

Kosten der Phosphor-Entfernung aus Kläranlagen

Stefan Lindtner, Fiona Vohryzka

Ingenieurbüro kaltesklareswasser

Abstract: Abwasserreinigungsanlagen leisten einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion des Phosphoreintrages in Gewässer aus Punktquellen. Die Entfernung des Phosphors erfolgt dabei einerseits durch den biogenen Einbau in die Biomasse und andererseits durch Fällung mithilfe von Eisen- und Aluminiumsalzen. In diesem Beitrag werden die Kosten der Phosphorfällung auf Basis der Daten des ÖWAV-Kläranlagenbenchmarking analysiert und zusammengestellt. Darüber hinaus wird abgeschätzt, wie hoch die Kosten einer Phosphorentfernung wären, die über die gegenwärtige gesetzliche Regelung hinausgeht.

Key Words: Abwasserreinigung, Betriebskosten, Phosphorentfernung, Benchmarking

1 Einleitung

Die systematische Analyse von Abwasserreinigungsanlagen des österreichweit durchgeführten ÖWAV-Abwasserbenchmarkings liefert eine sehr gute Basis, um die Kosten der Phosphorentfernung durch Kläranlagen beleuchten zu können. Mit Hilfe einer Benchmarking-Internetplattform wurden, beginnend mit den Zahlen des Geschäftsjahres 2003, Daten von insgesamt 90 Kläranlagen gesammelt und ausgewertet. Einige Anlagen nützen das Angebot zur einmaligen Standortbestimmung, andere nehmen das Angebot jährlich in Anspruch und schätzen die detaillierte Auswertung, die Fachgespräche im Zuge der Berichtsbesprechungen und der Workshops. Die im Folgenden dargestellten Auswertungen in Bezug auf die aktuellen Kosten der Phosphorentfernung, basieren auf den Daten von 90 kommunalen Kläranlagen aus den Geschäftsjahren 2003 bis 2012. Für einen korrekten Vergleich wurden alle

Kosten auf das Geschäftsjahr 2012 hochgerechnet, wobei ein Mischindex aus Großhandels- und Tariflohnindex verwendet wurde. Bei Kläranlagen, die in mehreren Jahren am Benchmarking teilgenommen haben, wurde ein Mittelwert der indexierten Kosten gebildet. Im zweiten Teil dieses Beitrages wird abgeschätzt, wie hoch die Kosten einer Phosphorentfernung wären, die über die gegenwärtigen gesetzlichen Regelungen hinausgehen. Diese Berechnungen sind einer unveröffentlichten Studie „Monetäre Bewertung von Maßnahmen zur Reduktion der Fließgewässerbelastung durch die kommunale Wasserwirtschaft“ entnommen, welche vom Autor im Auftrag des Lebensministeriums erstellt wurde.

