

Anforderungen an Phosphorrezyklate aus der Aufbereitung von Klärschlamm aus Sicht eines Düngemittelherstellers

Joachim Clemens und Martin Teloo (Hünxe)

Zusammenfassung

Durch die Neufassung der Klärschlammverordnung mit Pflicht, Phosphor zurückzugewinnen, werden neue phosphorhaltige Produkte auf den Markt kommen. Der Düngemittelmarkt dürfte hierbei vorerst im Fokus sein. Welche Anforderungen an Phosphorrezyklate aus der Aufbereitung von Klärschlamm zu stellen sind, wird aus Sicht eines Düngemittelherstellers geschildert. Vertieft eingegangen wird auf die Vermarktung der Produkte und die Logistik sowie auf wirtschaftliche Aspekte. Trotz geringer Mengen ist derzeit Struvit noch immer das einzige Phosphorrezyklat auf dem Markt.

Schlagwörter: Klärschlamm, Phosphorrückgewinnung, Rezyklat, Düngemittel, Vermarktung, Struvit

DOI: 10.3242/kae2020.08.003

Abstract

Requirements for recycled phosphorus from sewage sludge treatment from the perspective of a fertiliser manufacturer

New products containing phosphorus will enter the market as a consequence of Germany's revised sewage sludge legislation, which contains an obligation to recover phosphorus. The fertiliser market will likely be in the spotlight at first. This article delves into the requirements of recycled phosphorus from sewage sludge treatment from the perspective of a fertiliser manufacturer. It also looks in greater detail at the marketing of products, logistics and economic aspects. Struvite is still the only type of recycled phosphorus available on the market at the moment, even though its amounts are small.

Key Words: sewage sludge, phosphorus recovery, recycled material, fertiliser, marketing, struvite

1 Einleitung

Durch die Neufassung der Klärschlammverordnung mit Pflicht zum Phosphorrecycling [1] werden neue phosphorhaltige Produkte auf dem Markt verfügbar sein und sich mittelfristig etablieren. Der Düngemittelmarkt dürfte hierbei vorerst im Fokus sein. Grund hierfür sind die im Vergleich zu anderen Sektoren (Lebensmittel- und chemischen Industrie) relativ geringen rechtlichen Anforderungen. Als mittelständisches Recyclingunternehmen beschäftigt sich die SF-SoepenberGmbH seit Jahrzehnten mit der Produktion und Verwertung von Düngern aus Abfällen und Sekundärrohstoffen.

Im Wirtschaftsjahr 2017/2018 betrug der Inlandabsatz an Phosphat 209 000 Mg P_2O_5 . Davon entfielen 22 000 Mg P_2O_5 auf Superphosphat, 184 000 Mg P_2O_5 auf Mehrnährstoffdünger und 3 000 Mg P_2O_5 auf andere P-Dünger wie zum Beispiel teil-aufgeschlossenes Rohphosphat, Dicalciumphosphat etc. [2]. Durch das durch die Klärschlammverordnung geforderte P-Recycling dürften Produkte mit etwa 90 000–115 000 Mg P_2O_5 pro Jahr entstehen [3].

2 Einordnung der möglichen Technologien aus Sicht der Düngemittelindustrie

P-Rezyklate können durch Behandlung von Klärschlamm-Asche oder durch Fällung im Abwasser entstehen. Im letzten Fall kann es das Ziel sein, dass der Klärschlamm dann nicht mehr der Verpflichtung zur Phosphorrückgewinnung nach Klärschlammverordnung unterliegt (Abbildung 1).

Wird der Klärschlamm in einer Monoverbrennungsanlage verbrannt und damit komplett oxidiert, kann die Asche danach in unterschiedlichen Verfahren aufgearbeitet werden. Phosphat kann durch sauren Aufschluss extrahiert und zum Beispiel als Calciumphosphat gefällt oder als Phosphorsäure dem Prozess entzogen werden. Verfahren sind zum Beispiel Ash2Phos, EcoPhos oder TetraPhos. Durch die Extraktion/Fällung können Schwermetalle und Phosphate voneinander weitestgehend getrennt werden.

