Olaf Holm
Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Peter Quicker
Stefan Kopp-Assenmacher

Verwertung von Klärschlamm

3

PHOS4green – Implementation of a Plant for the Production of 60,000 t/a of Fertilizer from Sewage Sludge Ash at Haldensleben

Jan Kirchhof and Torsten Brumme

PHOS4green is a patented, unique phosphorus recycling technology that releases phosphate from sewage sludge ash and converts it into ready-to-use, standardized fertilizers.

Glatt, a globally recognized market leader in fluid bed technology, has with Seraplant as a partner a highly efficient process developed, that recovers the essential and sought-after nutrient phosphorus from sewage sludge ash and makes it usable for standardized phosphate fertilizers granules using a fluidized bed spray granulation process. The extraction of the phosphate from the ashes is performed by a simple, flexible and stable process flow with well controllable reaction steps. Fluctuations in the composition of the sewage sludge ash are easily compensated by adjusting the recipe, which ensures a consistently high quality. The generated granules are dust-free, long-lasting and storage-stable, and have a compact, homogenous structure. They can be directly bagged, marketed and dosed as per a normal fertilizer. The solubility of these kind of granules is readily adjustable to the application. Furthermore, being dense, the abrasion-resistant surface reduces undesirable drift effects during application.

In addition, different compound fertilizers (such as NP, PK, NPK and NPS) can be produced using the same procedure by adapting the recipe accordingly. The nutrients in each individual grain are distributed according to the specific application. Parameters such as particle size, residual moisture and solids content can be specifically influenced to achieve a wide range of product properties.

PHOS4green sustainably closes the nutrient cycle and is an economical solution for fulfilling the legal obligation to recycle phosphorus. This procedure is 100 % waste-free – meaning that the ashes can be reused completely. Additionally, the entire process is also waste-free. No harmful intermediate products or exhaust gases are produced during the process. The fertilizers produced in this way also contain up to 90 percent less cadmium and uranium than conventionally produced mineral fertilizers; the pollutant content is below the legal limits.

At the Haldensleben site in Germany a project for an industrial-scale production plant is already being implemented for SERAPLANT GmbH. The location, the products to be manufactured and their recipes as well as the envisaged production capacities determine the economic efficiency.

Start of Production in Haldensleben is scheduled for the December 2020, after breaking ground in July 2019. The facility in Haldensleben has a capacity to produce 60,000 mt fertilizer and will start with the products P38 and NPS 12/27/8. About 35,000 mt sewage sludge ash will be recycled per year. The production for the product P38 is running fully automated, the process feed materials mineral acid and sludge ash are pumped in from a silo, respectively. The installed silos hold a capacity for 5 days production, 24h per day. For the product NPS the additives like sulphur are delivered in big bags and will be dumped in a station. The manufactured fertilizer will be dropped via conveyer from process building in a storage with capacity up to 16,000 mt.

PHOS4green – Umsetzung einer Anlage zur Herstellung von 60.000 t/a Düngemittel aus Klärschlammaschen am Standort Haldensleben