2 Ermittlung der Phosphorentfernungskosten

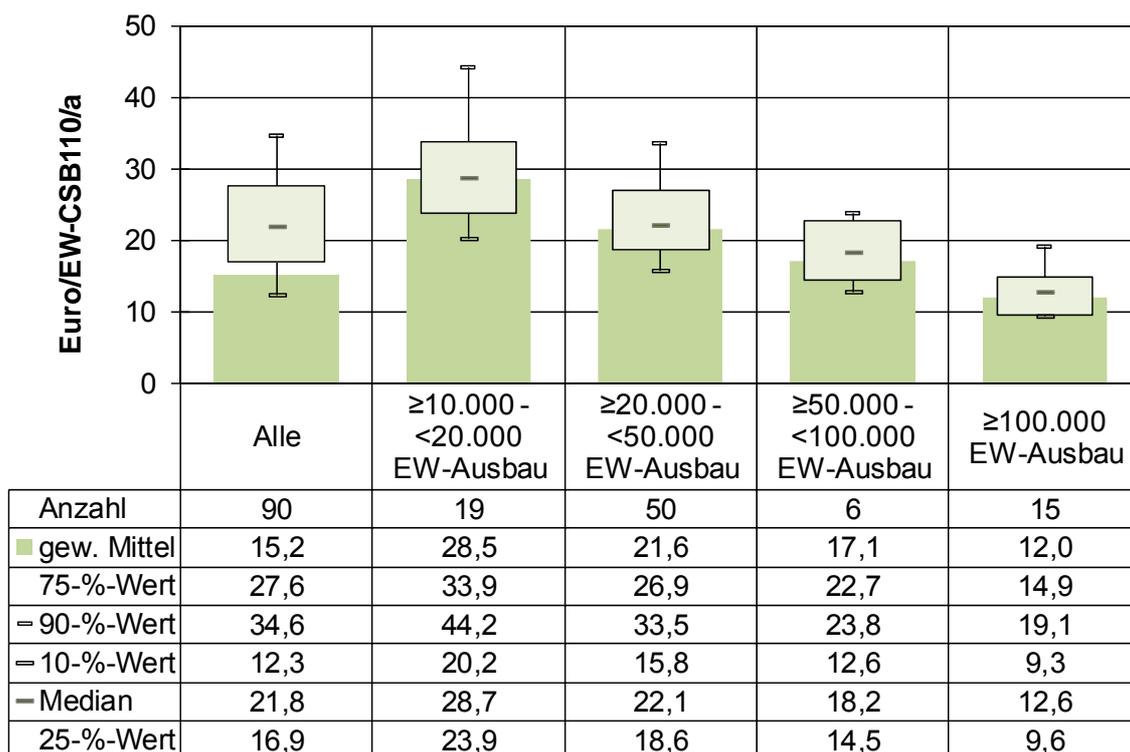


Abbildung 1: Spezifische Betriebskosten der Kläranlagen gruppiert nach der Ausbaugröße

Der graue Box-Körper wird begrenzt durch den 75-%-Perzentilwert (oben) und den 25-%-Perzentilwert (unten). Die dunkle horizontale Linie im Box-Körper entspricht dem Median. Schwarze, vertikale Antennen zeigen 90-%-Perzentilwert (oben) und 10-%-Perzentilwert (unten). Die grauen Säulen repräsentieren den gewichteten Mittelwert je Gruppe.

Abbildung 1 zeigt die Kläranlagenbetriebskosten der vier Größengruppen sowie aller Kläranlagen. Neben den Perzentilwerten und dem Median wurde auch der gewichtete Mittelwert je Gruppe berechnet. Der gewichtete Mittelwert der spezifischen Betriebskosten wurde aus der Summe aller Betriebskosten je Gruppe, dividiert durch die Summe der Einwohnerwerte je Gruppe, berechnet. Im Gegensatz dazu ist der Median der Gruppe der mittlere Wert der spezifischen Betriebskosten der Gruppe. Da der Median der vier Größengruppen und das gewichtete Mittel in etwa gleich sind, kann von jeweils homogenen Gruppen und einer guten Wahl der Gruppengrenzen ausgegangen werden. Im Vergleich dazu liegt das gewichtete Mittel aller Kläranlagen bei 15,2 €/EW-CSB110/a, der Median jedoch bei 21,8 €/EW-CSB110/a. Diese Zahlen zeigen, dass die niedrigeren spezifischen Betriebskosten der großen Kläranlagen bei der Berechnung des gewichteten Mittelwertes entsprechend zum Tragen kommen. Abbildung 1 belegt die ohnedies mehrfach veröffentlichte Tatsache, dass bei Kläranlagen ≥ 100.000 EW-Ausbau im Mittel 12,6 €/EW-CSB110/a an Betriebskosten anfallen. Bei den Kläranlagen mit einer Ausbaugröße zwischen 20.000 und 50.000 EW-Ausbau fallen mit 22,1 €/EW-CSB110/a um 9,5 €/EW-CSB110/a höhere Betriebskosten an. Die Daten dieser Gruppe sind aufgrund der Teilnehmeranzahl von 50 Kläranlagen am besten abgesichert. Die Daten der Gruppe zwischen 50.000 und 100.000 EW-Ausbau sind aufgrund der geringen Teilnehmeranzahl von nur 6 Teilnehmern wenig repräsentativ.

