



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT



Klare Konzepte. Saubere Umwelt.

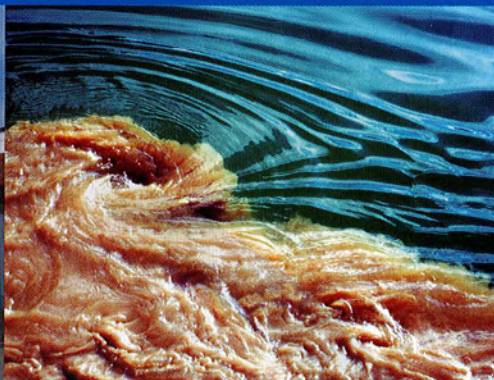
Landesverband Baden-Württemberg

[www.dwa-bw.de](http://www.dwa-bw.de)

# PHOSPHORELIMINATION OPTIMIERUNG AUF KLÄRANLAGEN

Praxisleitfaden für den Betrieb von Kläranlagen

Heft 14



Peter Baumann  
Klaus Jedele

# PHOSPHORELIMINATION OPTIMIERUNG AUF KLÄRANLAGEN

*Praxisleitfaden für den  
Betrieb von Kläranlagen*



[www.dwa-bw.de](http://www.dwa-bw.de)

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) ist in Deutschland Sprecher für alle übergreifenden Wasserfragen und setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasserwirtschaft ein.

Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Normung, Beruflicher Bildung und Information der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein.

Die rund 14.000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Der Schwerpunkt ihrer Tätigkeiten liegt auf der Erarbeitung und Aktualisierung eines einheitlichen technischen Regelwerkes sowie der Mitarbeit bei der Aufstellung fachspezifischer Normen auf nationaler und internationaler Ebene. Hierzu gehören nicht nur die technisch-wissenschaftlichen Themen, sondern auch die wirtschaftlichen und rechtlichen Belange des Umwelt- und Gewässerschutzes.

Ein zentraler Bereich der DWA-Arbeit sind die Angebote zur beruflichen Bildung. Hier sind besonders die Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften zu erwähnen. Zweibis viermal im Jahr kommt das Betriebspersonal wechselseitig auf den Kläranlagen oder Kanalbetrieben zum Erfahrungsaustausch und zur Fortbildung zusammen.

#### Herausgeber:

DWA-Landesverband Baden-Württemberg,  
Rennstraße 8, 70499 Stuttgart  
Telefon 0711 896631-0, Fax 0711 896631-111  
Mail: info@dwa-bw.de, www.dwa-bw.de

#### Autoren:

Peter Baumann, Klaus Jedele

#### Redaktion:

DWA-Landesverband, Baden-Württemberg  
André Hildebrand  
Olivia Herzog

Heft 14, 1. Auflage  
ISBN 978-3-88721-815-7  
© DWA-Landesverband Baden-Württemberg,  
Stand März 2019

# Vorwort des Umweltministeriums

Die Bedeutung von Phosphor für den Schutz unserer Gewässer ist im Land Baden-Württemberg schon lange bekannt. Bereits heute verfügen 623 der 911 kommunalen Kläranlagen im Land über eine gezielte Phosphorelimination. Über alle Größenklassen (GK) liegt der Abbaugrad landesweit derzeit bei 93% bezogen auf Gesamtphosphor. Betrachtet man den Eliminationsgrad der GK separat, so ergibt sich nach dem Leistungsvergleich der DWA (2017) eine Spanne zwischen 64% bei GK 1 und 95% bei GK 5. Maßnahmen zur Reduktion des Phosphoreintrags aus Kläranlagen zur Verbesserung der Gewässergüte sowie zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie sind seit Jahren ein Schwerpunkt des Gewässerschutzes in Baden-Württemberg.

Deshalb wurden in Baden-Württemberg bereits im ersten Bewirtschaftungszyklus (2010–2015) für das Neckareinzugsgebiet und im zweiten Bewirtschaftungszyklus (2016–2021) für alle belasteten Wasserkörper in Baden-Württemberg Maßnahmen zur Phosphorelimination in kommunalen Kläranlagen festgelegt, die über die Anforderungen der Abwasserverordnung hinausgehen und auch kleinere Kläranlagen GK 3 betreffen. Darüber hinaus hat die Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg eine landesweite Studie zur Ermittlung von weiteren erforderlichen Maßnahmen durchgeführt. Im Ergebnis wurde deutlich, dass weitere Maßnahmen an kommunalen Kläranlagen erforderlich sind. Betroffen sind nach den derzeitigen Planungen ca. 400 Kläranlagen, bereits ab einer Ausbaugröße von GK 2 (ab 1.000 E).