Jan Kirchhof und Torsten Brumme

1. Hochleistungsdünger aus Klärschlammasche 419

2. Das patentierte Verfahren PHOS4green 420

2.1. Stufe 1: Aufschluss der Phosphatquelle 420

2.2. Stufe 2: Sprühgranulation in der Wirbelschicht 421

2.3. Optional: funktionelle Schutzschicht durch Wirbelschicht-Coating 422

3. Mehrnährstoffdünger aus angepassten Rezepturen 423

4. Ein zu 100 % abfallfreies Verfahren für zirkuläre Wertschöpfung 423

5. PHOS4green – Die Vorteile auf einen Blick 424

6. Ausblick 425

1. Hochleistungsdünger aus Klärschlammasche

Organische Reststoffe wie Klärschlamm sind eine kostengünstige und nachhaltige Alternative zu mineralischen Düngern aus dem Wirtschaftskreislauf. Wertvolles Phosphor kann so dem Nährstoffkreislauf wieder zugeführt werden. Das unkontrollierte Verteilten der Feststoffe aus dem Klärwerk auf den Feldern macht ein Düngen nach Maß jedoch unmöglich, zu unterschiedlich ist der Phosphatgehalt in den Schlämmen. Unterversorgung oder Überdüngung sind die Folge. Zudem belastet die bodenbezogene Verwertung von Klärschlamm das Grundwasser und die Gewässer, gesundheitsgefährdende Schadstoffe gelangen über Kulturpflanzen in die Nahrungskette. Durch die gesetzlichen Rahmenbedingungen der Dünge- und der Klärschlammverordnung werden Klärschlämme künftig in erster Linie der Monoverbrennung zugeführt.

In Kooperation mit der SERAPLANT GmbH hat der Marktführer für Wirbelschichttechnologie Glatt ein hocheffizientes Verfahren entwickelt. Das patentierte Verfahren *PHOS4green*, ist geeignet, die Lücke im Phosphorkreislauf zu schließen, indem es das Phosphor-Recycling mit dem Herstellungsprozess für neuen Dünger verbindet und zu direkt vertriebsfähigen Produkten führt (Bild 1).

Bild 1: Die sprühgranulierten, pflanzenverfügbaren Dünger können direkt auf dem Feld ausgebracht werden

Damit steht ein wirtschaftliches, ökologisches, flexibles und einfaches Verfahren zur Herstellung verschiedener, standardisierter Düngemittelgranulate aus phosphorhaltigen Sekundärrohstoffen wie Klärschlammaschen zur Verfügung. Die resultierenden Qualitätsdüngemittel sind am Markt stark nachgefragte hochwertige Produkte. Diese sind in der Land- und Forstwirtschaft sowie im Gartenbau zur Anpassung des Nährstoffangebots für die angebauten Kulturpflanzen über die bisherigen Anwendungstechnologien einsetzbar.

In nur einer Produktionsanlage können Phosphatdünger, aber auch unterschiedliche Mehrnährstoffdünger (NP, PK, NPK, NPS) erzeugt werden. Dazu werden lediglich die Rezepturen angepasst. Die anschließende Sprühgranulation in der Wirbelschicht erlaubt das Einstellen der gewünschten Granulateigenschaften dieser unterschiedlichen Rezepturen. Dabei ist der gesamte Prozess einfach und komfortabel steuerbar und für die gewünschte Produktionskapazität bzw. das verfügbare Aufkommen an Klärschlammasche skalierbar. Diese Flexibilität sichert eine nachhaltige Wirtschaftlichkeit in sehr volatilen Rohstoff- und Produktmärkten.

2. Das patentierte Verfahren PHOS4green

Durch die Trennung der Phosphatumsetzungsreaktion vom Granulationsprozess können die Rohstoffkomponenten perfekt homogenisiert werden.

2.1. Stufe 1: Aufschluss der Phosphatquelle

Um die Umwandlungsreaktion einzuleiten, wird aus der phosphathaltigen Asche mit einer Mineralsäure eine Suspension hergestellt. Dieser Schritt ist notwendig, um die aschebasierten Nährstoffe pflanzenverfügbar zu machen. So entsteht ein heterogenes Stoffgemisch, bestehend aus einer Flüssigkeit, in welcher feste Partikel fein verteilt (suspendiert) sind. Zentrale Problemstellungen wie Korrosion, Klebeneigung und die exotherme Reaktion werden so kontrollierbar und steuerbar gemacht. Die Suspension wird stets speziell für das gewünschte Endprodukt erzeugt und an die verfügbaren Rohstoffe angepasst. Je nach Anwendungsziel können Wasser und weitere feste oder flüssige Nährstoffkomponenten, auch zusätzliche Phosphatquellen, zugesetzt werden. Um die Rohstoffkomponenten perfekt zu homogenisieren, wird die Phosphatumsetzungsreaktion vom Granulationsprozess getrennt. Das bietet eine Reihe von Verfahrensvorteilen: Die spontane, hochenergetische Reaktion, die normalerweise bei der Kombination von phosphathaltigen Aschen und Mineralsäure auftritt, läuft kontrolliert ab, weil die freie Säure bereits in der Suspension reagiert hat. Darüber hinaus ist das Verfahren ist für eine Vielzahl von Aschenarten geeignet. Erst die anschließende Sprühgranulation veredelt das aufgeschlossene Phosphat zu einem marktfähigen Produkt (Bild 2).

