

WASSER



ABFALL

■ **EXPERTINNENPAPIERE**

des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV)

ÖWAV-ExpertInnenpapier

Kritische Ressource Phosphor

Wiederherstellung unterbrochener Phosphor-Kreisläufe durch Nutzung der vorhandenen Phosphor-Quellen: Kommunales Abwasser und tierische Nebenprodukte – Aktuelle Hinderungsgründe und Lösungskonzepte

erstellt von der Arbeitsgruppe 1 „Klärschlamm und tierische Nebenprodukte in einem optimierten P-Management“ des ÖWAV-Arbeitsausschusses „Klärschlammplattform“

Wien, November 2018

Dieses ExpertInnenpapier ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher
Gemeinschaftsarbeit.

Dieses ExpertInnenpapier ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für eine
fachgerechte Lösung. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes
Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall. Eine etwaige Haftung der Urheber ist
ausgeschlossen.

Hinweis:

Bei allen Personenbezeichnungen in diesem ExpertInnenpapier gilt die gewählte Form für alle Geschlechter.

Impressum

Medieninhaber und Verleger: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien

Hersteller: druck.at Druck- und Handelsgesellschaft mbH, Leobersdorf

*Es wird darauf hingewiesen, dass sämtliche Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne
Gewähr erfolgen und eine Haftung der Autoren oder des Verlages ausgeschlossen ist.*

*Dieses Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere das Recht der
Vervielfältigung, Verbreitung, und Übersetzung werden ausdrücklich vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf in
irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne vorherige schriftliche Genehmigung
des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt
oder verbreitet werden.*

Redaktion, Satz und Layout: Mag. Heidrun Schiesterl, MA, Mag. Fritz Randl (ÖWAV)

© 2018 by Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.

Vorwort

Kommunales Abwasser und tierische Nebenprodukte sind für die Kreislaufwirtschaft bedeutende Phosphor-Quellen, die gegenwärtig nur in geringem Ausmaß genutzt werden.

Das vorliegende ÖWAV-ExpertInnenpapier stellt Klärschlamm und Tiermehle als wichtige Sekundärrohstoffe für Phosphor in Hinblick auf deren Menge und Qualität vor und erläutert rechtliche und technische Rahmenbedingungen, die bei deren Verwertung zu berücksichtigen sind. Es setzt sich mit aktuellen Hinderungsgründen auseinander, die derzeit einer Phosphornutzung entgegenstehen und zeigt konkrete Möglichkeiten und Wege auf, diese voranzutreiben. Dabei werden Optionen einer Phosphor-Rückgewinnung vorgestellt und im internationalen Vergleich die Positionen in Österreich diskutiert. Abschließend werden mögliche Lösungskonzepte erarbeitet, wie die kritische Ressource Phosphor im Sinne einer Ressourcenschonung in Zukunft genutzt werden kann.

Mit dem Ziel, dieses ExpertInnenpapier zu verfassen, wurde eine Arbeitsgruppe innerhalb der „ÖWAV-Klärschlammplattform“ der Fachgruppe Abwassertechnik und Gewässerschutz im ÖWAV zusammengestellt.

Wir hoffen, damit eine Grundlage geschaffen zu haben, um das Ziel einer zukunftsfähigen Verwertung von Phosphor aus den vorhandenen Sekundärrohstoffen kommunaler Klärschlamme und tierische Nebenprodukte voranzubringen.

ÖSTERREICHISCHER
WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND

Wien, im November 2018

An der Erarbeitung dieses ÖWAV-ExpertInnenpapiers haben mitgewirkt:

Arbeitsgruppenleiter:

DI Dr. Lukas EGGLE, MA 48, Wien

Arbeitsgruppenmitglieder:

DI Arabel AMANN, Technische Universität Wien

DI Hubert GRECH, Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien

DI Alexander JEREB, Donau Chemie AG, Brückl

DI Thomas KÖGLER, Abwasserverband Eisenstadt-Eisbachtal

DI Dr. Christoph LAMPERT, Umweltbundesamt GmbH, Wien

DI Thomas LINSMEYER, Energie AG Oberösterreich Kraftwerke GmbH, Gmunden

Ing. Horst MÜLLER, Müller Abfallprojekte GmbH, Weibern

DI. Erwin PFUNDTNER, Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH,
Wien

DI Dr. Michael POLLAK, wpa Beratende Ingenieure GmbH, Wien

DI Alfred RAUCHBÜCHL, Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien

Univ.-Prof. DI Dr. Helmut RECHBERGER, Technische Universität Wien

DI Dr. Peter SCHWEIGHOFER, MBA, Linz Service GmbH, Linz

DI David SUPPER, wpa Beratende Ingenieure GmbH, Wien

Ing. Wolfgang WIESAUER, Steirische Tierkörperverwertungsgesellschaft m.b.H. & Co KG, Gabersdorf

Univ.-Prof. DI Dr. Mattias ZESSNER, Technische Universität Wien

Ing. Andreas ZÖSCHER, Mürzverband, Kapfenberg

Gastvortragende:

Univ.-Prof. DI Dr. Christoph PFEIFER, Universität für Bodenkultur Wien

Für den ÖWAV:

DI Clemens STEIDL, Bereichsleiter Abwasserwirtschaft im ÖWAV, Wien

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung und Kontext des ExpertInnenpapiers	9
2	Herkunft, Anfall und Zusammensetzung phosphorreicher Abfälle	10
2.1	Phosphor im kommunalen Abwasser/Klärschlamm.....	10
2.2	Phosphor in verarbeiteten tierischen Nebenprodukten.....	10
2.3	Charakterisierung	11
2.3.1	Nährstoffe und potenzielle Schadstoffe	11
2.3.2	Agronomische Bewertung.....	11
3	Rechtliche Grundlagen	13
3.1	Abfallrecht.....	13
3.1.1	Abfallwirtschaftsgesetz	13
3.1.2	Abfallverzeichnisverordnung	14
3.1.3	Kompostverordnung.....	14
3.1.4	Abfallverbrennungsverordnung.....	14
3.1.5	Altlastensanierungsgesetz.....	15
3.1.6	Bundesabfallwirtschaftsplan 2017	15
3.2	Chemikalienrecht (CLP- und REACH-Verordnung)	16
3.3	Düngemittelrecht und Düngemittelverordnung	18
3.3.1	Europäisches Düngemittelrecht.....	18
3.3.2	Inverkehrbringen von Biochar, Struvit und Klärschlammaschen (Düngemittelrecht Österreich)	19
3.4	Bodenschutzrecht.....	20
3.4.1	Klärschlamm-Verordnung	20
3.5	Wasserrecht.....	20
3.5.1	Wasserrechtsgesetz	20
3.5.2	Abwasseremissionsverordnung	20
3.5.3	Gebührenkalkulation in der Abwasserentsorgung	21
4	Phosphor-Nutzung aus kommunalem Klärschlamm	22
4.1	Direkte landwirtschaftliche Verwertung.....	22
4.1.1	Einführung	22
4.1.2	Technische Hinderungsgründe	22
4.1.3	Rechtliche Hinderungsgründe	22
4.1.4	Wirtschaftliche Hinderungsgründe.....	22
4.1.5	Gesellschaftliche Hinderungsgründe.....	22
4.1.6	Pflanzenbauliche Hinderungsgründe.....	22
4.1.7	Sonstige Hinderungsgründe	23
4.1.8	Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung.....	23
4.1.9	Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements.....	23
4.2	Kompostierung von kommunalem Klärschlamm.....	23
4.2.1	Einführung und Charakterisierung.....	23
4.2.2	Technische Hinderungsgründe	24
4.2.3	Rechtliche Hinderungsgründe	24
4.2.4	Wirtschaftliche Hinderungsgründe.....	25

4.2.5	Gesellschaftliche Hinderungsgründe	25
4.2.6	Pflanzenbauliche Hinderungsgründe.....	25
4.2.7	Sonstige Hinderungsgründe	25
4.2.8	Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung.....	25
4.2.9	Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements	26
4.3	Rückgewinnung von Phosphor aus der Wasserphase und dem kommunalen Klärschlamm	26
4.3.1	Einführung	26
4.3.2	Technische Hinderungsgründe	27
4.3.3	Rechtliche Hinderungsgründe	28
4.3.4	Wirtschaftliche Hinderungsgründe.....	28
4.3.5	Pflanzenbauliche Hinderungsgründe.....	28
4.3.6	Gesellschaftliche Hinderungsgründe.....	28
4.3.7	Sonstige Hinderungsgründe	28
4.3.8	Internationale Entwicklung.....	29
4.3.9	Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung.....	30
4.3.10	Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements	30
5	Phosphor-Nutzung aus Klärschlammasche (KSA).....	31
5.1	Herstellung einer phosphorreichen Klärschlammasche	31
5.1.1	Einführung	31
5.1.2	Technische Hinderungsgründe	31
5.1.3	Rechtliche Hinderungsgründe	32
5.1.4	Wirtschaftliche Hinderungsgründe.....	32
5.1.5	Gesellschaftliche Hinderungsgründe.....	32
5.1.6	Sonstige Hinderungsgründe	33
5.1.7	Internationale Entwicklung.....	33
5.1.8	Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung.....	33
5.1.9	Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements	34
5.2	Direkte landwirtschaftliche Klärschlammasche-Verwertung	34
5.2.1	Technische Hinderungsgründe	34
5.2.2	Rechtliche Hinderungsgründe	34
5.2.3	Wirtschaftliche Hinderungsgründe.....	35
5.2.4	Pflanzenbauliche Hinderungsgründe.....	35
5.2.5	Gesellschaftliche Hinderungsgründe.....	35
5.2.6	Sonstige Hinderungsgründe	35
5.2.7	Internationale Entwicklung.....	35
5.2.8	Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung.....	35
5.2.9	Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements	36
5.3	Rückgewinnung von Phosphor aus der Klärschlammasche.....	36
5.3.1	Einführung	36
5.3.2	Technische Hinderungsgründe	37
5.3.3	Rechtliche Hinderungsgründe	37
5.3.4	Wirtschaftliche Hinderungsgründe.....	37
5.3.5	Pflanzenbauliche Hinderungsgründe.....	37
5.3.6	Gesellschaftliche Hinderungsgründe.....	38

5.3.7	Sonstige Hinderungsgründe	38
5.3.8	Internationale Entwicklung.....	38
5.3.9	Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung.....	38
5.3.10	Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements	39
5.4	Stoffliche Verwertung von Klärschlammasche in der Düngemittelindustrie	39
5.4.1	Einführung	39
5.4.2	Technische Hinderungsgründe	39
5.4.3	Rechtliche Hinderungsgründe	40
5.4.4	Wirtschaftliche Hinderungsgründe.....	40
5.4.5	Pflanzenbauliche Hinderungsgründe.....	41
5.4.6	Gesellschaftliche Hinderungsgründe.....	41
5.4.7	Sonstige Hinderungsgründe	41
5.4.8	Erfahrung International	41
5.4.9	Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung.....	42
5.4.10	Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements	42
6	Phosphor-Nutzung aus verarbeiteten tierischen Nebenprodukten (vTN)	43
6.1	Landwirtschaftliche Verwertung von Mehlen aus der Verarbeitung tierischer Proteine .	43
6.1.1	Technische Hinderungsgründe	43
6.1.2	Rechtliche Hinderungsgründe	43
6.1.3	Wirtschaftliche Hinderungsgründe.....	43
6.1.4	Pflanzenbauliche Hinderungsgründe.....	44
6.1.5	Gesellschaftliche Hinderungsgründe.....	44
6.1.6	Sonstige Hinderungsgründe	44
6.1.7	Internationale Entwicklung.....	44
6.1.8	Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung.....	44
6.1.9	Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements	44
7	Phosphor-Nutzung aus den veraschten tierischen Nebenprodukten	45
7.1	Herstellung einer phosphorreichen Asche aus tierischen Nebenprodukten.....	45
7.2	Direkte landwirtschaftliche Verwertung der veraschten tierischen Nebenprodukte	45
7.2.1	Technische Hinderungsgründe	45
7.2.2	Rechtliche Hinderungsgründe	45
7.2.3	Wirtschaftliche Hinderungsgründe.....	45
7.2.4	Pflanzenbauliche Hinderungsgründe.....	46
7.2.5	Gesellschaftliche Hinderungsgründe	46
7.2.6	Sonstige Hinderungsgründe	46
7.2.7	Internationale Entwicklung.....	46
7.2.8	Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung.....	46
7.2.9	Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements	47
7.3	Rückgewinnung von Phosphor aus veraschten tierischen Nebenprodukten mit neu entwickelten Verfahren.....	47
7.4	Stoffliche Verwertung von veraschten tierischen Nebenprodukten in der Düngemittelindustrie	47
8	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	48
9	Literatur	51
10	Anhang	57

Begriffsdefinitionen:

EW₆₀:

Einwohnerwert; ein Einwohnerwert entspricht der Reinigungsleistung für die täglich im häuslichen Abwasser anfallende mittlere organische Schmutzfracht eines Einwohners, angegeben als 60 g/d biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB₅)

Rohphosphat:

Magmatisches oder sedimentäres Ausgangsgestein zur Herstellung von Mineraldüngern. Rohphosphate sind z. B. Apatite oder Phosphorite ($\text{Ca}_5[(\text{F},\text{OH},\text{CO}_3)/(\text{PO}_4)_3]$). Der enthaltene Phosphor ist nicht in Wasser löslich und damit nicht unmittelbar pflanzenverfügbar. Folglich ist eine Behandlung mit mineralischen Säuren notwendig (siehe SSP, TSP, P-Säure).

Single Superphosphat (SSP):

Phosphordünger, hergestellt durch Aufschluss von nicht-wasserlöslichen Rohphosphaten (Apatit $\text{Ca}_5[(\text{F},\text{Cl},\text{OH})](\text{PO}_4)_3$) mit Schwefelsäure (SSP: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$). SSP enthält rund 7–9,5 % Phosphor.

Triple Superphosphat (TSP):

Phosphordünger, hergestellt durch Aufschluss von nicht-wasserlöslichen Rohphosphaten (Apatit) mit Phosphorsäure hoher Reinheit. TSP enthält rund 20 % Phosphor.

NPK-Dünger:

Mehrnährstoffdünger bestehend aus Stickstoff, Phosphor und Kalium. Mehrnährstoffdünger werden in unterschiedlichen Nährstoffverhältnissen hergestellt (Bsp. NPK 15/15/15 = 15 % N, 15 % P_2O_5 , 15 % K_2O).

Phosphorsäure:

Herstellung aus Rohphosphat durch Leaching mit Schwefelsäure, Salzsäure oder Salpetersäure → Phosphorsäure (H_3PO_4).

Struvit:

Wasserunlösliches Salz bestehend aus den Nährstoffen Magnesium (Mg), Ammonium (NH_4^+), Phosphor (PO_4^{3-}) und Wasser → $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Magnesium-Ammonium-Phosphat, MAP)

Calciumphosphat:

Wasserunlösliche Salze bestehend aus den Nährstoffen Kalzium (Ca) und Phosphor (PO_4^{3-}) sowie Wasser. Die Verbindungen können vielfältig sein: z. B. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

Klärschlammasche (KSA) bzw. veraschte tierische Nebenprodukte:

Durch eine Monoverbrennung von Klärschlamm bzw. Mehlen aus der Verarbeitung von tierischen Proteinen bzw. tierischen Nebenprodukten in Wirbelschichtanlagen anfallende Kessel-, Zyklo- bzw. Elektrofilterasche.

Klärschlamm-Biokohle (Biochar):

Durch Hydrothermale Carbonatisierung (HTC) oder pyrolytische Verkohlung (Pyrolyse) von Klärschlamm hergestellte Kohle.

Nährstoff:

Dazu zählen P, N, Ca, Mg, K, S – Gleichzeitig können einzelne Schwermetalle auch Mikro-nährstoffe (z. B. Cu, Zn) sein.

Verarbeitete tierische Proteine (vTP) → früher Tiermehle:

- **Mehle der Kat. 1:**

Mehle aus tierischem Risikomaterial (inkl. gefallenem Tier) mit hohem Seuchenrisiko (z. B. Creutzfeld Jakob bzw. BSE (Bovine Spongiforme Enzephalopathie)). Kat. 1-Mehl muss thermisch behandelt werden.

- **Mehle der Kat. 2:**

Mehle aus tierischen Nebenprodukten (inkl. gefallenem Tier) mit Krankheits- und Seuchenrisiko (wird in Österreich nicht produziert, sondern mit Material der Kat. 1 mitverarbeitet, somit alles Kat. 1).

- **Mehle der Kat. 3 → jetzt PAP (processed animal proteins):**

Mehle aus tierischen Nebenprodukten ohne Seuchenrisiko von gesund beschauten Tieren/Schlacht-Nebenprodukten. Ist als Futtermittel, Pet-Food zugelassen.

Schadstoffe:

Der Ausdruck „Schadstoffe“ ist für potenziell schädliche Stoffe vielfach umstritten und es wird stattdessen auch von Spurenstoffen gesprochen, da eine Schadwirkung erst über einer gewissen Grenzdosis auftritt. Für viele der genannten Stoffe und Stoffgruppen existiert bis heute auch keine vollständige einzelstoffliche Risikobewertung zu deren Eintrag über die Klärschlammverwertung in die Umwelt. Aufgrund ihrer potenziell schädlichen Wirkung werden folgende Stoffe jedoch im Rahmen dieses ExpertInnenpapiers unter dem Überbegriff „anorganische“ bzw. „organische Schadstoffe“ geführt.

- **Schwermetalle (anorganische Schadstoffe):**

z. B. As, Cd, Cr, Cr(VI), Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, V, U

- **Organische Schadstoffe:**

Dazu zählen u. a. AOX (Adsorbierbare organisch gebundene Halogene), PAK (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe), Polychlorierte Biphenyle (PCB), Dioxine und Furane (PCDD/F), Organochlorpestizide (OCP), Perfluorierte Tenside (PFT)

1 Zielsetzung und Kontext des ExpertInnenpapiers

Mit dem hier vorgelegten ExpertInnenpapier sollen die fachlichen Hintergründe, die offenen Fragen und die wichtigsten Hinderungsgründe für ein zukünftiges Phosphor-Recycling aus kommunalem Klärschlamm und tierischen Nebenprodukten (Mehle aus der Verarbeitung von tierischen Nebenprodukten) in Österreich dargestellt und konkrete Lösungsansätze vorgeschlagen werden.

Auf den kommunalen Kläranlagen Österreichs werden rund 0,85 kg Phosphor (P) pro Einwohner (E) und Jahr (a) aus dem Abwasser entfernt und gelangen so in den Klärschlamm. In Mehlen aus der Verarbeitung tierischer *Nebenprodukte* sind weitere 0,45 kg P/E*a enthalten. Der Aufwand an mineralischen Düngemitteln in der Landwirtschaft betrug im Durchschnitt der vergangenen 5 Jahre rund 1,5 kg P/E*a. Der kommunale Klärschlamm ist in Österreich somit zusammen mit den Mehlen der Verarbeitung tierischer *Nebenprodukten* eine bedeutende Phosphor-Ressource, welche jedoch gegenwärtig nur in geringem Ausmaß genutzt wird.

Bereits 2014 hat der ÖWAV mit dem Positionspapier „Klärschlamm als Ressource“ auf die Bedeutung des Abfallstroms „Klärschlamm“ im anthropogenen Phosphor-Kreislauf hingewiesen und eine gezielte Bewirtschaftung dieser Ressource gemeinsam mit anderen phosphorhaltigen Abfällen gefordert (ÖWAV, 2014).

Im Kontext einer Nutzung des Phosphors aus kommunalem Abwasser und tierischen Nebenprodukten, lässt sich die Ausgangslage über folgende Fakten charakterisieren:

- Phosphor ist essenziell für menschliches und tierisches Leben.
- Der größte Phosphorbedarf in Österreich besteht in der Landwirtschaft in Form von Düngemitteln.
- Erschließbare Rohphosphat-Lagerstätten sind endlich, liegen nur in wenigen Ländern vor und die Versorgung hängt von regionalen politischen Verhältnissen ab.
- Nachdem heute die Phosphor-Entfernung auf Kläranlagen > 1.000 EW in Österreich flächendeckend umgesetzt ist, bleibt bei Gewässern mit Eutrophierungsproblemen die Bodenerosion die Hauptursache.
- Eine weitgehende Phosphor-Entfernung bei der Abwasserreinigung ist die Grundvoraussetzung für Phosphor-Recycling aus Klärschlamm oder Klärschlammaschen, da dabei Phosphor im Klärschlamm zurückgehalten wird.
- Aktuell wird Phosphor überwiegend durch Fällung mit Metallsalzen aus dem Abwasser entfernt und in den Klärschlamm eingebunden.
- Österreich ist für die mineralische Düngemittelherstellung zu 100 % auf den Import von Phosphor in Form von Rohphosphat angewiesen. Es gibt keine bekannten Lagerstätten in Österreich.
- Rohphosphat wird teils unter ökologisch bedenklichen und sozial prekären Umständen abgebaut.
- Die indirekten Kosten z. B. durch den Abbau aus Lagerstätten für in Österreich eingesetzte Phosphor-Düngemittel sind nicht bekannt.
- Die direkten Kosten für Phosphor-Düngemittel in der Landwirtschaft sind im Vergleich zu anderen Betriebsmitteln gering.
- In Österreich gibt es gegenwärtig keine Kläranlage mit einer technischen Phosphor-Rückgewinnung.
- Nur 17 % des phosphorhaltigen Klärschlammes werden in Österreich zu Dünge Zwecken direkt auf landwirtschaftlichen Flächen verwertet.
- Mehle aus tierischen Nebenprodukten PAP (Kat. 3) werden in Österreich nicht direkt als organisch-mineralischer Dünger in der Landwirtschaft eingesetzt, sondern bereits als Futtermittel höherwertig genutzt. Mehle der Kat.2 werden in Österreich nicht produziert.
- Mehle der Kat. 1 müssen thermisch verwertet werden und stehen derzeit für ein Phosphor-Recycling nicht zur Verfügung.

2 Herkunft, Anfall und Zusammensetzung phosphorreicher Abfälle

2.1 Phosphor im kommunalen Abwasser/Klärschlamm

93 % des kommunalen Abwassers werden in Österreich in rund 640 Kläranlagen mit einer Kapazität von ≥ 2000 EW gereinigt. Das in diesen kommunalen Kläranlagen behandelte Abwasser enthält rund 1 kg Phosphor pro Einwohner und Jahr (kg P/E*a). Unter der Annahme einer 80- bis 90%-igen Phosphor-Entfernung aus dem Abwasser finden sich in den jährlich anfallenden 240.000 t TS Klärschlamm (TS: Trockensubstanz) rund 0,85 kg P/E*a (Egle et al., 2013). Das entspricht > 50 % der jährlich in der Landwirtschaft in Form von mineralischen Phosphor-Düngern eingesetzten Phosphor-Fracht (Wirtschaftsjahr 2014/15: 1,47 kg P/E*a (Grüner Bericht, 2016)).

In Österreich wird der Großteil der Abwässer in einer geringen Anzahl von Kläranlagen gereinigt. In den 39 Kläranlagen mit einer Kapazität > 100.000 EW werden rund 60 % des anfallenden Abwassers behandelt. Werden auch die Kläranlagen > 20.000 EW berücksichtigt, werden sogar 85 % des kommunalen Abwassers in lediglich 197 Kläranlagen gereinigt. Die anfallende Phosphorfracht verhält sich nahezu analog. Die Anzahl der Kläranlagen > 20.000 EW entsprechen dabei rund 11 % der insgesamt 1.868 Kläranlagen Österreichs (Abbildung 1). Somit sind es speziell die größeren Kläranlagen, die für eine Phosphor-Rückgewinnung von Bedeutung sind, da hier bei einer überschaubaren Anzahl von Einzelanlagen auf den Großteil des Phosphor-Potenzials im Abwasser zugegriffen werden kann.

In Österreich wird der Klärschlamm derzeit zu rund 20 % direkt auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht, 27 % werden durch sonstige Verfahren behandelt (z. B. Kompostierung, Biogas) und der Rest von 53 % wird thermisch behandelt (BMNT 2018).