Beim ÖWAV-Kläranlagenbenchmarking werden sowohl die Gesamtbetriebskosten als auch die Kosten der vier Haupt- und zwei Hilfsprozesse in sechs Hauptkostenarten untergliedert. Die sechs Hauptkostenarten sind: Materialkosten, Energiekosten, Personalkosten, Kosten von Leistungen Dritter, Reststoffentsorgungskosten sowie sonstige Betriebskosten. In Abbildung 2 ist die Verteilung der Betriebskosten auf die sechs Hauptkosten aller 90 untersuchten Kläranlagen dargestellt. Dabei wurden die von der Ausbaugröße abhängigen Kostenarten (= Personalkosten, Kosten für Leistungen Dritter und sonstigen Kosten) als ein Block der Torte dargestellt und die von der Zulauffracht abhängigen drei Kostenarten als einzelne Stücke. Es zeigt sich, dass die drei von der Zulauffracht abhängigen Kostenarten 44 % der

Betriebskosten verursachen. Die Material- und Stoffkosten, zu denen die Fällmittel gezählt werden, sind für 15 % der Betriebskosten verantwortlich. Nur 1/3 der Material und Stoffkosten wird von den Fällmittelkosten verursacht. Der Rest entfällt auf Konditionierungsmittel der Eindickung und Entwässerung, auf Chemikalien und dergleichen.

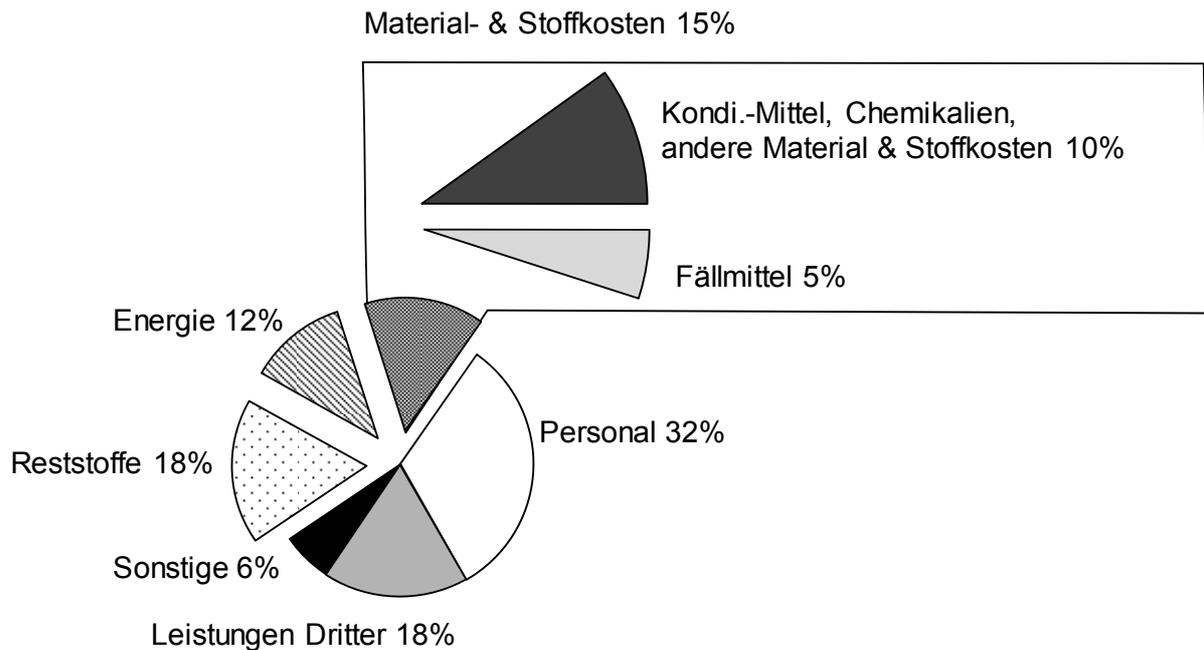


Abbildung 2: Verteilung Hauptkostenarten

Die einwohnerwertspezifischen Fällmittelkosten pro Jahr sind in Abbildung 3 dargestellt. Dabei zeigt sich ein deutlicher Unterschied der spez. Fällmittelkosten in Abhängigkeit von der Ausbaugröße. Bei Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von ≥ 100.000 EW-Ausbau wurde ein Median von 0,4 Euro/EW-CSB110/a berechnet. Der Median für Kläranlagen mit einer Ausbaugröße zwischen 20.000 und 50.000 EW-Ausbau weist hingegen einen Median von 0,9 Euro/EW-CSB110/a auf. Da diese Größengruppe mit 50 Kläranlagen die größte Gruppe darstellt, schlagen die Kosten dieser Gruppe auch auf den Median über alle Kläranlagen bei 0,9 Euro/EW-CSB110/a durch.