Zur Umsetzung kann zwischen zwei Varianten gewählt werden (die Werte jeweils als Jahresmittelwert):

- Variante  $P_{ges}$  („Filtervariante“) mit der Anforderung an den Gesamtphosphor ( $P_{ges}$ ) mit 0,5 [mg/l] für Kläranlagen mit der GK 2 und 0,2 [mg/l] für Kläranlagen der GK 3 – GK 5. Zur Einhaltung dieser Werte ist in der Regel eine Filtration erforderlich.
- Variante o- $PO_4$ -P („Fällungsvariante“) mit der Anforderungen Ortho-Phosphat-Phosphor (o- $PO_4$ -P) mit 0,16 [mg/l] und  $P_{ges}$  0,3 [mg/l] für Kläranlagen der GK 3 – GK 5. Die Anforderung an  $P_{ges}$  mit 0,3 [mg/l] ist zum Nachweis einer sehr guten Feststoffabtrennung erforderlich. Für Kläranlagen der GK 2 bleibt es bei der Anforderung wie in der oben genannten Filtervariante.

Unterstützt vom Nachbarschaftsmodell der Kläranlagen-Nachbarschaften des DWA-Landesverbandes Baden-Württemberg soll mit dem P-Leitfaden Betreibern, Behörden und Planungsbüros eine Hilfestellung für Auslegung und Betrieb der gezielten Phosphorelimination aus Abwasser gegeben werden, um die aktuellen wie zukünftigen Anforderungen auf den Kläranlagen wirtschaftlich und betriebsstabil zu erreichen. Zugleich wird mit der Verteilung des Leitfadens an alle Betreiber in der Nachbarschaftsarbeit das Ziel verfolgt, das Betriebspersonal mit der technischen Umsetzung der fachlichen Anforderungen auf betrieblicher Ebene vertraut zu machen und über den Austausch mit den Fachkollegen eine gute fachliche Einschätzung zu erarbeiten.

**Unser Dank gilt im Besonderen dem Autorenteam und den Lehrern der Kläranlagen-Nachbarschaften in Baden-Württemberg in der Vermittlung der technischen Umsetzung und der Lösungsmöglichkeiten.**