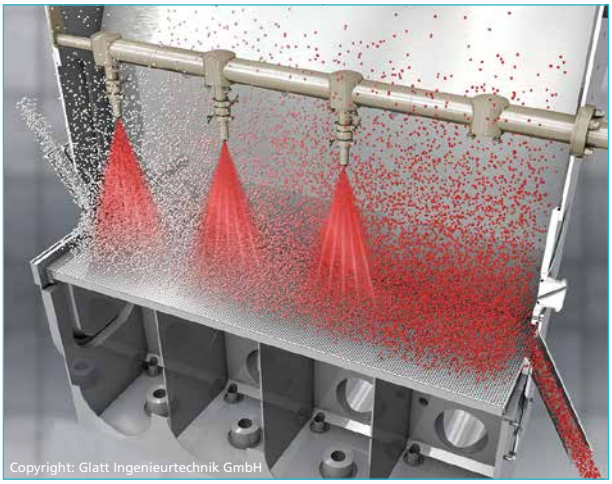

Bild 2:

Kontinuierlicher Wirbelschichtprozess – Partikelform, -aufbau und -größe sind durch die Vereinigung der Prozessschritte konvektive Trocknung bzw. Erstarrung und Partikelbildung nahezu frei definier- und produzierbar

2.2. Stufe 2: Sprühgranulation in der Wirbelschicht

Wirbelschichttechnologien zählen zu den Leitverfahren bei partikelbildenden Prozessen und eignen sich hervorragend für die wirtschaftliche Herstellung maßgeschneiderter Dünger. Eine Wirbelschicht entsteht, wenn die nach oben gerichtete Prozessluft eine Schicht aus Feststoffpartikeln anhebt und fluidisiert. Die Prozessluft dient zur Erzeugung des Wirbelschichtzustandes und liefert gleichzeitig die für die Partikelproduktion benötigte Wärmeenergie. Neben der thermischen Behandlung von Feststoffen werden Wirbelschichtverfahren für Trocknungsaufgaben eingesetzt, um Granulate aus Pulvern (Sprühagglomeration) oder Flüssigkeiten (Sprühgranulation) zu bilden und Partikel zu beschichten (Sprüh-Coating). Alle Partikel werden dabei intensiv miteinander vermischt und einer gleichmäßigen Prozesstemperatur ausgesetzt. Auf diese Weise lassen sich auch temperaturempfindliche Materialien schonend behandeln. Parameter wie Granulatgröße, Restfeuchte und Feststoffgehalt können gezielt beeinflusst werden, um eine Vielzahl von Produkteigenschaften zu erreichen. Zudem lässt sich die Löslichkeit solcher Granulate gut auf die Anwendung anpassen – ideal, um die steigende Nachfrage nach Produkten für immer boden-, pflanzen- aber auch witterungsspezifischere Einsatzbedingungen zu befriedigen.

