

Zero-P

Weitestgehende Phosphorelimination auf Kläranlagen über eine nachgeschaltete Filtration für den Schutz von Gewässern und die Rückgewinnung von Phosphor

Sachbericht Teil 1 – Kurzbericht



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

KMU-innovativ
Mittelstand



Juni 2023

Verbundkoordinator:

Emscher Wassertechnik GmbH
Brunnenstr. 37
45128 Essen



Verbundpartner:

Nordic Water GmbH
Hansemannstr. 41
41468 Neuss



Technische Universität Berlin
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft
Gustav-Meyer-Allee 25
13355 Berlin



Assoziierter Partner:

BRAWAG GmbH
Wasser- und Abwassergesellschaft
Packhofstr. 31
14776 Brandenburg an der Havel



Dieser Bericht ist im Rahmen des Forschungsverbundprojekts „Zero-P: Weitestgehende Phosphorelimination auf Kläranlagen über eine nachgeschaltete Filtration für den Schutz von Gewässern und die Rückgewinnung“ erstellt worden. Das Verbundprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 02WPL1445A ff. zwischen 2019 und 2022 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren/-innen.

Autoren/-innen dieses Berichts:

Peter Wulf, Kristina Haber, Tim Fuhrmann,
Emscher Wassertechnik GmbH, Essen

Tom Guggenberger,
Technische Universität Berlin, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft

Sonja Winandi,
Nordic Water GmbH, Neuss

Johannes Anger,
BRAWAG GmbH

Dieser Bericht steht digital zur Verfügung unter <https://www.ewlw.de/zero-p>.

Stand: 30.06.2023

Inhalt

1.	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2.	Ablauf des Vorhabens	1
3.	Wesentliche Ergebnisse zur Phosphorelimination	2
3.1.	Wesentliche Ergebnisse zur Phosphorelimination	2
3.2.	Wesentliche Ergebnisse zur Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors im Fällschlamm	2

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Insbesondere infolge der Maßnahmenpläne zur EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) werden für kommunale Kläranlagen deutliche Verschärfungen der Phosphorelimination gefordert und umgesetzt. Die verschärften Anforderungen stellen Kläranlagenbetreiber jedoch vor große betriebliche Herausforderungen bei der sicheren Einhaltung der Einleitwerte.

Im Rahmen des vorliegenden Verbundprojektes „Zero-P“ wurde daher eine geeignete Lösung zur weitestgehenden Phosphorelimination über eine P-Nachfällung und die Entfernung der partikulären Bestandteile durch einen kontinuierlichen Sandfilter untersucht.

Exemplarisch sollte anhand einer halbtechnischen Versuchsanlage auf der Kläranlage Briest in Brandenburg an der Havel untersucht werden, inwieweit Ablaufwerte von $\leq 0,03 \text{ mg/l o-PO}_4\text{-P}$ und $< 0,1 \text{ mg/l P}_{\text{ges}}$ als Jahresmittel bzw. von $< 0,3 \text{ mg/l P}_{\text{ges}}$ in der qualifizierten Stichprobe prozessstabil und sicher eingehalten werden können. Diese Ablaufwerte nahe der technisch und betrieblich erreichbaren Minimaemission erfordern die möglichst vollständige Elimination der gelösten P-Fracht.

Das Projekt greift Forschungserkenntnisse auf, nach denen vergleichbare Ablaufwerte im Einzelfall in abwärtsdurchströmten Sandfiltern im Labor- oder kleintechnischen Maßstab nachgewiesen wurden. Mit dem „Zero-P“-Projekt sollten die technischen und betrieblichen Grenzen für solche extrem geringe Ablaufwerte unter realen Betriebsbedingungen evaluiert und bewertet werden.

Um die Verwertbarkeit des P-angereicherten Fällschlammes zu untersuchen, wurde zusätzlich die P-Pflanzenverfügbarkeit orientierend untersucht.

2. Ablauf des Vorhabens

Für das Projekt wurde im großtechnischen Umfeld der Kläranlage Brandenburg-Briest eine halbtechnische Versuchsanlage mit entsprechender Automatisierung betrieben. Der Zufluss zur Kläranlage wurde durchflussproportional auf die Versuchsanlage übertragen, um reale Randbedingungen zu simulieren.

Verfahrenstechnischer Kern der Versuchsanlage war die P-Fällung über eine automatisierte Dosierung von Fällmittel mit nachfolgender Einmischung und einem Reaktionsbehälter zur Flockenbildung sowie die anschließende Filtration über einen kontinuierlichen Sandfilter. Als Filter kam ein DynaSand-Filter der Nordic Water GmbH mit einer kontinuierlichen Filterbettüberwachung über Sand-Cycle-Technologie zum Einsatz. Der Zulauf konnte zur Simulation unterschiedlicher $\text{PO}_4\text{-P}$ Konzentrationen mit Phosphorsäure aufgestockt werden. Die Steuerung und Regelung der Fällmitteldosierung erfolgte über ein RTC-Modul der Hach Lange GmbH.

Vor Beginn der Untersuchungsphasen wurden mittels Jar-Tests unterschiedliche Fällmittel getestet, bei denen sich Eisen(III)chlorid als wirksamstes Fällmittel für das vorliegende Abwasser herausgestellt hat.

Große betriebliche Herausforderungen bestanden im Bereich der für die Automatisierung notwendigen Online-Messtechnik, da es für den Abwasserbereich keine großtechnisch bewährten Online-Analysatoren mit ausreichender Genauigkeit für die angestrebten sehr niedrigen $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentrationen gab. Aus den auf dem Markt verfügbaren Online-Messgeräten wurde der Phosphor-Analysator HACH 5500 sc der Hach Lange GmbH ausgewählt. Da dieser Analysator bisher nicht im Abwasserbereich eingesetzt wurde, waren Anpassungen insbesondere bezüglich der Probenaufbereitung notwendig.