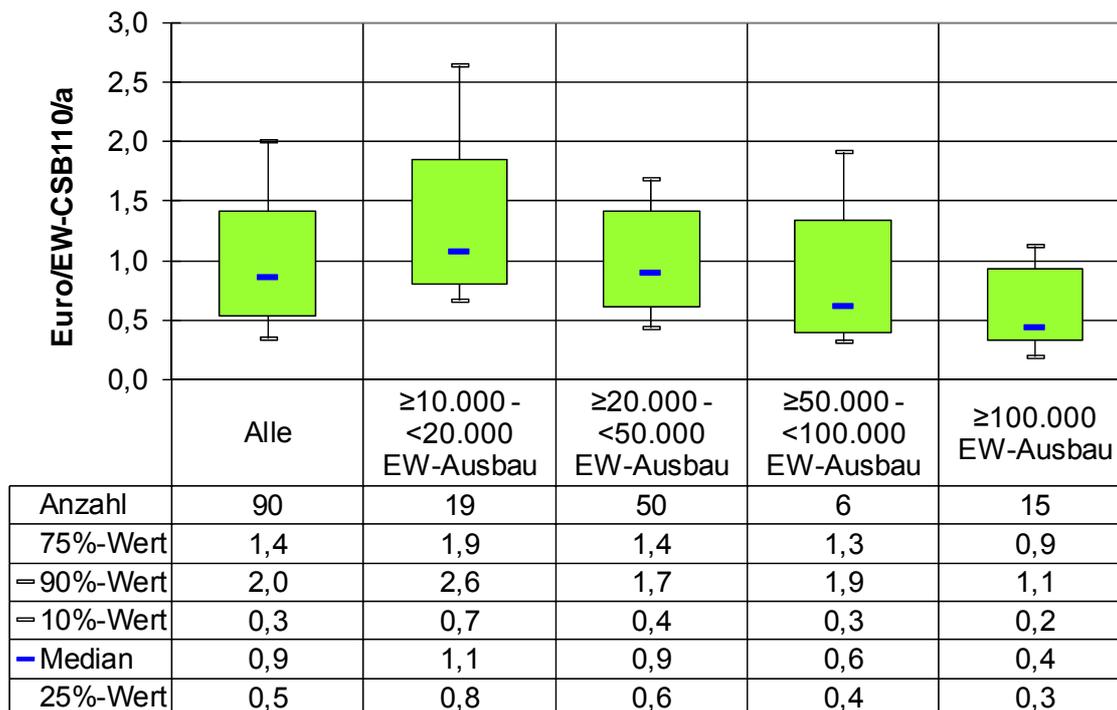


Abbildung 3: spezifische Fällmittelkosten gruppiert nach der Ausbaugröße

Die Abhängigkeit der Fällmittelkosten von der Kläranlagengröße ist unter anderem auch darauf zurückzuführen, dass einige der beim Benchmarking teilnehmenden großen Kläranlagen im Vergleich mit den kleineren Anlagen ein weiteres P/CSB-Verhältnis aufweisen und damit weniger fällbarer Phosphor vorhanden ist. Andererseits kann auch davon ausgegangen werden, dass bei großen Anlagen sowohl die Art des Fällmittels und die dosierte Menge als auch der Preis einer permanenten Kontrolle unterliegen.

Der Zusammenhang von Kläranlagengröße und spezifischen Kosten ist recht gut nachvollziehbar. Aus theoretischen Überlegungen würde man auch einen klaren Zusammenhang zwischen den Kosten und der Phosphor-Ablaufkonzentration erwarten. Es wurden daher die spezifischen Fällmittelkosten in Abhängigkeit von der Ablaufkonzentration aller Benchmarkingteilnehmer der vergangenen fünf Jahre ausgewertet und in Abbildung 4 dargestellt. Der aufgrund der theoretischen Überlegungen zu erwartende Bereich in dem die spez. Kosten der Teilnehmer liegen, wurde in Abbildung 4 als graues Oval eingezeichnet.

Interessanterweise zeigen jedoch die tatsächlichen Werte keinerlei Abhängigkeit der Fällmittelkosten von den erzielten Ablaufkonzentrationen.