In der Wirbelschicht werden Flüssigkeiten in staubfreie Granulate mit kompakter, homogener Struktur und dichter Oberfläche sowie hoher Abriebfestigkeit verwandelt. Die Trocknung ist hierbei sehr einfach zu steuern. Im Vergleich zur Sprühtrocknung sind jedoch die Produkteigenschaften im Wirbelschichtverfahren ganz gezielt einstellbar. Je nach Wahl der verfahrenstechnischen Parameter sowie der technischen Konfiguration der Anlage können Partikelform, -aufbau und -größe nahezu frei definiert und produziert werden. Ermöglicht wird das durch die Vereinigung der Prozessschritte der konvektiven Trocknung bzw. Erstarrung und der Partikelbildung.

Die Sprühflüssigkeit kann aus einer feststoffhaltigen Lösung, Emulsion, Dispersion, Schmelze oder wie im vorliegenden Fall aus einer Suspension bestehen. Bei der Phosphatrückgewinnung für die Düngemittelproduktion kann die Prozessdauer je nach

Rohstoff(en) und Endprodukt stark variieren. Zudem verhalten sich die verschiedenen Formulierungen in der Suspension sehr unterschiedlich – einige Substanzen neigen zum Zusammenkleben, was durch die flexible Anpassung der Parameter ausgeglichen werden kann. Das Gemisch aus festen und flüssigen Komponenten in der Phosphatsuspension wird in die Prozesskammer gesprüht und das Lösungsmittel verdampft sofort. Die verbleibenden Feststoffe dienen als Trägerkeime für die Bildung neuer Düngergranulate. In einem sich wiederholenden Prozess wird die gesamte Oberfläche jedes dieser Primärteilchen mit Sprühflüssigkeit benetzt, sie verdampft und es bildet sich eine feste Hülle aus mehreren Schichten (Bild 3). Durch den schichtweisen Aufbau entstehen so feste, kompakte und runde Vollkugeln (= Granulate) mit zwiebelförmiger Struktur. Dieses sogenannte *Layering* ermöglicht ein hohes Maß an Flexibilität, da Partikel aus verschiedenen Feststoffschichten gebildet, Kerne beladen und beschichtet werden können. Sobald die Sollgröße der Düngerkörnchen erreicht ist, wird das Produkt ausgetragen und kann direkt verpackt, vermarktet und dosiert werden.

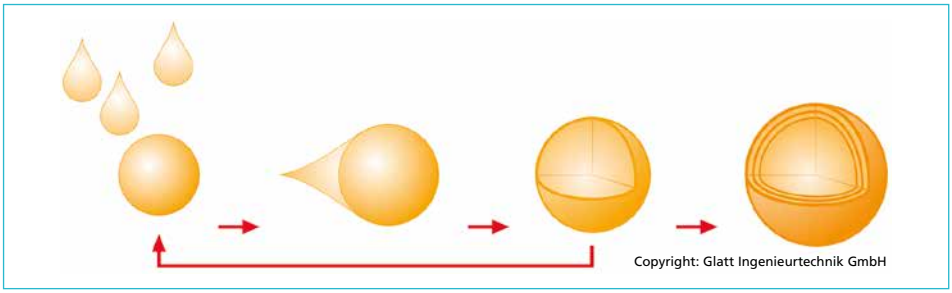

Bild 3: Die Sprühgranulation in der Wirbelschicht erlaubt die Trocknung von Flüssigkeiten bei gleichzeitigem, schichtweisem Aufbau von staubfreien Granulaten

2.3. Optional: funktionelle Schutzschicht durch Wirbelschicht-Coating

Um Produkte gezielt zu funktionalisieren und mit einem höheren Mehrwert auszustatten, können die Partikel bei Bedarf anschließend mit einer funktionellen Schutzschicht umhüllt werden, zum Beispiel um verschiedene Wirkstoffkombinationen einzustellen. Ein solches Coating schützt aktive Substanzen vor Einflüssen, die bei der Lagerung, dem Transport oder während der Anwendung auftreten können. Hinzu kommt die Möglichkeit, ein farbiges Branding aufzubringen, damit sich einzelne Komponenten auch optisch unterscheiden (Bild 4). Am interessantesten aber ist die gezielte Freisetzung (*controlled release bzw. slow release)* von Wirkstoffen, die an bestimmte Witterungs- und Bodenverhältnisse, Arbeitsschritte und Pflanzenbedürfnisse gekoppelt werden kann.