Wird der Klärschlamm thermochemisch und nicht voll-oxidativ behandelt, kann ein Material entstehen, in dem Phosphor pflanzenverfügbar ist. Beispielverfahren sind AshDec, Eu-

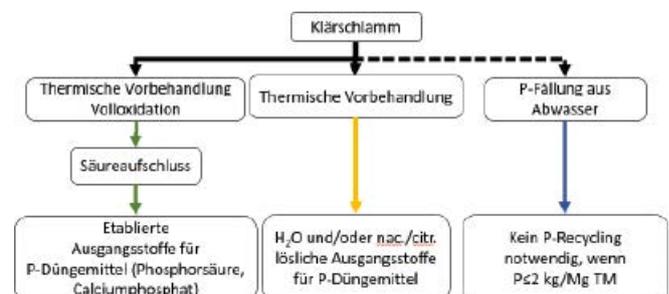


Abb. 1: Aus Klärschlamm bzw. Abwasser resultierende P-Dünger. Wenn die P-Konzentration < 2% P beträgt, findet vorab eine P-Fällung in dem Abwasser statt; nac: neutral-ammonicitrat, citr.: zitronensäure.

Phore oder SeraPlant. Bei den Verfahren werden Schwermetalle nur zum Teil durch die Gasphase abgereichert.

Verfahren, die eine P-Abreicherung im Abwasser durchführen und damit gegebenenfalls in Kombination mit Bio-P-Verfahren den P-Gehalt im Klärschlamm auf unter 2 % P reduzieren, produzieren zum Beispiel Struvit oder Brushit. Die Materialien können als Ausgangsstoffe für P-Dünger dienen. Hier sind beispielsweise AirPrex, Pearl oder PhosPaques zu nennen.

3 Kriterien für eine effiziente Vermarktung von phosphorhaltigen Düngemitteln – Anforderungen an den P-Recyclingprozess

Das P-Rezyklat sollte über die Zeit eine gleichbleibende Konzentration an Nährstoffen aufweisen, damit daraus möglichst einfach ein Düngemittel hergestellt werden kann. Die Düngemittelverordnung schreibt vor, dass Düngemittel deklariert werden müssen, das heißt, der Inverkehrbringer muss den Nährstoffgehalt des Düngemittels mit einer nur geringen Variabilität [zum Beispiel Dicalciumphosphat mit Magnesium (P-Dünger laut Anlage 1, Abschnitt 1.2.1 der Düngemittelverordnung): ± 0,8 % P₂O₅] angeben und garantieren.

Die in der Düngemittelverordnung angegebenen Schadstoffgrenzwerte ([4], Anlage 2, Tabelle 1, Punkt 1.4) sind einzuhalten. Klärschlammaschen ohne weitere Schwermetallentfrachtung weisen zum Teil zu hohe Schwermetallgehalte auf, als dass sie zu einem Düngemittel verarbeitet werden können [5].

Die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors muss möglichst konstant und möglichst hoch sein. Die Pflanzenverfügbarkeit kann in Pflanzenversuchen ermittelt werden. Allerdings sind solche Versuche nicht genau definiert und sie dauern Wochen. Deshalb wird die P-Pflanzenverfügbarkeit über klar definierte Extraktionsverfahren und die dadurch erhaltenen P-Löslichkeiten beschrieben. Phosphat in Düngern ist dann gut pflanzenverfügbar, wenn es in 2 %iger Zitronensäure, in einer Neutral-Ammonicitrat-Lösung oder in Wasser löslich ist. Die Extraktionsmethoden und die für Düngemittel geltenden Mindestlöslichkeiten sind in der Düngemittelverordnung hinterlegt ([4], Anlage 2, Tabellen 4 und 5). Durch die Bemühungen zum P-Recycling aus Abwasser, Klärschlamm, Gärrest und Gülle entstehen momentan verschiedene P-haltige Ausgangsstoffe für Düngemittel. Für solche Materialien führen wir seit 2019 eigene Pflanzenversuche durch, um die tatsächliche Pflanzenverfügbarkeit zu bestimmen und deren Marktwert besser einzuschätzen.

In der Düngemittelverordnung werden hinsichtlich physikalischer Parameter nur bei bestimmten Ausgangsstoffen, wie

zum Beispiel Klärschlammasche, weitergehende Anforderungen gestellt. Diese sind im wesentlichen Siebganglinien und zum Teil Anforderungen, ob das Material vor der Abgabe staubgebunden sein muss.