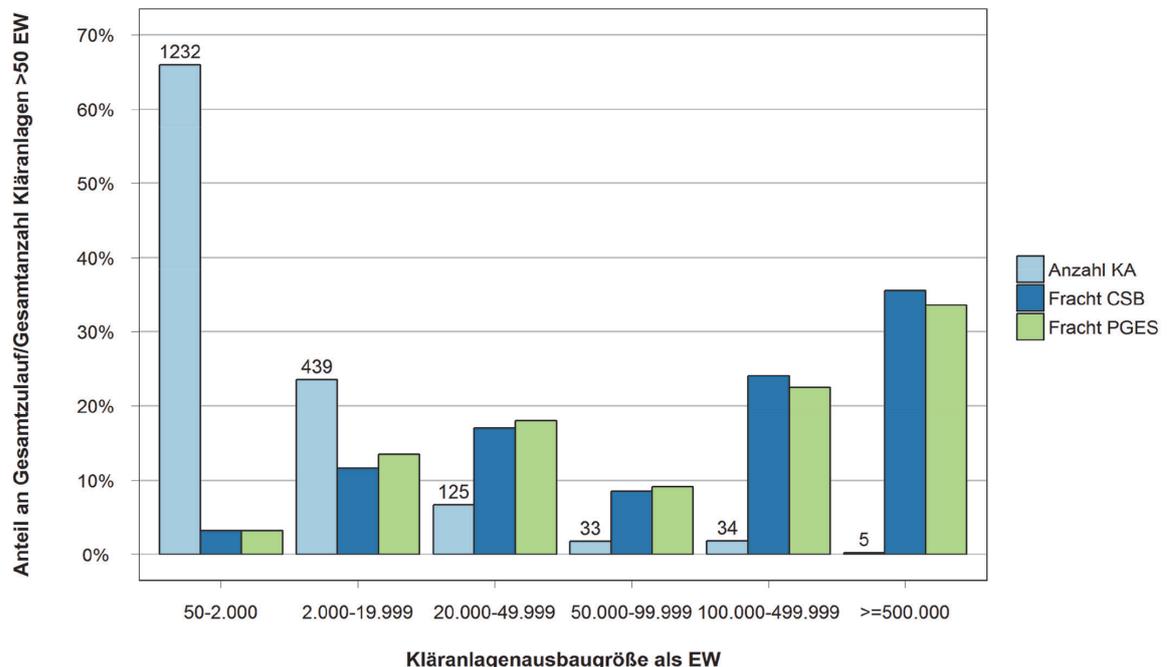


Abb. 1 Verteilung der Ausbaugröße von Kläranlagen und Anteil an den Gesamtabwasserfrachten in Österreich sowie Anzahl der Kläranlagen der jeweiligen Größenklasse im Referenzjahr 2016 (Daten aus Anlagenüberwachung EmRegV-OW (2009))

2.2 Phosphor in verarbeiteten tierischen Nebenprodukten

In diesem ExpertInnenpapier werden jene tierischen Nebenprodukte betrachtet, die in den vier österreichischen Verwertungsanlagen verarbeitet werden. Tierische Nebenprodukte wer-

den abhängig vom Grad der von ihnen ausgehenden Gefahr (Seuchenrisiko) für die Gesundheit von Mensch und Tier in drei Kategorien unterteilt.

In zwei Anlagen wird aus tierischen Nebenprodukten der Kat. 1 und Kat. 2 verarbeitetes tierisches Protein der Kat. 1 erzeugt. Dieses muss aufgrund des seuchenhygienischen Risikos gemäß den bestehenden gesetzlichen Vorschriften thermisch behandelt werden, wobei der hohe Heizwert wirtschaftlich genutzt wird (18–20 MJ/kg). Kat. 2-Mehle werden derzeit in Österreich nicht produziert. An den anderen Standorten werden PAP und Spezialprodukte (Mehle der Kat. 3) hergestellt. Insgesamt fallen rund 90.800 t Mehle der Kat. 1-3 an (BAWP, 2017). Durch die hohen Proteingehalte in diesen verarbeiteten tierischen Nebenprodukten, werden Mehle der Kat. 3 als Futtermittel (für Nutztiere/Pet-Food und Aqua-Kulturen) eingesetzt. Da der Einsatz als Futtermittel deutlicher höherwertiger ist als ein möglicher Einsatz als Düngemittel, stehen diese Produkte zur Phosphor-Nutzung nicht zur Verfügung (damit verbunden ist auch die Reduktion der Soja-Importe/Schutz des Regenwalds). Nach aktueller gesetzlicher Definition entsprechen ca. 20 % der verarbeiteten tierischen Nebenprodukte der Kat. 1, Tendenz fallend.

Der Phosphor-Anteil der Kat. 1-Mehle kann abhängig vom Gehalt an Knochen stark variieren und liegt bei 3–6 % P/kg TS. Aus diesen Konzentrationen errechnet sich eine Phosphor-Fracht im Kat. 1-Mehl von insgesamt 0,1 kg P/E*a (Egle et al., 2013).

2.3 Charakterisierung

2.3.1 Nährstoffe und potenzielle Schadstoffe

Für einen gezielten Einsatz der betrachteten Materialien Klärschlamm und verarbeiteter tierischer Nebenprodukte in einem optimierten Phosphor-Management ist die Kenntnis über deren typische Zusammensetzung unentbehrlich. Neben wertvollen Nährstoffen wie z. B. N, P und K können in Klärschlamm auch eine Vielzahl an Verunreinigungen und für Umwelt und Mensch potenzielle Schadstoffen aus Haushalten, Industrie und Gewerben wiedergefunden werden. Darunter fallen unter anderem Schwermetalle, organische Spuren- bzw. Mikroschadstoffe, Nanopartikel, pathogene Keime und Mikroplastik. Für viele der genannten Stoffe und Stoffgruppen existiert bis heute keine vollständige einzelstoffliche Risikobewertung deren Eintrags über die Klärschlammverwertung in die Umwelt. Aufgrund ihrer potenziell schädlichen Wirkung werden diese jedoch im Folgenden unter dem Überbegriff „anorganische“ bzw. „organische Schadstoffe“ geführt.

In Tabelle A1 im Anhang sind charakteristische Nährstoff- und Schadstoffgehalte in Klärschlamm, Klärschlammkompost, Klärschlamm(-aschen), veraschte tierische Nebenprodukte der Kat. 1 und Struvit dargestellt. Um einen Vergleich mit derzeitigen mineralischen Phosphor-Quellen zu ermöglichen, sind außerdem typische Gehalte in sedimentärem und magmatischem Rohphosphat sowie dem Produkt Single Superphosphat angegeben. Die dargestellten Werte zeigen die Bandbreite der Mittelwerte aus diversen Studien. Da in der Praxis die eingesetzte Düngemittelmenge abhängig von dessen Nährstoffgehalt ist, werden für einen besseren Vergleich die Schadstoffgehalte zusätzlich auf 1 kg P₂O₅ bezogen.

2.3.2 Agronomische Bewertung

Ein wesentlicher Aspekt bei der Nutzung von Phosphor aus Sekundärrohstoffen oder Rezyklaten in der Landwirtschaft ist die Verfügbarkeit des Nährstoffes für die Pflanze. Eine Bewertung der Verfügbarkeit kann durch die Bestimmung der Löslichkeit in unterschiedlichen Extraktionsmitteln (Tabelle 1) sowie durch die Bestimmung von z. B. Pflanzenwachstum, Ernteerträgen und verfügbarem Phosphor-Gehalt im Boden durch Pflanzenversuche im Labor oder unter realistischen Bedingungen auf dem Feld erfolgen.

2.3.2.1 Löslichkeit des Phosphors

Durch den Einsatz unterschiedlicher Extraktionsmittel kann eine erste Abschätzung getroffen werden, ob ein Düngemittel unmittelbar für die Pflanze (bei hoher Wasserlöslichkeit), innerhalb einer Wachstumsperiode (bei hoher Zitronensäure- und/oder neutraler Ammon-Citrat-Löslichkeit) oder über einen Zeitraum von mehreren Wachstumsperioden zur Verfügung steht (bei geringer Zitronensäure- und/oder neutraler Ammon-Citrat-Löslichkeit). Allerdings reichen die Extraktionsversuche nicht aus, die tatsächliche Verfügbarkeit für die Pflanze, im Speziellen für neue Rezyklate, einwandfrei zu ermitteln.

Tab. 1: Löslichkeit von organisch/mineralischen Düngern (orange), Aschen aus der Klärschlammverbrennung und Aschen aus der Verbrennung von tierischen Nebenprodukten (rot), ausgewählten Phosphor-Rezyklaten (grün) sowie Rohphosphat und eines handelsüblichen Phosphor-Düngers (grau) (–; keine Werte)

Extraktionsmittel	Löslichkeit	Klärschlamm (KS)	Klärschlamm-Kompost	Mehle aus der Verarbeitung tierischer Proteine (MvTP)	Klärschlammasche (KSA)	Veraschte tierische Nebenprodukte (VTN)	Struvit	Calciumphosphat (CaP)	Phosphorsäure (P-Säure)	Rohphosphat (RP)	Single-Superphosphat (SSP)
H ₂ O	(%)	5	10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	100	< 1	> 90
CA	(%)	30–70	70	54	30–40	-	90–100	50–100	100	-	90
NAC	(%)	90	75	-	-	-	90–100	50–100	100	-	95
FA	(%)	-	-	70	30	-	-	-	100	> 55	-

H₂O: Wasser, CA: Zitronensäure, NAC: Neutrales Ammon-Zitrat, FA: Ameisensäure

2.3.2.2 Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors in Rezyklaten im Jahr der Anwendung

Für die Ermittlung der tatsächlichen Verfügbarkeit sind Feldversuche unabdingbar. Allerdings ist die Ermittlung der tatsächlichen Verfügbarkeit des Phosphor unter realen Bedingungen von mehreren sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren abhängig (u. a. Bodenart, Vegetationsart, Charakteristik des eingesetzten Düngemittels, Klima). Für eine abschließende Bewertung der Verfügbarkeit von Aschen sowie Phosphor-Rezyklaten ist die Datengrundlage noch unzureichend. Anhand der derzeit bekannten agronomischen Studien lässt sich die Verfügbarkeit innerhalb einer Vegetationsperiode wie folgt darstellen (beste Verfügbarkeit zuerst):

P-Säure > SSP ≥ Struvit > CaP > Klärschlamm und –kompost ≥ Mehle aus der Verarbeitung tierischer Nebenprodukte > veraschte tierische Proteine > Rohphosphat ≥ KSA

Diese Reihung gibt keinen Aufschluss über die langfristige Pflanzenverfügbarkeit.

3 Rechtliche Grundlagen

Erzeugung, Weitergabe, Umgang und Beseitigung von Stoffen und/oder Produkten sind im österreichischen und europäischen Rechtssystem vielfältig – zum Teil sogar mehrfach – geregelt. Dabei finden sich in den meisten Rechtsvorschriften Anforderungen,

- die – im Rahmen des sogenannten Stoff- und Produktrechts – zum Schutz von Mensch und Umwelt an die Stoffe und/oder Produkte selbst gestellt werden,
- die – im Rahmen des sogenannten Anlagenrechts – an Errichtung, Betrieb und Stilllegung jener Anlagen, in denen diese Stoffe und Produkte erzeugt, (weiter)verarbeitet, behandelt oder verwendet bzw. entsorgt werden

sowie Voraussetzungen, die – im Rahmen des sogenannten Berufsrechts – für die Ausführung bestimmter Tätigkeiten beim Umgang mit diesen Stoffen und/oder Produkten gelten. Wird dabei ein Stoff außerhalb des Abfallregimes erzeugt, hat der Produzent alle relevanten stoff- und produktrechtlichen, anlagenrechtlichen sowie berufsrechtlichen Vorschriften einzuhalten. Fällt dieser Stoff jedoch als Abfall an, hat der sogenannte Abfallerzeuger (im Normalfall) lediglich die im Abfallrecht vorgesehenen stoff- und produktrechtlichen Bestimmungen einzuhalten; die anlagen- und berufsrechtlichen Vorgaben sind darüber hinaus nur für Abfallsammler und -behandler relevant.

Über die in den nachstehenden Kapiteln angeführten Vorschriften hinaus, sind im Einzelfall weitere Rechtsvorschriften auf EU-, Bundes-, und Landesebene relevant, insbesondere im Umweltrecht oder dem Steuer- und Abgabenrecht.

3.1 Abfallrecht

Rückstände aus der Behandlung von Abwässern oder Abfällen werden als Abfall und nicht als Nebenprodukt oder Produkt angesehen. Da dies insbesondere auf Klärschlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser sowie auf Aschen aus der thermischen Verwertung/Behandlung von Abfällen zutrifft, werden in diesem und den nachstehenden Kapiteln zuerst die wesentlichsten abfallrechtlichen Vorschriften dargelegt und erst anschließend einige wichtige „nicht-abfallrechtliche“ Vorschriften, die z. T. neben dem Abfallrecht gelten, z. T. erst nach dem „Verlassen“ des Abfallregimes.

Mehle aus der Verarbeitung tierischer Nebenprodukte gelten laut AWG 2002 (§ 3 Abs. 1 Z 5 lit. b) nicht als Abfall. Dies gilt nicht für Mehle, die für spezifische Abfallbehandlungsanlagen wie die Verbrennung in einer Verbrennungs- oder Mitverbrennungsanlage, oder die Behandlung in einer Biogas- oder Kompostieranlage bestimmt sind.

3.1.1 Abfallwirtschaftsgesetz

Mit dem Abfallwirtschaftsgesetz (AWG 2002) trifft der österreichische Gesetzgeber u. a. Festlegungen, wann und unter welchen Voraussetzungen eine Sache Abfall bzw. Nicht-Abfall ist (§§ 2, 3 und 6) sowie Festlegungen, wann und unter welchen Voraussetzungen die Abfalleigenschaft endet (§§ 5 und 6).

Gemäß § 2 Abs. 3a AWG 2002 kann dabei ein Stoff oder Gegenstand, der das Ergebnis eines Herstellungsverfahrens ist, dessen Hauptziel nicht die Herstellung dieses Stoffes oder Gegenstands ist, (nur) dann als Nebenprodukt und nicht als Abfall gelten, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- 1) es ist sicher, dass der Stoff oder Gegenstand **weiterverwendet** wird;
- 2) der Stoff oder Gegenstand kann **direkt ohne weitere Verarbeitung**, die über die normalen industriellen Verfahren hinausgehen, verwendet werden;

- 3) der Stoff oder Gegenstand wird **als integraler Bestandteil eines Herstellungsprozesses** erzeugt und
- 4) die weitere Verwendung ist zulässig, insbesondere ist der Stoff oder Gegenstand **unbedenklich für den beabsichtigten sinnvollen Zweck einsetzbar**, es werden **keine Schutzgüter (vergleiche § 1 Abs. 3) durch die Verwendung beeinträchtigt** und es werden alle **einschlägigen Rechtsvorschriften** eingehalten.

Ob ein Stoff ein Nebenprodukt ist, muss anhand dieser Kriterien überprüft und durch eine Bewertung des spezifischen Einzelfalls beurteilt werden.

Handelt es sich bei einem Stoff um ein Nebenprodukt, so besteht eine Registrierungspflicht gemäß den Bestimmungen der REACH-Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 idgF (siehe Kapitel 3.2).

Ist eine Sache (jedoch) Abfall, ist insbesondere die Übergabe zur Behandlung oder Verwertung nur an Abfallsammler und -behandler zulässig, die über die entsprechende Erlaubnis für die konkrete Abfallart verfügen.

Keine Erlaubnis benötigen Personen, die nicht gefährliche Abfälle (wie z. B. kommunale Klärschlämme) zum Nutzen der Landwirtschaft oder der Ökologie auf den Boden aufbringen (Verwertungsverfahren R 10 gemäß Anhang 2 AWG 2002).

3.1.2 Abfallverzeichnisverordnung

Die Abfallverzeichnis-VO enthält das Verzeichnis der Abfallarten, Kriterien zur Beurteilung der gefahrenrelevanten Eigenschaften eines Abfalls und regelt die Zuordnung eines Abfalls zu einer Abfallart (definiert durch eine Abfall-Schlüsselnummer). Der (jeweilige) Abfallbesitzer hat den Abfall dabei jener Abfallart zuzuordnen, die seine Eigenschaften (und Herkunft) am besten beschreibt.

Rückstände aus Klärschlammverbrennungsanlagen (Aschen und Filterstäube) sind derzeit den gefährlichen Abfallarten SN 31308 „Schlacken und Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen“ oder SN 31309 „Flugaschen und -stäube aus Abfallverbrennungsanlagen“ zuzuordnen.

3.1.3 Kompostverordnung

Die Kompostverordnung regelt die Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen, die Art und Herkunft der Ausgangsmaterialien, die Anforderungen an die Eingangskontrolle und Störstoffabtrennung bei der Herstellung von Komposten, die Endproduktkontrolle, die Kennzeichnung und das Inverkehrbringen sowie das Ende der Abfalleigenschaft von Komposten aus Abfällen; die Kompostverordnung enthält darüber hinaus zusätzliche Aufzeichnungs- und Meldeverpflichtungen.

Klärschlamm als Ausgangsmaterial für (Qualitäts-)Kompost unterliegt der Bundeskompostverordnung. Kommunaler Klärschlamm, der die Grenzwertvorgaben der Kompostverordnung erfüllt, kann als Ausgangsmaterial verwendet werden.

3.1.4 Abfallverbrennungsverordnung

Die Abfallverbrennungsverordnung (AVV) regelt die Verbrennung von Abfällen in Abfall(mit)verbrennungsanlagen.

Damit fällt auch die Verbrennung von Klärschlamm unter den Geltungsbereich der AVV. Im Regelfall handelt es sich bei einer Klärschlamm-Monoverbrennungsanlage um eine Verbrennungsanlage gemäß § 3 Z 45 AVV, da der Hauptzweck der Anlage in der thermischen Behandlung des Klärschlammes besteht.

Klärschlämme, die in Mitverbrennungsanlagen (Anlagen, deren Hauptzweck in der Energieerzeugung oder der Produktion stofflicher Erzeugnisse besteht) verbrannt werden sollen, haben die Vorgaben gemäß Anlage 8 AVV (v. a. Schadstoffgrenzwerte, und Vorgaben zur Probenahmeplanung, Probenahme und Durchführung von Untersuchungen) einzuhalten. Bei Einhaltung der Grenzwerte für Emissionen in die Luft gemäß Anlage 1 AVV (Emissionsgrenzwerte für Verbrennungsanlagen) sind Klärschlämme gemäß § 6a Abs. 2 von den Vorgaben für Abfälle, die in Mitverbrennungsanlagen verbrannt werden sollen, ausgenommen. D. h. es sind von Klärschlämmen keine Input-Grenzwerte einzuhalten und es ist auch keine Qualitätssicherung (Probenahme, Probeaufbereitung, Analysen) erforderlich.

Gemäß AWG 2002 (§ 3 Abs. 1 Z 5 lit. B) gilt Mehl aus der Verarbeitung tierischer Nebenprodukte, das in einer Verbrennungs- oder Mitverbrennungsanlage behandelt wird, als Abfall. Für diese Mehle kann jedoch auch das Abfallende deklariert werden (§ 18a AVV). Dazu müssen keine analytischen Untersuchungen durchgeführt werden (Anlage 9 Kapitel 2.4b AVV).

Mehle aus der Verarbeitung tierischer Nebenprodukte, die nicht als Abfall gelten, fallen nicht unter die Bestimmungen der AVV. Im Fall der Verbrennung solcher Mehle gelten die Vorgaben der Verordnung (EU) Nr. 142/2011 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte.

3.1.5 Altlastensanierungsgesetz

Das Altlastensanierungsgesetz (ALSAG) sieht für beitragspflichtige Tätigkeiten (z. B. Ablagern, mehr als 1-jähriges Lagern zur Beseitigung, mehr als 3-jähriges Lagern zur Verwertung, Verfüllen und Verbrennen) die Entrichtung von Gebühren vor.

Nicht gefährliche Schlämme aus Anlagen zur Behandlung von Abwässern (Klärschlamm) oder nicht für den menschlichen Verzehr geeignete tierische Nebenprodukte (Verordnung (EU) Nr. 142/2011 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 z. B. Mehle aus der Verarbeitung tierischer Nebenprodukte) nach der EU-Hygieneverordnung unterliegen nicht der Beitragspflicht, wenn sie in Verbrennungs- oder Mitverbrennungsanlagen im Sinne der Abfallverbrennungsverordnung thermisch verwertet oder zu Herstellung von Brennstoffprodukten genutzt werden.

Die Rückstände aus dem Betrieb einer Verbrennungs- oder Mitverbrennungsanlage sind von der Beitragspflicht ausgenommen, sofern diese Rückstände auf einer dafür genehmigten Deponie abgelagert oder zulässigerweise im Bergversatz verwendet werden. Folglich können Rückstände aus der Verbrennung von Klärschlamm oder tierischen Nebenprodukten über einen beliebig langen Zeitraum auf der Deponie abgelagert und bei Bedarf rückgebaut werden, ohne dass dafür ALSAG-Gebühr zu entrichten ist.

3.1.6 Bundesabfallwirtschaftsplan 2017

Gemäß dem aktuellen BAWP (Teil 1, Kapitel 7.5; 2017) ist das Ziel für die zukünftige Klärschlammbewirtschaftung, eine Phosphor-Rückgewinnung aus kommunalen Klärschlämmen unter weitgehender Zerstörung bzw. Schaffung verlässlicher Senken für die im Klärschlamm enthaltenen Schadstoffe zu erreichen.

Als vielversprechendste Technologie dafür wird eine Monoverbrennung von Klärschlamm und Phosphor-Rückgewinnung aus der anfallenden Asche angesehen. Im Rahmen der Monoverbrennung ist die Stützfeuerung nur mit Brennstoffen oder Abfällen zulässig, die entweder selbst über einen wesentlichen Phosphor-Gehalt verfügen (z. B. Mehle aus der Verarbeitung tierischer Nebenprodukte) oder die einen geringen Aschegehalt aufweisen (z. B. Erdöl, Altöl).

Alternativ dazu kann, um die individuellen Voraussetzungen einzelner Kläranlagen zu berücksichtigen, auch eine Phosphor-Rückgewinnung aus dem Abwasser, Schlammwasser oder

Klärschlamm durchgeführt werden, wobei eine Phosphor-Rückgewinnungsquote von mindestens 45 % bezogen auf den Kläranlagenzulauf anzustreben ist.

Bis 2030 wird angestrebt, dass 65 bis 85 % des in Österreich anfallenden kommunalen Klärschlammes einer Phosphorrückgewinnung zugeführt werden, wobei zunächst der Fokus auf größere Kläranlagen gelegt wird (> 50.000 EW₆₀).

Unterschiedliche Szenarien betreffend der Ausbaugröße der Kläranlagen (20.000/50.000 EW₆₀) und Struktur der Phosphorrückgewinnung (zentral/dezentral) werden bis 2020 im Rahmen einer Studie untersucht.

3.2 Chemikalienrecht (CLP- und REACH-Verordnung)

Wird – z. B. im Rahmen einer Behandlung oder aufgrund einer Abfallende-Verordnung – das sogenannte Abfallende erreicht, unterliegt das Produkt nicht mehr (ausschließlich) den einschlägigen abfallrechtlichen Rechtsbestimmungen. Mit bzw. ab diesem Übergang unterliegt das Produkt bzw. Nebenprodukt jedoch – so keine Ausnahmeregelungen angewandt werden können – (unter anderem auch) den einschlägigen chemikalienrechtlichen Bestimmungen der EU-REACH-Verordnung, EU-Düngemittelverordnung, Düngemittelgesetz, etc. und ist erforderlichenfalls entsprechend zu registrieren.

Mit der REACH-Verordnung (Registrierung („Registration“), Bewertung („Evaluation“) und Zulassung („Authorisation“) von Chemikalien (Chemicals), REACH, 2006) und der CLP-Verordnung (Classification, Labelling and Packaging, CLP, 2008) wurde das europäische Chemikalienrecht auf eine neue Basis gestellt. Im Sinne des Vorsorge- und Verursacherprinzips werden dem Hersteller/Importeur von Stoffen, Gemischen und Erzeugnissen vielfältige Pflichten auferlegt, wobei es zum Teil weitreichende Ausnahmen bzw. Einschränkungen für Abfälle und aus Abfällen zurückgewonnene Stoffe gibt.

Die CLP-Verordnung verpflichtet die Hersteller und Importeure die gefahrenrelevanten Eigenschaften der Stoffe oder Gemische zu ermitteln, diese nach ihren gefährlichen Eigenschaften einzustufen und entsprechend dieser Einstufung zu kennzeichnen und zu verpacken.

Ein Stoff oder Gemisch ist demnach als „gefährlich“ einzustufen, wenn zumindest eine Eigenschaft einer der 28 Gefahrenklassen der CLP-VO für physikalische Gefahren, Gesundheitsgefahren, Umweltgefahren oder Ozonschichtschädigung entspricht. Darüber hinaus besteht für Stoffe eine Registrierpflicht gemäß REACH-Verordnung, wenn von einem Hersteller/Importeur

- mehr als eine Tonne des Stoffes als solches oder in einem oder mehreren Gemisch(en) pro Jahr in der EU hergestellt oder in die EU importiert wird oder
- mehr als eine Tonne eines Stoffes pro Jahr in Erzeugnissen, die in der EU hergestellt oder in die EU importiert werden, enthalten ist und der Stoff unter normalen Bedingungen daraus freigesetzt wird.

Die Registrierung ist Voraussetzung für das Verwenden und die Vermarktung von Stoffen in der EU. Eine REACH-Registrierung ist mit Kosten verbunden (REACH GebVO, 2008).

Die REACH-VO sieht in Art. 2 für eine ganze Reihe von Stoffen und Stoffgruppen eine vollständige oder teilweise Ausnahme von festgelegten Erfordernissen der Registrierung vor. Das betrifft u. a. Stoffe, die umfassend von anderen Rechtsmaterien geregelt werden, wie z. B. Abfall, Pflanzenschutzmittel und Biozide oder Stoffe, über welche ausreichend Informationen vorliegen und von welchen nur ein minimales Risiko ausgeht.