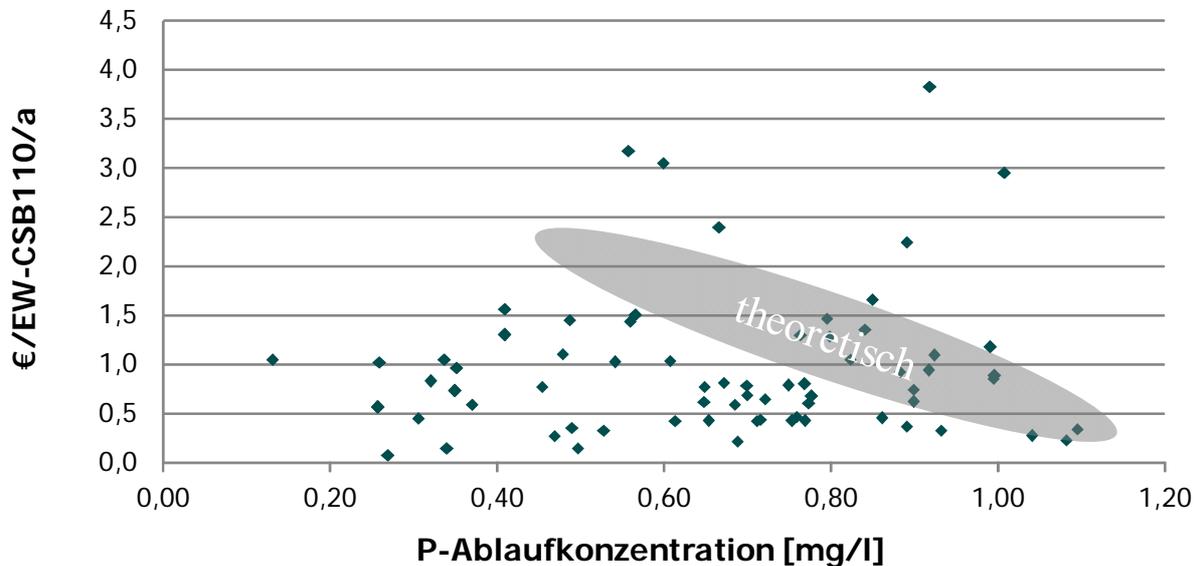


Abbildung 4: spezifische Fällmittelkosten in Abhängigkeit von der P-Ablaufkonzentration

Um diese, bereits seit mehreren Jahren beobachtete Tatsache zu ergründen, wurden die Produktkosten der von den Benchmarkingteilnehmern des vergangenen Jahres verwendeten Fällmittel in Tabelle 1 zusammengestellt. Im Wesentlichen werden acht verschiedene Fällmittel eingesetzt wobei Fe-III-Chlorid - welches von acht Kläranlagen eingesetzt wurde - das am häufigsten verwendete Fällmittel darstellt. Polyaluminiumchlorid und Eisen-Aluminium-Mischprodukte kamen auf jeweils 6 Kläranlagen zum Einsatz. Tabelle 1 zeigt jeweils den Niedrigsten und Höchsten Produktpreis je Fällmittelart, wobei sowohl der Produktpreis als auch die Wirksubstanz des Fällmittels angegeben wurden. Zusätzlich wurden daraus die Minimalen und Maximalen Kosten für die Fällung von einem Kilogramm Phosphor berechnet wenn ein beta-Wert von 1 unterstellt wird. Betrachtet man die drei am Häufigsten verwendeten Fällmittel, sieht man bei Fe-III-Chlorid den geringsten Unterschied zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Produktpreis. Bei den Fe-Al-Mischprodukten liegen der Höchste und der niedrigste Preis bereits um einen Faktor 2 auseinander und bei Polyaluminiumchlorid liegen die Wirksubstanzkosten sogar um den Faktor 3,3 auseinander. Vergleicht man die Wirksubstanzkosten der

unterschiedlichen Fällmittel miteinander, so kommt man auf noch weit stärkere Streuungen der Wirksubstanzkosten.

