belastung der Umweltmedien (Boden, Grundwasser, Oberflächengewässer) untersuchen.
- (4) Bei der Betrachtung der Schadstoffgehalte (Schwermetallgehalte) übersteigt der Cadmiumgehalt des Referenzdüngers Triplesuper-Phosphat bei weitem die Cadmiumgehalte der untersuchten Sekundärrohstoffe (MAP, Aschen, tierische Nebenprodukte). Insgesamt zeigen die thermisch gewonnenen Produkte gegenüber den nasschemischen Recyklaten (ausgenommen das nasschemisch hergestellte Al-P) eine geringere Schwermetallentfrachtung. In Einzelfällen kommt es bei Klärschlammaschen zur Überschreitung des Nickel-Grenzwertes nach Düngemittelverordnung.
- (5) Bei nasschemisch hergestellten Sekundärdüngemitteln aus Klärschlämmen liegen die Verunreinigungen mit organischen Schadstoffen zum Teil oberhalb der Bestimmungsgrenze, aber deutlich unter den Durchschnittsgehalten von Klärschlämmen. Eine Anreicherung von organischen Schadstoffen im Sekundär-P-Produkt findet nicht statt.
- (6) Hinsichtlich der Anforderungen an die Hygiene können bei nasschemischen Verfahren grundsätzlich Keime (Salmonellen, Viren etc.) die Prozesskette überstehen. Hierzu werden weitere Untersuchungen empfohlen.
- (7) Bisher gemessene Schadstoffgehalte von P-Rückgewinnungsprodukten sind fast durchgängig als unkritisch zu bewerten. Die bisher vorliegende Datenbasis ist noch nicht ausreichend um valide Aussagen zur Düngewirkung, Auswirkung auf Umweltmedien und Verbraucherschutz im Vergleich zu P-Handelsdüngern zu treffen. Der Arbeitskreis spricht sich deshalb für weitere Untersuchungen – ins-

besondere Freilandversuche aus. Die Präparate müssen in gleichbleibend guter Qualität hergestellt werden können und für einen gleichwertigen Ersatz der Mineraldünger eine gute Sofortwirkung (höhere Wasserlöslichkeit) aufweisen; diesbezüglich sind die Herstellungsverfahren noch zu optimieren. Darüber hinaus sind Verfahren zur Schadstoffelimination weiter zu entwickeln und mögliche prozessbedingte Schadstoffanreicherungen zu prüfen.

### **3.7 Verdünnungsverbot für Matrices mit Phosphor-Gehalten über 5 % (Monoverbrennung, räumlich getrennte rückholbare Ablagerung, Aufnahme des Parameters P in die Versatzverordnung)**

- (1) Nach Angaben des Umweltbundesamtes wurden zuletzt 53,2 % der in Deutschland anfallenden Klärschlämme (entspricht etwa 1 Mio. Mg Trockenmasse) in Kohlekraftwerken, Müllverbrennungsanlagen oder Zementwerken mitverbrannt oder in den bundesweit etwa 20 Klärschlammverbrennungsanlagen thermisch behandelt. In den Aschen der Mitverbrennungsanlagen ist die P-Konzentration aufgrund der relativ kleinen Klärschlammanteile zu gering, um mit vertretbarem Aufwand herausgelöst zu werden. Durch die Mitverbrennung gehen die prinzipiell zu Düngungszwecken nutzbaren Phosphate verloren, soweit die Phosphate nicht zuvor zurückgewonnen werden.
- (2) Die Aschen aus der Monoverbrennung werden in der Regel als Bergversatz, in Asphaltmischwerken, im Landschaftsbau oder auf Deponien (Ersatzbaustoff) verwertet. Damit wird formell dem Vorrang der Verwertung vor der Beseitigung Rechnung getragen. Ein Teil der Aschen wird gemeinsam mit anderen Restabfällen auf Deponien beseitigt. Eine Verwertung mit dem Ziel der Gewinnung von P-Dünger aus den in den Aschen enthaltenen Phosphaten zur Substitution von Mineraldünger erfolgt bisher nur in geringem Maße. Verschiedene Pilotanlagen wurden bereits erfolgreich getestet, aber noch nicht großtechnisch umgesetzt. Der Bau einiger Demonstrationsanlagen ist für die kommenden Jahre geplant. Wird der Phosphatgehalt von Klärschlämmen mit durchschnittlich 5 % (entspricht 2,2 % P) angesetzt, so gehen bislang durch die thermische Behandlung von Klärschlämmen insgesamt etwa 50.000 Mg Phosphat jährlich für eine mögliche Aufbereitung als Düngemittel verloren, sofern keine Monoablagerung erfolgt. Vor