Bild 4: Ein Coating stattet den Dünger mit einem farbigen Branding oder mit einem pH-Wert gesteuerten Freisetzungsprofil aus

Ein Coating-Prozess beginnt mit dem Füttern des Prozessraumes mit vorliegenden Partikeln, Granulaten oder Pellets. Diese werden in einem Prozessschritt

wiederholt mit einer oder mehreren Sprühflüssigkeiten besprüht und getrocknet beziehungsweise erstarrt, sodass sich eine Hülle mit sphärischen Schichten aufbaut (Bild 5). Die Qualität eines Coatings wird anhand der Freisetzungskinetik, der Dichtigkeit der Schutzhülle und der mechanischen Festigkeit im Labor überprüft. Das Ergebnis sind Düngemittelgranulate mit ausgeprägter Depotwirkung und definiertem Nährstoffangebot für eine optimale Dosierung und Reduzierung von unerwünschten Drifterscheinungen bei der Ausbringung.

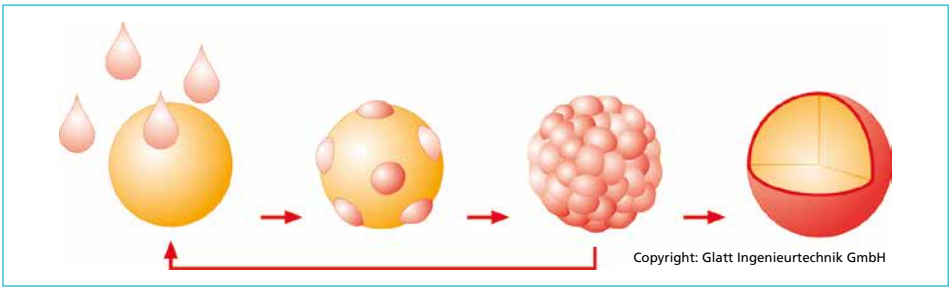

Bild 5: Wirbelschicht-Coating – durch wiederholtes Besprühen und Trocknen bzw. Erstarren baut sich eine Schutzhülle mit sphärischen Schichten auf

3. Mehrnährstoffdünger aus angepassten Rezepturen

Nach dem gleichen Granulationsverfahren wie in Kap. 2 beschrieben, können neben beispielsweise P38, P46, PK 20-30 und PK 12-24 über eine angepasste Rezeptur auch verschiedenste Mehrnährstoffdünger (z.B. NP, PK und NPS) hergestellt werden. Parameter wie Partikelgröße, Restfeuchte und Feststoffgehalt sind dabei gezielt beeinflussbar, um ein breites Spektrum an Produkteigenschaften zu erreichen. Auch hier kann anschließend wieder, dank hoher Partikeldichte und geringer spezifischer Oberfläche, eine funktionelle Beschichtung aufgebracht werden. Kombinationen lassen sich ebenfalls leicht in den Prozess integrieren und hinsichtlich der Produkteigenschaften optimieren. Aus ökologischer Sicht eignen sich die neuen Dünger mit einem möglichen Phosphatgehalt von bis zu 46 Prozent sowohl als boden- als auch als pflanzenspezifische Düngemittel für den ökologischen und den konventionellen Landbau, entsprechend der Düngemittelverordnung. Schwankungen in der Aschenzusammensetzung sind durch eine Anpassung der Rezeptur leicht ausgleichbar. Das Verfahren ist damit besonders wirtschaftlich und erfüllt aktuelle Marktanforderungen an die Herstellung von gebrauchsfertigen Standard- und Mehrkomponentendüngern auf Basis von recyceltem Phosphat – Rohphosphat wird nicht benötigt.