Es liegt also der Schluss nahe, dass die Wirksubstanzkosten einen deutlich stärkeren Einfluss auf die spezifischen Fällmittelkosten je Einwohnerwert haben, als die erzielte Phosphorablaufkonzentration. Nun stellt sich natürlich die Frage warum derart unterschiedliche Kosten bei den Fällmitteln zu Stande kommen und warum nicht jede Kläranlage das jeweils je Wirksubstanz billigste verfügbare Fällmittel verwendet? Die Erfahrung zeigt, dass Fällmittel nicht nur aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften für die Phosphorfällung eingesetzt werden, sondern in vielen Fällen auch von positiven Effekten auf die Schlammeigenschaften berichtet wird. Wenn die eingesetzten Chemikalien nicht nur Phosphor fällen, sondern auch noch andere der Abwasserreinigung dienliche Eigenschaften aufweisen, muss zur Diskussion gestellt werden, ob der Bezug der Kosten dieser Mittel auf die Al- bzw. Fe-Wirksubstanz zu einem objektiven Vergleich führt. Ungeachtet dieser Fragestellung kann an dieser Stelle noch festgehalten werden, dass der Median aller Fällmittel bei 1,8 €/ kg Phosphor liegt, wenn mit einem beta-Wert von 1 gerechnet wird.

Tabelle 1: Min- und Maximalwerte der Produktkosten gruppiert nach Art der Fällmittel

	Fe-II-chlorid	Fe-III-chlorid	Fe-II-sulfat	Fe-III-sulfat	Fe-III-chloridsulfat	Poly-aluminiumchlorid	Na-Aluminat	Fe-Al-Mischprodukt
Anzahl	2	8	3	5	1	6	5	6
Min-Wert	142 Euro/t [2,5mol/kg]	117 Euro/t [2,5mol/kg]	70 Euro/t [3,23mol/kg]	62 Euro/t [2,7mol/kg]	129 Euro/t [2,5mol/kg]	135 Euro/t [2,5mol/kg]	9,8 Euro/t [1,48mol/kg]	63,5 Euro/t [1mol/kg]
Max-Wert	159 Euro/t [2,5mol/kg]	155 Euro/t [2,25mol/kg]	102 Euro/t [3,39mol/kg]	125,4 Euro/t [2,28mol/kg]	129 Euro/t [2,5mol/kg]	556 Euro/t [3,2mol/kg]	75,8 Euro/t [1,77mol/kg]	335 Euro/t [2,64mol/kg]
€/kg P Min-Wert	1,8	1,5	0,7	0,7	1,7	1,7	0,2	2,0
€/kg P Max-Wert	2,1	2,2	1,0	1,8	1,7	5,6	1,4	4,1

3 Weitergehende simultane Phosphorfällung

Unter weitergehender simultaner Phosphorfällung wird die, über die gesetzlichen Vorschriften hinausgehende, chemische Fällung von Phosphor verstanden. D.h. bei Anlagen > 1.000 EW-Ausbau muss lediglich die Fällmitteldosierung erhöht werden, um 0,5 mg/l Phosphor im Ablauf der Anlage erreichen zu können. Da bei Anlagen < 1.000 EW-Ausbau keine Phosphorfällung vorgeschrieben ist, muss eine Möglichkeit der Fällmitteldosierung geschaffen werden. Hinzugefügt wird, dass die folgenden Berechnungen davon ausgehen, dass Werte bis zu einer Phosphorkonzentration von $\geq 0,5$ mg/l im Ablauf der Kläranlage mithilfe der chemischen Fällung erreicht werden können.

3.1 Berechnungsgrundlage und -methode

Da für Anlagen kleiner 1.000 EW-Ausbau keine Phosphorfällung vorgeschrieben ist, fallen bei diesen Anlagen auch Investitionskosten für die Dosiereinrichtungen an. Diese Kosten belaufen sich zwischen 2.000 und maximal 5.000 Euro. Bei Anlagen dieser Größe erfolgt die Dosierung üblicherweise aus Fertigbinde mittels Dosierpumpe. Investitionskosten fallen ausschließlich für Dosierpumpen, Rohrleitungen und Einbindung der Dosierpumpen in das Prozessleitsystem der Anlage an.

Da bei niedrigeren Phosphorkonzentrationen im Ablauf mit etwas höherem Fällmittelverbrauch zu rechnen ist, wird für Anlagen < 50.000 EW-Ausbau mit 3 bis 6 Euro/kg Phosphor und bei Anlagen > 50.000 EW-Ausbau mit 1,5 bis 4 Euro/kg Phosphor gerechnet.

Die Wirkung der weitergehenden simultanen Phosphorfällung je EW-CSB110 ist natürlich bei jenen Anlagen (< 1.000 EW-Ausbau) am höchsten, bei denen noch keine Phosphorfällung vorgesehen war und wird umso kleiner, je niedriger die bereits erreichten Ablaufkonzentrationen sind.