Wenn die oben genannten Kriterien eingehalten sind, ist eine Produktion eines Düngemittels theoretisch möglich. Allerdings wird der Produktionsprozess von weiteren Produkteigenschaften des Materials wesentlich beeinflusst. Dazu gehören im Wesentlichen:

- Korngrößenverteilung
- Kristallstruktur
- Feuchte
- Schüttdichte
- Kornfestigkeit
- Farbe
- Lagerstabilität
- Rieselfähigkeit.

4 Weitergehende Aufbereitung durch den Düngemittelhersteller

Damit aus einem P-reichem Material ein Düngemittel wird, ist dieses so zu konfektionieren, dass es in seiner Handhabung möglichst einfach in die bestehende Düngemittellogistik integriert werden kann.

Für das produzierte Düngemittel gelten erneut alle oben genannten chemischen und physikalischen Eigenschaften. Zusätzlich sei die Entmischung von Mehrkomponentendüngern erwähnt, die zu berücksichtigen ist.

Landwirte und Maschinenringe favorisieren Düngemittel, die sie mit bestehender Technik ausbringen können. Gängige Techniken sind Schleuderstreuer, pneumatische Ausbringgeräte oder Geräte zur Unterfußdüngung. Sie alle benötigen konditionierte Dünger, deren Eigenschaften sich an den bisher verfügbaren Produkten orientieren. Neben der eigentlichen Technik zur Ausbringung sollten neue Düngemittel ähnlich effizient ausgebracht werden können wie Standardprodukte, das heißt, es werden zum Teil Ausbringbreiten für Düngemittel von bis zu 32 Metern abgefragt.

5 Quantität: Produktion von P-Rezyklaten

Die Düngemittelproduktion ist ein Massengeschäft. Die Verarbeitung eines relativ kleinen Stoffstroms kann mit der Produktion von großen Mengen an Mineräldüngern ökonomisch nicht

Schadstoff	Kennzeichnung ab [mg/kg TM]	Grenzwert [mg/kg TM]
Arsen	20	40
Blei	100	150
Cadmium für Düngemittel ab 5 % P ₂ O ₅	20	50
Chrom (ges.)	300	–
Chrom (Cr ^{VI})	1,2	2
Nickel	40	80
Quecksilber	0,5	1,0
Thallium	0,5	1,0

Tabelle 1: Kennzeichnungspflichten und Grenzwerte von anorganischen Schadstoffen in P-Düngemitteln und deren Ausgangsstoffen, Auszug aus der Düngemittelverordnung (TM: Trockenmasse)

konkurrieren. Beispiel: die Struvitproduktion einer Kläranlage mit etwa 450 000 EGW (P-basiert) liefert im Praxisbetrieb etwa 1000–1500 Mg Struvit, was einer Menge an 250–375 Mg P_2O_5 jährlich entspricht. Diese Ausgangsmaterial aus solchen „dezentralen“ Anlagen dürfte zu zentralen Düngemittelwerken transportiert werden, um dort zu einem Dünger mit gleichbleibender Qualität verarbeitet zu werden (Abbildung 2).

Anlagen zur Herstellung von Ausgangsmaterialien für P-Dünger aus Klärschlammaschen oder Klärschlammaschen sind deutlich größer und planen mit der Produktion von beispielsweise 60 000 Mg Phosphat-Dünger pro Jahr. Diese Anlagen sind für die Produktion einer konstanten Qualität ausgelegt. Das Material dürfte direkt für die Düngemittelherstellung verwendet werden.

Ausgangsmaterialien aus Klärschlammaschen dürften im besten Fall geeignet sein, als Substitut für bisher eingesetzte Stoffe verwendet zu werden: Zum Beispiel wenn bei der Aufarbeitung reines Calcium-Phosphat entsteht, kann es Rohphosphat ersetzen. Dann ist keine Änderung oder Adaption im Produktionsprozess für Düngemittel notwendig. Dagegen bedarf es für Materialien wie Struvit und gegebenenfalls thermochemisch behandelte Aschen einer neuen Produktionslinie zur Düngemittelherstellung.

