

Erste Praxiserfahrungen einer mobilen Anlage zur reduktiven P-Remobilisierung nach dem iPHOS-Verfahren

Joachim Clemens, Christine Oepfert und Martin Teloo

1.	Das Verfahrensprinzip	230
2.	Beschreibung der mobilen Anlage.....	230
2.1.	Anschlüsse	233
2.2.	Chemikalien	233
2.3.	Kapazität	233
3.	Betriebserfahrungen	233
4.	Laborversuche	234
5.	Ausblick.....	234
6.	Quellen.....	235

Das iPHOS-Verfahren bietet eine Alternative zum Phosphor-Recycling aus der Asche. Es ist besonders geeignet für Kläranlagen, die Phosphor (P) mit Eisen fällen. Nach einer Remobilisierung des Phosphors aus dem Überschussschlamm mit anschließender gezielter P-Fällung und Ausschleusung liegt die P-Konzentration im anfallenden Klärschlamm unter 2 % im Trockenrückstand (TR). P wird in Form von Struvit ausgeschleust und als Düngemittel verwertet. Damit entfallen für diese Klärschlämme die Anforderungen zum P-Recycling, so dass sie alternativen Verwertungswegen zugeführt werden können [1].

Das Verfahren wurde bereits auf der Kläranlage Gifhorn im kontinuierlichen Betrieb erfolgreich getestet. Seit Sommer 2025 betreibt die SF-SoepenberG GmbH eine mobile Anlage, mit der sie auf Kläranlagen die P-Remobilisierung und P-Ausschleusung überprüft. Umfangreiche Analysen auf mehr als 20 Kläranlagen zeigten im Labormaßstab, dass das Verfahren insbesondere für Kläranlagen mit überwiegender Eisenfällung geeignet ist. Darüber hinaus ist es für viele Bio-P-Anlagen geeignet. Mittlerweile wird das Verfahren – im Labormaßstab – auch auf Aluminium-P-Fällung erweitert.

1. Das Verfahrensprinzip

Überschussschlamm wird in einem Reduktionstank sulfidisch reduziert, so dass Fe(III)-Verbindungen wie Fe(III)PO_4 aufgelöst werden. Dieser Prozess dauert erfahrungsgemäß zwischen 8 und 20 Stunden. Im Anschluss werden in einem Rohrreaktor mit kurzen Reaktionszeiten eine moderate Ansäuerung ($\text{pH} = 4$), eine Fe-Ausfällung und eine Flockung durchgeführt. Nun erfolgt eine Schlammbabtrennung mit Hilfe eines Bandeindickers. Im anfallenden Filtrat befindet sich das remobilisierte P, welches im Anschluss als Struvit ausgefällt wird. Der eingedickte Überschussschlamm (ÜSS) nach dem Bandeindicker ist phosphorarm (Bild 1).

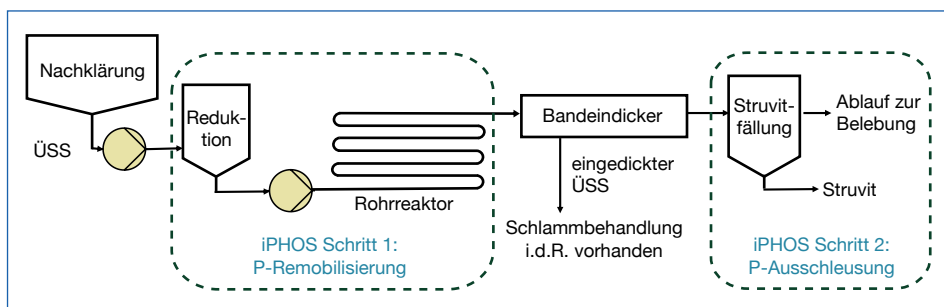


Bild 1: Ansatzpunkte für das iPHOS-Verfahren: nach der Nachklärung (Schritt 1) sowie nach der Überschussschlammeindickung (Schritt 2)

2. Beschreibung der mobilen Anlage

Die mobile Anlage besteht aus zwei Aufliegern, auf der sämtliche Anlagentechnik verbaut ist. Während auf einem Auflieger die Reaktionstanks zur Schlammsreduktion und Struvitfällung installiert sind, befinden sich sämtliche Pumpen, zwei Rohrreaktoren, Messtechnik, Bandeindicker und Struvitabscheidung auf dem zweiten Auflieger (Bild 2). Die Anlage wird nach der Inbetriebnahme in einem Automatikmodus betrieben.