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft  
Baden-Württemberg

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	8	5.4.6.2	pH-Wert.....	31	7	Kosten .....	56	11	Wirtschaftlichkeit .....	79
2	Rechtliche Aspekte .....	10	5.4.6.3	Abwasserzusammensetzung .....	31	7.1	Allgemeines.....	56	11.1	Abwasserabgabe.....	79
2.1	Anforderungen an die Ablaufqualität von Kläranlagen .....	10	5.4.6.4	Reaktionsbedingungen .....	31	7.2	Investitionskosten .....	56	11.2	Förderung.....	80
2.1.1	Mindestanforderungen .....	10	5.4.7	Dosierstrategie.....	32	7.3	Betriebskosten.....	57	12	Betriebsergebnisse ausgewählter technischer Anlagen .....	81
2.1.2	Weitergehende Anforderungen .....	10	5.4.7.1	Allgemeines .....	32	7.4	Jahreskosten.....	57	12.1	Vorbemerkung.....	81
2.2	Abwasserabgabe.....	12	5.4.7.2	Besonderheiten bei kleineren Kläranlagen .....	33	8	Erreichbare Ablaufwerte .....	59	12.2	Ausgewählte Betriebsergebnisse .....	82
3	Belastung des Abwassers durch Phosphor und analytische Bestimmung .....	13	5.4.8	Auslegung der Lager- und Dosiereinrichtungen .....	33	8.1	Allgemeine Hinweise.....	59	13	Hinweise zur Verbesserung einer bestehenden Phosphorelimination .....	94
4	Grundlagenermittlung.....	15	5.4.9	Dosierstelle.....	35	8.2	Beispiele zu erreichbaren Ablaufwerten .....	61	14	Hinweise zur Implementierung einer gezielten Phosphorelimination .....	96
5	Phosphorelimination bei der kommunalen Abwasserreinigung .....	16	5.4.9.1	Allgemeines .....	35	8.2.1	Anmerkungen zur statistischen Auswertung.....	61	15	Dank .....	98
5.1	Verfahrenstechnische Möglichkeiten.....	16	5.4.9.2	Dosierung von Fällmittel in den Rücklaufschlamm .....	38	8.2.2	Beispiele.....	63	16	Bildnachweis.....	99
5.2	Ungezielte Phosphorentnahme .....	17	5.4.9.3	Dosierung von Fällmittel direkt vor Filtrationsanlagen .....	38	8.3	Aufschlüsselung des Restphosphors .....	64	17	Literatur .....	100
5.2.1	Ungezielte Phosphorentnahme durch Sedimentation in der Vorklärung .....	17	5.4.10	Technologische Randbedingungen .....	38	9	Phosphorelimination bei Sonderverfahren .....	66	17.1	DWA-Regelwerk .....	100
5.2.2	Ungezielte Phosphorentnahme durch Einbau in die Biomasse.....	18	5.4.10.1	Lagerbehälter.....	38	9.1	Allgemeines.....	66	17.2	Leitfäden zur P-Elimination von unterschiedlichen Bundesländern .....	100
5.3	Erhöhte biologische Phosphatelimination .....	19	5.4.10.2	Dosieranlage.....	42	9.2	Tropfkörper und Rotationstauchkörper .....	66	17.3	Weitere Literatur.....	100
5.3.1	Verfahrenstechnische Einbindung.....	19	5.4.10.3	Rohrleitungen.....	42	9.3	SBR-Anlagen .....	67	10	Betriebsüberwachung .....	72
5.3.2	Bemessungstechnische Voraussetzungen.....	19	5.4.10.4	Automatisierung.....	43	9.4	Biofilter .....	69	10.1	Grundlagen der Analytik.....	72
5.3.3	Abwasserbeschaffenheit und betriebliche Rahmenbedingungen .....	20	5.4.10.5	Auswirkungen auf die Nitrifikation .....	46	9.5	Naturnahe Verfahren .....	69	10.2	Phosphorbilanz .....	72
5.3.4	Einfluss auf die Schlammbehandlung .....	21	5.4.10.6	Zusätzliche Sicherheitshinweise .....	46	9.5.1	Allgemeines .....	69	10.3	Bedeutung der Feststoffabtrennung.....	72
5.3.5	Leistungsfähigkeit der erhöhten biologischen P-Elimination im Betrieb .....	22	5.5	Kombination von chemischer und biologischer Phosphorelimination .....	46	9.5.2	Abwasserteiche.....	69	10.4	Kennzahlen.....	73
5.4	Chemische Fällung.....	23	5.5.1	Bemessung und Betrieb .....	46	9.5.3	Bewachsene Bodenfilter.....	70	10.4.1	Allgemeines .....	73
5.4.1	Fällungsmittel .....	23	5.5.2	Implementierung einer biologischen P-Elimination im laufenden Betrieb .....	47	9.6	Elektrolytische Phosphatentfernung .....	71	10.4.2	$\beta$ -Wert .....	73
5.4.2	Bemessung .....	24	6	Partikulärer Restphosphor und Feststoffrückhalt .....	48	10	Betriebsüberwachung .....	72	10.4.2.1	Allgemeines .....	73
5.4.2.1	Ermittlung der zu fällenden Phosphatfracht ..	24	6.1	Feststoffabtrennung bei der Abwasserreinigung .....	48	10.1	Grundlagen der Analytik.....	72	10.4.2.2	Stöchiometrischer $\beta_{Fall}$ -Wert .....	74
5.4.2.2	Ermittlung der Fällmittelmenge zur Auslegung des Lagerbehälters .....	26	6.1.1	Sedimentationsverfahren .....	48	10.2	Phosphorbilanz .....	72	10.4.2.3	Betrieblicher $\beta$ -Wert .....	74
5.4.2.3	Ermittlung der Fällmittelmenge zur Auslegung der Dosierpumpen und Rohrleitungen .....	26	6.1.1.1	Allgemeines .....	48	10.3	Bedeutung der Feststoffabtrennung.....	72	10.4.2.4	$\beta$ -Wert als Benchmark .....	74
5.4.3	Schlammanfall für Simultan- und Nachfällung .....	27	6.1.1.2	Sedimentationsverfahren/Absetzbecken ohne Einbauten.....	48	10.4	Kennzahlen.....	73	10.4.3	$K_p$ -Wert.....	76
5.4.4	Säurekapazität.....	28	6.1.1.3	Sedimentationsverfahren mit Einbauten .....	48	10.4.1	Allgemeines .....	73	10.5	Hinweis zur Eigenkontrolle.....	76
5.4.5	Auswirkungen auf das Gewässer.....	29	6.1.1.4	Auftriebsverfahren (Flotationsbecken).....	48	10.4.2	$\beta$ -Wert .....	73	10.6	Qualität der gelieferten Fällmittel .....	77
5.4.5.1	Aufsatzung des Abwassers durch Zugabe von Fällungsmittel .....	29	6.1.2	Filtrationsverfahren.....	49	10.4.2.1	Allgemeines .....	73			
5.4.5.2	Emission von Eisen und Aluminium in das Gewässer .....	31	6.1.2.1	Allgemeines .....	49	10.4.2.2	Stöchiometrischer $\beta_{Fall}$ -Wert .....	74			
5.4.6	Einflussfaktoren auf die Fällung .....	31	6.1.2.2	Raumfilter .....	49	10.4.2.3	Betrieblicher $\beta$ -Wert .....	74			
5.4.6.1	Allgemeines .....	31	6.1.2.3	Flächenfilter .....	50	10.4.2.4	$\beta$ -Wert als Benchmark .....	74			