Interessant ist zu erwähnen, dass in der Vergangenheit die meisten Verfahrensgeber zur P-Elimination durch Struvitfällung der Verwertung des Struvits keine große Bedeutung beigemessen haben – mit der Firma Ostara Nutrient Recovery Technologies Inc. als Ausnahme. Die Verfahren, die nun im Rahmen der novellierten Klärschlammverordnung entstehen, haben aufgrund der Anforderung des P-Recyclings die Phosphor-Verwertung in ihre Verfahrensentwicklung integriert.

6 Vermarktung und Logistik

„Spezialdünger“ wie Struvit, das unter Düngeaspekten keine Wasserlöslichkeit aufweist, aber dennoch zu 100 % pflanzenverfügbar ist, sind Produkte, die mit einem entsprechenden Marketing eingeführt werden müssen. Insbesondere unsere Erfahrungen mit Struvit zeigen, dass ein struvitbasiertes Düngemittel (sehr geringe Schadstoffgehalte, 100 % pflanzenverfügbares P Depotdüngereffekt, reduzierte N-Auswaschung und N_2O -Emissionen) nur geringe Akzeptanz beim Kunden erfährt, da das Produkt am Markt noch unbekannt und die Wasserlöslichkeit nicht gegeben ist. Landwirte bevorzugen oft wasserlösliche Phosphordünger, obwohl Phosphat aus Düngemitteln auch dann pflanzenverfügbar ist, wenn es nicht wasserlöslich, aber zum Beispiel in 2 %iger Zitronensäure löslich ist, wie zum

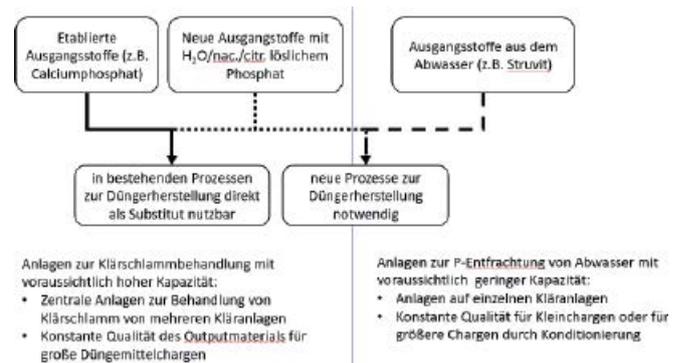


Abb. 2: Zu erwartende Ausgangsstoffe und deren Verarbeitung zu Düngemitteln

Beispiel Struvit. Bei geringen Düngermengen, die auf den Markt gebracht werden, ist jedoch ein professionelles Marketing für solche neuen Produkte unökonomisch.

Ein zusätzliches Marketing entfällt, wenn das Phosphorzyklat in bereits bestehende Produktionsprozesse eingeschleust werden kann. Dies ist insbesondere dann gegeben, wenn Produkte hergestellt werden, die bereits in der Düngemittelherstellung zum Einsatz kommen, wie zum Beispiel Calcium-Phosphat.

7 Rechtliche Einordnung

Das Recycling von Nährstoffen bewegt sich im Spannungsfeld von Abwasser-, Abfall- und Düngerecht. Nährstoffhaltige Materialien können direkt als Ausgangsstoffe für Düngemittel eingesetzt werden, sofern sie die Anforderungen der Düngemittelverordnung einhalten und dort gelistet sind. So können beispielsweise Struvit und Klärschlammaschen als Ausgangsstoffe für Düngemittel verwendet werden (siehe unten). Darüber hinaus ist zu klären, wie die neu produzierten Ausgangsstoffe der europäischen Chemikalienverordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe unterliegen (REACH) [6].