Hinsichtlich der Registrierung von rezyklierten Stoffen legt die REACH-VO (Art. 2 Abs. 7 lit. D) eine Ausnahme fest, wenn diese bereits registriert sind (eine Vorregistrierung ist nicht ausreichend) und wenn der Rückgewinnungseinrichtung die Informationen gemäß Art. 31 (Sicherheitsdatenblatt) und Art. 32 (Informationen für nachgeschaltete Akteure in der Liefer-

kette) der REACH-VO zur Verfügung stehen. Diese Ausnahme ist aber nur anwendbar, wenn registrierter Stoff und zurückgewonnener Stoff im Sinne der REACH-VO ident sind. Diese Anforderung ist erfüllt, wenn mindestens 80 % des rückgewonnenen Materials dem registrierten Stoff entsprechen.

Einen Überblick über Erfordernisse und Ausnahmen für Stoffe, die aus Abfall wiedergewonnen werden, gibt die folgende Abbildung 2.

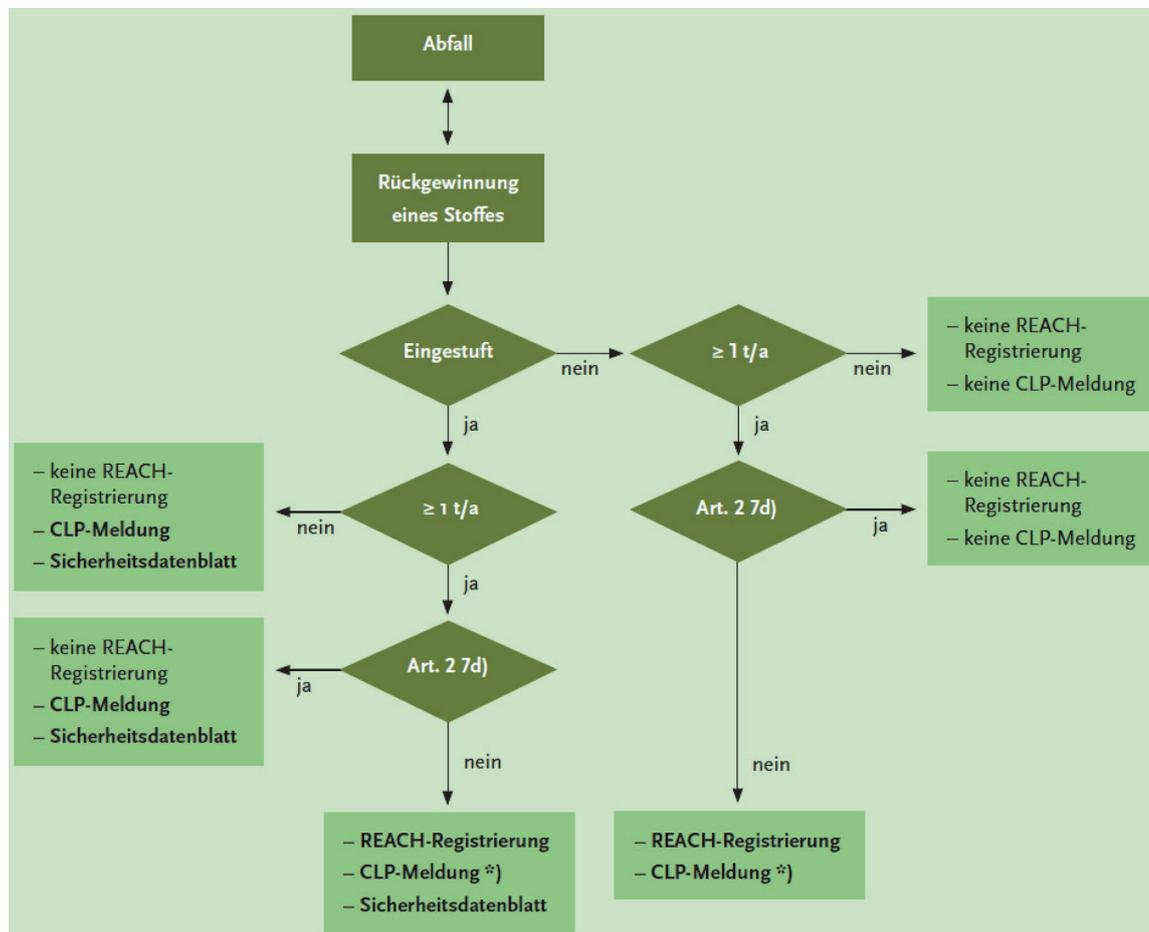


Abb. 2 Verpflichtungen gemäß CLP und REACH für Recyclingunternehmen [4], „Eingestuft“ meint als gefährlich eingestuft, „Art. 2 7d)“ gibt an, ob die Ausnahmen dieses Artikels greifen oder nicht

Ein aus Abfall wiedergewonnener Stoff bzw. ein wiedergewonnenes Gemisch verliert seine Abfalleigenschaft und unterliegt dann vollständig den Erfordernissen gemäß CLP-VO und REACH-VO (sofern nicht eine der Ausnahmeregelungen in Anspruch genommen werden kann).

In der nachstehenden Tabelle 2 sind beispielhaft für einige, im Rahmen eines Phosphor-Recyclings relevante Ausgangsmaterialien und Zwischenprodukte sowie wiedergewonnene Verbindungen, der rechtliche Status und die Registrierungspflicht gemäß REACH zusammengestellt.

Tab. 2 Überblick über ausgewählte Stoffe und Materialien und deren rechtliche Einstufung in REACH und CLP

Chemikalie/Material	rechtlicher Status REACH	gefährliche Eigenschaften gemäß CLP-Verordnung	Registrierungspflicht nach REACH	EU-weit registriert
Klärschlamm	Ausnahme von REACH weil Abfallstatus	Nein	Nein	
Klärschlammasche	Ausnahme von REACH weil Abfallstatus	Nein	Nein	
Mehle aus der Verarbeitung tierischer Proteine (als Abfall)	Ausnahme von REACH weil Abfallstatus	Nein	Nein	
Mehle aus der Verarbeitung tierischer Proteine (nach durchgeführter Abfallendecklaration)	Ausnahme von REACH weil Naturstoffe	Nein	Nein	
Ammoniummagnesiumphosphat (inkl. Hexahydrat; MAP; Struvit) CAS-Nr. 7785-21-9	REACH-pflichtig weil Chemikalie	Nein	Ja (1.000-10.000 t/a)	registriert
Tricalciumbis(orthophosphate) CAS-Nr. 758-87-4	REACH-pflichtig weil Chemikalie	Nein	Ja (1.000-10.000 t/a)	registriert

3.3 Düngemittelrecht und Düngemittelverordnung

3.3.1 Europäisches Düngemittelrecht

Die Verordnung (EG) 2003/2003 über Düngemittel (DMVO-EU, 2003) regelt das Inverkehrbringen von mineralischen Düngemitteln und Kalken im europäischen Binnenraum (EU 28). In diesem teilharmonisierenden Recht wird das Inverkehrbringen von

- Klärschlamm
- Biochar (Biokohlen),
- Struvit (Magnesium-Ammonium-Phosphat; Fällprodukte von Phosphor-Rückgewinnungsverfahren) und
- Klärschlammaschen

nicht geregelt.

Seit 2012 arbeitet die Europäische Kommission (EK) an einem Entwurf für eine neue Düngemittelverordnung, welche das Inverkehrbringen aller Düngemittelprodukte (mineralische und organische Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Pflanzenhilfsmittel und Kultursubstrate) in den 28 europäischen Staaten regeln soll.

Im Auftrag der zuständigen Abteilung (DG Grow) in der Europäischen Kommission wurde Mitte 2016 die Arbeitsgruppe STRUBIAS (**STRU**vit+**BI**ochar+**ASh**) einberufen. Aufgabe dieser Arbeitsgruppe ist es, sowohl Kriterien für die Herstellung dieser Materialien als auch Kriterien für deren Einsatz in der Landwirtschaft zu definieren.

Nach dem aktuellen Stand sollen Struvite, Biokohlen und Aschen unter folgenden Bedingungen als Düngemittel eingesetzt werden:

1) Direkter Einsatz in der Landwirtschaft ohne Aufbereitung

Werden die Prozessanforderungen (Core-Prozess¹⁾) zur Herstellung von Struvit, Biokohlen und Aschen und die Anforderungen an die definierten Nährstoffgehalte, Phosphor-Löslichkeit und Schadstoffgehalte erfüllt, ist ein Einsatz als Düngemittel erlaubt.

2) Einsatz in der Landwirtschaft nach Aufbereitungsschritt

Werden die Prozessanforderungen (Core-Prozess) zur Herstellung von Struvit, Biokohlen und Aschen erfüllt und die Anforderungen an die definierten Nährstoffgehalte, Phosphor-Löslichkeit und Schadstoffgehalte nach einem Aufbereitungsschritt (Post-Processing²⁾) erfüllt, ist ein Einsatz als Düngemittel erlaubt.

In beiden Fällen wird das Abfallende (End-Waste-Criteria) erreicht und Struvite, Biokohlen und Aschen bzw. die Output-Produkte dieser Materialien nach einem Aufbereitungsprozess können CE gekennzeichnet in ganz Europa gehandelt und eingesetzt werden.

Ende 2018 wird der Endbericht erwartet und damit eine nicht bindende Empfehlung an die EU-Kommission abgegeben. Nimmt die EU-Kommission die Empfehlung an, erfolgt eine Aufnahme der genannten Stoffe in die Europäische Düngemittelverordnung.

Begleitend zu diesem Vorhaben hat die Europäische Kommission im Herbst 2015 eine Risikobewertung beim Joint Research Center – Institute for Prospective Technological Studies (JRC-IPTS) in Sevilla in Auftrag gegeben. Im Rahmen dieser Studie sollen Experten bis 2018 klären, unter welchen Voraussetzungen Biochar, Struvit und Klärschlammaschen als Düngemittelprodukte im europäischen Binnenmarkt sicher und effizient verkehrsfähig sind.

Eine weitere Möglichkeit des Inverkehrbringens von Düngemittelprodukten innerhalb von Europa besteht seit 01.12.2009 durch das Prinzip des „freien Warenverkehrs“, das im Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEU-Vertrag) als Teil der „Lissabonverträge“ (EU, 2012) vereinbart und in der VO 764/2009 (EK, 2009) geregelt wurde. Dieses Prinzip ermöglicht, dass Düngemittelprodukte, die in einem beliebigen Mitgliedstaat der EU nach dessen nationalen Regelungen legal in Verkehr gebracht werden, in allen anderen Ländern der Union ebenfalls in Verkehr gebracht werden dürfen.

3.3.2 Inverkehrbringen von Biochar, Struvit und Klärschlammaschen (Düngemittelrecht Österreich)

Klärschlamm, Biochar, Struvit und Klärschlammaschen sind keine erlaubten Ausgangsstoffe zur Herstellung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Pflanzenhilfsmitteln oder Kultursubstraten gemäß Düngemittelverordnung (DMVO, 2004) in der geltenden Fassung. Ein Inverkehrbringen dieser Stoffe als Düngemittelprodukt gemäß DMVO 2004 ist somit nicht möglich. Im Rahmen des Verwaltungsreformgesetzes BMLFUW (VRG, 2017) wurde jedoch das Düngemittelgesetz (DMG) 1994 novelliert, wodurch § 4 Z 4 DMG 1994 entfallen und damit die Verwendung von Verbrennungsrückständen zur Herstellung von Düngemitteln nicht mehr generell ausgeschlossen ist.

Die einzige Möglichkeit stellt derzeit die individuelle Zulassung per Bescheid gemäß § 9a DMG 1994 durch das Bundesamt für Ernährungssicherheit dar. Die Zulassung als Dünge-

¹⁾ Core-Process: Bei der Nutzung von Klärschlammaschen als Düngemittel oder Ausgangsstoff zur Düngemittelherstellung ist beispielsweise bereits bei der Herstellung der Asche die Mitverbrennung von anderen Abfällen verboten. Bei der Verbrennung des Klärschlammes müssen zudem bestimmte Temperaturen und Verweilzeiten in der Gasphase (> 850°C, > 2 Sekunden) garantiert werden.

²⁾ Post-Processing: Dabei handelt es sich beispielsweise um bekannte Düngemittelherstellungsprozesse (Kapitel 5.4) oder neue Recyclingtechnologien (Kapitel 4.3, 5.3). Beim Einsatz dieser Prozesse dürfen nur REACH registrierte Chemikalien bzw. Nebenprodukte, die auf einer (Aufbereitungs-)Anlagen als Nebenprodukte anfallen, mit dem Ziel der Verbesserung der Pflanzenverfügbarkeit und/oder Schwermetallentfernung, eingesetzt werden.

mittelprodukt erfolgt auf Antrag des Herstellers nach Prüfung des jeweiligen Produktes durch die Behörde. Dies wurde z. B. mit dem Produkt PhosKraft®, einem auf Asche basierendem Düngemittel, durchgeführt.

3.4 Bodenschutzrecht

3.4.1 Klärschlamm-Verordnung

Mit Bezug zur EU-Klärschlammrichtlinie (86/278/EWG) über den „Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft“ regeln die Bundesländer in ihren Bodenschutzgesetzen, Klärschlamm- und Kompostverordnungen die Nutzung von Klärschlämmen zu Dünge Zwecken. Herstellung und Anwendung von Klärschlammkomposten sind hingegen bundesweit einheitlich in der Kompostverordnung festgelegt (Kapitel 3.1.3).

Für Tirol, Salzburg und Wien gelten grundsätzlich Anwendungsverbote für Klärschlämme auf landwirtschaftlichen Flächen. Den Regelungen der übrigen Bundesländer ist gemeinsam, dass durch Schadstoffgrenzwerte für Klärschlämme, Höchstgehalte von Schwermetallen in Böden, hygienische Anforderungen und die Begrenzung der jährlichen Ausbringungsmengen mögliche Risiken aus einer Anwendung von Klärschlämmen minimiert werden sollen. Die „Qualität“ von Klärschlämmen orientiert sich ausschließlich an den Schadstoffgehalten und wird in einigen Bundesländern (Burgenland, Kärnten, Niederösterreich) auch zur Unterscheidung von Güte- bzw. Qualitätsklassen herangezogen (Anhang, Kapitel 10). Um dem Faktor Bodeneignung Rechnung zu tragen, werden in regelmäßigen Abständen Bodenuntersuchungen vorgeschrieben.

Qualitätskriterien zur Nutzwirkung durch den Dünge- und Humuseffekt oder das Schließen regionaler Stoffkreisläufe fehlen entweder gänzlich oder sind allenfalls in den allgemeinen Zielen, wie „Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit“ subsummiert. Weiters verpflichten die Klärschlammverordnungen die Abgeber (Kläranlagenbetreiber) und die Abnehmer (Landwirte) zu umfassenden Dokumentations-, Berichts- und Kontrollpflichten und normieren Intervalle für analytische Befundungen von Klärschlämmen und Böden.

3.5 Wasserrecht

3.5.1 Wasserrechtsgesetz

Phosphor und dessen Verbindungen sind im Allgemeinen der limitierende Faktor beim Pflanzenwachstum in Gewässern. Bereits eine geringe Erhöhung der Phosphor-Konzentration in einem Gewässer, z. B. durch Einleitung unzureichend gereinigter kommunaler oder industrieller Abwässer, kann zu einem massiven Anstieg der Pflanzenproduktion führen. Bei anhaltender Phosphor-Zufuhr kann dies wegen des Sauerstoffverbrauchs beim Abbau abgestorbener Pflanzenteile bis zu anoxischen Bedingungen im Gewässer führen, mit allen damit verbundenen nachteiligen Auswirkungen, wie z. B. Fischsterben. Im Wasserrechtsgesetz (WRG, 1959) wurden daher insbesondere ab 1990 auch im Hinblick auf Phosphor die Grundlagen für einen nachhaltigen Gewässerschutz geschaffen.

3.5.2 Abwasseremissionsverordnung

Bezüglich der Reduktion von Abwasseremissionen aus Haushalten sowie Gewerbe und Industrie ist § 33b WRG 1959 die maßgebliche Regelung. Auf dieser Grundlage sind in 65 Abwasseremissionsverordnungen (AEV) die Anforderungen für Abwassereinleitungen aus diesen Bereichen erlassen worden.

In der 1. AEV für kommunales Abwasser sind Emissionsbegrenzungen für Gesamtphosphor festgelegt. Die Emissionsbegrenzungen gelten ab einer Ausbaugröße von 1.000 EW und sinken mit der Ausbaugröße von 2 auf 1 mg P/l sowie im Einzugsgebiet großer Seen und bei

Einleitung in besonders sensible Gewässer auf 0,5 mg P/l. Eine spezifische Technologie zur Einhaltung dieser Grenzwerte ist gesetzlich nicht festgelegt.

Im gewerblichen und industriellen Bereich stammt der im Abwasser enthaltene Phosphor entweder aus den eingesetzten Roh-, Arbeits- und Hilfsstoffen oder er muss im Falle einer biologischen Abwasserreinigung innerhalb des Betriebes als Nährstoff für Bakterienbiozönose des Belebungsbeckens zudosiert werden, wenn das Abwasser ursprünglich keinen oder zu wenig Phosphor enthält. Emissionsbegrenzungen für Gesamtphosphor sind daher auch in fast allen branchenspezifischen AEEven enthalten. Wertmäßig liegen die Grenzwerte für Gesamtphosphor dabei zwischen 1 und 3 mg/l.

3.5.3 Gebührenkalkulation in der Abwasserentsorgung

Eine Gebühr kann nur auf Basis und im Rahmen der gesetzlichen Grundlagen (Finanzausgleichsgesetz 2008 und landesgesetzliche Vorgaben) eingehoben werden. Der ÖWAV-Arbeitsbehelf 48 (ÖWAV, 2016) beschreibt die Grundsätze und Ziele der Gebührenkalkulation in der Abwasserentsorgung. Sparsamkeit, Wirtschaftlichkeit und Zweckmäßigkeit stehen dabei als allgemeine Grundsätze im Vordergrund. Demnach können nur Kosten, die im inneren Zusammenhang mit der durchzuführenden Aufgabe stehen, zur Gebührenbemessung herangezogen werden. Wieweit dazu auch die Phosphor-Rückgewinnung gezählt werden kann, wird unter anderem von der eingesetzten Technologie und den bundeslandspezifischen Voraussetzungen für die Gebührenkalkulation abhängen.

4 Phosphor-Nutzung aus kommunalem Klärschlamm

4.1 Direkte landwirtschaftliche Verwertung

4.1.1 Einführung

Als direkte landwirtschaftliche Verwertung von kommunalen Klärschlämmen wird eine Verwertung verstanden, bei der der Klärschlamm nach Stabilisierung, Eindickung und allenfalls Hygienisierung und Entwässerung, aber ohne weitergehenden Behandlungsschritt wie z. B. Kompostierung, auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht wird. Gemeinsam mit der landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlammkomposten ist die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung derzeit das einzige in Österreich umgesetzte Verfahren, bei dem der größte Teil des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors zu Düngezwecken genutzt wird.

4.1.2 Technische Hinderungsgründe

Hinderungsgründe, wie zum Beispiel fehlende Entwässerungseinrichtungen, beschränkte Stapelmöglichkeiten, fehlende Pumpfähigkeit/Manipulierbarkeit von Klärschlämmen aus Trockenbeeten, hoher Zeit- und Maschinenaufwand bei Nassausbringung, beschränkte Transport-, Lager- und Ausbringungsmöglichkeiten (und damit fehlende „Entsorgungssicherheit“) oder fehlende Personalkapazitäten beim Anlagenbetreiber für rechtssichere und ordnungsgemäße Organisation, Abwicklung und Dokumentation treten vereinzelt und dann überwiegend auf kleineren Kläranlagen auf.

4.1.3 Rechtliche Hinderungsgründe

Die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm ist rechtlich durch die verschiedenen Verordnungen und Bodenschutzgesetze der Bundesländer geregelt (Tabelle A 3). Konkret existiert in drei Bundesländern (Tirol, Salzburg, Wien) ein grundsätzliches Verbot der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung und in zwei Bundesländern (Vorarlberg, Tirol) die Einschränkung der Zulässigkeit auf behandelte (kompostierte, getrocknete, vererdete etc.) Klärschlämme. Weitere gesetzliche Einschränkungen betreffen einzelne Kulturen, Nutzungsarten, Standorte und Ausbringungszeiträume.

4.1.4 Wirtschaftliche Hinderungsgründe

Derzeit sind keine wirtschaftlichen Hinderungsgründe bekannt.

4.1.5 Gesellschaftliche Hinderungsgründe

Über die rechtlichen Rahmenbedingungen hinaus wird die direkte Klärschlammverwendung vor allem durch die Ausbringungsverbote im Vertragsanbau (Zucker, Raps etc.), in der Milchwirtschaft (Käserei) und in AMA Gütesiegelprogrammen eingeschränkt. Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft weist eine, aufgrund der Diskussion um potenzielle Risiken (organische Spurenstoffe, Mikroplastik, Nanopartikel), abnehmende gesellschaftliche Akzeptanz auf und ist mit steigender Tendenz negativ konnotiert. Dies wird auch durch die gesetzlichen Verbote in benachbarten Staaten (DE, CH) verstärkt.

4.1.6 Pflanzenbauliche Hinderungsgründe

Für Betriebe mit intensiver Viehwirtschaft kann Klärschlamm in direkter Flächenkonkurrenz mit Wirtschaftsdüngern stehen. In Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften wird fallweise auch eine beschränkte Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors aus dem Klärschlamm als Hinderungsgrund einer weitestgehenden Phosphor-Nutzung genannt.

4.1.7 Sonstige Hinderungsgründe

Sonstige Hinderungsgründe bestehen vor allem in der aufwendigen Organisation einer landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung. Aufgrund der vielfachen rechtlichen und gesellschaftlichen Einschränkungen ist es oft schwierig, Landwirte mit ausreichend geeigneten Flächen und in Hinblick auf den Transportaufwand vertretbarer Nähe zur Kläranlage zu finden.

4.1.8 Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung

Nutzungseffizienz und Organisation

Der im Klärschlamm enthaltene Phosphor soll vorzugsweise in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Folglich ist die Ausbringung auf Flächen ohne großen Phosphor-Bedarf wie z. B. bei der Rekultivierung von Flächen (Deponie) oder im Landschaftsbau zu vermeiden.

Lenkungsmaßnahmen sollten daher auf eine gezielte pflanzenbauliche Nutzung der Nährstoffressource abzielen und eine entsprechende Hierarchie der Verwertungsoptionen abbilden (z. B. nach einem Effizienzkriterium der Phosphor-Ausnutzung).

Jedenfalls ist von Seiten der Kläranlagenbetreiber darauf zu achten, dass eine ausreichende Lagerkapazität vorhanden ist. Nur so kann ein bedarfsgerechter Einsatz des Klärschlammes in der Landwirtschaft und damit eine optimale Nährstoffnutzung gewährleistet werden. Für eine hohe Entsorgungssicherheit ist zudem eine Lagerkapazität, die deutlich über die aus pflanzenbaulicher Sicht zumindest erforderliche Lagerkapazität von 6 Monaten hinausgeht, von Vorteil. Im Falle von organisatorischen Problemen bei der Klärschlammverwertung wäre das Beiziehen einer externen Klärschlammberatung zu überlegen.

4.1.9 Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements

Im lokalen Kontext könnte die direkte Verwertung von Klärschlamm auch in Zukunft noch eine Rolle in einem optimierten Phosphor-Management spielen, falls es gelingt, regional optimierte Verwertungsstrukturen für gering belastete Klärschlämme in Regionen mit entsprechendem landwirtschaftlichem Nährstoffbedarf aufrecht zu erhalten. Wie bereits heute ist jedoch sowohl aufgrund fehlender gesellschaftlicher Akzeptanz, aber auch aufgrund hoher organisatorischer Anforderungen nicht anzunehmen, dass dieser Form der Nutzung des abwasserbürtigen Phosphor in Zukunft eine große Bedeutung zukommen wird.

4.2 Kompostierung von kommunalem Klärschlamm

4.2.1 Einführung und Charakterisierung

Voraussetzung für die Kompostierung entsprechend der Richtlinie „Stand der Technik der Kompostierung“ ist die Verfügbarkeit von Strukturmaterial. Um optimale Rottebedingungen zu schaffen, ist es notwendig, ca. 65 Vol.-% Strukturmaterial mit ca. 35 Vol.-% Klärschlamm zu mischen. Nur so ist es möglich, den notwendigen Gasaustausch in der Miete zu gewährleisten und das Temperatur-/Zeitregime für eine Hygienisierung gemäß den Anforderungen der Kompostverordnung einzuhalten. Klärschlammkompost weist im Vergleich zu entwässertem Klärschlamm eine krümelige Struktur auf und hat einen komposttypischen, modrigen Geruch.

Kompost kann gemäß Kompostverordnung oder gemäß landesrechtlichen Regelungen hergestellt werden. Kompost, der gemäß landesrechtlichen Regelungen hergestellt wurde, verliert seine Abfalleigenschaft erst mit der sachgerechten und gesetzeskonformen Anwendung. Für die Anwendung in der Landwirtschaft gelten Bodenschutzgesetze, Klärschlammverordnungen, Wasserrechtgesetz, Nitratrichtlinie, etc. Kompost, der gemäß Kompostverordnung hergestellt wurde, verliert seine Abfalleigenschaft demgegenüber bereits mit der Produktdeklaration und kann frei „in Verkehr“ gebracht werden. Voraussetzung für die Beibehaltung des

Produktstatus ist jedoch auch in allen Fällen die sachgerechte und gesetzeskonforme Anwendung.