diesem Hintergrund erscheint eine Grenze von 5 % P für ein Verdünnungsverbot als zu hoch. Der Arbeitskreis spricht sich stattdessen für eine Grenze von 2 % P aus. Eine Aufnahme des Parameters P in die Versatzverordnung wird empfohlen.

- (3) Großtechnische Praxiserfahrungen fehlen hierzulande und in den Nachbarländern nicht allein hinsichtlich der Aufbereitung von Aschen aus der Monoverbrennung zu Düngemitteln, sondern auch zur Ablagerung dieser Aschen in separaten Abschnitten (Monoabschnitte) von Deponien oder besonderen Lagern und zum Umgang mit solchen Aschen.
- (4) Die derzeit an verschiedenen Orten praktizierten Entsorgungskonzepte zur thermischen Behandlung von Klärschlämmen – sei es bei der Mitverbrennung oder der Monoverbrennung – ohne Einbeziehung von vor- oder nachgeschalteten Maßnahmen zur P-Extraktion sind nur schwer mit den neuen abfallrechtlichen Vorgaben auf europäischer und auf nationaler Ebene in Einklang zu bringen (Intensivierung der stofflichen Verwertung oder der Rückgewinnung im Rahmen der Abfallhierarchie, soweit nicht die Beseitigung die umweltverträglichere Maßnahme ist). An diesen neuen abfallrechtlichen Vorgaben haben sich künftig die Entsorgungskonzepte für die nicht landwirtschaftlich verwerteten Klärschlämme zu orientieren. Bei den P-haltigen tierischen Nebenprodukten sollten analoge Maßstäbe angewandt werden, auch wenn diese Materialien nicht den abfallrechtlichen Bestimmungen unterliegen. Das neue Kreislaufwirtschaftsgesetz enthält vor dem Hintergrund der Stärkung von Recycling und stofflicher Verwertung in § 11 weitreichende Ermächtigungsgrundlagen zur Durchsetzung der abfallrechtlichen Prioritätenfolge auch im Bereich der organischen Abfälle.

### **3.8 Stärkere P-Nutzung von Tiermehl<sup>3</sup> aller Kategorien, sofern keine anderweitige Verwertung des Tiermehls erfolgt**

- (1) In Deutschland sind im Jahr 2010 ca. 3 Mio. Mg tierische Nebenprodukte einschließlich gefallener Tiere in den Verarbeitungsbetrieben verarbeitet worden. Die tierischen Nebenprodukte werden durch die Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 nach dem potentiellen Risiko für Menschen und Tiere in drei Kategorien eingeordnet. Hierzu enthält die Verordnung für jede Kategorie Vorschriften für die Verarbeitung und Beseitigung.

Danach muss Material der Kategorie 1 durch Verbrennung als Abfall oder anderweitige zulässige Verfahren beseitigt werden, insofern es nicht als Brennstoff oder zur Herstellung von Folgeprodukten verwendet werden kann. Insbesondere für Folgeprodukte müssen die sichere Behandlung sowie der sichere Endverwendungszweck gewährleistet sein. Material der Kategorie 2 darf nach entsprechender Behandlung anderen Zwecken als der Futtermittelherstellung zugeführt werden (z. B. Biogaserzeugung, Kompostierung, Düngemittel). Material der Kategorie 3 (Nebenprodukte gesunder Tiere, die zum menschlichen Verzehr geschlachtet wurden) kann nach angemessener Behandlung zur Herstellung von Futtermitteln verwendet werden.