8 Ökonomie

Je nach Veredelungsgrad des P-haltigen Materials und Marktstrategie des Produzenten variiert die Wertschöpfung für den Produzenten. Bei einer Eigenverwertung des Materials als Düngemittel am Endkunden können theoretisch aktuelle Düngemarktpreise erzielt werden. Allerdings ist dies für kleinere Mengen kaum realistisch, da hier – wie oben ausgeführt – die

Beilagenhinweis



Bitte beachten Sie die Beilagen in dieser Ausgabe

- DWA, 53773 Hennef
 - Mikroplastik im Abwasser – ein Problem?
- Heinrich Dernbach, Inh. Bernhard Dernbach e. Kfm., 45476 Mülheim/Ruhr
 - DERNOTON „Die grüne Stadt“

- Technische Akademie Hannover, 30163 Hannover
 - „Zertifizierter Fachplaner für Regenwassermanagement“

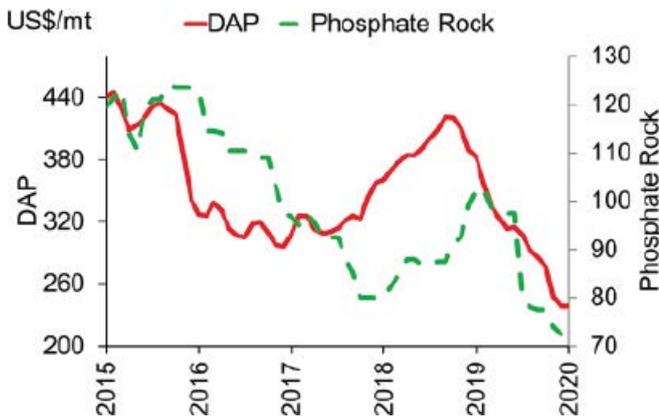


Abb. 3: Düngemittelpreise: World Bank DAP (diammonium phosphate), spot, f. o. b. US Gulf; Phosphate rock, f. o. b. North Africa; Bloomberg L. P. – Green Markets (ehemals Kennedy Information LLC) (f. o. b.: free on board)

Produktion und Vermarktung deutlich teurer sind als bei Massenprodukten.

Der Weltmarktpreis für P-Dünger schwankte in den letzten fünf Jahren stark. Er lag beispielsweise für Diammonium-Phosphat zwischen 238 und 441 US-\$/Mg ([7], Abbildung 3).

Die Preise der hergestellten P-Rezyklatdünger werden sich am Phosphormarkt für konventionelle Düngemittel orientieren. Die Erfahrung zeigt aber, dass momentan Rezyklatdünger im Markt nicht die gleichen Preise wie konventionelle Mineraldünger erreichen können. Dies gilt insbesondere für P-Düngemittel, die nicht wasserlöslich sind.

9 Struvit – trotz geringer Mengen noch immer das einzige P-Rezyklat auf dem Markt

Praxiserfahrungen gibt es mit dem Fällungsprodukt Magnesium-Ammonium-Phosphat-Hexahydrat, ein Mineral der Struvit-Familie. Es gibt weitere Struvit-Formen, wie zum Beispiel Magnesium-Kalium-Phosphat und Dimagnesium-Natrium-Kalium-Diphosphat [8], die derzeit nicht in praxisrelevanten Mengen hergestellt werden. Allerdings sind diese Struvit-Formen für spezielle Abwasserströme eine interessante Möglichkeit, Phosphat auszufällen.

N-Struvit ($MgNH_4PO_4 \cdot 6 H_2O$) ist ein Phosphordünger (11,2 % P), der Magnesium (8,7 %) und Stickstoff (5,1 %) enthält.

N-Struvite, die in Abwasser gefällt werden, weisen zum Teil leichte Abweichungen von der Stöchiometrie auf, zum Beispiel kann ein Teil des N durch K ersetzt sein (Tabelle 2).

N-Struvit ist aufgrund seiner Nährstoffzusammensetzung kein Volldünger, da hierfür Kalium fehlt und der N-Gehalt zu niedrig ist. Dennoch ist es ein sehr interessantes Produkt, da der vorliegende Phosphor nur sehr gering wasserlöslich ist. Aber der Phosphor ist dennoch komplett pflanzenverfügbar, da sich Struvite im sauren Milieu auflösen. Dies wurde in einer Vielzahl von Gefäßversuchen bewiesen (zum Beispiel [8, 9]). Pflanzen sind – auch in Symbiose mit Mykorrhiza – in der Lage, den pH im Boden anzusäuern, um Phosphate zu lösen. Phosphor wird also nur dann freigesetzt, wenn die Pflanze den Nährstoff benötigt, somit wirken Struvite als Depotdünger. Das gilt demnach auch für die anderen Nährstoffe im N-Struvit, also N und Mg. Insbesondere für N ist dies sehr interessant, da