Die Kompostverordnung definiert die Qualitätsklassen B, A und A+ über den Gehalt an Schwermetallen. Für die Anwendung auf landwirtschaftlich genutztem Boden kommen nur die Klassen A und A+ in Frage. Die Qualitätsklasse B kann für technische Anwendungen (z. B. Biofiltermaterial, Methanoxidationsschichten auf Deponien), für die Herstellung von Rekultivierungsschichten auf Deponien oder im Landschaftsbau (Rekultivierung) eingesetzt werden. Der Einsatz der Qualitätsklasse B in der Landwirtschaft zur Düngung, als Rekultivierung oder Erosionsschutz ist ausgeschlossen. Komposte der Qualitätsklasse A oder A+, die Klärschlamm enthalten, dürfen dann in der Landwirtschaft eingesetzt werden, wenn die verwendeten Klärschlämme die Schwermetallgrenzwerte der Anlage 1 Teil 2 Tabelle 2c gemäß Kompostverordnung unterschreiten („Qualitätsklärschlammkompost“).

Nach der KompostVO sind dabei in den Anwendungsbereichen Landschaftsbau und Rekultivierungsschicht auf Deponien sehr hohe Aufwandsmengen zulässig, wobei es für die Kompostklasse A+ keine mengenmäßigen Beschränkungen gibt. Erforderlich ist jedoch eine wasserrechtliche Bewilligung für die Aufbringung.

Für die Pflege einer vegetationsfähigen Oberschicht sind im Landschaftsbau und bei Rekultivierungsschichten auf Deponien bei den Qualitätsklassen A+ und A höhere Kompostgaben erlaubt als in der Landwirtschaft, obwohl hier keine oder wesentlich geringere Nährstoffentzüge stattfinden.

Durch diese „großzügigen“ Aufbringungsbeschränkungen können große Mengen an Komposten einer landwirtschaftlichen Nutzung entzogen werden.

Welche Mengen an (Klärschlamm-)Kompost aktuell wo eingesetzt werden (direkt Landwirtschaft, Gärten von Haushalten, Rekultivierungsflächen, sonstige), kann derzeit nicht im Detail erhoben werden. Beispielsweise wird in NÖ Klärschlammkompost bevorzugt in der Landwirtschaft eingesetzt, weil die Kompostverordnung massive Erleichterungen für die Feststellung der Bodeneignung gegenüber Klärschlamm bietet.

4.2.2 Technische Hinderungsgründe

Der limitierende Faktor für die Herstellung von Klärschlammkompost ist die Verfügbarkeit von Strukturmaterial. Es kann regional zu Engpässen kommen, weil für die Kompostierung von Bioabfall ebenfalls Strukturmaterial gebraucht wird und auch Biomasseheizkraftwerke gerne auf holzige Abfälle zugreifen.

4.2.3 Rechtliche Hinderungsgründe

Die Bundesländer Wien, Salzburg und Vorarlberg verbieten die Anwendung von Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzten Böden, erlauben aber die Verwendung von Klärschlammkompost, wobei in Salzburg die Verwendung von Klärschlammkompost stark eingeschränkt ist.³⁾ Tirol verbietet nach dem Feldschutzgesetz die Ausbringung von Klärschlamm und Produkten, die Klärschlamm enthalten auf landwirtschaftlichen Grundflächen.

³⁾ Die Böden dienen nicht

- a) unmittelbar der Produktion von Nahrungsmitteln (z. B. Ackerflächen für Getreide, Kartoffeln, Gemüse, Beerenobst- und Heilkräuterkulturen);
- b) mittelbar der Produktion von Nahrungsmitteln (z. B. Ackerfutterflächen, Dauergrünland, Wechselgrünland, Weideflächen).

Eine solche Verwendung der Böden darf auch nicht in den auf die Verwendung von Qualitätsklärschlammkompost folgenden vier Jahren erfolgen.

4.2.4 Wirtschaftliche Hinderungsgründe

Für die direkte landwirtschaftliche Verwertung als auch für die Kompostierung von Klärschlamm spielen Transportentfernungen und dementsprechend die Transportkosten eine maßgebliche Rolle, da in jedem Fall ca. 70 % Wasser mitbefördert werden muss.

Die Preise für die Übernahme von Klärschlamm in zentrale Kompostanlagen liegen derzeit (2017) im Bereich von 50 bis 60 €/t (Anmerkung: Erfolgt die Kompostierung jedoch durch den Kläranlagenbetreiber am Kläranlagengelände, können die Selbstkosten kalkuliert werden).

4.2.5 Gesellschaftliche Hinderungsgründe

Die Kompostierung von Klärschlamm erfordert ausreichende Verfügbarkeit von Strukturmaterial, um Geruchsprobleme, ähnlich wie bei der Kompostierung von Wirtschaftsdünger, hintanzuhalten. Grundvoraussetzung für die Herstellung von Kompost gemäß Kompostverordnung ist die Einhaltung der Richtlinie des BMLFUW „Stand der Technik der Kompostierung“.

Neben einer Lagerung oder Kalkung kann eine Hygienisierung von Klärschlamm auch über Kompostierung erreicht werden. Zudem hat Klärschlammkompost an sensiblen Ausbringungs-orten, z. B. in der Nähe von Siedlungen, den Vorteil gegenüber der direkten Klärschlammverwertung, dass der Geruch vergleichsweise neutral ist. Dadurch ergeben sich auch in der öffentlichen Akzeptanz der Verwertung Vorteile für den Klärschlammkompost; vor allem, wenn sie abseits landwirtschaftlicher Flächen erfolgt. Allerdings ist gerade in diesem Fall die gewünschte Nutzung des Klärschlamm-Phosphors oftmals nicht gegeben.

In Hinblick auf den Gehalt an persistenten Stoffen (Schwermetalle, persistente organische Schadstoffe, Nanopartikel oder Mikroplastik) kommt es bei der Kompostierung durch die Beimengung von Strukturmaterial lediglich zu einer Verdünnung, womit sich für die Schadstoffproblematik keine wesentliche Verbesserung ergibt.

4.2.6 Pflanzenbauliche Hinderungsgründe

Es gibt keine pflanzenbaulichen Hinderungsgründe.

4.2.7 Sonstige Hinderungsgründe

Keine sonstigen Hinderungsgründe bekannt.

4.2.8 Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung

Einheitliche Rahmenbedingungen

Einheitliche Rahmenbedingungen für die Verwendung von Klärschlammkompost bzw. Qualitätsklärschlammkompost in allen Bundesländern wären ein idealer Ansatz, um die Akzeptanz zu steigern und Lösungen mit z. B. AMA-Marketing-Gütesiegelprogrammen zu finden. Solche Programme werden im gesamten Bundesgebiet einheitlich angeboten und können verschiedene gesetzliche Regelungen nur schwer mit einbeziehen.

Gute Rahmenbedingungen für die Verwendung in der Landwirtschaft würden auch eine hohe Nachfrage bewirken. Damit wäre auch sichergestellt, dass eine Verwertung mit geringerem Nutzen wie z. B. eine Rekultivierung kaum noch gewählt würden (Anmerkung: Die Verwendung von Klärschlammkompost in Rekultivierungsschichten spielt schon derzeit eine untergeordnete Rolle).

Die KompostVO soll nach Aspekten einer effizienten Nutzung von Nährstoffen ausgerichtet werden. Insbesondere sind mehrere Aufwandsempfehlungen zu hinterfragen:

Geringere Aufwandsmengen in Landschaftsbau und Rekultivierung auf Deponien

Die in der KompostVO empfohlenen maximalen Aufwandsmengen bei einmaliger Aufbringung von Kompost im Landschaftsbau und zur Rekultivierung von Deponien sind sehr hoch, wodurch die im Kompost enthaltenen Nährstoffe bzw. der Kohlenstoff nicht effizient genutzt werden. Ebenso sind Empfehlungen für die maximalen Aufwandsmengen für die Pflege einer vegetationsfähigen Oberbodenschicht im Landschaftsbau und bei einer Rekultivierungsschicht im Zuge einer Deponieoberflächenabdeckung sehr hoch und liegen bei den Qualitätsklassen A+ und A über den empfohlenen Mengen für die Landwirtschaft.

Im Landschaftsbau und bei der Rekultivierung auf Deponien sollten generell deutlich niedrigere Aufwandsmengen festgelegt werden. Im Landschaftsbau kann allenfalls eine Untergliederung in verschiedene Anwendungsbereiche mit unterschiedlichen Höchstmengen erfolgen (z. B. Gärtnereien, Revitalisierung von Industriestandorten, Böschungsbegrünung, Sport und Freizeiteinrichtungen, Spielplätze etc.). Bei den Empfehlungen der Aufwandsmengen soll die Phosphor-Fracht mitberücksichtigt werden. Bei der Pflege der vegetationsfähigen Oberbodenschicht sollen die Aufwandsmengen auf das Niveau des Nährstoffentzugs oder auf das Niveau des Bodenabtrags reduziert werden.

Anpassung Aufwandsmengen

Durch eine entsprechende Anpassung der Aufwandsmengen kann ein Lenkungseffekt in Richtung Landwirtschaft erzielt werden, wodurch die enthaltenen Nährstoffe und der Kohlenstoff effizienter genutzt werden können.

Reduktion Aufwandsmenge in Hobbygartenbau

Die in der KompostVO für den Hobbygartenbau empfohlene Aufwandsmenge ist deutlich höher als jene für die Landwirtschaft und soll entsprechend reduziert werden. Eventuell soll eine Spezifizierung für verschiedene Anwendungen erfolgen (Schwachzehrer, Starkzehrer, Rasen, Baumscheiben etc.).

Empfehlung Aufwandsmenge in KompostVO

Für den Anwendungsbereich Erdenherstellung sollen in der KompostVO Aufwandsmengen für die erzeugten Erden empfohlen werden.

4.2.9 Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements

Im lokalen Kontext könnte die Verwertung von Klärschlammkomposten auch in Zukunft noch eine Rolle in einem optimierten Phosphor-Management spielen, falls es gelingt, die Einsatzbereiche so zu steuern, dass eine Nutzung des im Kompost enthaltenen Phosphor wie z. B. in der Landwirtschaft gegeben ist. Wie bereits heute, ist jedoch nicht anzunehmen, dass dieser Form der Nutzung des abwassersbürtigen Phosphor in Zukunft eine große Bedeutung zukommen wird. Für eine umfassende Verbesserung der Nutzung des Phosphors aus dem Klärschlamm muss daher auf andere Strategien gesetzt werden.

4.3 Rückgewinnung von Phosphor aus der Wasserphase und dem kommunalen Klärschlamm

4.3.1 Einführung

In diesem Kapitel werden technologische Verfahren betrachtet, die auf eine Rückgewinnung von Phosphor in Form von nährstoffreichen Salzen wie z. B. Struvit oder Calciumphosphate abzielen. Betrachtet werden Verfahren, die den Phosphor aus dem Schlammwasser, der flüssigen Phase bei Klärschlammmentwässerung, dem Ablauf der Kläranlage sowie direkt aus dem Klärschlamm rückgewinnen können.

Eine umfassende Darstellung der technischen Grundlagen der verschiedenen Phosphor-Rückgewinnungstechnologien kann aus der Studie bzw. in dem Beitrag der „Österreichischen Wasser-und Abfallwirtschaft (ÖWAW)“ von Egle et al. (2014 a,b) entnommen werden.

Im Zuge der wiederkehrenden Diskussion um die Verfahren zur Herstellung von Bio-Kohlen aus Klärschlamm mittels Pyrolyse ((Teil-)getrockneter Klärschlamm > 50 % TS, 0 mg O₂ (kein Sauerstoff), 400-800 °C, 0 bar) oder HTC (5–30 % TS, 0 mg O₂, 180-200 °C, 0 bar) wurden diese Technologien zur Eignung hinsichtlich einer Phosphor-Rückgewinnung betrachtet.

Primäres Ziel dieser Prozesse ist die Umwandlung des im Klärschlamm enthaltenen Kohlenstoffes in ein energiereiches Gas und eine Bio-Kohle (Bio-Char). Gleichzeitig werden weitere Nebenströme wie z. B. Prozesswässer produziert. Insbesondere bei der HTC Technologie beeinflussen mehrere, schwer zu steuernde bzw. zu beeinflussende Parameter, die Qualität der Outputs.

Eine besondere Herausforderung ergibt sich durch die unvollständige Zerstörung der organischen Substanz. Dabei bilden sich neue organische Schadstoffe (u. a. Kohlenwasserstoffverbindung), welche in der Bio-Kohle nachweisbar sein können.

Bio-Kohlen sind keine (Mineral-)Dünger im eigentlichen Sinn. Die Eigenschaften der Bio-Kohle zielt auf den Aufbau eines langfristig verfügbaren Kohlenstoff-Pool im Boden ab (C-Sequestrierung) und damit zur Verbesserung der bodenrelevanten Eigenschaften (z. B. Wasserhaltekapazität, Pufferfunktion) und sind daher als Bodenverbesserungsmittel/Bodenhilfsstoff einzustufen.

Die Pyrolyse und die HTC werden daher nicht als Technologien zur gezielten Phosphor-Rückgewinnung eingestuft und folglich in diesem ExpertInnenpapier nicht weiter betrachtet.

Weitere Forschung wurde in den letzten Jahren auch bei den Verfahren zur Rückgewinnung aus dem Kläranlagenablauf betrieben. Vorteil dieser Verfahren ist, dass eine Phosphor-Fällung im Zuge der biologischen Reinigungsstufe entfallen kann. Der Phosphor wird hier üblicherweise im Kläranlagenablauf über Fällung, Adsorption oder Membranen entfernt und anschließend zu Produkten wie Struvit, CaP oder Phosphorsäure weiterverarbeitet. Da ein Teil des Phosphors für den CSB-Abbau innerhalb der Kläranlage benötigt wird, beschränkt sich das Potenzial dieser Technologien für die Rückgewinnung von Phosphor auf maximal 60 % des im Kläranlagenzulauf vorhandenen Phosphor. Ein Großteil dieser Technologien steht derzeit vor der Erprobung im Pilotmaßstab und die weitere Entwicklung ist aus heutiger Sicht nicht absehbar. Aufgrund der fehlenden Reife und der Diskussion um eine mögliche Beeinflussung der Phosphor-Entfernung auf der Kläranlage, werden diese im vorliegenden ExpertInnenpapier nicht weiter betrachtet.

4.3.2 Technische Hinderungsgründe

Verfahren zur Rückgewinnung aus dem Schlammwasser

Damit mit diesen Verfahren relevante Rückgewinnungsquoten erreicht werden können, muss Phosphor auf der Kläranlage überwiegend über biologische Prozesse (Bio-P) aus dem Abwasser entfernt werden. Der im Schlamm biologisch gebundene Phosphor wird bei einer anschließenden anaeroben Schlammbehandlung rückgelöst werden und kann dann über Fällungsreaktionen aus dem Schlammwasser rückgewonnen werden. In Österreich sind jedoch nur einzelne Anlagen mit einer rein biologischen Phosphor-Elimination in Betrieb. Folglich ist die Einsatzmöglichkeit aufgrund der technischen Gegebenheiten nur beschränkt gegeben und das Rückgewinnungspotenzial für Phosphor stark eingeschränkt (< 20 % bezogen auf den Phosphor im Kläranlagenzulauf).

Verfahren zur Rückgewinnung aus dem Klärschlamm

Im Klärschlamm ist der Phosphor zum einen biologisch in der Biomasse und zum anderen durch den Einsatz von Eisen- und Aluminiumfällmitteln chemisch gebunden. Um den Phosphor rückzugewinnen zu können, muss dieser zuerst rückgelöst werden.

Nasschemische Verfahren lösen den Phosphor in einem ersten Schritt mittels einer Mineralsäure (Schwefelsäure, HCl) oder CO₂ zurück und sind von technischer Seite ausgereift. Das Rückgewinnungspotential bezogen auf den Klärschlamminput liegt bei 40–50 %. Zu bedenken ist, dass flüssige und feste Abfallströme anfallen, welche negative Einflüsse auf den Betrieb einer Kläranlage oder die weitere Schlammbehandlung haben können (siehe Kapitel 5.2.6).

Oxidative Verfahren (z. B. Niederdruck-Nassoxidation, Superkritische Wasseroxidation) mit dem Ziel der Zerstörung der organischen Substanz und folglich Freisetzung des gebundenen Phosphors werden aufgrund von technischen Problemen gegenwärtig nicht weiter verfolgt. Das Potenzial dieser Technologien zur Rückgewinnung von Phosphor wird als gering eingestuft.

4.3.3 Rechtliche Hinderungsgründe

Mit den bekannten Technologien werden aus dem Schlammwasser und dem Klärschlamm Rezyklate wie z. B. Struvit, Calciumphosphate oder P-haltige Schlacken hergestellt. Diese Phosphor-Verbindungen sind nach der DMVO 2004 derzeit keine zugelassenen Ausgangsstoffe zur Herstellung von Düngern nach dem Typ „mineralische Phosphordünger“ oder „Mineralische Mehrnährstoffdünger“ (siehe Kapitel 3.3.2).

4.3.4 Wirtschaftliche Hinderungsgründe

Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor aus dem Schlammwasser lassen sich auf größeren Kläranlagen (> 100.000 EW) wirtschaftlich darstellen. Ein Grund dafür ist, dass die Entfernung des gelösten Phosphors aus dem Schlammwasser oder dem Faulschlamm positiven Einfluss auf den Kläranlagenbetrieb hat (z. B. Reduktion von Wartungsarbeiten, Verbesserung der Entwässerbarkeit).

Liegt der Phosphor chemisch gebunden im Klärschlamm vor, sind komplexe Verfahrensschritte notwendig, um den Phosphor zuerst in Lösung zu bringen und ihn anschließend über Fällungsprozesse rückzugewinnen. Die Kosten für die Investitionen der Anlage und/oder die eingesetzten Ressourcen kann durch den Verkauf der Rezyklate derzeit nicht gedeckt werden.

4.3.5 Pflanzenbauliche Hinderungsgründe

Es sind keine pflanzenbaulichen Hinderungsgründe bekannt. Vielmehr weisen die Rezyklate aus dem Schlammwasser bzw. Klärschlamm sehr gute pflanzenbauliche Eigenschaften auf. Mit Struvit können beispielsweise Ertragsleistungen innerhalb von bereits einer Vegetationsperiode vergleichbar mit herkömmlichen Mineraldüngern erzielt werden (Tabelle 1).

4.3.6 Gesellschaftliche Hinderungsgründe

Derzeit sind keine gesellschaftlichen Hinderungsgründe bekannt.

4.3.7 Sonstige Hinderungsgründe

Organische Bestandteile in Rezyklaten bzw. Klärschlamm Bio-Kohle

Während aus dem Schlammwasser kristalline Rezyklate mit keinen bzw. sehr geringen Gehalten an organischen bzw. anorganischen Schadstoffen gewonnen werden können, können in Rezyklaten der nasschemischen und pyrolytischen Phosphor-Rückgewinnungstechnologien immer noch organische Substanz und folglich organische Schadstoffe nachgewiesen werden.

Eine verlässliche Zerstörung organischer Bestandteile kann nur durch eine thermische Behandlung (> 800 °C) oder einen metallurgischen Prozess (> 1.000 °C) gewährleistet werden

Geringes Rückgewinnungspotenzial (technologisch bedingt)

Das Phosphor-Potenzial im Schlammwasser ist mit 10 bis max. 30 % bezogen auf den Kläranlagenzulauf gering. Theoretisch wäre das Phosphor-Potenzial im Klärschlamm deutlich höher (90 % bezogen auf KA-Zulauf). Mit den derzeit bekannten nasschemischen Leaching-Technologien zur Rückgewinnung aus dem Klärschlamm liegt das Rückgewinnungspotenzial bei max. 40–50 % bezogen auf den Kläranlagenzulauf. Höhere Rückgewinnungsquoten sind nach dem derzeitigen Stand der Forschung mit metallurgischen Verfahren möglich (~70 % bezogen auf den Kläranlagenzulauf). Die technische Reife dieser Verfahren ist derzeit nicht gegeben.

Geringes Rückgewinnungspotenzial (nationale Betrachtungsweise)

Aus dem Schlammwasser kann im nationalen Kontext nur ein geringer Anteil des im Abwasser enthaltenen Phosphors rückgewonnen werden. Gründe dafür sind fehlende Bio-Phosphor Kläranlagen in Österreich, das geringe Phosphor-Potenzial im Schlammwasser (10 bis max 30 % bezogen auf KA-Zulauf) und, dass die Technologien nur auf Kläranlagen > 100.000 EW wirtschaftlich betrieben werden können (~30 Kläranlagen in Österreich, Abbildung 1). Bis zur Erreichung der Marktreife von Phosphor-Rückgewinnungstechnologien aus Klärschlamm(aschen), könnten diese jedoch als technisch einfachere Übergangstechnologien dienen.

Nasschemische Leaching-Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor aus dem Klärschlamm benötigen einen anaerob stabilisierten Klärschlamm mit einem Wassergehalt von > 95 %. Folglich müssen diese Technologien vor Ort auf den Kläranlagen errichtet werden, womit nur dezentrale Recyclinglösungen möglich sind. Aufgrund der hohen Investitionskosten sind auch diese Technologien nur für größere Kläranlagen geeignet.

Flüssige und feste Abfallstoffe aus Rückgewinnungsprozessen

Beim Aufschluss des Klärschlammes mit Schwefel- oder Salzsäure (nasschemische Verfahren) fällt als fester Abfallstoff ein saurer Klärschlamm mit geringem pH-Wert (3–4) und mit hohem Gehalt an korrosiven Elementen wie Schwefel oder Chlorid an. Bei einer anschließend thermischen Verwertung des Schlammes ist dies zu berücksichtigen.

Flüssige Überstände können, im speziellen bei Verfahren mit einer Komplexierung von Störionen, hohe Konzentrationen an Schwermetallen aufweisen. Eine Behandlung ist vor der Einleitung in die Kläranlagen erforderlich.

Bei der Herstellung von Pflanzenkohlen fallen beispielsweise Prozesswässer an, die nährstoffreich sind und Kohlenstoffverbindungen enthalten. Eine geeignete Behandlung der Prozesswässer muss gewährleistet werden.

4.3.8 Internationale Entwicklung

In Europa, Nordamerika und Japan sind bereits zahlreiche großtechnische Umsetzungen zur Rückgewinnung des gelösten Phosphor aus dem Schlammwasser in Form von Struvit bekannt (z. B. Pearl Reactor von Ostaro®, AirPrex®, Phospaq™, NuReSys®, Struvia™).

Zur Rückgewinnung von Phosphor direkt aus dem Klärschlamm sind in erster Linie in Mitteleuropa mehrere Anlagen im Pilotmaßstab in Betrieb (Seaborne und Stuttgarter Verfahren, MEPHREC®, Budenheim-Verfahren).

4.3.9 Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung

Umstellung von Kläranlagen auf Bio-Phosphor bzw. reduzierten Fällmitteleinsatz

Durch die Umstellung im Abwassereinigungsprozess auf eine biologische Phosphor-Elimination und Reduktion von chemischen Fällmitteln könn(t)en vermehrt Verfahren zur Rückgewinnung des Phosphors aus dem Schlammwasser eingesetzt werden. Das Rückgewinnungspotenzial bezogen auf das Phosphor-Potenzial im Abwasser ist mit diesen Technologien jedoch immer noch als gering einzustufen. Im Falle einer Verfahrensumstellung der Phosphorentfernung ist darauf zu achten, dass es zu keiner Verringerung der Entfernungsraten aus dem Abwasser und damit auch Einbindungsraten in den Klärschlamm kommt.

Zulassung von Phosphor-Verbindungen aus der Phosphor-Fällung (Struvit, Calciumphosphate) als Dünger bzw. als Ausgangsstoff zur Herstellung von Mineraldüngern

Analog zur Düngemittelverordnung in Deutschland sollten Stoffgruppen aus der Phosphatfällung (Fällen mineralischer Phosphate mit Calciumchlorid, Kalkmilch, Magnesiumchlorid, Magnesiumoxid oder -hydroxid) als Ausgangsstoff zur Herstellung von Mineraldüngern aufgenommen und zugelassen werden (Anmerkung: Es besteht jedoch auch die Möglichkeit einer individuellen Zulassung per Bescheid gemäß § 9a DMG 1994 durch das Bundesamt für Ernährungssicherheit).

Etablierung eines Marktes für Rezyklate

Etablierung eines Marktes, z. B. durch Einführung von Qualitätskriterien für Rezyklate. Werden Qualitätskriterien wie z. B. Nährstoff- und Schadstoffgehalte, Löslichkeit und Pflanzenverfügbarkeit eingehalten, soll der erzielbare Erlös wie bei herkömmlichen Düngern nach den einzelnen Nährstoffkomponenten erfolgen.