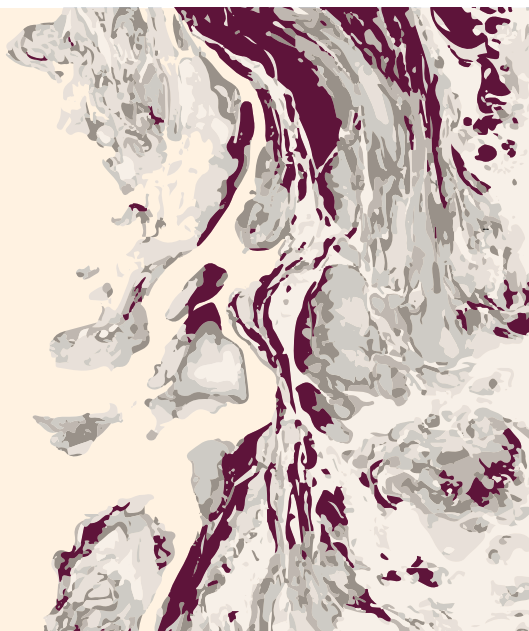


Bild 2:

Innenansicht in einen der beiden Auflieger der mobilen Anlage

Verwertung von Klärschlamm

2018: Band 1	35,00 EUR
2019: Band 2	35,00 EUR
2020: Band 3	55,00 EUR
2021: Band 4	55,00 EUR
2022: Band 5	75,00 EUR
2023: Band 6	75,00 EUR
2024: Band 7	75,00 EUR



Mit dem Inkrafttreten der Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung im Jahre 2017 werden weitreichende Veränderungen in der Aufbereitung und Behandlung von Klärschlämmen erforderlich. Zum einen schränkt die Verordnung zukünftig die herkömmliche Verwertung in der Landwirtschaft deutlich ein. Zum anderen wird dem bundespolitischen Ziel einer weitergehenden Kreislaufwirtschaft Rechnung getragen. Der Fokus liegt hierbei folgerichtig auf dem enthaltenen Phosphor, welches seitens der Europäischen Kommission seit 2014 als *kritischer Rohstoff* eingestuft wird.

Diverse Verfahrensansätze zur Phosphorrückgewinnung direkt aus Klärschlämmen oder indirekt aus den Rückständen einer thermischen Behandlung befinden sich in unterschiedlichsten Entwicklungsstadien.

Vor dem Hintergrund einer hinsichtlich Spezifikation (Größe, Ausbaustufen) und Umfeld (urban, ländlich, lokale Verwertungsmöglichkeiten) der Kläranlagen äußerst heterogenen Branche stellt sich für viele Betreiber die Frage nach sinnvollen technischen Lösungen und wirtschaftlich passenden Konzepten. Die im Rahmen der Berliner Klärschlamm-Konferenzen veröffentlichten Fachbücher bieten eine Übersicht zur zu aktuellen Rechtsfragen sowie zum Stand der Umsetzung von unterschiedlichen Verfahrensansätzen und Anlagen aus und für die Praxis.