4. Ein zu 100 % abfallfreies Verfahren für zirkuläre Wertschöpfung

Im Vergleich zu anderen Recyclingverfahren zur Phosphatrückgewinnung, die erhebliche Abfallmengen produzieren, ist dieses Verfahren zu 100 % abfallfrei, sodass die Asche vollständig verwertet werden kann. Darüber hinaus ist der gesamte Prozess ebenfalls

abfallfrei. Dabei entstehen keine schädlichen Zwischenprodukte. Auch enthalten die so produzierten Dünger bis zu 92 % weniger Cadmium und rund 90 % weniger Uran als die konventionell hergestellten Mineraldünger, deren Phosphatquellen teilweise stark belastet sind. Zudem liegt der Schadstoffgehalt der neuen Düngemittelgranulate deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten. Auch aus wirtschaftlicher Sicht ist es interessant, dass für die Düngemittelproduktion kein Rohphosphat und weniger Energie benötigt wird. Durch die mit *PHOS4green*-Verfahren produzierten Dünger können sich hiesige Produzenten unabhängig von den internationalen Phosphatlagerstätten machen, indem sie lokale Phosphatquellen durch die Nutzung von Klärschlammaschen erschließen.

5. PHOS4green – Die Vorteile auf einen Blick

PHOS4green ist ein innovatives, patentgeschütztes Verfahren, mit dem sich der essentielle und begehrte Nährstoff Phosphor aus Klärschlammaschen rückgewinnen und für neue Phosphat- oder Mehrstoffdünger nutzen lässt.

- Das Verfahren ist praxistauglich und im industriellen Maßstab verfügbar.
- Unlösliche Phosphate werden durch den Prozess vorrangig in pflanzenverfügbares Calciumphosphat gewandelt.
- Das gelingt anhand einer einfachen, flexiblen und stabilen Prozessführung durch Trennung einzelner Verfahrensschritte, wobei eine schnelle und sichere Umsetzung mit gut kontrollierbaren Reaktionsschritten gewährleistet ist.
- Die Endprodukte haben durch die definierte Beeinflussung der Suspension eine konstante, hohe Qualität, wodurch beispielsweise auch variierende Phosphorgehalte in den Klärschlammaschen ausgeglichen werden können.
- Es entstehen keine Abfallprodukte. Die Phosphor-Rückgewinnung erfolgt mit 100 %-iger Verwertung der Aschen und es werden boden- und pflanzenverfügbare Standarddünger in staubfreier Granulatform erzeugt.
- Es handelt sich um eine wirtschaftliche Lösung zur Erfüllung der gesetzlichen Pflicht zum Phosphor-Recycling, die einen Beitrag zur Entsorgungssicherheit leistet.
- Durch die zusätzliche Verwertung der anwendungsbereiten DüMV-konformen Dünger werden Ertragssteigerungen erzielt.
- Die Zirkuläre Wertschöpfung wird charakterisiert durch die Nutzbarmachung einheimischer Phosphor-Ressourcen, eine ökologische Schließung des Nährstoffkreislaufs und eine Reduzierung der Schadstoffausbringung.
- Durch die Möglichkeit zum Einsatz von diversen Mineralsäuren und Zuschlagsstoffen ergibt sich eine hohe Flexibilität beim Rohstoffeinsatz. Damit kann eine Anpassung an dynamische Beschaffungsmarktgegebenheiten und die jeweilige Situation am Produktionsstandort erfolgen.

- Durch die Flexibilität bei der Wahl der Endprodukte – Herstellung von Standarddüngern, Spezialdüngern oder Neuentwicklungen – ergibt sich die Möglichkeit auf dynamische Entwicklung am Absatzmarkt zu reagieren.
- Planung von Prozess und Produktion sowie der Anlagenbau erfolgen anhand einer ganzheitlichen Lösung aus einer Hand, womit ein einfacher Zugang zu dieser innovativen Technologie gewährleistet wird.