In Abbildung 5 sind die möglichen Frachtreduktionen je EW-CSB110 in Abhängigkeit der Phosphorablaufkonzentration und der jeweiligen Ausgangslage eingetragen.

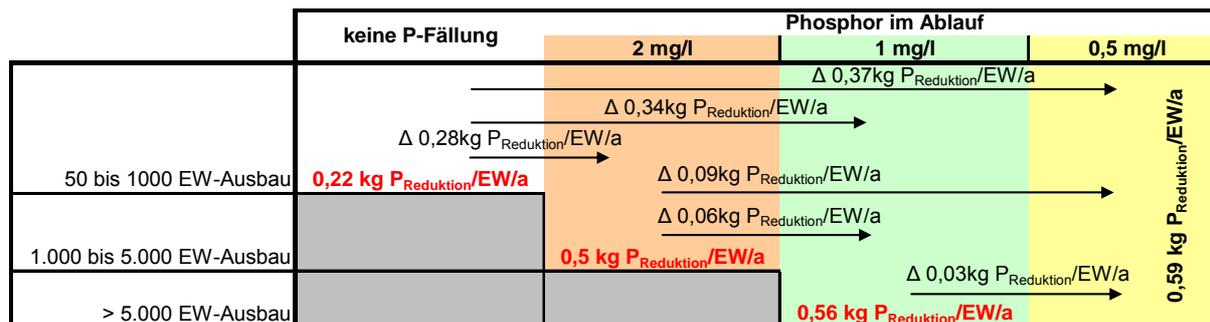


Abbildung 5: Frachtreduktion je EW-CSB110 in Abhängigkeit der Phosphorablaufkonzentration

Wird beispielsweise eine Anlage ohne Phosphorfällung auf Fällung mit 2 mg/l an Phosphor im Ablauf umgestellt, so können damit 0,28 kg/EW/a zusätzlich aus dem Abwasser entfernt werden. Wird die Phosphorfällung dieser Anlage so betrieben, dass nur noch 1 mg/l im Ablauf enthalten ist, so können 0,34 kg/EW/a an Phosphor zusätzlich zum biogen in den Schlamm gebundenen Phosphor reduziert werden. Kläranlagen die bereits eine Ablaufkonzentration von 1 mg/l einhalten können durch eine weitergehende Fällung auf eine Ablaufkonzentration von 0,5 mg/l eine Reduktion der Phosphorfracht je Einwohner um 0,03 kg/EW/a erzielen.

3.2 Berechnung der Betriebs- und Investitionskosten sowie der jährlichen Abschreibung

Unter Verwendung der in Kapitel 3.1 beschriebenen Berechnungsgrundlagen, wurden für die weitergehende simultane Phosphorfällung die frachtspezifischen Betriebs- und Investitionskosten sowie die jährliche Abschreibung - bei einer angenommenen Lebensdauer von 25 Jahren - in Tabelle 2 zusammengefasst. Je nach angestrebter Phosphor-Ablaufkonzentration und der damit verbundenen Phosphorreduktion (vergleiche Abbildung 5) sind auch die, auf die Phosphorreduktion bezogenen, Investitionskosten unterschiedlich. Bei Anlagen > 1.000 EW-Ausbau kann von bestehenden Einrichtungen zur Phosphorfällung ausgegangen werden. Eine über die 1.AEV für kommunales Abwasser hinausgehende Phosphorfällung ist daher mit keinen zusätzlichen Investitionskosten verbunden.

Tabelle 2: Betriebs-, Investitionskosten und jährliche Abschreibung je kg entferntem Phosphor

Errichtung und Betrieb der weitergehenden simultanen Phosphorfällung bei ARAs zwischen 50 - 1.000 EW-Ausbau	Betriebskosten		Investitionskosten		jährliche Abschreibung		
	von	bis	von	bis	von	bis	
Euro/kg entferntem Pges.	3,0	6,0	Fällung auf 2 mg/l	18	143	0,7	5,7
			Fällung auf 1 mg/l	15	118	0,6	4,7
			Fällung auf 0,5 mg/l	14	108	0,5	4,3
weitergehenden simultanen Phosphorfällung bei ARAs zwischen 1.000 - 50.000 EW-Ausbau							
Euro/kg entferntem Pges.	3,0	6,0					
weitergehenden simultanen Phosphorfällung bei ARAs > 50.000 EW-Ausbau							
Euro/kg entferntem Pges.	1,5	4,0					