Stoff	% in der Originalsubstanz
Stickstoff	4,4
Phosphor	12,5
Phosphor wasserlöslich	< 0,4
Phosphor nac	12,5
K	1,3
Mg	8,4
mg/kg TM	
Arsen	< 4,1
Blei	< 2,1
Cadmium	< 0,4
Chrom	< 10,3
Nickel	< 10,3

Tabelle 2: Beispiel einer Struvitanalyse, nac: neutral-ammoniumcitratlöslich, TM: Trockenmasse

der im Struvit gefällte Stickstoff nicht nitrifiziert werden kann und gleichzeitig mit dem Phosphor aus dem Struvit freigesetzt wird. Dadurch verringert sich das Nitrat-Auswaschungsrisiko ins Grundwasser [10]. Allerdings würden in einer dreijährigen Fruchtfolge nur etwa 9 % des notwendigen Stickstoffs als Struvit gedüngt werden, wenn man Phosphor ausschließlich als Struvit applizieren würde (Annahme: Mit 100 kg P/ha für eine dreijährige Fruchtfolge würden 45 kg N/ha appliziert werden). Darüber hinaus scheinen sich aus dem gleichen Grund die düngengeburtigen N_2O -Emissionen ebenfalls zu reduzieren [11].

Im Abwasser/Schlamm gefällte Struvite sind schwermetallarm, dies gilt insbesondere für Cadmium. Dies ist besonders erwähnenswert, da in der Düngemittelverordnung die Cd-Grenzwerte für Phosphordünger wesentlich höher sind als für andere Düngemittel: Für Cadmium gilt für Düngemittel ein Grenzwert von 1,5 mg Cd/kg TM, während für Phosphordünger der Grenzwert 50 mg Cd/kg P_2O_5 beträgt [4] (vgl. Tabelle 2). Eine zusammenfassende Bewertung von Struvit zeigt Tabelle 3.

Außer mit Struvit gibt es Erfahrungen mit der Verwertung von einigen wenigen Klärschlammaschen, die die Anforderungen der Düngemittel- und Klärschlammverordnung einhalten. Die direkte Verwertung von Klärschlammaschen dürfte ein Auslaufmodell sein, da der Phosphor in der Asche relativ schlecht verfügbar ist. In der Düngeverordnung (DüV) [12] ist festgelegt, dass die Phosphordüngung ab einem Phosphorvorrat von 20 mg P_2O_5 /100 g Boden nach der Calcium-Acetat-Lactat-Methode nur so hoch ausfallen darf, wie der tatsächliche Phosphorentzug (§ 3 DüV). Dadurch wird es in vielen Fällen uninteressant, mit Düngemitteln zu düngen, die schlecht pflanzenverfügbare Phosphorformen aufweisen, wie sie zum Beispiel Aluminium- und Eisenphosphate sind. Der Anteil des pflanzenverfügbaren Phosphors am Gesamt-P in Klärschlammaschen betrug in einer Studie der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung im Mittel nur 31,2 %, sodass unaufbereitete Aschen für den Landwirt in der Regel uninteressante Düngemittel sind [5].

10 Welches P-Rezyklat bzw. Verfahren wird sich durchsetzen?

Alle Materialien, bis auf Struvit, wurden bisher nur in Kleinchargen produziert und getestet, sodass Erfahrungswerte zur

Parameter	Eigenschaften
chemische Qualität	Alle Anforderungen der Düngemittelverordnung werden erfüllt. P-Gehalt im Material kann aus einer Anlage im zeitlichen Verlauf schwanken. P-Gehalt im Material kann sich von Anlage zu Anlage unterscheiden.
P-Verfügbarkeit	0 % wasserlöslich, 100 % neutralammonicitrat- und zitronensäurelöslich
physikalische Qualität	erfordert physikalische Aufarbeitung wie Trocknung und Granulieren/Pelletieren Qualität aus einer Anlage kann im zeitlichen Verlauf schwanken. Qualität kann sich von Anlage zu Anlage unterscheiden
Verwertung aus mehreren Anlagen	Kontrolle und Konditionierung
Vermarktung	Marktakzeptanz (noch) gering