Mit der Versuchsanlage wurde ein mehrstufiges Untersuchungsprogramm durchgeführt, bei denen unterschiedliche Belastungssituationen, Fällmitteldosierungen mit vorgegebenen β -Werten sowie Steuer- und Regelbetrieb mit vorgegebenen Zielkonzentrationen untersucht wurden. Aufgrund mehrmonatiger Unterbrechungen des Untersuchungsbetriebs aufgrund der Corona-Pandemie war der ursprünglich geplante Dauerbetrieb der Versuchsanlage nicht möglich.

3. Wesentliche Ergebnisse zur Phosphorelimination

3.1. Wesentliche Ergebnisse zur Phosphorelimination

Es wurde gezeigt, dass in Versuchsphasen mit reiner Steuerung bei β -Werten bis 7 und Zuläufen gemäß großtechnischen Randbedingungen Ablaufkonzentrationen von $\text{PO}_4\text{-P}$ zwischen 0,05 und 0,02 mg/l (Laboranalyse von 24-h-Mischproben) erzielt werden konnten. Der Zielwert von 0,03 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$ konnte bei reiner Steuerung nicht kontinuierlich unterschritten bzw. eingehalten werden.

Mittels Regelung konnte der Zielwert von 0,03 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$ mit dem Online-Analysator HACH 5500 sc sicher eingehalten werden, jedoch stellen sich β -Werte zwischen 5 und 47,5 (im Mittel β -Wert = 11) ein.

Als limitierender Faktor für eine präzise und kontinuierliche Einhaltung von $\text{PO}_4\text{-P}$ -Ablaufkonzentrationen < 0,03 mg/l hat sich die Analysetechnik gezeigt. Der wegen Lieferproblemen bei den Betriebschemikalien für den Phosphor-Analysator HACH 5500 sc als Ersatzgerät eingesetzte Phosphor-Analysator Phosphax cc LR zeigte sich als nicht ausreichend genau (bei sehr geringen Ablaufwerten wurden geringere Werte als die Referenzwerte im Labor gemessen), um die Einhaltung einer Ablaufkonzentration von 0,03 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$ dauerhaft und mit effizientem Fällmitteleinsatz zu gewährleisten. Beim HACH 5500 sc lagen die im Labor gemessenen Werte überwiegend deutlich unter den Werten des Messgerätes, wodurch mehr Fällmittel zur Zielwerteinhaltung verbraucht wurde, als erforderlich gewesen wäre. Hier sind Kalibrierungen über die Auswertung von längeren Betriebsphasen angeraten.

Für einen höher angesetzten $\text{PO}_4\text{-P}$ -Zielwert von 0,05 mg/l zeigte sich eine deutliche Reduzierung des Fällmitteleinsatzes und mit geringeren β -Werten auch ein geringerer Austrag von ungenutztem Fällmittel und entsprechender Aufsatzung des Ablaufs gegenüber dem Zielwert von 0,03 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$. Bei den strengeren Anforderungen von 0,03 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$ ergab sich ein um den Faktor 2,7 höherer Fällmitteleinsatz. Gleichzeitig wurde der Sandfilter mit erhöhtem Fällschlammanfall beaufschlagt, was längere Spülintervalle bis hin zur Dauerspülung erforderte. Dies ist bei Einbeziehung wirtschaftlicher und ökologischer Aspekte zu berücksichtigen.

Der angestrebte Ablaufwert für P_{ges} von 0,1 mg/l im Jahresmittel war aufgrund der gegebenen Randbedingungen (snrP nahe 0,1 mg/l) nicht erreichbar, sodass der nicht fällbare P-Anteil snrP explizit rechnerisch berücksichtigt wurde. Bei weitestgehender Fällung der $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentration auf $\leq 0,03$ mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$ konnte der Zielwert von 0,1 mg/l P_{ges} ohne snrP im Mittel eingehalten werden.

Zur grundsätzlichen Übertragbarkeit des verfahrenstechnischen Ansatzes der Versuchsanlage auf großtechnische Anwendungen wurden einzelne technische Aspekte und Optimierungspotenziale gezielt dargelegt. Da bei Anwendungen zur Elimination von Mikroschadstoffen ebenfalls Filtrationsstufen eingesetzt werden, ist auch eine synergetische Kombination aus Phosphor- und Spurenstoffelimination sowie mit der Wasserwiederverwendung denkbar.

3.2. Wesentliche Ergebnisse zur Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors im Fällschlamm

Der bei der Phosphorelimination angefallene Schlamm aus der Flockungsfiltration (Tertiärschlamm) bietet aus verfahrenstechnischer Sicht gute Eigenschaften, um ihn landwirtschaftlich direkt zu verwerten. Durch die vorgelagerten Reinigungsprozesse sind viele Schadstoffe wie Schwermetalle nur noch in geringen Konzentrationen zu erwarten. Durchgeführte Schwermetallanalysen bestätigen dies.

Die P-Pflanzenverfügbarkeit wurde mittels exemplarischer Aufwuchsversuche in einem künstlich hergestelltem, P-freiem Substrat untersucht. Bei diesen orientierenden Versuchen wurde eine auch im Vergleich zu Mineraldüngern gute Verfügbarkeit des im Schlamm gebundenen Phosphors für die Pflanzen aufgezeigt.

Zu diesen Untersuchungen erfolgte ein regelmäßiger Austausch mit dem DBU-geförderten Projekt „P-REC“, das zu vergleichbaren Ergebnissen geführt hat.