Paketpreis

240,00 EUR
statt 345,00 EUR

Bestellen Sie direkt beim TK Verlag oder unter books.vivis.de

Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Dorfstraße 51

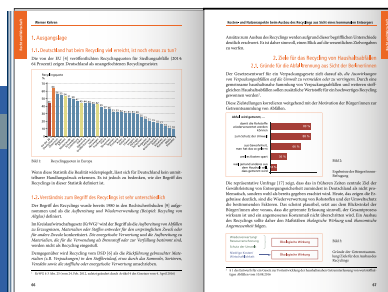
16816 Nietwerder-Neuruppin

Tel. +49 3391-45 45-0

E-Mail: order@vivis.de

TK Verlag

**Alle Bände sind erhältlich
als Hardcover und E-Books.**





Phosphorrückgewinnung

A photograph of a wastewater treatment plant. In the foreground, there are large, dark, cylindrical tanks with metal railings. In the background, there are more tanks and pipes under a clear blue sky. The image is slightly blurred, giving a sense of motion or a wide-angle shot.

PHOSPHOR- RECYCLING AUF IHRER KLÄRANLAGE

So entfällt die P-Recyclingpflicht
für Ihren Klärschlamm

www.iphos.eu



2.1. Anschlüsse

Es sind neben der Stromversorgung zwei Zuleitungen notwendig, um die Anlage mit Überschussschlamm und Brauchwasser zu versorgen. Fakultativ kann zu Versuchszwecken auch Zentrat der Klärschlammmentwässerung zudosiert werden.

Die Ableitung erfolgt in zwei Strömen. Es handelt sich dabei um den nach der Remobilisierung eingedickten Überschussschlamm sowie einer Sammelleitung für das anfallende P-arme Ablauf- und das Spülwasser.

Da die anfallenden Struvitmengen gering sind, erfolgt die Struvitausschleusung über einen Filtersack.

2.2. Chemikalien

Zum Betrieb der Anlage ist Natriumsulfid, Schwefelsäure, Natronlauge und eine Magnesiumquelle notwendig. Darüber hinaus bedarf es eines polymeren Flockungsmittels zum Flocken des Überschussschlammes.

2.3. Kapazität

Die Anlage behandelt bis zu $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ÜSS. Der TR kann bis zu 2 % betragen. Limitierender Faktor der mobilen Anlage sind die beiden Reduktionstanks, die ein Fassungsvermögen von 16 m^3 aufweisen.

3. Betriebserfahrungen

Die mobile Anlage wurde auf dem eigenen Betriebsgelände im Juli 2025 mit Überschussschlamm befüllt und betrieben. Im Anschluss kam sie erstmalig von August bis September 2025 auf einer Kläranlage (75.000 EW) zum Einsatz. Ab November 2025 wird der Schlamm auf einer zweiten Kläranlage remobilisiert. Zum Zeitpunkt der Drucklegung liegen mit der mobilen Anlage folgende qualitativen Erfahrungen vor:

- Die im Labor erzielten P-Aufschlüsse von zwei verschiedenen Schlämmen konnten in der mobilen Anlage nachvollzogen und bestätigt werden.
- Im Moment ist auch in der mobilen Anlage P nur aus Eisenphosphaten und zum Teil aus Bio-P zu remobilisieren. Für Al-Phosphate müssen – analog zu den Laborversuchen – der chemische Aufschluss und die P-Ausschleusung angepasst werden. Das ist durch den Einsatz von anderen Chemikalien bei dem Einsatz der gleichen Hardware in der mobilen Anlage möglich.
- Das produzierte Struvit ist feinkörnig und lässt sich dennoch sehr gut abscheiden.

4. Laborversuche

Mittlerweile wurde von 24 Kläranlagen die P-Remobilisierung in Überschussschlamm überprüft. Die Remobilisierung funktionierte für Schlämme mit Fe-P und Bio-P-Elimination sehr gut. Für Schlämme, die P mit einem Aluminium/Eisenmischprodukt fällen, verringerte sich die P-Remobilisierung auf 57 %. Die P-Remobilisierung aus Schlämmen mit reiner Aluminiumfällung betrug weniger als 30 %.