Tabelle 3: Charakterisierung von Struvit

Produktstabilität und -verwendung fehlen. Solange das produzierte Material im Sinne der oben beschriebenen Kriterien schadstofffrei und pflanzenverfügbar ist, wird das Material als Dünger verwendet werden. Im allerbesten Fall orientiert sich der Produktpreis an bestehenden Düngemitteln. Das dürfte nur dann der Fall sein, wenn das Material direkt ein anderes Material substituieren kann. Neue Materialien werden im Markt gegen Bestehende antreten. In diesem Fall ist mit einem deutlich niedrigeren Marktwert zu rechnen. Sicher wird sich der Wert der P-Rezyklate aber an Rohphosphat mit seiner hohen Volatilität orientieren.

Literatur

- [1] Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost (Klärschlammverordnung – Abf-KlärV) vom 27. September 2017, *BGBI. I*, S. 3465
- [2] Statistisches Bundesamt (Hrsg.): *Statistisches Jahrbuch 2019*, Kapitel 19: Land- und Forstwirtschaft, https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Jahrbuch/jb-land-forstwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile
- [3] Kabbe C.: Von der P-Rückgewinnung zum tatsächlichen Recycling – sekundärer Rohstoff, Intermediat oder fertiges Produkt?, in Holm, O.; Thomé-Kozmiensky, E., Quicker, P., Kopp-Assenmacher, S. (Hrsg.): *Verwertung von Klärschlamm 2*, Thomé-Kozmiensky Verlag, Neuruppin, 2019
- [4] Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung – DüMV) vom 5. Dezember 2012, *BGBI. I*, S. 2482
- [5] Krüger, O.; Adam, C.: *Monitoring von Klärschlammmonoverbrennungsaschen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung zur Ermittlung ihrer Rohstoffrückgewinnungspotenziale und zur Erstellung von Referenzmaterial für die Überwachungsanalytik*, Texte 49/2014, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2014
- [6] Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) vom 18. Dezember 2006, *Amtsblatt der Europäischen Union*, 30. Dezember 2006, L 396/1–851
- [7] World Bank, 2020: www.worldbank.org/en/research/commodity-markets
- [8] Watson, C.; Clemens, J.; Wichern, F.: Plant availability of magnesium and phosphorus from struvite with concurrent nitrification inhibitor application, *Soil Use and Management* 2019, 35 (4), 675–682, <https://doi.org/10.1111/sum.12527>
- [9] Antonini, S.; Arias, M. A.; Eichert, T.; Clemens, J.: Greenhouse evaluation and environmental impact assessment of different urine-derived struvite fertilizers as phosphorus sources for plants, *Chemosphere* 2012, 89 (10), 1202–1210
- [10] Rahman, M. M.; Liu, Y. H.; Kwag J. H.; Ra, C. S.: Recovery of struvite from animal wastewater and its nutrient leaching loss in soil, *Journal of Hazardous Materials* 2011, 186, 2026–2030
- [11] Liu, Y.; Rahman, M.M.; Kwag, J.H.; Kim, J.H.; Ra C.S.: Eco-friendly Production of Maize Using Struvite Recovered from Swine Wastewater

as a Sustainable Fertilizer Source, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 2011, 24 (12), 1699–1705

- [12] Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV) vom 26. Mai 2017, *BGBI. I*, S. 1305

Autoren

Dr. Joachim Clemens, Martin Teloo
SF-SoepenberG GmbH
Emil-Fischer-Straße 14, 46569, Hünxe

E-Mail: j.clemens@soepenberG.com

KA

KA im Gespräch



Foto: Andrea Irslinger, DWA

Anforderungen an Phosphor-rezyklate aus der Aufbereitung von Klärschlamm aus Sicht eines Düngemittelherstellers

WebSeminar am 03. September 2020

14:00 - 15:00 Uhr | 96 €/80 €*[†]

Anmeldung: dwa.de/webdwa
Ansprechpartnerin: Frau Himani Karjala
Tel.: +49 2242 872-244 · E-Mail: karjala@dwa.de

[†] für DWA-Mitglieder