- (2) Die im Jahr 2010 insgesamt angefallenen tierischen Nebenprodukte unterteilen sich in Material der Kategorien 1 und 2 einschließlich der gefallenen Tiere aus der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung mit rd. 1,25 Mio. Mg und Material der Kategorie 3 einschließlich Lebensmittelfette mit ca. 1,72 Mio. Mg.
- (3) Aus den tierischen Nebenprodukten der Kategorie 3 werden ca. 222.000 Mg (TM) Futtermittel für Heimtiere erzeugt, die für eine Phosphor-Rückgewinnung nicht zur Verfügung stehen. Tierfette wurden aufgrund des geringen P-Potentials von ca. 0,1 % (F. Knappe, S. Krause, G. Dehoust) vernachlässigt.

---

<sup>3</sup> Der Begriff „Tiermehl“ wird im Recht der tierischen Nebenprodukte nicht mehr verwendet. Laut Begriffsbestimmung der Verordnung (EU) Nr. 142/2011 wird zwischen „verarbeitetem tierischen Protein“ (ausschließlich Kat.3-Material) sowie „Fleisch- und Knochenmehl“ aus Material der Kategorie 1 oder 2 unterschieden.

Tabelle 3.3: Verwendung von erzeugten Proteinen der Kategorien 1-3 im Jahr 2010 (Angaben der Servicegesellschaft Tierische Nebenprodukte mbH - STN)

<b>Erzeugnisse</b>	<b>Futtermittel [Mg]</b>	<b>Düngung [Mg]</b>	<b>therm. Ver- wertung [Mg]</b>
Fleisch- und Knochenmehl (Proteine K1) ) <sup>2</sup>			250.500
Fleisch- und Knochenmehl (Proteine K2)		44.000	193
Proteine K3 u. Lebensmittelfette ) <sup>3</sup>	222.500	175.600	

)<sup>2</sup> Voraussetzungen für die Verwertung und Gewinnung des Phosphors sind festzustellen.

)<sup>3</sup> Die Möglichkeit der Rückgewinnung von Phosphor aus den als Futtermittel verwendeten Massen der Kategorie ist zu prüfen.

- (4) Zu Dünge Zwecken werden bereits ca. 44.000 Mg (TM) aus Material der Kategorie 2 und ca. 176.000 Mg (TM) aus Material der Kategorie 3 verwendet. Hier ist durch entsprechende Behandlung die Nutzung des Phosphors sicherzustellen. Das Potential zur Phosphorrückgewinnung wird auf ca. 12.000 Mg pro Jahr geschätzt. Tierfette der Kategorie 1 mit ca. 137.000 Mg TM sind aufgrund des geringen P-Potentials (ca. 0,1 %) nicht berücksichtigt.

Tabelle 3.4: P-Potential bezogen auf die im Jahr 2010 angefallene Masse (P-Fracht nach Montag/Pinnekamp sowie S. Kratz und E. Schnug)

<b>Erzeugnis</b>	<b>Masse [Mg]</b>	<b>P-Fracht [%]</b>	<b>P-Potenzial [Mg]</b>
Fleisch- und Knochenmehl (K 1)	ca. 250.000	3,1	7.750
Fleisch- und Knochenmehl (K 2)	ca. 44.000	3,1	1.364
Proteine K3	ca. 176.000	6,1	10.736
Gesamt			19.850

- (5) Das größte ungenutzte Potential (ca. 250.000 Mg TM) stellen Fleisch- und Knochenmehle der Kategorie 1 dar, die derzeit energetisch beispielsweise in Zementwerken genutzt oder anderweitig durch Verbrennung beseitigt werden. Der Phosphoranteil wird auf ca. 7.800 Mg pro Jahr geschätzt. Dieses Potenzial ließe sich beispielsweise durch eine Monoverbrennung erschließen, die den hygienischen Anforderungen der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 Rechnung trägt. Die

Nutzung von Aschen aus tierischen Nebenprodukten der Kategorie 1 ist in der geltenden Fassung der Verordnung noch nicht konkret berücksichtigt. Eine Verwendung von Aschen der Kategorie 1 ist nach Artikel 32 Satz 1 32 Satz 1 a der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 i. V. m. Artikel 36 Abs. 1 im Düngemittelbereich ausgeschlossen. Mit Blick auf die Vorbehandlung der Aschen durch Verbrennung und das vorhandene P-Potenzial sollte eine Anpassung der einschlägigen Vorschriften angestrebt werden.