# 1 Einleitung

Ohne Phosphor ist kein Leben möglich, alle Lebewesen und Pflanzen benötigen dieses Spurenelement. Es wird von Menschen wie Tieren über die Nahrung aufgenommen und ist in deren Ausscheidungen wieder enthalten. Zudem wird es in einer Vielzahl industrieller Produkte verwendet, in der Landwirtschaft ist Phosphor zudem essentieller Bestandteil der eingesetzten Düngemittel und ein maßgebliches Element für die Ertragskraft landwirtschaftlicher Produktion.

Phosphor ist neben Stickstoff das wichtigste Spurenelement im Ökosystem und kann in seiner Wirkung nicht durch andere Stoffe ersetzt werden. Auch der Mensch benötigt Phosphor, entweder zum Aufbau der Knochen, als Anteil im Blut oder als Energieträger bei Stoffwechselprozessen und nimmt den täglichen Bedarf (empfohlen: 700 mg/Tag für Erwachsene [42]) über die Nahrung auf.

Phosphor gelangt mit dem Schmutzwasser aus Haushaltungen sowie den Abwässern aus Gewerbe und Industrie in die Kläranlage. Bei Regenereignissen werden von befestigten Flächen die dort über die Luft eingetragenen partikulären Anteile (Staub etc.) abgespült und finden sich damit auch in der öffentlichen Kanalisation wieder. Je nach vorhandenem Entwässerungsverfahren (Misch- oder Trennsystem) und Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung gelangen unterschiedlich hohe Anteile davon auch direkt in das Gewässer. Auf der Kläranlage wird in der mechanischen und biologischen Abwasserreinigung der Phosphor in der Vorklärung wie auch in der biologischen Stufe entnommen und ist im Primärschlamm und Überschussschlamm enthalten. Die Entnahmewirkung ist dabei von der vorhandenen Verfahrenstechnik abhängig.

Im Laufe der Zeit hat der Gesetzgeber die Anforderungen beim Pflanzennährstoff Phosphor an die Abwasserreinigung erhöht. Eine Überdüngung der Gewässer und das damit einhergehende Algenwachstum (Eutrophierung) sollte vermieden werden, weil sich die daraus ergebenden negativen Folgen (Sauerstoffdefizit) auf Fische und andere Wasserorganismen auswirken. Die einzuhaltenden Ablaufwerte konnten damit in einer Vielzahl von Kläranlagen nur durch eine zusätzliche chemische Fällung erreicht werden.

Bei regional erhöhten Anforderungen muss je nach den spezifischen Randbedingungen vor Ort die Wirkung der Fällungsverfahren möglicherweise durch eine Kombination mit Technologien zur weitergehenden Feststoffentnahme kombiniert werden.

In die Gewässer gelangt aber nicht nur das in technischen Anlagen abgeleitete kommunale Abwasser, sondern auch Abflüsse von Flächen, die nicht an das Kanalnetz angeschlossen sind. Hier sind insbesondere intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen zu nennen. Die dort eingesetzten Düngemittel könnten mit ausgewaschen werden und somit das Gewässer belasten.

