Blog Biointelligenz

Es geht auch biologisch: Phosphat-Rückgewinnung aus Abwasser mit Proteinen

Phosphat ist Fluch und Segen zugleich. Der Rohstoff ist ein grundlegender Baustein allen organischen Lebens und somit unverzichtbar. Gleichzeitig kann er aber auch schädlich wirken – etwa, wenn er in großen Mengen durch unser Abwasser in natürliche Gewässer gelangt. Dann kann Phosphat ein Pflanzen- und Algenwachstum verursachen, das Gewässer »umkippen« lässt. Deswegen befasst sich Dr. Steffen Roth, Wissenschaftler am Fraunhofer IGB am Standort Straubing, mit dem Thema Phosphat-Rückgewinnung. In einem aktuellen Crowdfunding-Forschungsprojekt möchte er einen biobasierten »Phosphatfänger« entwickeln, der biointelligent, umweltfreundlich und wiederverwertbar ist. Im heutigen Blog-Beitrag erklärt der promovierte Biochemiker seine Faszination für den Rohstoff Phosphat.

Bitte beachten Sie, dass es sich bei diesem Beitrag um keine Pressemitteilung, sondern um einen Blogpost handelt.

Leider erleben wir alle gerade, wie sich die Verknappung von Rohstoffen auf die gesamte Gesellschaft auswirken kann. Durch globale Pandemien oder lokale Krisen wird uns die Abhängigkeit von Rohstofflieferanten vor Augen geführt. Ein Rohstoff, den wir hier in Deutschland und auch nahezu alle EU-Länder zu 100 Prozent importieren müssen, ist Phosphat. Aufgrund der natürlichen Vorkommen findet der Abbau von Phosphat aus Phosphaterzen vor allem in Marokko, China, Algerien, und den USA statt. Deswegen wird Phosphat von der EU-Kommission als kritischer Rohstoff eingestuft.[2]

Doch wofür brauchen wir eigentlich Phosphat?

Phosphat ist ein Bestandteil unseres Erbguts, der DNA, und in Form von Adenosintriphosphat (ATP) außerdem unverzichtbar für den Energiestoffwechsel von Zellen. Somit stellt Phosphat eine der Grundlagen unseres bekannten Lebens dar. Neben uns Menschen und Tieren benötigen auch Pflanzen Phosphat für ihr Wachstum. Aus diesem Grund ist es Bestandteil vieler Düngemittel und somit unverzichtbar für die Produktion unserer Lebensmittel. Verwendung finden Phosphate deswegen vor allem als Phosphatdünger in der Land- und Agrarwirtschaft[2]. Die globale Phosphatproduktion ist allein zwischen 2014 und 2016 um 22 Prozent gestiegen, wobei 2016 weltweit 54 Mio. Tonnen Phosphatdünger (P_2O_5) produziert wurden[2]. Wie bereits erwähnt müssen wir in Deutschland Phosphat importieren, jedoch gibt es auch in Deutschland eine »Phosphat-Quelle«: Denn jährlich gelangen mehrere Tausend Tonnen dieser wertvollen Ressource in unser Abwasser. Rein rechnerisch könnte mit dieser Menge Phosphat mehr als die Hälfte des landwirtschaftlichen Bedarfs in Deutschland gedeckt werden.[10] Eigentlich kaum zu glauben, oder?

Abwasser als Phosphatquelle

So wertvoll Phosphat für uns sein kann, so schädlich kann es sich auf die Wasserqualität auswirken. Ein zu hoher Phosphatgehalt führt schnell zu einem verstärkten Pflanzen- und insbesondere Algenwachstum in Gewässern. Eine der ersten Folgen des vermehrten Algenwachstums ist der Rückgang der Biodiversität. Besonders dramatisch wird die Lage, wenn aufgrund des Algenwachstums der Sauerstoffgehalt im Wasser derart absinkt, dass das ganze Gewässer »kippt« (Eutrophierung).

Aus diesem Grund muss zum Schutz vor Eutrophierung und zum Erhalt der Artenvielfalt Phosphat ohnehin aus Abwässern entfernt werden, bevor es wieder in die Umwelt eingeleitet wird[1],[7],[8]. In Deutschland besteht außerdem ein hoher regulatorischer Druck und so liegt der Grenzwert für den Phosphorgesamtgehalt laut Abwasserverordnung je nach Anlage zwischen 1 – 2 mg/L[9].