4.3.10 Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements

Den Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor aus dem Klärschlamm wird aus derzeitiger Sicht aufgrund des in Relation zur Phosphor-Rückgewinnung hohen technischen und finanziellen Aufwandes kaum eine Rolle im Kontext zukünftiger Strategien zur Schließung eines Phosphor-Kreislaufes zugetraut.

Rückgewinnungsverfahren aus dem Schlammwasser können dagegen in Zukunft durchaus eine gewisse Rolle spielen, vor allem dort, wo sie aus verfahrenstechnischen Gründen auf der Kläranlage Vorteile bringen. Aufgrund des beschränkten Rückgewinnungs-Potenzials dieser Verfahren, ist diese Rolle im nationalen Kontext jedoch nur sehr beschränkt.

Entwicklungen im Bereich der Phosphor-Rückgewinnung aus dem Ablauf könnten in Zukunft diesbezüglich zusätzliche Möglichkeiten bieten. Die Umsetzbarkeit dieser Verfahren in Österreich ist jedoch aufgrund des frühen Forschungsstadiums derzeit nicht absehbar.

5 Phosphor-Nutzung aus Klärschlammasche (KSA)

5.1 Herstellung einer phosphorreichen Klärschlammasche

5.1.1 Einführung

Für die Phosphor-Nutzung aus einer Verbrennungsasche, sind die Voraussetzungen für die Rückgewinnung aus den Aschen dann günstig, wenn der Phosphor-Gehalt möglichst hoch und der Gehalt an Schwermetallen möglichst geringgehalten wird. Dies wird grundsätzlich durch eine Monoverbrennung erreicht. Eine Mitverbrennung anderer Abfälle sollte die diesbezüglichen Eigenschaften der Aschen jedenfalls nicht wesentlich verschlechtern.

5.1.2 Technische Hinderungsgründe

Aus technischer Sicht gibt es keine prinzipiellen Hinderungsgründe für die Monoverbrennung von Klärschlamm. Diese wird vielmehr weltweit bereits seit mehreren Jahrzehnten erfolgreich praktiziert. Während dabei eine Monoverbrennung von (weitgehend) trockenem Klärschlamm sowohl in Wirbelschicht- als auch in Staub-, Drehrohr- oder Rostfeuerungen möglich ist, ist die Monoverbrennung von lediglich mechanisch entwässertem Klärschlamm üblicherweise auf Wirbelschichtfeuerungen beschränkt. Bei der Monoverbrennung von ausschließlich mechanisch entwässertem Klärschlamm in Drehrohr- und Rostfeuerungen sowie in Vergasungs- und Pyrolyseanlagen treten zumeist Probleme beim Ausbrand und/oder mit der Einhaltung der Grenzwerte für Abgasemissionen (insbesondere für CO) auf; ein Einsatz in Staubfeuerungen ist technisch nicht möglich.

Technische Probleme können jedoch bei der Umrüstung bestehender (Mit-)Verbrennungsanlagen auf eine Monoverbrennung auftreten. Diese Anlagen sind üblicherweise für einen bestimmten Brennstoff/Brennstoffmix ausgelegt und gebaut. Sie verfügen damit für gewöhnlich weder über geeignete bzw. ausreichend große Einrichtungen zur Übernahme, Förderung und Lagerung von Klärschlämmen noch liegen der Heizwert und Aschegehalt des Klärschlammes innerhalb des „Arbeitsbereichs“ (darstellbar im sogenannten Feuerleistungsdiagramm) der Feuerung, noch sind die Einrichtungen zur Ableitung und Behandlung der entstehenden Abluft und Rauchgase bzw. Verbrennungsrückstände ausreichend dimensioniert und/oder geeignet. Bei der Umrüstung einer bestehenden Anlage auf die Monoverbrennung von Klärschlamm ist daher insbesondere darauf zu achten, dass

- die minimale und maximale Brennstoffwärmemenge, die pro Zeiteinheit zugeführt werden muss/darf, damit eine stabile Verbrennung aufrechterhalten werden kann (zulässiger Schwankungsbereich für den Heizwert) nicht unter- bzw. überschritten wird,
- der minimale und maximale Aschegehalt zur Gewährleistung der zulässigen Oberflächentemperaturen (z. B. Vermeidung einer Überhitzung des Rostes) oder der Leistungsfähigkeit der Einrichtungen zum Ascheaustrag und zur Ascheförderung, nicht unter- bzw. überschritten wird und
- dass das spezifische und das absolute Rauchgasvolumen (Gewährleistung einer erforderlichen Mindest-Verweilzeit; thermische, mechanische und chemische Überbeanspruchung der Gesamtanlage; ...) nicht unter- bzw. überschritten wird.

Dies kann unter anderem durch teilweise Trocknung und/oder Konditionierung des Klärschlammes erreicht werden.

Damit Klärschlamm selbstständig brennt, muss dieser entweder einen entsprechenden (von der jeweiligen Verbrennungstechnologie abhängigen) Mindest-Heizwert aufweisen oder es müssen zur Aufrechterhaltung stabiler Verbrennungsbedingungen andere heizwertreiche Brennstoffe (z. B. Erdgas, Heizöl, Biomasse, Ersatzbrennstoffe, ...) mitverfeuert werden. Durch mechanische Entwässerung und ggf. Trocknung kann der Trockengehalt von Klärschlamm so eingestellt werden, dass ein gleichmäßiger, ausreichend hoher Heizwert gewährleistet wer-

den kann. Eine Trocknung bedeutet jedoch einen zusätzlichen Wärmebedarf und damit ggf. zusätzliche Kosten (falls keine ungenutzten, geeigneten Abwärmepotenziale vorhanden sind).

Bei einer gemeinsamen Verbrennung mit heizwertreichen Abfallbrennstoffen ist für eine anschließende Phosphor-Rückgewinnung sicherzustellen, dass Phosphor-, Schwermetall- und Störstoffgehalte in der Asche im Vergleich zu einer „reinen“ Klärschlammasche nicht verschlechtert, optimalerweise sogar verbessert werden. Zusätzlich ist zu gewährleisten, dass für die Rückgewinnung eine konstante Aschequalität bereitgestellt wird, da die Wirksamkeit der Rückgewinnungsverfahren durch eine schwankende Zusammensetzung der Aschen beeinträchtigt sein kann. Die Eignung der heizwertreichen Abfallbrennstoffe ist jedenfalls im Einzelfall zu testen. Aus technischer Sicht sind generell qualitätsgesicherte Ersatzbrennstoffe geeignet, die

- im Idealfall zusätzlichen Phosphor enthalten,
- geringe, aber vor allem gleichbleibende Schwermetallgehalte aufweisen,
- während der Verbrennung keine vermehrte Bildung von organischen Schadstoffen fördern
- und einen geringen Aschegehalt besitzen, da der Phosphor-Gehalt mit steigendem Aschegehalt der Abfallbrennstoffe verdünnt wird.

Als potenzielle Brennstoffe zur gemeinsamen Verbrennung kommen v. a. Mehle aus der Verarbeitung tierischer Proteine und Altöl in Frage, wobei die Mehle mit hohen Phosphor- und niedrigen Schwermetallgehalten deutlich positive Merkmale im Hinblick auf eine gemeinsame Verbrennung besitzen. Altöl enthält keinen Phosphor, hat jedoch einen geringen Aschegehalt, womit Klärschlamm mit geringer Zufeuerung an Altöl verbrannt werden kann und die in diesem Fall zusätzlich eingebrachten Schwermetallfrachten im Vergleich zur Monoverbrennung bei entsprechender Qualitätskontrolle geringgehalten werden können. Vermieden werden sollte in der Regel die gemeinsame Verbrennung mit Kunst- und Verbundstofffraktionen, die vielfach neben einem hohen Aschegehalt, schwankende und höhere Schwermetallgehalte aufweisen und somit den Schwermetallgehalt in der Asche deutlich erhöhen können.

5.1.3 Rechtliche Hinderungsgründe

Aus rechtlicher Sicht gibt es für eine Monoverbrennung von Klärschlamm keine Hinderungsgründe.

5.1.4 Wirtschaftliche Hinderungsgründe

Aktuell werden in Österreich keine Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen betrieben. Ohne eine nachgehende, gesicherte (profitable) Verwertung des Phosphor in Monoklärschlammaschen besteht derzeit auch kein wirtschaftlicher Anreiz Mono-Verbrennungsanlagen zu betreiben. Die zusätzlichen Kosten einer Monoverbrennung fallen für Kläranlagen abhängig von deren derzeitiger Klärschlammverwertung bzw. Behandlung sehr unterschiedlich aus. Für Kläranlagen mit einer direkten landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung kann bei der Umstellung auf eine thermische Verwertung (Monoverbrennung) mit zusätzlichen spezifischen Kläranlagenbetriebskosten von bis 4 €/EW*a gerechnet werden. Wird der Klärschlamm bereits thermisch verwertet (z. B. Mitverbrennung) erhöhen sich die spezifischen Kläranlagenbetriebskosten bei einer Monoverbrennung um 0,5–2,0 €/EW*a.

Ob die gemeinsame Verbrennung mit Abfallbrennstoffen wirtschaftliche Vorteile oder Nachteile gegenüber einer Monoverbrennung birgt, hängt maßgeblich von der Verfügbarkeit geeigneter Abfälle und den Preisen für die Behandlung ab (Nachfrage/Angebot).

5.1.5 Gesellschaftliche Hinderungsgründe

So ausreichende technische Einrichtungen und organisatorische Maßnahmen zur Minimierung von Umweltbeeinträchtigungen und zum Schutz der Anrainer geplant bzw. bereits vorhanden sind, nimmt der Widerstand gegen die Genehmigung von Anlagen zur thermischen

Behandlung und Verwertung von Abfällen seit Jahren kontinuierlich ab. Es gibt bereits Beispiele wo einzelne Anlagen ohne Einsprüche erstinstanzlich genehmigt werden konnten. Insbesondere im Hinblick auf die mögliche Rückgewinnung von begrenzten natürlichen Ressourcen (Phosphor) ist daher bei der Monoverbrennung von Klärschlamm mit anschließender Aschebehandlung von einer gesellschaftlichen Akzeptanz auszugehen.

5.1.6 Sonstige Hinderungsgründe

Derzeit gibt es keine Monoverbrennungskapazitäten für Klärschlamm. Prinzipiell gäbe es jedoch verteilt über die Wirbelschichtanlagen der Zellstoff- und Papierindustrie, der Holzverarbeitenden Industrie und der Energie- und Abfallwirtschaft in Österreich ausreichende Behandlungskapazitäten für die Monoverbrennung des gesamten anfallenden Klärschlammes.

Ob und inwieweit ein Austausch von Abfallströmen zwischen diesen Wirbelschichtfeuerungen und anderen thermischen Abfallbehandlungsanlagen auf Basis Rost-, Drehrohr- oder Staubfeuerung technisch möglich ist, muss im Einzelfall untersucht werden.

5.1.7 Internationale Entwicklung

Die Monoverbrennung von Klärschlamm mit der Wirbelschichttechnologie ist Stand der Technik und international weit verbreitet. Beispielsweise wird in Deutschland Klärschlamm in 25 Anlagen monoverbrannt. Das entspricht 25 % des jährlich anfallenden Klärschlammes. In den Niederlanden (Slibverwerking Noord-Brabant (SNB)) und der Schweiz werden jeweils rund 50 % des Klärschlammes monoverbrannt. In der Schweiz (Zürich) wurde erst 2015 eine neue Klärschlammmonoverbrennungsanlage für 100.000 t entwässerten Klärschlamm errichtet. Auch kleine Monoverbrennungsanlagen, wie die Anlage für 2.500 t TS in Rügen, Norddeutschland, sind derzeit im Bau (Ermel, 2016).

5.1.8 Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung

Lenkung der Klärschlammströme in Richtung Monoverbrennung

Schlämme, für die weder eine Kompostierung noch eine direkte landwirtschaftliche Verwertung – aus welchen Gründen auch immer – möglich ist, sollen in Monoverbrennungsanlagen behandelt werden.

Zwischenlagerung auf Monodeponie bzw. Kompartimenten auf Deponien

Für den Fall, dass die Technologien zur Phosphor-Rückgewinnung noch nicht ausgereift sind, sollen die anfallenden Aschen in eigenen Kompartimenten oder Kompartimentsabschnitten auf Deponien zwischengelagert werden. Damit kann ein anthropogenes Phosphor-Lager aufgebaut werden und der Phosphor zu einem späteren Zeitpunkt rückgewonnen werden. Dazu sind die rechtlichen Rahmenbedingungen zu schaffen.

Änderung der rechtlichen Rahmenbedingungen

Durch regulative Maßnahmen kann die Mitverbrennung von Klärschlämmen, die einen bestimmten Phosphor-Gehalt übersteigen, in Verbrennungsanlagen, aus deren Aschen keine Phosphor-Rückgewinnung möglich ist, eingeschränkt bzw. verboten (z. B. Abfallverbrennungsanlagen, Kohlekraftwerke, Zementindustrie) und eine Monoverbrennung des Klärschlammes vorgeschrieben werden.

Abbildung 1 zeigt, dass in Österreich in den Kläranlagen > 20.000 EW 85 % des Phosphor-Potenzials im Abwasser erfasst werden könnte. Durch eine rechtliche Festlegung, dass der Klärschlamm von Kläranlagen mit einer bestimmten Größenklasse nur mehr monoverbrannt werden darf, könnte bestimmt werden, wieviel Phosphor aus dem Abwasser in Form von

Klärschlammasche für eine Rückgewinnung zur Verfügung steht. Eine entsprechende Finanzierung wäre im Zuge dessen sicherzustellen.

Novelle Abfallverzeichnis-VO – Schlüsselnummer Klärschlammasche

Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit und damit eine genauere Spezifizierung möglich ist, soll durch eine Novelle der Abfallverzeichnis-VO Asche aus der Verbrennung von Klärschlamm künftig einer neuen nicht gefährlichen Abfallart SN 31318 „Asche aus der Verbrennung von Klärschlamm“ zugeordnet werden. Eine Zufeuerung soll nur mit Brennstoffen oder Abfällen zulässig sein, die entweder selbst über einen wesentlichen Phosphor-Gehalt verfügen oder die einen geringen Aschegehalt aufweisen (z. B. Erdgas, Heizöl, Mehle aus der Verarbeitung tierischer Proteine, Holzabfälle, Altöl) und die zusätzlich zu keiner relevanten Erhöhung der Schadstoffkonzentrationen in der Asche führen oder die sonstige, die Düngewirkung verbessernde Eigenschaften, aufweisen.

5.1.9 Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements

Die Verbrennung von Klärschlamm zur Herstellung phosphorreicher Aschen (über Monoverbrennung) ist nach derzeitigem Stand des Wissens die effektivste Technologie zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung. Ein Vorteil ist, dass der Klärschlamm von vielen Kläranlagen zentral verbrannt und dabei auf das größtmögliche abwasserbürtige Phosphor-Potenzial zugegriffen werden kann. Für eine effiziente Phosphor-Rückgewinnung ist es dabei von großer Bedeutung, sowohl eine Verdünnung des Phosphors in der Asche als auch eine Verunreinigung der Asche durch Zusatzbrennstoffe zu vermeiden. Zur Nutzung des Phosphors aus der Asche sind weitere, nachgeschaltete Prozesse der Asche (z. B. Metall- bzw. Schwermetalle-Entfernung, Erhöhung der Phosphor-Verfügbarkeit, Pelletieren) nötig, um eine Nutzung als Dünger oder als industriellen Grundstoff zu gewährleisten.

5.2 Direkte landwirtschaftliche Klärschlammasche-Verwertung

5.2.1 Technische Hinderungsgründe

Klärschlammasche fällt als feiner Staub an. Vor einer Aufbringung durch landwirtschaftliche Geräte muss die Asche zumindest angefeuchtet bzw. pelletiert werden.

5.2.2 Rechtliche Hinderungsgründe

5.2.2.1 Direkte Verwertung im Status „Abfall“

Die direkte Verwertung von Klärschlammasche, die ihre Abfalleigenschaft noch nicht verloren hat (d. h. die rechtlich noch immer als Abfall anzusehen ist), ist derzeit nach dem Düngemittelgesetz (da derzeit gefährlicher Abfall) und der Düngemittelverordnung (kein zulässiger Ausgangsstoff für die Düngerherstellung) nicht zulässig.

Für eine individuelle Zulassung per Bescheid gemäß Düngemittelgesetz ist die Durchführung eines Ausstufungsverfahrens eine Grundvoraussetzung.

Personen, die nicht gefährliche Abfälle zum Nutzen der Landwirtschaft oder der Ökologie auf den Boden aufbringen, benötigen keine Erlaubnis gemäß § 24a AWG 2002.

5.2.2.2 Direkte Verwertung im Status „Produkt“

Die direkte Verwertung von Klärschlammasche, die ihre Abfalleigenschaft bereits vor dem Aufbringen verloren hat (d.h. die rechtlich nicht mehr als Abfall anzusehen ist) unterliegt nicht mehr dem Abfallrecht sondern dem Düngemittel und Chemikalienrecht. Die Aufbringung dieser Klärschlammasche bedarf einer Registrierung gemäß EU REACH-Verordnung und einer düngemittelrechtlichen Zulassung.

5.2.3 Wirtschaftliche Hinderungsgründe

Derzeit sind keine wirtschaftlichen Hinderungsgründe bekannt.

5.2.4 Pflanzenbauliche Hinderungsgründe

Wie in Tabelle 1 dargestellt, sind die Phosphor-Verbindungen in der KSA nicht wasserlöslich, womit eine unmittelbare Verfügbarkeit des Phosphors nicht gegeben ist. Die Löslichkeit der Phosphor-Verbindungen sowie die Düngewirkung einer Klärschlammasche sind mit unbehandeltem Rohphosphat zu vergleichen. Erst durch einen chemischen Aufschluss mit einer Säure wird der Phosphor wasserlöslich. Bei einer direkten landwirtschaftlichen Verwertung der KSA ohne Schadstoffentfernung gelangen 100 % der in der Asche enthaltenen Schwermetalle auf die Böden. Wie in Tabelle A dargestellt, unterscheiden sich KSA von Rohphosphaten in Bezug auf mögliche kritische Schwermetalle und deren Konzentration. In Rohphosphaten wird Cd und U als kritisch betrachtet. Während KSA deutlich geringere Konzentrationen bei diesen Elementen aufweisen, treten im Vergleich zu Rohphosphaten höhere Gehalte bei Ni, Pb, Cu und Zn auf. Hier gilt es im Falle einer landwirtschaftlichen Verwertung zu überprüfen, ob die Anforderungen des Bodenschutzes eingehalten werden.

5.2.5 Gesellschaftliche Hinderungsgründe

Die Akzeptanz von Landwirten gegenüber einer direkten Ausbringung von Klärschlammaschen kann derzeit nicht abgeschätzt werden. Aufgrund der Abfalleigenschaft und des Begriffs Klärschlammasche ist jedoch von einer negativen Assoziation auszugehen.

5.2.6 Sonstige Hinderungsgründe

Derzeit sind keine sonstigen Hinderungsgründe bekannt.

5.2.7 Internationale Entwicklung

In Deutschland können unter Einhaltung der vorgeschriebenen Grenzwerte der Düngemittelverordnung Klärschlammaschen bereits direkt als Dünger oder als Ausgangsstoffe zur Herstellung von Mineraldüngern eingesetzt werden. Beispiele für zugelassene Düngeprodukte: *DOLOPHOS® 6* angefeuchtet (DüKa Düngekalk GmbH, Düka, 2016) und *SoliPur® 170 P* (Fa. SePurea GmbH, SePura, 2016). In diesen Produkten wird Klärschlammasche beispielsweise mit Bodenverbesserungsmitteln wie Kalk vermischt.

5.2.8 Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung

Zulassung von Klärschlammaschen als Düngemittel bzw. als Ausgangsstoff zur Herstellung von Düngemitteln

Eine Anpassung der **Düngemittelverordnung** dahingehend, dass thermische Verbrennungsrückstände wie monoverbrannte Klärschlammaschen als Ausgangsstoffe zur Herstellung von Düngemitteln zugelassen werden können.

„Konkret: Aufnahme von P-haltigen Aschen aus der Monoverbrennung von Klärschlamm in die DMVO 2004, Anhang 1 (Typen), III. Typenliste, 2. Mineralische Phosphatdünger – Ausgangsstoffe.“ Verweis: Düngemittelverordnung Deutschland (DüMVO, 2012) Tab. 6, Besondere Ausgangsstoffe für bestimmte mineralische Düngemittel; 6.2 Phosphatdünger aus „Verbrennung von Klärschlämmen“.

Chemischer (Teil-)Aufschluss der Klärschlammaschen

Durch einen chemischen Aufschluss mit einer Säure, wie er teilweise in der Düngemittelindustrie durchgeführt wird, kann die Verfügbarkeit des Phosphors deutlich gesteigert und damit

den Anforderungen nach einem gut pflanzenverfügbaren Düngeprodukt nachgekommen werden (Kapitel 5.4). Auch neu entwickelte Verfahren sind technisch in der Lage, den Phosphor aus der Asche in eine für die Pflanze besser verfügbare Form umzuwandeln (Kapitel 5.3). Abhängig vom eingesetzten Verfahren kann die Asche vollständig Teil des Produktes werden, womit alle Inhaltsstoffe und damit auch alle Schwermetalle enthalten sein können.

5.2.9 Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements

Eine direkte Nutzung der Klärschlammasche ist aus rechtlicher Sicht derzeit nicht möglich. Diese ist aufgrund schlechter Löslichkeit und damit schlechter Pflanzenverfügbarkeit des in der Asche enthaltenen Phosphors, schlechter Handhabbarkeit und fallweise auch von Schwermetallgehalten über den rechtlich geregelten Grenzwerten für Düngemittel nicht als empfehlenswerte Strategie eines optimierten Phosphor-Managements für die Zukunft zu sehen. Weitere Aufbereitungsschritte der Asche (siehe Kapitel 5.3 und 5.4) sind empfehlenswert.

5.3 Rückgewinnung von Phosphor aus der Klärschlammasche

5.3.1 Einführung

Klärschlammaschen aus der Monoverbrennung können als Ausgangsstoff zur Herstellung von verschiedenen Calciumphosphat-Verbindungen, Mono-Ammoniumphosphate, Phosphorsäure (P-Säure) oder zur Herstellung von weißem Phosphor (P_4) eingesetzt werden. Die in den letzten Jahren neu entwickelten Technologien entsprechen vom Verfahrensschema den bekannten, im industriellen Maßstab eingesetzten, Technologien. Zudem wurden Verfahren entwickelt, die auf eine gezielte Entfernung von Metallen und Schwermetallen aus Klärschlammaschen abzielen, wodurch auch Aschen mit hohen Schwermetallgehalten, die ansonsten nicht für eine Rückgewinnung in Frage kommen, genutzt werden können.

Phosphorsäure

Phosphorsäure wird durch das Leaching der Asche mittels verschiedener Säuren gewonnen (Recyclingquote: 80–90 %). Durch den Einsatz unterschiedlicher Verfahrensschritte (z. B. Ionentauscher, Fällung, Solvent-Extraktion) wird die Phosphorsäure abhängig vom Verwendungszweck von unerwünschten Ionen gereinigt. Schwermetalle werden damit zu einem sehr hohen Grad entfernt. Dabei fallen mehrere Nebenprodukte an (u. a. phosphorarme Asche, Schwermetallschlämme), die entsprechend entsorgt oder als Rohstoff genutzt werden können. Vorteil der Phosphorsäure ist, dass sie in zahlreichen Industriezweigen (Düngemittel-, Futtermittel-, Lebensmittel-, chemische Industrie) als Ausgangsstoff universell eingesetzt werden kann.

Verfahrensbeispiele: EcoPhos®, TetraPhos® (Remondis), EasyMining Sweden AB (Ragn-Sells), PARFORCE (Technische Universität Bergakademie Freiberg)

Calcium-Phosphat und Mono-Ammoniumphosphat

In einem ersten Schritt wird die Asche wie bei der Phosphor-Säureherstellung mit einer Säure behandelt. Die entstehende phosphorreiche flüssige Phase kann im Anschluss wie im Falle der Phosphorsäure von Schwermetallen gereinigt werden. Unterschied zur Herstellung von Phosphorsäure ist, dass in die flüssige Phase ein Fällmittel wie z. B. Kalzium oder Ammonium zugegeben wird. Dabei fallen phosphorreiche und nicht wasserlösliche Salze wie Calcium-Phosphat oder Mono-Ammoniumphosphat an.

Verfahrensbeispiele: PASCH®, LEACHPHOS®, EasyMining Sweden AB®

Weißer Phosphor (P_4)

P_4 kann durch einen thermo-elektrischen Prozess gewonnen werden, bei dem Aschen bei Temperaturen ~ 1.500 °C und unter reduzierten Bedingungen in einem Koksbett geschmolzen

werden. Phosphor wird bei diesen Bedingungen gasförmig und anschließend zu reinem P_4 kondensiert. P_4 ist ein universeller Ausgangsstoff für zahlreiche industrielle Anwendungen.