Der im Gewässer abgeführte Anteil des Phosphors ist durch die dortige Verdünnung und den Abfluss in die Weltmeere einem möglichen Kreislauf des Nährstoffes zudem entzogen. Da Phosphor aus Ablagerungen und Einschlüssen durch Abbau von Phosphaterzen in der Erdkruste gewonnen werden muss und diese Vorkommen nach heutigem Wissensstand endlich sind, ist es mittelfristig sinnvoll, diese Ressource zu nutzen, indem Phosphor aus der Abwasserbehandlung zumindest teilweise wieder recycelt wird. Der Gesetzgeber hat mit der Novellierung der Klärschlammverordnung [24] die notwendigen Randbedingungen hierzu geschaffen. Im landwirtschaftlichen Bereich sind unabhängig davon der Einsatz bedarfsgerecht zu optimieren und der mögliche Austrag an Phosphor in die Gewässer auf ein Mindestmaß zu begrenzen.

Die bisherigen Modellierungen und Untersuchungen in Baden-Württemberg [71], in anderen Bundesländern und auf Bundesebene zeigen jedoch auf, dass die Abwasserbehandlung – und hier insbesondere die Kläranlagen – ein so bedeutender Eintragspfad ist, dass Minderungsmaßnahmen hier unbedingt erforderlich sind, um der Erreichung eines guten ökologischen Zustands in unseren Wasserkörpern näher zu kommen bzw. sogar zu erreichen.

Das Land Baden-Württemberg hat zusammen mit Österreich und der Schweiz in der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) schon eindrucksvoll gezeigt, wie durch die vereinbarte weitergehende Phosphorelimination in kommunalen Kläranlagen eine Eutrophierung des Gewässers erfolgreich abgewendet werden kann. Der Bodensee als größter Trinkwasserspeicher und Naherholungsgebiet war so stark mit Phosphor belastet, dass bei einer weiteren Zunahme der Konzentrationen wie dies im Zeitraum von 1960 – 1975 der Fall war, dessen Eutrophierung nicht zu verhindern gewesen wäre. Die nachhaltige Wirkung der Maßnahmen ist eindeutig (vgl. Abbildung 1) [62].

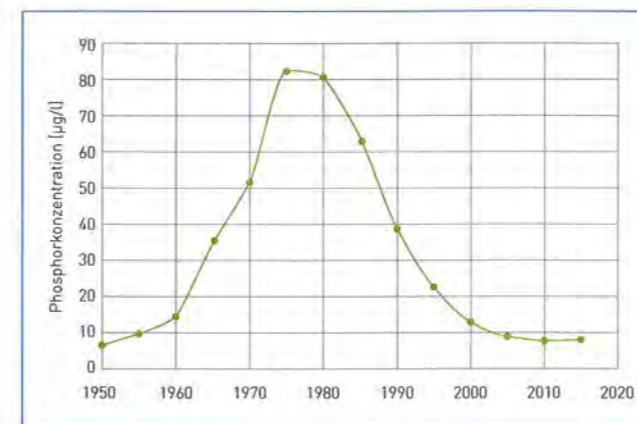


Abbildung 1: Entwicklung der Phosphorkonzentration im Bodensee (nach [62])

Jeder Kläranlagenbetreiber kann dazu beitragen, den Phosphoreintrag in sein Gewässer so gering wie möglich zu halten, indem er die vorhandenen Randbedingungen optimal nutzt. Zielsetzung könnte dabei sein, ohne wesentlich höheren technischen und finanziellen Aufwand stabilere Ablaufwerte und geringere Restkonzentrationen zu erreichen.

Dieser Leitfaden soll Betreibern, Behörden und Planungsbüros eine Hilfestellung für Auslegung und Betrieb einer weitergehenden Phosphorelimination bieten und als Grundlage für die Fortbildung in den DWA-Kläranlagennachbarschaften dienen. Er ersetzt nicht das DWA-Regelwerk, sondern soll konkrete Beispiele und Empfehlungen bieten, die aus der betrieblichen Praxis für interessiertes Fachpersonal zusammengestellt wurden. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass sehr niedrige Phosphorkonzentrationen im Ablauf von Kläranlagen nur durch die Optimierung und Modifizierung bestehender Prozesse und ggf. auch durch die Einrichtung zusätzlicher Verfahrensstufen erreicht werden können.

## Die verfahrenstechnische Verantwortung verbleibt immer bei Planer und Betreiber.

Hinweise zu Funktionsstörungen bei der Phosphatelimination sind nur begrenzt Bestandteil des Leitfadens und [30] zu entnehmen.