Die Düngererzeugung aus Aschen lässt sich mit dem Verfahren zu marktüblichen Preisen realisieren. Am Standort Haldensleben wird bereits ein Projekt in Form einer Produktionsanlage im industriellen Maßstab umgesetzt. Der Standort, die herzustellenden Produkte und deren Rezepturen sowie die avisierten Produktionskapazitäten bestimmen die Wirtschaftlichkeit.

6. Ausblick

Die SERAPLANT GmbH wird im Dezember 2020 die Produktion aufnehmen. Die Baumaßnahmen für die Anlage zur Phosphorrückgewinnung dafür begannen im Juli 2019. (Bild 6). Der Bau der Phosphorrückgewinnungsanlage wird unterstützt mit Mitteln aus dem Umweltinnovationsprogramm des BMU und GRW Zuschüsse vom Land Sachsen-Anhalt und der Europäischen Union.

Bild 6: Ansicht Baustelle Haldensleben, August 2020

Die Anlage am Standort Haldensleben ist für eine Jahresproduktion von 60.000 Tonnen ausgelegt und ausgerüstet, um auch komplexe Mehrnähstoff Dünger produzieren zu können. Begonnen wird mit der Produktion des Phosphordüngers P38 und mit dem

Mehrnähstoffdünger NPS 12/27/8. Dafür werden etwa 35.000 Tonnen Klärschlammasche verwertet. Somit können auf der Anlage bis zu 7.000 Tonnen Phosphate der Kreislaufwirtschaft zugeführt werden. Die Produktion des P38 verläuft voll automatisiert. Die dafür benötigte Klärschlammasche wird aus einer Siloanlage mit einem Fassungsvolumen von 390 m^3 zum Ansatzbehälter gefördert und die für den Prozess erforderliche Mineralsäure wird aus einer 500 Tonnen großen Tankanlage gepumpt. Lediglich die Zusatzstoffe für den Mehrnährstoffdünger werden in BigBags angeliefert und über eine Aufgabestation ausgeschüttet. Nach der Granulation wird das Produkt gekühlt und dann über eine Förderanlage in die Lagerboxen ausgebracht. Bis zu 16.000 Tonnen Dünger können am Standort eingelagert werden. Die Lagerkapazität für sämtliche Eingangsstoffe ist für eine 5-Tagesproduktion ausgelegt.

Zum nachhaltigen Handeln und zur Ressourcenschonung verpflichten uns unsere Kinder. So ist auch die Nutzbarmachung des enormen Potentials bisher ungenutzter Phosphorabfälle eine Verpflichtung für unsere Zukunft. Der jährliche Verbrauch an Phosphorhaltigen Düngemittel in Deutschland liegt bei etwa 1.000.000 Tonnen, dass bedeutet es gibt noch viel Potenzial diesen wertvollen Rohstoff zurückzugewinnen. Mit dem vorgestellten Verfahren steht bereits heute ein – unter aktuellen Marktbedingungen – wirtschaftliches Verfahren zur Verwertung von Phosphat aus Klärschlammasche zur Verfügung. Mit dem Kooperationspartner Glatt Ingenieurtechnik GmbH wird der Prozess der Phosphorrückgewinnung intensiv weiterentwickelt. Ein wichtiges Ziel ist es u.a. Phosphorrecycling-Dünger für die ökologische Landwirtschaft produzieren zu können.

Ansprechpartner

Jan Kirchhof
Glatt Ingenieurtechnik GmbH
Senior Sales Manager Process and Plant Engineering
Nordstraße 12
99427 Weimar, Deutschland
+49 3643 47-1600
jan.kirchhof@glatt.com

Torsten Brumme
SERAPLANT GmbH
Geschäftsführer
Neuhaldensleber Straße 22a
39340 Haldensleben, Deutschland
+49 1718917520
t.brumme@seraplant.com