- (6) Die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors aus tierischen Nebenprodukten und daraus gewonnenen Aschen ist aufgrund der Wasserunlöslichkeit gering. Um die Pflanzenverfügbarkeit bzw. Löslichkeit von Phosphor aus tierischen Nebenprodukten und deren Aschen zu verbessern, ist eine weitere Behandlung erforderlich.
- (7) Die Verbrennung von tierischen Nebenprodukten aller Kategorien bietet grundsätzlich den Vorteil, dass eine unbeabsichtigte Verbreitung von Arzneimittelrückständen (z. B. Antibiotika) vermieden werden kann.
- (8) Die Rückgewinnung von Phosphor aus der Asche tierischer Nebenprodukte ist technisch möglich und wurde bereits in Pilotanlagen erfolgreich getestet. Damit sich die thermische Verwertung von tierischen Nebenprodukten wirtschaftlich darstellt, ist die Möglichkeit eine Förderung zu prüfen.

### **3.9 Beobachtung und Bewertung von Entwicklungen der Phosphorrückgewinnung in anderen Staaten**

- (1) Die Entwicklung von P-Rückgewinnungsverfahren hat im internationalen Maßstab in den vergangenen Jahren ganz erheblich an Dynamik zugelegt. Mittlerweile werden in zahlreichen Staaten derartige Projekte oder Initiativen durchgeführt.

Niederlande:

Die Niederlande haben seit über 10 Jahren Erfahrung mit der P-Rückgewinnung. Phosphor wird aus Fe-armen Klärschlamm und tierischen Nebenprodukten erfolgreich zurückgewonnen, wobei das Produkt nicht als Düngemittel, sondern als

Sekundärrohstoff für verschiedene industrielle Anwendungen eingesetzt wird. Zurzeit wird versucht, auch für Fe-reiche Klärschlammaschen Anwendungen z.B. für die Düngemittelherstellung zu etablieren. In den Niederlanden wurde bereits eine „Nutrient Platform“ gegründet, in der Vertreter aus Abwasserunternehmen, NGO's, Phosphor- und Düngemittelindustrie oder Ingenieurbüros politische Aspekte und Forschungsfragen beraten. Die Plattform fungiert auch als Ansprechpartner für die Politik.

Polen:

P-Rückgewinnung ist neu in Polen, aber aktuell läuft die Monodeponierung von Klärschlammaschen (9.000 Mg/a) in Danzig an und die Verwendung der Aschen für die Düngemittelherstellung wird bereits, zusammen mit einem Düngemittelhersteller, angedacht.

Skandinavien/Schweden:

In Skandinavien wird seit vielen Jahren die Verfahrensentwicklung zur P-Rückgewinnung gefördert. Schweden hat bereits vor 20 Jahren P-Recycling als politisches Ziel formuliert und strebt an, bis 2015 mindestens 60 % des im Abwasser enthaltenen Phosphors zurückzugewinnen und in der Landwirtschaft zu verwerten.

Schweiz:

In der Schweiz wird eine Gesetzesvorlage erarbeitet, die die P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom sowie tierischen Nebenprodukten vorschreibt und zum Ziel hat, die Schweiz von einem P-Importland zu einem P-Exporteur zu wandeln. Das Inkrafttreten des Gebotes ist für 2012 geplant und soll eine Rückgewinnungsquote zwischen 50 und 100 % festschreiben. Eine Übergangsfrist bis 2015 soll eingeräumt werden. Seit 2008 ist die herkömmliche Klärschlammdüngung in der Schweiz ausnahmslos verboten. Bisher konnten, nach aktuellem Kenntnisstand, für den großtechnischen Einsatz noch keine Verfahren etabliert werden.