Verfahrensbeispiele: Thermphos®, RecoPhos Inducarb®

Gezielte Schwermetallentfernung

Eine Abreicherung von Schwermetallen ist durch thermo-chemische Verfahren möglich, in welchen durch Zugabe von Chlorid und bei Temperaturen unter dem Ascheschmelzpunkt, die Schwermetalle in die Gasphase übergeben, der Phosphor jedoch in der Asche verbleibt. Output ist eine Asche mit deutlich geringeren Schwermetallgehalten, jedoch hat dieser Prozess unzureichenden Einfluss auf die Verfügbarkeit des Phosphors für die Pflanze. Durch Zugabe von Natrium anstatt Chloriden kann die Pflanzenverfügbarkeit des Outputs verbessert werden, gleichzeitig müssen Einbußen bei der Schwermetallentfrachtung in Kauf genommen werden.

Verfahrensbeispiele: AshDec®

5.3.2 Technische Hinderungsgründe

Aus technischer Sicht gibt es keine Hinderungsgründe zur Herstellung von Phosphorsäure, Calcium-Phosphat und Mono-Ammoniumphosphat. Es werden dieselben verfahrenstechnischen Prinzipien wie bei der industriellen Herstellung von Phosphorsäure aus Rohphosphat angewendet. Die Prozesse zur Abtrennung von unerwünschten Metallen oder Schwermetallen aus der flüssigen Phase sind großtechnisch erprobt.

Von technischer Seite sind auch für die gezielte Entfrachtung der Aschen mittels thermo-chemischen Prozessen keine Hinderungsgründe bekannt.

Für die Herstellung von weißem Phosphor hat der Einsatz von Aschen mit hohen Eisengehalten negative Auswirkungen auf den Prozess. Für diese Verfahren kommen deshalb nur Aschen mit geringem Fe-Gehalt in Frage.

5.3.3 Rechtliche Hinderungsgründe

Zur Herstellung von Produkten aus Abfall ist eine Erlaubnis gemäß § 24a AWG 2002 erforderlich. Eine Genehmigung gemäß § 37 AWG 2002 benötigt die Behandlungsanlage nur dann nicht, wenn eine ausschließlich stoffliche Verwertung von nicht gefährlichen Abfällen vorliegt und die Behandlungsanlage der Genehmigungspflicht gemäß den §§ 74ff GewO 1994 unterliegt.

5.3.4 Wirtschaftliche Hinderungsgründe

Derzeit ist noch keine Anlage zur Phosphor-Rückgewinnung großtechnisch implementiert, womit keine gesicherten Aussagen über die Wirtschaftlichkeit möglich sind. Die Wirtschaftlichkeit wird von zahlreichen Faktoren wie z. B. Preis für die KSA, P-Gehalt der KSA, Verfahrensansatz, Anforderungen an die Schadstoffabreicherung und einem möglichen Marktpreis für die Rezyklate abhängen.

5.3.5 Pflanzenbauliche Hinderungsgründe

Aus pflanzenbaulicher Sicht gibt es keine Hinderungsgründe für Phosphorsäure oder Mono-Ammoniumphosphat. Die Düngewirkung der gefälltten Calcium-Phosphate kann derzeit noch nicht abschließend beurteilt werden. Die bisher bekannten pflanzenbaulichen Untersuchungen zur Düngewirksamkeit liefern unterschiedliche Ergebnisse, wobei sämtliche Produkte eine im Vergleich zu unbehandelter Klärschlammasche deutlich verbesserte Düngewirksamkeit aufweisen.

5.3.6 Gesellschaftliche Hinderungsgründe

Derzeit sind keine gesellschaftlichen Hinderungsgründe bekannt.

5.3.7 Sonstige Hinderungsgründe

Bei Leachingprozessen fallen abhängig von den eingesetzten Reinigungsstufen verschiedene Neben- und Abfallprodukte an. In allen Fällen bleibt eine phosphorarme Asche (~0,5 kg/kg Inputasche) über. Durch die Reinigungsprozesse fallen beispielsweise Gips, Ca-, Fe- oder Al-Chlorid oder auch hochkonzentrierte Schwermetallschlämme an. Gips und Chloridverbindungen können als Baustoff bzw. als Fällmittel in einer Kläranlage eingesetzt und damit stofflich verwertet werden. Schwermetallschlämme müssen gesondert behandelt und entsorgt werden.

5.3.8 Internationale Entwicklung

Deutschland: Remondis® betreibt derzeit bei der Klärschlammverbrennungsanlage VERA in Hamburg eine Pilotanlage zur Herstellung von Phosphorsäure (TetraPhos®). Die Versuche sind nach Angaben der Betreiber erfolgreich. Derzeit läuft die Planung für eine großtechnische Anlage zur Verwertung der gesamten aus der Verbrennungsanlage VERA anfallenden Klärschlammasche (Czarnecki und Lebek, 2015).

Belgien/Frankreich: EcoPhos® hat Mitte 2016 den Spatenstich für den Bau einer neuen Anlage in Dürenkirchen (Frankreich) gesetzt. Zukünftig sollen jährlich 50.000-60.000 t Klärschlammasche aus den Niederlanden zur Gewinnung von Phosphorsäure eingesetzt werden (EcoPhos, 2016).

Schweiz: In der Schweiz soll in den nächsten Jahren Phosphor in Form von Phosphorsäure aus den Schweizer Klärschlammaschen rückgewonnen werden. Derzeit läuft die Entwicklung eines Verfahrens zur Rückgewinnung von Phosphorsäure (Phos4Life). Mit Zürich wurde ein zentraler Standort für die Errichtung einer Rückgewinnungsanlage für die gesamte Schweiz gefunden (AWEL, 2016).

Schweden: In Schweden wurde ein bestehendes Verfahren zur Gewinnung von Mono-Ammoniumphosphat aus Rohphosphaten für phosphorreiche Aschen adaptiert. In den nächsten Jahren soll nach Aussagen der Entwickler die Technologie für eine großtechnische Umsetzung einsetzbar sein (EasyMining, 2016).

Israel/Europa: ICL Fertilizers® hat Anfang 2016 die RecoPhos® Technologie zur Herstellung von reinem P₄ erworben, welche unter anderem an der Montanuniversität in Leoben mitentwickelt wurde. Eine erste Full-Scale Anlage soll 2018 in Betrieb gehen, weitere drei Anlagen sind für die Folgejahre geplant.

5.3.9 Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung

Einsatz alternativer Fällmittel bei der Abwasserreinigung

Aschen mit hohem Eisenanteil haben negativen Einfluss auf bestimmte Rückgewinnungsprozesse. Durch eine Umstellung von Eisen- auf Aluminiumfällmittel bei der Abwasserreinigung können eisenarme Aschen erzeugt werden. Aluminiumhaltige Fällmittel können jedoch auch Probleme mit sich bringen. So kann die Umstellung der Fällmittel Auswirkungen auf die Schlammentwässerung haben (höhere Kosten, begrenzte Haltbarkeit, H₂S-Problem bei bestimmten Kläranlagen).

Die Umstellung der Fällmittel aus Sicht der Phosphor-Rückgewinnung kann sinnvoll sein, gleichzeitig muss man die Auswirkungen auf die Anlage und Abwasserreinigung bedenken und abschätzen.

5.3.10 Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements

Mit diesen Verfahren ist eine Verbesserung der Phosphor-Löslichkeit, eine teilweise bis sehr gute Entfrachtung der Schwermetalle und sonstiger möglicher Störstoffe sowie die Herstellung handelsfähiger Produkte für zahlreiche Anwendungsbereiche in der Futter-, Lebensmittel- und Düngemittelindustrie möglich. Die Unsicherheit bezüglich dieser Verfahren besteht jedoch noch aufgrund der fehlenden großtechnischen Erfahrungen, der Verwertung, Behandlung und/oder Entsorgung der Prozess-Nebenprodukte sowie der damit verbundenen möglichen Kosten. Grundsätzlich könnte ihnen jedoch eine ganz wesentliche Rolle im Zuge einer zukünftigen Kreislaufschließung von Phosphor zukommen. Entscheidend dafür wird der Erfolg von „best-practice“-Beispielen im internationalen Kontext und die Entwicklung geeigneter Finanzierungsmodelle sein.

5.4 Stoffliche Verwertung von Klärschlammasche in der Düngemittelindustrie

5.4.1 Einführung

Grundsätzlich kann bei der industriellen Herstellung von Düngemitteln zwischen zwei Prozessen unterschieden werden. Bestrebungen gehen in die Richtung, dass KSA in Zukunft in diesen beiden Prozessen als Sekundärrohstoff zur Substitution von Rohphosphat eingesetzt werden kann.

- 1) Super- bzw. Triple Superphosphat Prozess (SSP/TSP Prozess): Durch einen chemischen Aufschluss von Rohphosphat/KSA-Gemischen mit einer mineralischen Säure wird der nicht wasserlösliche und damit nicht unmittelbar pflanzenverfügbare Phosphor in eine wasserlösliche und damit unmittelbar pflanzenverfügbare Phosphor-Form umgewandelt. Schwefel- oder Phosphorsäure sind die dabei am häufigsten eingesetzten Aufschlusschemikalien. Das Rohphosphat/KSA/Säuregemisch wird anschließend granuliert, getrocknet und gelagert. 100 % des im Ausgangsmaterial enthaltenen Phosphor ist nach dem sauren Aufschluss im „Produkt“ enthalten. Gleichzeitig sind auch sämtliche Begleitelemente wie z. B. die Schwermetalle ebenfalls vollständig im Produkt. Abfallprodukte fallen keine an.
- 2) Nitrophosphat Prozess (ODDA Verfahren): In diesem Prozess wird ein Rohphosphat/KSA Gemisch in Salpetersäure (HNO_3) aufgelöst (Leaching). Der enthaltenen Phosphor wird in eine flüssige Phase (Phosphorsäure) überführt. Nicht auflösbare Bestandteile (z. B. Silizium (= Sand), Metalle und Schwermetalle) werden abgetrennt. Durch Abkühlen der flüssigen Phase wird Calciumnitrat auskristallisiert. Anschließend wird durch Zugabe von Ammoniak die Phosphorsäure ausgefällt. In einem abschließenden Schritt werden Kaliumsalze zugegeben, die Lösung eingedampft und anschließend pelletiert. Durch die Zugabe des Kaliums kann ein Mehrnährstoffdünger (NPK) erzeugt werden. Phosphor wird beim chemischen Aufschluss nahezu vollständig aufgelöst und wird Teil des NPK Düngers. Da beim ODDA Prozess komplexe Verfahrensschritte ineinandergreifen und sich gegenseitig beeinflussen, ist der Verbleib der Schwermetalle noch nicht abschließend geklärt. Als Abfall fällt ein fester, sandähnlicher Rückstand an.

5.4.2 Technische Hinderungsgründe

1) SSP/TSP Prozess

Damit KSA in der Düngemittelindustrie eingesetzt werden können, werden beispielsweise von ICL Fertilizers® P-Gehalte von $> 8,5\%$ (= $20\% \text{P}_2\text{O}_5$) gefordert. Bei geringeren Phosphorkonzentrationen in der KSA können die im Endprodukt (SSP und TSP) geforderten Phosphorgehalte nicht erreicht werden.

Die KSA enthält neben Phosphor jedoch auch problematische Begleitelemente. Problematische Begleitelemente sind derzeit aus technischer Sicht vor allem Eisen aber auch Aluminium, welche im SSP/TSP Prozess negativen Einfluss haben (siehe Kapitel 5.4.5).

Beim Kontakt der KSA mit einer Säure, vor allem bei der zur Herstellung von SSP üblicherweise eingesetzten Schwefelsäure, kann die Asche eine schmierige Konsistenz annehmen, was negativen Einfluss beim wichtigen Schritt der Produktkonfektion (z. B. Pelletieren) und anschließenden Trocknung hat.

Gleichzeitig ist ein wichtiger Effekt bei der Düngemittelherstellung aus Rohphosphaten das Aufschäumen des Rohphosphates beim Kontakt mit der Säure. Durch das Aufschäumen wird zum einen ein guter Kontakt der Säure mit dem Rohphosphat gewährleistet und zum anderen eignet sich diese aufgeschäumte Masse zur weiteren Verarbeitung auf einem Granulierteller. Dieser Aufschäumeffekt kann bei der Zugabe von Säuren zu einer KSA nicht bzw. nur in deutlich geringerem Ausmaß beobachtet werden.

Forschungsbedarf besteht noch inwiefern weitere Begleitelemente der Klärschlammasche Einfluss auf den Prozess haben.

2) ODDA Verfahren

Durch das chemische Leaching der Klärschlammaschen im ersten Schritt des ODDA Prozesses bei einem pH-Wert <1 , gehen neben dem Phosphor auch andere in der Klärschlammasche enthaltene Elemente in Lösung (Fe, Al, Schwermetalle). Möglicherweise hat die Asche negativen Einfluss auf weitere Prozessschritte wie z. B. die Kristallisation von Calcium-Nitrat. Inwiefern die Asche Einfluss auf die komplexen Prozessschritte beim ODDA Verfahren hat, ist derzeit noch nicht bekannt, womit noch Forschungsbedarf besteht.

Aufgrund der genannten technischen Hinderungsgründe kann Klärschlammasche in der Düngemittelindustrie nach aktuellem Wissenstand daher maximal in einem Verhältnis von 1:20 bis 1:10 zu Rohphosphaten beigemischt werden.

5.4.3 Rechtliche Hinderungsgründe

Abfallstatus/Gefährlicher Abfall

Einige thermische Rückstände wie z. B. Klärschlammaschen werden derzeit als gefährliche Abfälle eingestuft. Durch ein Ausstufungsverfahren können Klärschlammaschen gegebenenfalls als nicht gefährlicher Abfall eingestuft werden.

Düngemittelgesetz 1994 bzw. Düngemittelverordnung 2004

Klärschlammasche ist derzeit kein zugelassener Ausgangsstoff zur Herstellung von Düngemitteln gemäß Düngemittelverordnung 2004. Im Falle einer Einzelzulassung gemäß Düngemittelgesetz 1994 von Aschen als Ausgangsstoff müssen die erzeugten aschebasierten Phosphor-Düngemittel, die im Zulassungsverfahren geforderten Phosphat-Mindestgehalte und Nährstoffformen bzw. die Grenzwerte für Schwermetalle eingehalten werden. Aufgrund der bekannten Klärschlammaschequalitäten und dem Aufschlussverhalten ist mit keiner rechtlichen Einschränkung zu rechnen.

5.4.4 Wirtschaftliche Hinderungsgründe

Für einen Düngemittelhersteller muss die Integration der Aschen in den bestehenden Prozess wirtschaftlich darstellbar sein. Bei der Integration der Aschen fallen Kosten für den Transport sowie Kosten für die erforderlichen Investitionen für z. B. eine staubfreie Lagerung oder Förderungsaggregate an.

5.4.5 Pflanzenbauliche Hinderungsgründe

1) SSP/TSP Prozess

Werden Klärschlammaschen mit Rohphosphat vermischt und mit Säure aufgeschlossen, kann das in der Klärschlammasche enthaltene Eisen bzw. Aluminium die Umwandlung der Phosphatverbindungen im Rohphosphat negativ beeinflussen und damit die Löslichkeit des KSA/RP-Gemisches reduzieren.

Wird die Klärschlammasche isoliert mit Säure aufgeschlossen, kann die Löslichkeit nicht auf das gleiche Niveau wie bei einem aufgeschlossenen Rohphosphat erhöht werden. Grund dafür sind nach aktuellem Wissenstand Eisen und Aluminium, welche schwer lösliche Phosphorverbindungen bilden (Fe-haltige Aschen: H₂O-Lösl. 30–50 %, Al-haltige Aschen: H₂O-Lösl. 70–80 %, Rohphosphat: H₂O-Lösl. 90–100 %). Für aufgeschlossene Klärschlammasche (Fe-haltig) kann eine sehr gute Zitronensäurelöslichkeit von 70–80 % erreicht werden (Rohphosphat 90–100 %; Forderung der DMVO für mineralische Phosphor-Dünger: 35 %). Die Zitronensäurelöslichkeit ist ein guter Indikator zur Bewertung der tatsächlichen Verfügbarkeit für die Pflanze.

2) ODDA Verfahren

Der in der Klärschlammasche gebundene Phosphor wird im ersten Leaching-Schritt durch HNO₃ Zugabe vollständig in eine gelöste Form überführt (Phosphorsäure). Gleichzeitig werden auch mögliche Störelemente aus der KSA rückgelöst. Inwiefern rückgelöste Elemente wie z. B. Fe oder Al Einfluss auf die Löslichkeit des erzeugten Mehrwertdüngers nehmen, ist noch nicht vollständig geklärt. Hier besteht noch Forschungsbedarf.

5.4.6 Gesellschaftliche Hinderungsgründe

Klärschlammaschen sind Rückstände aus der Klärschlammverbrennung und sind laut AWG 2002 Abfall. Trotz einer thermischen Behandlung des Klärschlammes könnte noch immer ein schlechtes Image daran haften, was den Einsatz von Düngern auf Aschebasis erschweren könnte. Andererseits könnte der Hinweis auf die damit verbundene hochwertige Verwertung und das Schließen des Phosphor-Kreislaufes ein positives Image bewirken.

5.4.7 Sonstige Hinderungsgründe

Für die Übernahme von Klärschlammasche durch einen zukünftigen Ascheverwerter (z. B. Düngemittelhersteller) benötigt dieser eine abfallrechtliche Erlaubnis. Dies kann für Düngemittelhersteller ein Hinderungsgrund sein, da Sie bei der Herstellung von Düngern nicht mit dem Thema Abfall in Berührung kommen möchten.

5.4.8 Erfahrung International

ICL Fertilizers® zeigte in einer Pilotanlage, dass der Aufschluss von KSA mit Schwefelsäure technisch machbar ist. Dabei werden Klärschlammasche und Rohphosphat getrennt voneinander mit Schwefelsäure aufgeschlossen. Erst danach wird die mit Säure aufgeschlossene Klärschlammasche mit dem aufgeschlossenen Rohphosphat vermischt und gemeinsam granuliert.

Die Firma RecoPhos® hat in einer eigenen Anlage bereits einen Dünger auf Basis von Klärschlammasche und Phosphorsäure hergestellt, zugelassen und vermarktet. Jedoch sind in diese Richtung derzeit keine weiteren Entwicklungen erkennbar.

5.4.9 Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung

Abfallbehandlungsgenehmigung

Nach Durchführung eines Ausstufungsverfahrens für die Klärschlammasche ist eine Genehmigung gemäß § 37 AWG 2002 nicht erforderlich, da eine ausschließlich stoffliche Verwertung von nicht gefährlichen Abfällen vorliegt.

Eine Erlaubnis gemäß § 24a AWG 2002 wird jedoch benötigt.

Zulassung von Verbrennungsrückständen zur Herstellung von Düngemitteln

Anpassung der **Düngemittelverordnung** damit thermische Verbrennungsrückstände wie monoverbrannte Klärschlammaschen als Ausgangsstoffe zur Herstellung von Düngemitteln zugelassen werden.

*„**Konkret:** Aufnahme von P-haltigen Aschen aus der Monoverbrennung von Klärschlamm in die DMVO 2004, Anhang 1 (Typen), III. Typenliste, 2. Mineralische Phosphatdünger – Ausgangsstoffe.“ Verweis: Düngemittelverordnung Deutschland (DüMVO, 2012) Tab. 6, Besondere Ausgangsstoffe für bestimmte mineralische Düngemittel; 6.2 Phosphatdünger aus „Verbrennung von Klärschlämmen“.*

Europaweite Zulassung von Düngemitteln

Düngemittelhersteller produzieren für den europäischen Markt. Folglich haben Düngemittelhersteller starkes Interesse an einer einheitlichen Regelung bzw. Harmonisierung von Gesetzen damit auf EU-Ebene weiterhin ein in der EU zugelassenes Düngemittel hergestellt werden kann. Die EU-Düngemittelverordnung zielt in diese Richtung ab (STRUBIAS; Kapitel 3.3.2).

5.4.10 Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements

Auch diesen Verfahren sollte eine ganz wesentliche Rolle im Zuge einer zukünftigen Kreislaufschließung von Phosphor zukommen, da auf bestehende Strukturen (u. a. Verfahren, Industriestandorte, Vertriebswege) zurückgegriffen werden kann. Unsicher erscheint jedoch noch die Menge an Klärschlammasche, die bei der Düngemittelproduktion den Phosphaterzen beigemischt werden kann, sowie die Frage der Düngemittelqualität bei hohen Recyclingraten und bei fehlender Schwermetallentfrachtung der Klärschlammasche bei der Aufbereitung.

6 Phosphor-Nutzung aus verarbeiteten tierischen Nebenprodukten (vTN)

6.1 Landwirtschaftliche Verwertung von Mehlen aus der Verarbeitung tierischer Proteine

6.1.1 Technische Hinderungsgründe

Aus technischer Sicht gibt es keine Hinderungsgründe für eine direkte landwirtschaftliche Verwertung von Mehlen der Kat. 2 und PAP.

6.1.2 Rechtliche Hinderungsgründe

Bei der Behandlung von tierischen Nebenprodukten und der anschließenden Verwendung von Mehl der Kat.1+2 und PAP sind verschiedene rechtliche Regelungen zu beachten und Vorschriften einzuhalten, um einen ordnungsgemäßen Umgang mit diesem Material zu gewährleisten.

- VO EG Nr. 1069/2009: Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte
- VO (EU) Nr. 142/2011: Durchführungsverordnung VO EG 1069/2009
- VO EU Nr. 999/2001: Vorschriften zur Verhütung, Kontrolle und Tilgung bestimmter transmissibler spongiformer Enzephalopathien.

6.1.2.1 PAP

Laut österreichischer Düngemittelverordnung ist die Verwertung von PAP (Mehl aus Rohware der Kat.3) als organisches Düngemittel (z. B. NP-Dünger) und Bodenverbesserer bereits zugelassen (BGBl. II Nr. 100/2004: Österreichische Düngemittelverordnung). PAP wird aus wirtschaftlichen Gründen nur zu einem geringen Teil als Düngemittel eingesetzt.

PAP als organisches Düngemittel oder Bodenverbesserer darf jedoch nicht auf landwirtschaftlich genutztem Grünland eingesetzt werden. Um eine Aufnahme durch Tiere sicher zu verhindern, darf PAP ausschließlich auf unbestelltem Ackerland ausgebracht werden. Es ist sofort nach der Ausbringung noch am selben Tag einzuarbeiten. Eine Lagerung am Feldrand ist nicht zulässig. Nutztiere dürfen für einen Zeitraum von 21 Tagen keinen Zugang zu Flächen haben, auf denen PAP als organischen NP-Dünger ausgebracht wurde.

6.1.2.2 Mehl der Kat. 1

Mehl der Kat. 1 muss aufgrund der bekannten Hygieneproblematik thermisch behandelt werden. Dies erfolgt derzeit hauptsächlich in Zementwerken sowie Abfallverbrennungsanlagen. Durch diese Art der Verbrennung muss der Phosphor aus technischer und wirtschaftlicher Sicht als verloren betrachtet werden.

6.1.3 Wirtschaftliche Hinderungsgründe

PAP (Mehl der Kat. 3) wird überwiegend als Ausgangsstoff zur Herstellung von Haustiernahrung und Fischfutter eingesetzt. Durch die Verwertung von PAP in der Futtermittelherstellung können die Verarbeitungsbetriebe deutlich höhere Erlöse im Vergleich zu einer Verwertung in der Landwirtschaft erzielen. Folglich stehen für die landwirtschaftliche Verwertung kaum/keine Mehle der Kat. 3 zu Verfügung.

Durch die Nutzung von PAP als Tierfutter werden bereits Nährstoffkreisläufe geschlossen.

6.1.4 Pflanzenbauliche Hinderungsgründe

Von der pflanzenbaulichen Seite gibt es keine Hinderungsgründe. Mehle der Kat. 2 und PAP werden bereits als organisches Düngemittel bzw. Bodenverbesserer eingesetzt. Im Vergleich zur Mineraldüngung erreicht Mehl in Versuchen eine auf den Ertrag bezogene N-Wirkung von 70–90 % und eine Phosphor-Wirkung von 20–65 %. Die Phosphor-Wirkung setzt verzögert ein und ist nachhaltig. Der Einsatz ist daher zum Erhalt des Phosphor-Versorgungszustands des Bodens zu empfehlen. Die Phosphor-Verfügbarkeit von Tiermehl Kat. 2 und PAP nimmt mit ansteigenden pH-Werten des Bodens ab. Daher ist die Ausbringung nur auf sauren und leicht sauren Standorten empfehlenswert (Albert, 2008).

6.1.5 Gesellschaftliche Hinderungsgründe

In Österreich fehlt die gesellschaftliche Akzeptanz zur Düngung mit Mehlen der Kat. 2 und PAP.

6.1.6 Sonstige Hinderungsgründe

Mehl der Kat. 2 wird derzeit in Österreich nicht produziert.

6.1.7 Internationale Entwicklung

Mehl der Kat. 2 wird in zahlreichen europäischen Ländern bereits als organisch-mineralischer Dünger eingesetzt (z. B. England, Finnland (ESSP, 2016)).

6.1.8 Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung

Erhöhung der Akzeptanz

Es sollte geprüft werden, ob die Förderung/Erhöhung der Akzeptanz des Einsatzes von auf PAP bzw. Mehlen der Kat. 2-basierten Düngemitteln in der Landwirtschaft beispielsweise durch Entwicklung neuer innovativer Düngeprodukte möglich ist.