Wie wird das Phosphat aktuell aus dem Abwasser entfernt?

Die aktuelle Phosphatentfernung aus Abwässern kann in biologische und chemische Verfahren unterteilt werden, die in Reihe geschaltet sind[2],[7]. Bei der biologischen P-Eliminierung wird das Phosphat von »Phosphat akkumulierenden Organismen«

(PAO) aufgenommen, in Biomasse umgewandelt und somit nicht zurückgewonnen[3]. Ein großes Problem sind hierbei die Adaptionsphasen der Mikroorganismen, woraus starke Unterschiede in der Effektivität der biologischen P-Eliminierung resultieren können. Etablierte chemische Verfahren nutzen Metallsalze (z. B. Eisen/Aluminium) zur Phosphatentfernung[2],[7]. Das Phosphat fällt dabei als unlösliches Salz aus und setzt sich zusammen mit allerhand anderen, teilweise problematischen Substanzen wie Schwermetalle im Klärschlamm ab. Für dieses Verfahren wird ein großer Einsatz an Fällungsagenzien, also Chemikalien, benötigt.

Die weitere Verwertung des Klärschlamms in letzten Jahren lässt sich vor allem in die thermische Verwertung zur Energiegewinnung und die stoffliche Nutzung als Düngemittel in der Landwirtschaft unterteilen. Die Asche als Rückstand der thermischen Verwertung wurde im Straßenbau verwendet oder schlichtweg deponiert[10]. Aufgrund verschiedener problematischer Inhaltsstoffe im Klärschlamm wurde auch der Einsatz in der Landwirtschaft 2017 durch Änderungen in der Klärschlammverordnung weiter beschränkt[11]. In diesem Zuge wurde zudem festgelegt, dass für Kläranlagen bestimmter Größen und Phosphor-Gehalte im Klärschlamm die Etablierung einer Rückgewinnungstechnologie für Phosphor innerhalb der nächsten 15 Jahre verpflichtend ist[12]. Aus diesem Grund wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Ansätze zur Rückgewinnung von Phosphat aus Klärschlamm und Klärschlamm-Aschen erforscht, auch .

Aus wirtschaftlichen Gründen kann allerdings nicht das komplette Phosphat über Fällung entfernt werden und so enthält das geklärte Abwasser immer noch gewisse Mengen an Phosphat. Genau hier möchten wir ansetzen und, inspiriert von der Natur, den Phosphatkreislauf weiter schließen.

Die Natur als Vorbild: Phosphatbindeproteine

Da Phosphat für Lebewesen so wichtig ist, hat die Natur bereits Phosphat-Transportsysteme entwickelt. Diese basieren auf Proteinen, den Phosphatbindeproteinen (PBP). Die PBP sind für den Phosphattransfer in verschiedenen Mikroorganismen verantwortlich und zeichnen sich durch die Fähigkeit aus, auch kleinste Mengen an Phosphat zu binden. Ein weiterer Vorteil ist die hohe Phosphatspezifität auch in Gegenwart der strukturverwandten Arsenate und Sulfate. Aufgrund dieser Eigenschaften sind die PBP für den Einsatz zur Phosphatrückgewinnung geradezu prädestiniert. Die Herstellung verschiedener PBPs konnte bereits gezeigt werden[1],[3],[4]. Zudem konnte die Phosphatrückgewinnung aus definierten Puffergemischen unter Laborbedingungen mit den PBPs demonstriert werden[5]. Somit ist deren Verfügbarkeit gegeben.

Für den Einsatz als Phosphatfänger in der Abwasseraufbereitung wollen wir die PBPs auf Oberflächen auftragen. Hier sollen biologisch unbedenkliche Cellulosesubstrate zum Einsatz kommen. Für die Anbindung an die Cellulose-Oberfläche eignen sich wiederum spezielle Proteine, die Cellulosebindedomänen (CBD). Diese Proteine finden sich u. a. in Pilzen und besitzen die Eigenschaft, an Cellulose zu binden. Durch die Kopplung von PBP an bereits beschriebene Cellulosebindedomänen[6] entsteht ein neuartiges Funktionsprotein (CBD-PBP, Phosphatfänger). Dies ermöglicht den Einsatz als gebundenes Cellulose-Immobilisat. Das gebundene Phosphat soll in einem Desorptionsprozess wieder freigesetzt werden (z. B. durch Änderung des pH-Werts oder der Temperatur) und der Phosphatfänger kann so erneut eingesetzt werden. Als Produkt soll Phosphat, z. B. in Form von Phosphorsäure, als Basischemikalie der chemischen Industrie in hoher Reinheit erhalten werden.