USA/Kanada:

Die USA und Kanada betreiben einige Anlagen zur Rückgewinnung von Phosphor, die großtechnisch seit mehreren Jahren erfolgreich mit dem MAP-Verfahren Dünger produzieren. Das Verfahren ist zur Phosphor-Rückgewinnung direkt an der Kläranlage einsetzbar.

Japan:

Japan betreibt die P-Rückgewinnung bereits besonders intensiv. Es bestehen Anlagen zur P-Rückgewinnung aus Klärschlammaschen und Abwasser. Zusätzlich gibt es ein „Phosphorus Recycling Promotion Council of Japan“ welches Industrie, Forschung und Politik zusammen bringt.

### **3.10 Vorschläge des Arbeitskreises**

Der LAGA Ad-hoc Arbeitskreis spricht sich für folgende Empfehlungen aus:

- (1) Die Mitverbrennung von Klärschlämmen, tierischen Nebenprodukten und anderen Abfällen mit hohen P-Gehalten sollte nach Ablauf einer Übergangsfrist eingestellt werden, es sei denn, der Phosphor kann vorher zurückgewonnen werden. Hierzu ist eine Regelung denkbar, wonach eine Mitverbrennung ab einem noch festzulegenden Datum nur noch zulässig ist, sofern ein maximal zulässiger Phosphatgehalt der in der Verbrennung eingesetzten Abfälle (Vorschlag: 3...5 % TM, später 1 % TM) unterschritten wird.
- (2) Bisher stehen noch keine hochwertigen wirtschaftlichen großtechnischen Verfahren zur direkten P-Rückgewinnung aus Klärschlammaschen zur Verfügung. Aus diesem Grund ist eine Lagerung von Aschen in der Diskussion, um Phosphor in Klärschlammaschen zu einem späteren Zeitpunkt zurückgewinnen zu können. Nach dem den aktuellen Kenntnisstand und der Vermarktungssituation wird vielfach ein Langzeitlager einzurichten sein.
- (3) Im Rahmen der Anforderungen an die P-Rückgewinnung sollte ein Verdünnungsverbot für Matrices mit P-Gehalten über 2 % gesprochen werden. Einzelheiten sind bei der Detailprüfung zu klären.

- (4) Bei der angekündigten Neufassung der Klärschlammverordnung sollte geprüft werden, ob Anforderungen an Verfahren zur technischen Rückgewinnung von Phosphat bei nicht landwirtschaftlich genutzten Klärschlämmen (nasschemische Verfahren, Monoverbrennung, Mitverbrennung) gestellt werden.
- (5) Sinnvolle Markteinführungsstrategien zur Förderung der P-Rückgewinnung für sekundär gewonnenen Phosphor wie beispielsweise eine Fonds-Lösung oder eine Abnahme-Lösung sollten geprüft werden.
- (6) Zur Sicherstellung einer zeitnahen Einführung von Phosphorrückgewinnungsverfahren und einer ausreichenden Marktdurchdringung werden weitere Fördermaßnahmen und Forschungs- und Entwicklungsvorhaben für erforderlich gehalten. Eine Förderstrategie sollte entwickelt werden, in deren Rahmen ein geeignetes Bewertungsschema für Fördervorhaben festzulegen ist.
- (7) Weitergehende, umfassender angelegte Studien, die Düngewirkung und Pflanzenverfügbarkeit für alle derzeit verfügbaren Sekundär-P-Produkte auf der Basis vergleichbarer Rahmenbedingungen erheben, sind erforderlich.
- (8) Eine „Phosphor-Informations- und Monitoringplattform“ sollte etabliert werden, die als übergreifendes Instrument zur Bündelung von Informationen und Ergebnissen sowie zur Koordinierung von Vorhaben zur nachhaltigen Ressourcennutzung von Phosphor eingesetzt werden kann.