Thermische Behandlung von Kat.1 Mehlen

Generell sollten für eine thermische Behandlung von Mehlen der Kat. 1 Lösungen gefunden werden, die eine Asche produzieren, deren Phosphor-Inhalt genutzt werden kann → Herstellung einer Phosphor-reichen Tiermehlasche (Kapitel 7.1).

6.1.9 Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements

Der direkten landwirtschaftlichen Verwertung von Mehlen aus der Verarbeitung tierischer Proteine kommt keine relevante Bedeutung zu, da zum einen Kat. 1-Mehle (hohes Risiko) thermisch verwertet werden müssen und zum anderen PAP (Kat. 3-Mehle) bereits hochwertig in Form von Futtermitteln verwertet werden.

7 Phosphor-Nutzung aus den veraschten tierischen Nebenprodukten

7.1 Herstellung einer phosphorreichen Asche aus tierischen Nebenprodukten

Für eine Veraschung kommen nur Kat.1 Tiermehle in Frage, da die übrigen Mehle aus der Verarbeitung tierischer Nebenprodukte aus wirtschaftlichen Gründen bereits hochwertig stofflich verwertet werden. Mehle der Kat.1 stellen in Österreich allerdings nur den kleineren Teil der tierischen Nebenprodukte aus der Tierkörperverwertung dar. Die in dieser Kategorie enthaltenen Phosphorfrachten sind mit lediglich 0,1 kg P/E*a im Vergleich mit jenen im Klärschlamm gering und für ein optimiertes Phosphor-Recycling insgesamt von geringerer Bedeutung.

Durch eine geeignete thermische Behandlung von Kat.1 Mehlen in Wirbelschicht- oder Drehrohröfen bei entsprechenden Temperaturen wird eine vollständige Zerstörung der organischen Substanz und damit von Krankheitserregern (z. B. Prionen) erreicht (Tylor, 1999; Deydier et al., 2005). Eine phosphorreiche Asche kann dabei durch eine Monoverbrennung oder durch gemeinsame Verbrennung mit Klärschlamm erzeugt werden. Eine Monoverbrennung bzw. eine gemeinsame Verbrennung in Anlagen zur Klärschlammverbrennung entspricht dem Stand der Technik, womit keine technischen Hinderungsgründe gegeben sind.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist zu berücksichtigen, dass die Kat.1 Mehle aufgrund ihres hohen Heizwertes einen Marktwert haben. Für eine Monoverbrennung bzw. gemeinsame Verbrennung in Anlagen zur Klärschlammverbrennung wäre daher ein Marktpreis zu bezahlen. Eine Monoverbrennung des Kat.1 Mehls muss sich daher zukünftig für die TKVs ebenso wirtschaftlich darstellen lassen, wie die Verbrennung in Zementwerken.

Für tierische Mehle gelten im Hinblick auf eine Mono- oder Mitverbrennung mit Klärschlamm ansonsten dieselben rechtlichen, wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und sonstigen Hinderungsgründe wie für Klärschlamm (Kapitel 5.1).

Mögliche Optionen der Nutzung bzw. Rückgewinnung des in der Tiermehlasche enthaltenen Phosphors sind:

- Direkte landwirtschaftliche Verwertung (Kapitel 7.2).
- Rückgewinnung des enthaltenen Phosphors durch neu entwickelte Recyclingtechnologien (Kapitel 7.3).
- Substitution von Rohphosphat in bestehenden industriellen Prozessen wie z. B. der Düngemittelherstellung (Kapitel 7.4).

7.2 Direkte landwirtschaftliche Verwertung der veraschten tierischen Nebenprodukte

7.2.1 Technische Hinderungsgründe

Die veraschten tierischen Nebenprodukte sind pulver- bzw. staubförmig und können mit modernen Streugeräten erst nach einem Aufbereitungsschritt z. B. in Form einer Pelletierung in der Landwirtschaft eingesetzt werden.

7.2.2 Rechtliche Hinderungsgründe

Laut DMVO sind thermische Rückstände bzw. Aschen nicht als Ausgangsstoff zur Herstellung von Phosphor-Mineraldünger zugelassen (Analog zu Klärschlammaschen, siehe Kapitel 5.2.2).

7.2.3 Wirtschaftliche Hinderungsgründe

Damit der hohe Phosphor-Gehalt nicht verdünnt wird und/oder Schwermetalle eingetragen werden, sollten tierische Nebenprodukte monoverbrannt werden. Die Kosten für eine Mono-

verbrennung von tierischen Nebenprodukten sind jedoch höher als bei einer Verbrennung der tierischen Nebenprodukte in bestehenden Verbrennungsanlagen (z. B. Zementindustrie).

Mitberücksichtigt werden muss, dass bei einer stofflichen Nutzung der Aschen die Entsorgungskosten entfallen und somit die Kosten reduziert werden können.

Zudem stellt der Heizwert dieser Produkte einen relevanten Wert dar und es bleibt unklar, zu welchen Preisen entsprechende Mehle auf dem Markt für eine Verbrennung mit dem Ziel des Phosphor-Recycling zur Verfügung stehen werden.

7.2.4 Pflanzenbauliche Hinderungsgründe

Der in den Aschen enthaltene Phosphor ist nicht wasserlöslich, zeigt jedoch eine sehr gute Löslichkeit in Zitronensäure. Auf sauren Böden können mit diesen Aschen hohe Ernteerträge nachwiesen werden. Veraschte tierische Nebenprodukte können als langsam verfügbare Dünger eingestuft werden. Für die Landwirtschaft mit der Forderung nach unmittelbar pflanzenverfügbaren Phosphor-Verbindungen, kann die Asche mit mineralischen Säuren aufgeschlossen werden (Kapitel 7.4.).

7.2.5 Gesellschaftliche Hinderungsgründe

Mehl der Kat. 1 darf aufgrund der derzeit gesetzlichen Rahmenbedingungen nicht als Dünger- oder Futtermittel in den Verkehr gebracht werden. Durch eine Verbrennung und somit Herstellung von Asche aus Mehlen der Kat. 1 kann eine vollständige Zerstörung von Prionen gewährleistet werden. Unter diesen Gesichtspunkten ist es möglich, dass die gesellschaftlichen Hinderungsgründe für die Verwendung der Aschen aus der Verbrennung von tierischen Nebenprodukten als Düngemittel minimiert werden könnten.

7.2.6 Sonstige Hinderungsgründe

Derzeit sind keine sonstigen Hinderungsgründe bekannt.

7.2.7 Internationale Entwicklung

In Deutschland, England (z. B. Energy Power Resources, ACL/Wykes Engineering) und Portugal werden Mehle aus der Verarbeitung tierischer Nebenprodukte bereits in mehreren Verbrennungsanlagen monoverbrannt und die anfallende Asche, teils durch Beimengung von weiteren Nährstoffen, direkt als Düngemittel eingesetzt. Ascheprodukte werden z. B. von SARRIA UK (KALOFOS, FLUID-PHOS), EPK UK und Fibrophos UK hergestellt und vermarktet.

7.2.8 Handlungsoptionen zur Verbesserung der Phosphor-Kreislaufführung

Monoverbrennung von Mehlen aus der Verarbeitung tierischer Nebenprodukte

Mehle der Kat. 1 können in Monoverbrennungsanlagen verbrannt werden bzw. kann eine allfällige Mitverbrennung mit Klärschlämmen erfolgen, die ebenfalls reich an Phosphor und moderat mit Schwermetallen belastet sind. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Mehle der Kat. 1 am freien Markt gehandelt werden und derzeit durch die TKVs aufgrund des hohen Heizwertes dafür Erlöse erzielt werden. Eine Monoverbrennung des Kat. 1-Mehls muss sich daher zukünftig für die TKVs ebenso wirtschaftlich darstellen lassen.

Monodeponierung

Veraschte tierische Nebenprodukte sollen getrennt von anderen Aschen oder Abfällen rückholbar gelagert werden.

Abfallende

Es soll ein Abfallende für veraschte tierische Nebenprodukte erwirkt werden, damit eine direkte Aufbringung auf landwirtschaftliche Flächen möglich ist.

7.2.9 Relevanz im Kontext eines zukünftig optimierten Phosphor-Managements

Für eine Veraschung kommen nur Kat. 1-Tiermehle in Frage, da die übrigen Mehle aus der Verarbeitung tierischer Nebenprodukte aus wirtschaftlichen Gründen bereits hochwertig stofflich verwertet werden. Für diese Art des Phosphor-Recyclings stehen daher rund 1/4 der Mehle in Österreich (ca. 0,1 kg P/E*a) zur Verfügung.

Aus rechtlicher Sicht ist eine direkte Nutzung der Tiermehlasche derzeit nicht möglich und aufgrund der schlechten Löslichkeit und damit schlechter Pflanzenverfügbarkeit nicht als empfehlenswerte Strategie eines optimierten Phosphor-Managements für die Zukunft zu sehen. Wie bei den Klärschlammaschen sind weitere Aufbereitungsschritte der Asche (siehe Kapitel 5.3 und 5.4) empfehlenswert.

7.3 Rückgewinnung von Phosphor aus veraschten tierischen Nebenprodukten mit neu entwickelten Verfahren

Technologien, welche für die Rückgewinnung von Phosphor aus den Klärschlammaschen konzipiert sind, eignen sich in den meisten Fällen gleichzeitig zur Rückgewinnung von Phosphor aus veraschten tierischen Nebenprodukten. Vorteil dieser Aschen gegenüber der Klärschlammasche sind höhere Phosphor-Gehalte bei gleichzeitig deutlich geringeren Gehalten an Schwermetallen und etwaigen Störionen wie Eisen oder Aluminium. Es ist daher eine weniger aufwendige bzw. keine gesonderte Aufbereitung zu Phosphorsäure wie z. B. bei Klärschlammaschen erforderlich. Für den Einsatz als unmittelbar pflanzenverfügbaren Mineraldünger ist alleinig ein chemischer Aufschluss nötig (Kapitel 7.4).

7.4 Stoffliche Verwertung von veraschten tierischen Nebenprodukten in der Düngemittelindustrie

Analog zu Klärschlammaschen könnten veraschte tierische Nebenprodukte in bestehende Prozesse zur Herstellung von Mineraldüngern in der Düngemittelindustrie eingesetzt werden. Nach Information der Düngemittelindustrie sind diese Aschen im Vergleich zur Klärschlammasche sogar besser geeignet. Gründe dafür sind der ähnliche Chemismus der Phosphor-Verbindungen im Vergleich zu Rohphosphaten (Calciumphosphat) sowie die höheren Phosphor- bei gleichzeitig geringen Schwermetall- und Al/Fe-Gehalten (Tabelle A 1).

Beispielsweise verwendet ICL Fertilizers® veraschte tierische Nebenprodukte bereits als Sekundärrohstoff zur Herstellung von mineralischen Düngemitteln (Scope Newsletter, 2016).

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Phosphor ist ein essenzieller Nährstoff für alle Lebewesen, wobei Österreich und die EU über keine wirtschaftlich abbaubaren Rohphosphate verfügen und damit zu 100 % auf Importe angewiesen sind (Versorgungsrisiko). Mit kommunalem Abwasser (in weiterer Folge kommunalem Klärschlamm oder Klärschlammasche) (0,85 kg P/E*a) und tierischen Nebenprodukten (0,45 kg P/E*a) verfügt Österreich jedoch über zwei Stoffströme, die sehr relevante Mengen an Phosphor enthalten.

Alein über den Klärschlamm könnte man 40–50 % der jährlich eingesetzten Menge an Phosphor-Mineraldünger substituieren. Die beiden Stoffströme zeichnet zudem aus, dass der Phosphor an verhältnismäßig wenigen Orten sehr konzentriert anfällt. Jedoch wird gegenwärtig der in den beiden Stoffströmen enthaltene Phosphor nur teilweise im Sinne einer Kreislaufwirtschaft genutzt.

Die landwirtschaftliche Verwertung kommunaler Klärschlämme und Klärschlammkomposte stellt derzeit die einzige in Österreich praktizierte Verwertungsform für Phosphor aus dem Abwasser dar. Anwendungsverbote in einzelnen Bundesländern (Tirol, Wien, Salzburg,...), die Entwicklungen in Nachbarländern wie der Schweiz und Deutschland aber auch Diskussionen über potenzielle Risiken durch im Klärschlamm enthaltene Schadstoffe lassen erwarten, dass diese Verwertungspfade im Hinblick auf eine Verbesserung der Phosphor-Nutzung nicht zukunftsfähig sind.

Nur ein geringer Anteil des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors wird derzeit einer nährstoffeffizienten Nutzung zugeführt. Der größte Anteil des Klärschlammes wird gegenwärtig ohne Nährstoffnutzung verbrannt oder im Landschaftsbau eingesetzt. Damit besteht ein großes Verbesserungspotenzial.

Verbesserungen, auch für eine Übergangsfrist zu neuen Verwertungsszenarien, sind durch bundesweit abgestimmte Vorgaben zur Klärschlamm(kompost)anwendung zu erreichen, bei denen die Nährstoffeffizienz deutlich im Vordergrund steht (z. B. kein Einsatz im Landschaftsbau ohne Phosphor-Bedarf).

Durch intensive Forschungsarbeit in den vergangenen Jahren wurden Technologien entwickelt, um den im Abwasser, Schlammwasser, Klärschlamm oder den Klärschlammaschen enthaltenen Phosphor in sehr gut pflanzenverfügbarer und von anorganischen und organischen Schadstoffen entfrachteter Form rückzugewinnen. Würden für den Einsatz solcher Technologien die 197 größten Kläranlagen Österreichs herangezogen, könnte auf 85 % des im kommunalen Klärschlamm enthaltenen Phosphors zugegriffen werden. Eine diesbezüglich wirtschaftlich und ökologisch optimierte Strategie muss unter Berücksichtigung der regionalen siedlungswasserwirtschaftlichen Strukturen in den nächsten Jahren entwickelt werden.

Die technische Phosphor-Rückgewinnung aus dem Abwasser, im Speziellen aus dem Schlammwasser, ist aufgrund der gegenwärtigen Abwasserreinigungstechnologie nur in Ausnahmefällen möglich. Auch wenn international bereits einige Beispiele für großtechnische Anlagen mit diesen Recyclingtechnologien existieren, sind diese vor dem Hintergrund der Struktur der österreichischen Abwasserbehandlungsanlagen nicht als generelle Zielvorgabe geeignet, könnten in Einzelfällen jedoch als Übergangstechnologie für begrenzte Zeiträume zum Einsatz kommen.

Zur direkten Rückgewinnung von Phosphor aus dem Klärschlamm sind zusätzliche, teilweise umfangreiche technische Einrichtungen direkt auf den Kläranlagen erforderlich. Das Rückgewinnungspotenzial ist in Relation zum (technischen) Aufwand und den damit verbundenen Kosten gering.

Mit dem Ziel

- einer hohen Entsorgungssicherheit,
- vertretbaren Kosten,
- eine weitestgehende Zerstörung von organischen Schadstoffen zu garantieren (Vorsorgeprinzip),
- Schwermetalle (teilweise) zu entfernen (Vorsorgeprinzip),
- Rezyklate für den universellen Einsatz (Phosphorsäure, Calciumphosphate) bzw. Düngemittel (Produktstatus) zu produzieren,
- dabei die derzeit am weitest entwickelten Technologien (Readiness Level) einzusetzen und
- die größtmögliche Menge an Phosphor aus dem Abwasser rückzugewinnen (Ressourceneffizienz, Kreislaufwirtschaft),

kristallisiert sich eine Kombination aus Monoverbrennung des kommunalen Klärschlammes und anschließender Rückgewinnung des Phosphors aus den Klärschlammaschen als zu präferierende Option heraus.

In der inerten Klärschlammäsche liegt der Phosphor in einem Konzentrationsbereich vor, bei dem sich der Einsatz von neu entwickelten Rückgewinnungstechnologien am Wirtschaftlichsten darstellen bzw. die Asche als Substitutionsrohstoff von Rohphosphat in den bekannten Prozessen der Düngemittelindustrie einsetzen lässt. Es ist zu erwarten, dass bereits innerhalb der nächsten 5-10 Jahre ausgereifte Technologien für den großtechnischen Einsatz zur Verfügung stehen.

Zur Umsetzung dieser Strategie sind Monoverbrennungsanlagen in Österreich erst zu errichten und/oder bestehende Verbrennungskapazitäten (z. B. Wirbelschicht- und Drehrohrofen) durch strukturelle und organisatorische Maßnahmen nutzbar zu machen (z. B. bestehende Industrieanlagen). Die Mehrkosten für die Umsetzung einer solchen Strategie betragen bis zu 5 % der Einnahmen der Gemeinden aus den Abwassergebühren (Kanal, Abwasserreinigung, Klärschlammbehandlung). Für die Berücksichtigung dieser Mehrkosten sind die Finanzierungsmodelle anzupassen.

In einer Übergangsphase sind zudem:

- Informationsarbeiten zur Bedeutung der Ressource Phosphor im Allgemeinen und im Speziellen im Klärschlamm bzw. in tierischen Nebenprodukten öffentlichkeitswirksam und insbesondere auch bei den politischen Verantwortungsträgern in Abwasser- und Abfallwirtschaft zu leisten.
- Rückgewinnungsszenarien in Abhängigkeit u. a. von Kläranlagengrößen, -technologien, regionalen Bedingungen zu erarbeiten und zu bewerten.
- Für eine Start-up Phase Förderungen von Best-Practice Beispielen einer hochwertigen Phosphor-Rückgewinnung zu implementieren.

Aus rechtlicher Sicht ist aktuell noch folgende wesentliche Änderung als Voraussetzung zur Umsetzung dieser Strategie notwendig:

- Novellierung der österreichischen bzw. europäischen Düngemittelverordnungen, damit sichergestellt werden kann, dass Klärschlammaschen als Ausgangsstoff für die Düngemittelherstellung zugelassen werden.

Derzeit ist für die Herstellung eines Düngemittels auf Klärschlammäschebasis eine Zulassung per Bescheid erforderlich, da Klärschlammaschen nicht als Ausgangsstoff für die Herstellung von mineralischen Phosphordüngemitteln zugelassen sind.

Für den Fall, dass der Phosphor erst später rückgewonnen werden kann, besteht durch eine Monoverbrennung des Klärschlammes die technische Möglichkeit der Zwischenlagerung der Asche auf einer Deponie. Damit könnten bereits heute die Weichen gestellt werden, dass die

Ressource Phosphor nicht verloren geht und nationale Phosphor-Lagerstätten aufgebaut werden. Ein Abbau und eine Rückgewinnung kann zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen.

Mehle der Kat. 3 und der darin enthaltene Phosphor werden über die Proteinnutzung in Form von Futtermittel vielfach bereits im Kreislauf geführt. Dies sollte auch in Zukunft im Sinne einer Kreislaufwirtschaft sichergestellt werden. Der kleinere Teil der Mehle (Kat. 1, Risikomaterial, rund 1/4 der Mehle in Österreich) enthält ca. 0,1 kg P/E*a und muss vor einer allfälligen Nutzung thermisch behandelt werden. Hier bietet sich eine Koppelung bei einer Verbrennungsstrategie mit Klärschlamm mit einer Nutzung des Phosphors an. Voraussetzung ist, dass diese Option für die Verarbeitungsbetriebe der tierischen Nebenprodukte weiterhin wirtschaftlich darstellbar ist.

9 Literatur

AbfRRL (2008): Abfallrahmenrichtlinie. Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle (2008/98/EG).

AEV (2000): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus Abwasserreinigungsanlagen für Siedlungsgebiete (1. AEV für kommunales Abwasser), BGBl. Nr. 210/1996 idF BGBl. II Nr. 392/2000.

AWEL (2016): Phosphormining im Kanton Zürich. Produktion von Phosphorsäure aus Klärschlamm rückt in greifbare Nähe. Projektblatt 4, Januar 2016.

Albert, E. (2008): Optionen der landwirtschaftlichen Verwertung von P aus Schlachtnebenprodukten. Vortrag im Rahmen der Braunschweiger Nährstofftage Nov. 2008 URL: http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_koordinierend/bs_naehrstofftage/phosphor_landwirtschaft/12_Albert.pdf (Abruf 10. August 2016).

Bannick, C. G., Eichmann, C., Friedrich, J., Oda, R., Roth, M. (2001): Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzten Böden. Texte 59/01. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau, Deutschland.

BAuA (2011): REACH und Recycling. Broschüre der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 1. Auflage. Dortmund.

BAWP (2011): Bundesabfallwirtschaftsplan 2011, Ministerium für ein Lebenswertes Österreich.

BAWP (2017): Bundesabfallwirtschaftsplan 2017, Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

Bernhard, C. (2012): Nährstoffgehalt organischer Düngemittel zusammengestellt von C. Bernhard aus dem Datenbestand des LHL Kassel-Harleshausen.

Bgld. Klärschlamm- und Müllkompostverordnung (2000): Verordnung der Burgenländischen Landesregierung vom 11. September 1991 über die Aufbringung von Klärschlamm und Müllkompost auf landwirtschaftlichen Böden (Bgld. Klärschlamm- und Müllkompostverordnung). LGBl. Nr. 82/1991 idF.: LGBl. Nr. 75/2000.

BMLFUW (2017): Verwaltungsreformgesetz (254/ME) des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

BMNT (2018): Bundesabfallwirtschaftsplan. Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. Statusbericht 2018, Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

Boysen, P. (1992): Schwermetalle und andere Schadstoffe in Düngemitteln. Umweltbundesamt. Berlin, Deutschland.

Clara, M., Hartmann, C., & Scheffknecht, C. (2016): Klärschlamm und Boden. Eintrag von Spurenstoffen auf landwirtschaftlich genutzte Böden (No. Bericht UI-05/2016). Bregenz und Wien: Amt der Vorarlberger Landesregierung.

CLP (2008): CLP-Verordnung(EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006

Coutand, M., Cyr, M., Deydier, E., Guilet, R., Clastres, P. (2008): Characteristics of industrial and laboratory meat and bone meal ashes and their potential applications. *Journal of Hazardous Materials*, 150 (3): 522-532. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.04.133>

Cyr, M., Ludmann, C. (2006): Low risk meat and bone meal (MBM) bottom ash in mortars as sand replacement. *Cement and Concrete Research*, 36 (3): 469-480. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.09.009>

Czarnecki, R., Lebek, M. (2015): Stoffstrommanagement und wirtschaftliches Phosphorrecycling, Erkenntnisse aus Forschung und Praxis. Remonis http://www.prueck-bw.de/pulsepro/data/files/8.%20Czarnecki_Lebek_klein.pdf

Deydier, E., Guilet, R., Sarda, S., Sharrock, P. (2005): Physical and chemical characterisation of crude meat and bone meal combustion residue: "waste or raw material?". *Journal of Hazardous Materials*, 121 (1-3): 141-148. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.02.003>

DMG (1994): Düngemittelgesetz 1994. Bundesgesetz über den Verkehr mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln. BGBl. Nr. 513/1994. Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

DMVO (2004): Düngemittelverordnung 2004. BGBl. II Nr. 100/2004 Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

DMVO-EU (2003): Verordnung (EG) Nr. 2003/2003 des europäischen Parlamentes und des Rates vom 13. Oktober 2003 über Düngemittel.

DüKa (2016): Produktinformation DOLOPHOS® 6 <http://www.dueka.de/fileadmin/redaktion/pdfs-2/dolophos6.pdf>

DüMV (2012): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln Düngemittelverordnung – DüMV). Düngemittelverordnung vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2482). Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Deutschland

EC (2013): Richtlinie 2013/39/EU Deseuropäischen Parlaments und des Rates vom 12. August 2013 zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik.

ECHA (2010): Guidance on waste and recovered substances Vers. 2, European Chemicals Agency.

EcoPhos (2016): <http://ecophos.com/#/en/news/>

Egle, L., Rechberger, H., Zessner, M. (2013): Phosphorbilanz Österreich. Grundlagen für ein nachhaltiges Phosphormanagement – gegenwärtige Situation und zukünftige Entwicklung. Technische Universität Wien. Im Auftrag des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft.

Egle, L., Rechberger, H., Zessner, M. (2014a): „Vergleich von Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser und Klärschlamm“; Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 66 (2014), 1-2; S. 30 - 39.

Egle, L., Rechberger, H., Zessner, M. (2014b): Phosphorrückgewinnung aus dem Abwasser. Technische Universität Wien. Im Auftrag des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft.

Egle, L., Amann, A., Rechberger, H., Zessner, M. (2016): „Phosphor: Eine kritische und zugleich unzureichend genutzte Ressource der Abwasser- und Abfallwirtschaft – Stand des Wissens und Ausblick für Österreich und Europa“; Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 68 (2016), S. 118 - 133.