Als Berechnungsbeispiel der Investitionskosten kann für eine Kläranlage mit 1.000 EW-Ausbau und einem angestrebten Reinigungsziel von 1 mg/Pges. im Ablauf davon ausgegangen werden, dass rund 340 kg Phosphor pro Jahr gefällt werden. Bei Investitionskosten von 5.000 Euro errechnen sich daraus 15 Euro/kg entferntem Pges. Bei einer Kläranlage mit 50 EW-Ausbau (ca. 17 kg gefällter Phosphor pro Jahr) und einer Investition von 2.000 Euro betragen hingegen die Investitionskosten je Kilogramm entferntem Phosphor 118 Euro.

4 Zusammenfassung

Mit Hilfe von Kläranlagen wird Phosphor durch den biogenen Einbau in die Biomasse einerseits, sowie durch chemische Fällung andererseits weitgehend entfernt. Eine Auswertung der ÖWAV-Benchmarkingdaten von 90 Kläranlagen zeigt, dass bei Kläranlagen > 50.000 EW-Ausbau mit rund 0,5 €/EW-CSB110/a gerechnet werden muss, wohingegen Kläranlagen < 50.000 EW-Ausbau im Median etwa doppelt so hohe Kosten (1,0 €/EW-CSB110/a) aufweisen. Dies entspricht etwa 5 % der Gesamtbetriebskosten. Aus den angegebenen Produktpreisen und der jeweiligen Wirkstoffkonzentration wurden die Wirkstoffkosten berechnet. Unter der Annahme eines beta-Wertes von 1, wurden daraus mittlere Entfernungskosten von 1,8 Euro je Kilogramm zu fällendem Phosphor berechnet. Bei dieser Berechnung fiel auf, dass die Kosten der Wirkstoffkonzentration sehr stark streuen. Aufgrund der starken Streuung der Wirkstoffkosten der einzelnen Produkte konnte auch kein Zusammenhang

zwischen den einwohnerwertspezifischen Fällmittelkosten und der Ablaufkonzentration abgeleitet werden.

Für eine Abschätzung der Kosten bei Phosphorfällung über die gegenwärtigen gesetzlichen Vorgaben hinaus kann man davon ausgehen, dass Phosphorablaufkonzentrationen $\geq 0,5$ mg/l im Ablauf der Kläranlage mithilfe der chemischen Fällung erreicht werden können. Da Kläranlagen > 1.000 EW-Ausbau bereits jetzt eine Phosphorfällung betreiben müssen, können die zusätzlichen Betriebskosten von Kläranlagen < 50.000 EW-Ausbau mit 3 bis 6 Euro/kg entferntem Pges. abgeschätzt werden. Bei Kläranlagen > 50.000 EW-Ausbau kann man von 1,5 bis 4,0 Euro/kg entferntem Pges. ausgehen. Die Investitionskosten je kg entferntem Phosphor sind sehr stark von der angestrebten Phosphor-Ablaufkonzentration und der Kläranlagengröße abhängig.

5 Literatur

Bundesgesetzblatt. (1996): 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser. 210. Verordnung, Wien.

Kroiss, H., Haberl, R., Bogensberger, M., Nowak, O., Ertl, T., Josef, Habich, Lindtner, S., Starkl, M., Murnig, F. und Sleytr, K. (2001): Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft - Erfassung und Vergleich von technischen und wirtschaftlichen Kennzahlen in der Siedlungswasserwirtschaft, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Wien.

Lindtner, S. (2004): Beitrag zum Benchmarking von Abwasserreinigungsanlagen, Wiener Mitteilungen Wasser - Abwasser-Gewässer, Band 189, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien.

Lindtner (2007): Monetäre Bewertung von Maßnahmen zur Reduktion der Fließgewässerbelastung durch die kommunale Wasserwirtschaft, Studie im Auftrag des Lebensministeriums, unveröffentlicht

Korrespondenz an:

Dr. Stefan Lindtner

Ingenieurbüro k2W

Obere Augartenstraße 18A/5/1

Tel.: 01/3339081

eMail: lindtner@k2w.at