Unsere Phosphatfänger sind biobasiert, bioabbaubar und somit sehr gut umweltverträglich. Zielanwendung der Phosphatfänger ist der Einsatz zur hochselektiven Regeneration von Phosphat aus Abwässern (Nachklärbecken), um damit einen Beitrag zur Phosphatkreislaufwirtschaft zu leisten. Die Phosphatfänger sollen dabei zunächst bereits bestehende Verfahren ergänzen, um dadurch die Phosphatrückgewinnung insgesamt zu verbessern.

Förderung der Fraunhofer-Zukunftsstiftung

Für die Umsetzung wurde das Projekt für den Crowdfunding-Wettbewerb 2022 »ScienceForGood« der Fraunhofer-Zukunftsstiftung ausgewählt. Insgesamt treten sechs Forschungsteams mit ihren Herzensprojekten gemeinsam an. Vom 6. Oktober bis 30. November 2022, also 55 Tage, haben die teilnehmenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Zeit, möglichst viele Menschen von ihrem Projekt zu überzeugen. Dafür müssen sie das Finanzierungsziel in Höhe von mindestens 30.000 Euro erreichen.

In einer ersten Sondierung wollen wir die Funktionalität unserer Phosphatfänger unter Laborbedingungen zeigen und anschließend unter Realbedingungen testen. Außerdem erarbeiten wir zusammen mit regionalen Abwasserentsorgern ein Konzept für den direkten Einsatz in Kläranlagen. Damit gewährleisten wir eine anwendungsnahe Entwicklung.

Literatur:

[1] Y. Yang, W. Ballent, B. K. Mayer, *FEMS Microbiology Letters* **2016**, *363*.

[2] M. F. Bertau, Peter; Gellermann, Carsten; Maurer, Alexander; Vohrer, Uwe; Wendler, Katja, *Statuspapier – Phosphatrückgewinnung*, ProcessNet-Fachgruppe „Rohstoffe", **2017**.

[3] D. Gonzalez, M. Richez, C. Bergonzi, E. Chabriere, M. Elias, *Scientific Reports* **2014**, *4*, 6636.

[4] H. Luecke, F. A. Quiocho, *Nature* **1990**, *347*, 402-406.

[5] K. Venkiteshwaran, N. Pokhrel, F. Hussein, E. Antony, B. K. Mayer, *Water Research X* **2018**, *1*, 100003.

[6] I. Levy, O. Shoseyov, *Biotechnology Advances* **2002**, *20*, 191-213.

[7] S. S. Choi, H. M. Lee, J. H. Ha, D. G. Kang, C. S. Kim, J. H. Seo, H. J. Cha, *Applied Biochemistry and Biotechnology* **2013**, *171*, 1170-1177.

[8] H. F. Morscheid, Hermann; Krause, Dieter; Kurmayer, Rainer; Morscheid, Heike; Teubner, Katrin, *Toxinbildende Cyanobakterien (Blaualgen) in bayerischen Gewässern, Vol. Materialienband Nr. 125*, Bayrisches Landesamt für Umwelt, **2006**.

[9] https://www.gesetze-im-internet.de/abwv/anhang_1.html *(12.02.2021)*

[10] https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/phosphor-aus-abwasser-gewinnen-459418 *(27.09.2022)*

[11] https://www.lfu.bayern.de/abfall/klaerschlamm/landwirtschaft/index.htm *(27.09.2022)*

[12] https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/phosphor-aus-abwasser-gewinnen-459418 *(27.09.2022)*

Pressemitteilung

20.10.2022
Quelle: Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Weitere Informationen

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB
Steffen Roth
Leiter Themenfeld Bioorganische Chemie
Tel.: +49 (0) 9421 9380 1019
E-Mail: steffen.roth.igb(at)fraunhofer.de

- Biointelligenz Blog
- Kompetenzzentrum Biointelligenz e.V.
- Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB
- Fraunhofer IGB | Bioorganische Chemie