Egle, L., Rechberger, H., Krampe, J., & Zessner, M. (2016): Phosphorus recovery from municipal wastewater: An integrated comparative technological, environmental and economic assessment of P recovery technologies. *Science of The Total Environment*, 571, 522–542. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.019>

EG-K (2013): Bundesgesetz, mit dem ein Bundesgesetz über die integrierte Vermeidung und Verminderung von Emissionen aus Dampfkesselanlagen (Emissionsschutzgesetz für Kesselanlagen – EG-K 2013) erlassen wird. BGBl. I Nr. 127/2013. Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

EK (2009): Verordnung (EG) Nr. 764/2009 über ein Fangverbot für Kabeljau im ICES-Gebiet IV, in den EG-Gewässern des Gebiets IIa und in dem Teil des Gebiets IIIa, der nicht zum Skagerrak und Kattegat gehört, für Schiffe unter der Flagge Schwedens.

EmRegV-OW (2009): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über ein elektronisches Register zur Erfassung aller wesentlichen Belastungen von Oberflächenwasserkörpern durch Emissionen von Stoffen aus Punktquellen (EmRegV-OW). BGBl. II Nr. 29/2009.

EU (2012): Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union (C326/47). Amtsblatt der Europäischen Union.

Franck, J. (2016): Dezentrale kleine Monoverbrennungsanlage am Beispiel Rügen. gehalten bei: Perspektiven der Klärschlammverwertung –s Infoveranstaltung DWA Landesverband Nord13.-14.9.2016, Bremen.

Fryda, L., Panopoulos, K., Vourliotis, P., Kakaras, E., Pavlidou, E. (2007): Meat and bone meal as secondary fuel in fluidized bed combustion. *Proceedings of the Combustion Institute*, 31 (2): 2829-2837. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proci.2006.07.151>

Fryda, L., Panopoulos, K., Vourliotis, P., Pavlidou, E., Kakaras, E. (2006): Experimental investigation of fluidized bed co-combustion of meat and bone meal with coals and olive bagasse. *Fuel*, 85 (12–13): 1685-1699. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2006.01.020>

Garcia, R. A., Rosentrater, K. A. (2008): Concentration of key elements in North American meat & bone meal. *Biomass and Bioenergy*, 32 (9): 887-891. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.12.011>.

Grüner Bericht (2015): Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. Ministerium für ein lebenswertes Österreich.

Gulyurtlu, I., Boavida, D., Abelha, P., Lopes, M. H., Cabrita, I. (2005): Co-combustion of coal and meat and bone meal. *Fuel*, 84 (17): 2137-2148. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2005.04.024>

IWAG (2016): Untersuchungen zu Klärschlammaschen und Tiermehl. Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft. TU Wien. (Unveröffentlicht).

K-KKV (2004): Verordnung der Landesregierung vom 3. Oktober 2000 über die Aufbringung von behandeltem Klärschlamm, Bioabfall und Grünabfall auf landwirtschaftlich genutzte Böden (Kärntner Klärschlamm- und Kompostverordnung - K-KKV). LGBl Nr 74/2000 idF: LGBl Nr 5/2004.

Kompostverordnung (2001): 292. Verordnung Kompost. Verordnung über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung). Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich vom 14. August 2001. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.

Kratz, S., Schnug, E. (2005): Schwermetalle in P-Düngern. Landbauforschung Völkenrode, Special Issue 286: 37 - 45.

Kratz, S., Schnug, E. (2016): Trace elements in rock phosphates and P containing mineral and organo-mineral fertilizers sold in Germany. Science of the Total Environment, 542: 1013-1019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.046>

Kraus, F., Seis, W. (2015): P-REX Project: Sustainable sewage sludge management fostering phosphorus recovery and energy efficiency. Deliverable 9.1: Quantitative risk assessment of potential hazards for humans and the environment: quantification of potential hazards resulting from agricultural use of the manufactured fertilizers. Download: <http://p-rex.eu/index.php?id=11>

Kürger, O., Adam, C. (2014): Monitoring von Klärschlammmonoverbrennungsaschen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung zur Ermittlung ihrer Rohstoffrückgewinnungspotentiale und zur Erstellung von Referenzmaterial für die Überwachungsanalytik. BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung. TEXTE 49/2014. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau, Deutschland.

LfU (2015): Rückholbarkeit von Phosphor aus kommunalen Klärschlämmen. Abschlussbericht. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Augsburg, Deutschland.

LUA (2001): Untersuchungen zur Kompostqualität im Land Brandenburg. Fachbeiträge des Landesumweltamtes – Titelreihe Heft-Nr. 65. Landesumweltamt Brandenburg (LUA). Potsdam, Deutschland.

NÖ Klärschlammverordnung (2015): StF: LGBl. 6160/2-0.

Obernberger, I., Supancic, K., Polzer, A. (2007): Untersuchung der Stoffflüsse und sinnvollen Verwertung von sowie Reststoffnutzung aus Klärschlamm in der Steiermark Endbericht. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. Graz.

Öhlinger, A., Kügler, I., Walter, B., Kügler, I., Lampert, C., Doujak, K., Schiller, A., Pegam, E. (2008): Tierische Nebenprodukte 2004-2006. Erhebung der Mengen an tierischen Nebenprodukten in Österreich. REP-0198. Umweltbundesamt.

Oliva, J., Berhardt, A., Reisinger, H., Domenig, M., Kramer, H. J. (2009): Klärschlamm - Materialien zur Abfallwirtschaft. REP-0221. Umweltbundesamt. Klagenfurt, Wien.

Oö. Klärschlammverordnung (2006): Verordnung der Oö. Landesregierung über die Ausbringung von Klärschlamm auf Böden (Oö. Klärschlammverordnung 2006). LGBl. Nr. 62/2006.

ÖWAV (2004): Regelblatt 17 „Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm“. RB 17. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV).

ÖWAV (2014): Positionspapier „Klärschlamm als Ressource“. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV).

ÖWAV (2016): ÖWAV-Arbeitsbehelf 48: Grundlagen und Aufbau einer Gebührenkalkulation in der Abwasserentsorgung. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV).

QZV Chemie OG (2006): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des Zielzustandes für Oberflächengewässer (Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer – QZV Chemie OG), BGBl. II Nr. 96/2006 idF BGBl. II Nr. 363/2016

QZV Ökologie OG (2010): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des ökologischen Zustandes für Oberflächengewässer (Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer – QZV Ökologie OG), BGBl. II Nr. 99/2010 idF BGBl. II Nr. 461/2010

QZV Chemie GW (2010): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über den guten chemischen Zustand des Grundwassers (Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser – QZV Chemie GW), BGBl. II Nr. 98/2010 idF BGBl. II Nr. 461/2010

Plotegher, F., Ribeiro, C. (2016): Characterization of Single Superphosphate Powders - a study of Milling Effects on Solubilization Kinetics. *Materials Research*, 19: 98-105.

REACH (2008): Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), ABl. L 107 vom 17.4.2008, S. 6.

REACH GebVO (2008): Verordnung (EG) Nr. 340/2008 der Kommission vom 16. April 2008 über die an die Europäische Chemikalienagentur zu entrichtenden Gebühren.

Rigby, H., Dowding, A., Fernandes, A., Humphries, D., Petch, R. G., Reynolds, C. K., Smith, S. R. (2015): Organic Contaminant Content and Physico-Chemical Characteristics of Waste Materials Recycled in Agriculture. *Agriculture*, 5(4), 1289–1328. <https://doi.org/10.3390/agriculture5041289>

Rosyadi, I. (2004): Studies on the agricultural utilization of phosphate from incinerated sewage sludge and meat & bone meal (Untersuchungen zur landwirtschaftlichen Verwertung von Phosphor aus Klärschlamm- und Tiermehlaschen). Dissertation. Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig. (Englisch)

Sager, M. (2009): Fertilization Loads of Less Common Elements to Arable Soils in Austria. In: *Organic Farming: Methods, Economics and Structure*. Nova Science Publishers, Inc. pp. 145 - 177.

Scheffknecht, C. (2005): Klärschlammkompost. Abbauverhalten von Schadstoffen während der Kompostierung. Umweltinstitut des Landes Vorarlberg. Bericht UI-1/2005. Amt der Vorarlberger Landesregierung. Bregenz.

SePura (2016): Produktinformation SoliPur® 170 <http://www.sepura.de/images/produktlisten/landwirtschaft/duengemittel/soliPur170P-neu.pdf>

Scope Newsletter (2016) European Sustainable Phosphorus Platform. November 2016, Nr. 122.

Statistisches Bundesamt (2017): Abwasserbehandlung - Klärschlamm. Ergebnisbericht (S. 73). Wiesbaden.

Steiermärkische Klärschlammverordnung (2007): Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung vom 8. Oktober 2007, über die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Böden (Steiermärkische Klärschlammverordnung 2007). LGBl. Nr. 89/2007 idF: LGBl. Nr. 94/2007.

Taylor, D.M. (1999): Inactivation of prions by physical and chemical means. *Journal of Hospital Infection* (1999) 43 (Supplement) 69-76.

Überreiter, E., Lenz, K., Zieritz, I., Weber, K., Stadler, E., Eder, I. (2016): Kommunales Abwasser. *Österreichischer Bericht 2016*. Bundesamt für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.

Van Kauwenbergh, S. J. (1997): Cadmium and other minor elements in world resources of phosphate rock. *The Fertilizer Society, Proceedings No. 400*

Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., Vassileva, C. G. (2013): An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase–mineral and chemical composition and classification. *Fuel*, 105: 40-76. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2012.09.041>

Vbg. Klärschlammverordnung (2002): Verordnung der Landesregierung über die Ausbringung von Klärschlamm. StF: LGBl.Nr. 75/1997 idF.: LGBl. Nr. 27/2002.

VRG (2017): Verwaltungsreformgesetz, BGBl. I Nr. 58/2017. Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

Wiechmann, B., Dienemann, C., Kabbe, C., Brandt, S., Vogel, I., Roskosch, A. (2013): Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau, Deutschland.

10 Anhang

Tab. A 1 Charakterisierung, typische Konzentration an Nährstoffen sowie organischen und anorganischen Schadstoffen in ausgewählten Düngemitteln (Ausgangsstoffen); Bandbreiten der Mittelwerte (von/bis) ausgewählter Studien

	KS ^{14,18,19,26,27,28}		KSA ^{11,15,16}		KKOMP ^{2,17,23,27,28}		TM ^{7,8,9,10,11,21}		TMA ^{4,5,6,21,25,29}		STR _Z ^{14,16,30}		STR _{F-S} ^{14,30}		RP _{Sed.} ^{12,24}		RP _{Magm.} ^{12,24}		SSP ^{1,3,13,20,22}	
	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis
Asche	20	55	-	-	68	-	11	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	7,7	8,6	9,5	13	7,1	-	6,3	-	12	-	-	-	-	6,4	-	-	-	-	-	3,1
HW	10	18	-	-	-	-	14	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	2,7	3,4	8,3	10	1,5	3,6	3,1	6,5	16	19	13	10	11	11	16	14	17	14	7,8	14
P2O5	6,1	7,9	19	22	3,4	8,3	7,1	15	37	43	30	23	26	25	37	32	39	18	18	32
N	2,5	4,4	-	-	1,8	2,7	8	-	-	-	6	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	7,1	11	10	14	4,5	-	7,0	11,0	28	36	-	-	-	32	38	32	-	-	-	20
K	0,3	-	1,0	-	0,1	0,6	0,3	-	0,2	2,5	0,08	0,08	0,3	0,04	0,1	0,1	0,1	0,2	-	0,2
Mg	1,0	-	1,3	-	0,3	0,8	0,3	-	0,7	0,9	10	10	-	0,2	0,4	0,4	-	-	-	0,4
S	0,5	1,5	0,6	1	0,63	-	0,4	0,8	0,09	1,6	-	-	-	0,7	-	0,8	-	-	-	-
Fe	3,0*	4,0*	11	15	4,0	5,0	0,06	-	0,1	0,5	-	-	-	0,1	1,0	7,0	-	-	0,5	0,9
Al	0,4*	0,7*	1,8	5,4	0,60	0,80	0,02	0,03	0,2	0,6	-	-	-	0,1	0,4	0,3	-	-	0,1	0,2
As	7,1	-	5,7	18	4,4	7,8	0,4	-	3	-	2,7	1,0	1,6	13	16	1,0	10	2,2	8,5	
Cd	1,0	1,3	2,5	10	0,5	1,7	0,2	0,3	0,3	-	0,1	0,3	0,4	21	24	0,1	1,3	5,4	34	
Cr	37	83	77	210	42	99	4,0	-	21	32	2,7	4,2	16	130	170	13	-	-	90	180
Cu	200	300	660	1.600	110	310	15	120	47	70	2,6	30	42	15	-	15	30	13	92	
Hg	0,6	1,9	0,1	0,7	0,4	1,1	0,1	-	0,02	-	0,4	0,2	0,3	0,2	0,4	0	0,01	-	-	
Ni	25	34	59	93	20	41	3,0	4,0	18	78	2,5	4,7	16	26	50	2,0	15	15	39	
Pb	37	76	82	220	30	48	1,2	7,0	1,3	-	1,3	6,5	13	8	11	1,8	33	1,0	19	
V	10	100	36	53	16	45	2,8	-	3,1	12	-	-	-	68	-	1,0	-	-	84	
U	3,5	-	6,3	7,2	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	77	96	10	28	140	-	
Zn	710	1.100	2.100	4.500	360	960	87	150	39	370	15	47	90	250	290	19	100	140	470	
AOX	140	320	-	-	83	420	-	-	-	-	55	-	-	-	-	-	-	-	-	
ΣPAK-16	1,8	6,6	0,02	17	0,7	3,8	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	
ΣPAK-6	0,5	1,0	-	-	0,9	1,2	-	-	0,02 ^{PAK-4}	-	0,0	0,08	0,6	-	-	-	-	-	-	
ΣPBDE	0,02	0,05	-	-	0,01	0,02	-	-	0,0003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ΣPCB-6	0,02	0,09	-	-	0,02	0,08	-	-	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PCDD/F	5,0	35	0,02	1,0	31	-	-	-	7,4	1,5	3,2	0,2	1,9	-	-	-	-	-	-	
PFOS	23	30	-	-	4,7	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PFOA	0,7	6,0	-	-	4,4	6,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

KS: Klärschlamm ausgefault, KSA: Klärschlammmasche, KKOMP: Klärschlammkompost, MvTP: Mehl aus der Verarbeitung tierischer Proteine, VTN: veraschte tierische Nebenprodukte, STR_Z: Struvitfällung aus Zentrat, Struvit_{F-S}: Struvitfällung aus dem Faulschlamm, RP_{Sed.}: sedimentäres Rohphosphat, RP_{Magm.}: magmatisches Rohphosphat, SSP: Single Superphosphat, k.D. = keine Daten. → Fortsetzung nächste Seite

	KS ^{18,19,26}		KSA ^{11,15,16}		KKOMP ^{2,17,23}		TM ^{7,8,9,10,11,21}		TMA ^{4,5,6,21,25}		STR _Z ¹⁴		STR _{FS} ¹⁴		RP _{Sed.} ^{12,24}		RP _{Magn.} ^{12,24}		SSP ^{1,3,13,20,22}	
	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis
As	14	19	28	88	k.D.		3,6		k.D.		9		4,1	6,5	42	52	2,8	28	8,8	34
Cd	530	1.200	380	1.000	720	1.700	36	0,8	53	80	0,33		1,0	1,8	68	77	0,3	3,7	22	140
Cr	2.900	4.300	3.200	7.800	1.900	5.300	140	1.100	120	180	8,7		17	65	420	550		37	360	720
Cu	8	27	0,4	3,2	6,7	19	0,9	-			1,3		0,9	1,3	0,6	1,3	0,01	0,03	k.D.	
Hg	360	490	290	450	340	700	27	36	45	200	8,3		19	65	84	160	5,6	42	60	160
Ni	530	1.100	400	1.100	620	820	11	63	3,3		4,3		27	53	27	35	5,1	93	4,0	76
Pb	140	1.400	180	260	k.D.		25		8	30	k.D.		k.D.		220		2,8		340	
V			31	35	k.D.		k.D.		0,4		k.D.		k.D.		250	310	28	79	560	
U	10.000	16.000	10.000	22.000	6.200	16.000	790	1.400	98	930	50		190	370	810	940	54	280	560	1.900
Zn																				

KS: Klärschlamm ausgefault; KSA: Klärschlammmasche, KKOMP: Klärschlammkompost, MvTP: Mehl aus der Verarbeitung tierischer Proteine, VTN: veraschte tierische Nebenprodukte, STR_Z: Struvitfällung aus Zentrat, STR_{FS}: Struvitfällung aus dem Faulschlamm, RP_{Sed.}: sedimentäres Rohphosphat, RP_{Magn.}: magmatisches Rohphosphat, SSP: Single Superphosphat, k.D. = keine Daten

¹ Bannick et al. (2001); ² Bernhard (2012); ³ Boysen (1992); ⁴ Coutand et al. (2008); ⁵ Cyr & Ludmann (2006); ⁶ Deydier et al. (2005); ⁷ Fryda et al. (2007); ⁸ Fryda et al. (2006); ⁹ Garcia & Rosentrater (2008); ¹⁰ Gulyurtlu et al. (2005); ¹¹ IWAG (2006); ¹² Kratz & Schnug (2005); ¹³ Kratz & Schnug (2016); ¹⁴ Kraus & Seis (2015); ¹⁵ Krüger & Adam (2014); ¹⁶ LfU (2015); ¹⁷ LUAB (2001); ¹⁸ Obernberger et al. (2007); ¹⁹ Oliva et al. (2009); ²⁰ Plötegher & Ribeiro

Tab. A 2 Geltende Grenzwerte für anorganische und organische Schadstoffe in Düngemitteln (DMVO, 2004) und für die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm(-kompost)

	DMVO (2004)		Klärschlammverordnungen der Länder										Kompostverordnung (2001)				
	Mineral. DM mit mehr als 5% P2O5	Bglid ¹	K ²			Vbg ³	NÖ ⁴	OÖ ⁵	Stmk ⁶	Grenzwerte für KS als Ausgangsmaterial		Grenzwerte für (Klärschlamm)-Kompost					
			GK I	GK II	B					AB	B	I	Komp.	QKK	B	A	A+
As	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd	75 mg/kg	2	10	2,5	2	1	0,7	4	2	5	2	3	2	3	1	1	0,7
Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	300	70	250	70	70	70
Cr	-	100	500	100	70	70	70	300	70	400	70	-	-	-	-	-	-
Cr(VI)	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	-	300	500	300	300	150	70	500	300	400	300	500	300	500 (400*)	150	70	70
Hg	1	2	10	2,5	2	0,7	0,4	4	2	7	2	5	2	3	0,7	0,4	0,4
Ni	100	60	100	80	60	60	25	100	60	80	60	100	60	100	60	60	25
Pb	100	100	500	150	150	150	45	150	100	400	100	200	100	200	120	45	45
V	1.500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	-	1.000	2.000	1.800	1.200	500	200	1.800	1.500	1.600	1.200	2.000	1.200	1.800	500	200	200
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AOX	500	-	-	500***	-	-	-	-	500	500	500	500	-	-	-	-	-
PAK	6 ^{PAK6}	-	-	6***	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-
PCB	0,2 ^{PCB6}	-	-	1***	0,2****	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PFT	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OCP	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dioxin	-	-	-	50***	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PCDD/F	20	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aktivität	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

DM: Düngemittel, KS: Klärschlamm, QKK: Qualitätsklärschlammkompost, OCP: Organochlorpestizide

* Kennzeichnungspflicht; ** Qualitätsklasse I darf die durchschnittlichen regionalen Oberbodengehalte nicht übersteigen; *** Im Verdachtsfall zu prüfen;

**** jeweils für Polychlorierte Biphenyle (PCB) der Komponenten Nr. 28, 52, 101, 138, 153 und 180

¹Bglid. Klärschlamm- und Müllkompostverordnung (1991); ² Kärntner Klärschlamm- und Kompostverordnung (2000); ³ Vbg. Klärschlammverordnung (2002);

⁴NÖ Klärschlammverordnung (2015); ⁵ OÖ. Klärschlammverordnung (2006); ⁶ Steiermärkische Klärschlammverordnung (2007)

Tab. A 3 Rechtsvorschriften betreffend Klärschlammanwendung zu Düngezwecken

	Rechtsvorschriften
Bundesweit	Bundekompostverordnung, BGBl. Nr 325/1990 i. d. F. BGBl. II Nr. 292/2001
Burgenland	Burgenländisches Bodenschutzgesetz, LGBl. Nr. 87/1990 i. d. F. LGBl. Nr. 32/2001 Burgenländische Klärschlamm- und Müllkompostverordnung, LGBl. Nr. 82/1991 i. d. F. LGBl. Nr. 4/2001
Kärnten	Kärntner Abfallwirtschaftsordnung 2004, LGBl. Nr.17/2004 i. d. F. LGBl. Nr. 85/2013 Kärntner Klärschlamm- und Kompostverordnung, LGBl. Nr. 74/2000 i. d. F. LGBl. Nr. 74/2000
Niederösterreich	NÖ Bodenschutzgesetz (NÖ BSG), LGBl. Nr. 6160-0 i. d. F. LGBl. Nr. 6160-5 NÖ Klärschlammverordnung, LGBl. Nr. 6160/2 i. d. F. LGBl. 6160/2-5
Oberösterreich	OÖ Bodenschutzgesetz, LGBl. Nr. 63/1997 i. d. F. LGBl. Nr. 3/2014 Oberösterreichische Bodengrenzwerteverordnung, LGBl. Nr. 50/2006 OÖ Klärschlammverordnung, LGBl. Nr. 62/2006
Steiermark	Steiermärkisches landwirtschaftliches Bodenschutzgesetz, LGBl. 66/1987 i. d. F. LGBl. Nr. 8/2004 Steiermärkische Klärschlammverordnung 2007, LGBl. Nr. 89/2007 i. d. F. LGBl. Nr. 94/2007 Bodenschutzprogrammverordnung, LGBl. Nr. 87/1987 i. d. F. LGBl. Nr. 11/1988
Vorarlberg	Vorarlberger Klärschlammgesetz, LGBl. Nr. 41/1985 i. d. F. LGBl. Nr. 44/2013 Vorarlberger Klärschlammverordnung, LGBl. Nr. 75/1997 i. d. F. LGBl. Nr. 27/2002
Salzburg	Bodenschutzgesetz Salzburg, LGBl. Nr. 80/2001 i. d. F. LGBl. Nr. 31/2009 Klärschlamm-Bodenschutzverordnung Salzburg, LGBl. Nr. 85/2002 i. d. F. LGBl. Nr. 74/2016
Tirol	Tiroler Feldschutzgesetz 2000, LGBl. Nr. 58/2000 i. d. F. LGBl. Nr. 26/2017
Wien	Wiener Klärschlammgesetz, LGBl. Nr. 08/2000



zukunft
SEIT 1909
denken

Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband

Gegründet 1909

1010 Wien, Marc-Aurel-Straße 5

Tel. +43-1-535 57 20, Fax +43-1-535 40 64, buero@oewav.at, www.oewav.at

Das österreichische **Kompetenz-Zentrum**
für **Wasser-, Abwasser- und Abfallwirtschaft.**

Veranstaltungen

- Österreichische Abfallwirtschaftstagung
- Österreichische Wasserwirtschaftstagung
- Österreichische Umweltrechtstage
- Seminare und Fortbildungskurse zu aktuellen Themen der Wasser- und Abfallwirtschaft
- Erfahrungsaustausch für Betreiber von Abwasser-, Abfallbehandlungs- und Hochwasserschutzanlagen
- Kurse für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen, Praktikum auf Lehrklär- und Lehrkanalanlagen, Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften
- Kurse für das Betriebspersonal von Abfallbehandlungsanlagen
- Kurse in den Bereichen Gewässerpflege, kleine Stau- und Sperrenanlagen, Hochwasserschutz- und Beschneigungsanlagen
- Gemeinsame Veranstaltungen mit in- und ausländischen Fachorganisationen
- Exkursionen

Fachgruppen und Arbeitsausschüsse

- Ausarbeitung von Regelblättern, Arbeitsbehelfen, Merkblättern und Leitfäden
- Erarbeitung von Positions- und Ausschusspapieren sowie Stellungnahmen zu Gesetzesvorhaben

Beratung und Information

- Auskünfte und individuelle Beratung
- Wasser- und abfallwirtschaftliche Informationsschriften und Beiträge, Öffentlichkeitsarbeit

Veröffentlichungen

- Fachzeitschrift „Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft“ (ÖWAW)
- ÖWAV-Homepage (www.oewav.at)
- ÖWAV-News (HTML-Newsletter)
- Tätigkeitsbericht des ÖWAV
- Schriftenreihe des ÖWAV (Wasser- und Abfallrechtliche Judikatur in Leitsatzform)
- Veröffentlichungen zu Tagungen und Seminaren des ÖWAV
- Regelblätter*), Arbeitsbehelfe*) und Merkblätter des ÖWAV, Positions- und Ausschusspapiere
- Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen*)
- ÖWAV-WKO-Umweltmerkblätter für Gewerbebetriebe
- KA-Betriebsinfo¹⁾
- Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer¹⁾

Verbindungsstelle (Nationalkomitee) der

- European Water Association – EWA

Mitglied der österreichischen Vertretung zur

- European Union of National Associations of Water Suppliers and Waste Water Services – EUREAU (gem. mit ÖVGW)
- International Solid Waste Association – ISWA
- International Water Association – IWA (gem. mit ÖVGW)

*) in Kommission bei Austrian Standards plus Publishing, Wien

¹⁾ Mitherausgeber