Für 8 Kläranlagen wurde eine komplette P-Bilanz erstellt, um die Auswirkung von iPHOS auf den P-Gehalt im Klärschlamm zu berechnen (Tabelle 1). In sieben von acht Fällen betrug die P-Konzentration im Klärschlamm unter 2 %. Im Schlamm einer Kläranlage betrug die P-Konzentration genau 2 % P (Bild 3). In dieser Kläranlage war Aluminium das dominante Fällmittel: Die P-Ausgangskonzentration war nicht ausschlaggebend für die Erreichung eines P-Gehalts von weniger als 2 % P. Vielmehr bestimmte die Art des Fällmittels den P-Remobilisierungsgrad.

Tabelle 1: Anzahl der bisher untersuchten Schlämme

	alle Anlagen	Al-P	Al-P/Fe-P	Fe-P	Bio-P/Fe-P
Anzahl der untersuchten Schlämme (bzw. Anlagen)	24	1	7	12	4
freigesetztes P (Mittelwert), %	68	27	57	75	78
Anzahl der Anlagen mit P-Bilanz	8	1	1	5	1
Anzahl der Anlagen mit P < 2 % im Klärschlamm nach iPHOS	7	0	1	5	1
Anzahl der Anlagen mit P > 2 % im Klärschlamm nach iPHOS	1	1	0	0	0

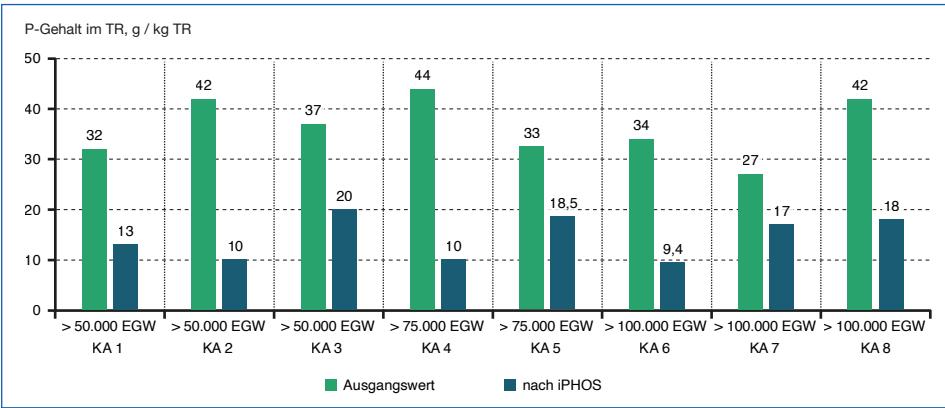


Bild 3: P-Gehalte für acht Kläranlagen (KA) vor und nach Anwendung des iPHOS-Verfahrens; KA3 verwendet ein reines Al-Fällmittel

Aus diesem Grund wurde das Verfahren optimiert, um damit auch Al-P-Verbindungen zu remobilisieren und P anschließend zu entfernen. Das Verfahren kommt nun in weiteren Laborversuchen mit dem Überschussschlamm der Kläranlage 3 zum Einsatz.

5. Ausblick

Der Fokus liegt auf der Überprüfung der P-Remobilisierung auf weiteren Kläranlagen. Ziel ist die Realisation einer ersten großtechnischen Anlage.

Parallel erfolgt eine Optimierung des iPHOS-Prozesses, um P aus Aluminiumphosphaten zu remobilisieren und auszuschleusen und um den Chemikalieneinsatz zu optimieren (weniger und andere Einsatzstoffe).

Außerdem werden Möglichkeiten zum Eisenrecycling aus dem Prozess untersucht.

Ein Teil der Optimierungsmaßnahmen wird durch das EU-Interreg Baltic Sea Region Projekt CiNURGi finanziert [2].

6. Quellen

- [1] Bundesministerium der Justiz sowie Bundesamt für Justiz: Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost, 2017
- [2] Interreg Baltic Sea Region, Managing Authority/Joint Secretariat; <https://interreg-baltic.eu/project/cinurgi/> [Zugriff am 14.08.2024]

Ansprechpartner



Dr. Joachim Clemens
SF-SoepenberG GmbH
Leiter Forschung & Entwicklung
Emil-Fischer-Straße 14
46569 Hünxe, Deutschland
+49 281 47556
j.clemens@soepenberG.com