

Online-Expertenforum Phosphorelimination – Optimierung auf Kläranlagen, 22. Juli 2020

Wie man Phosphor aus dem Abwasser bekommt

Auf vielen Kläranlagen in Baden-Württemberg gehört es bereits zum Alltag, Phosphor aus dem Abwasser zu eliminieren. Doch nach wie vor gelangen noch immer zu große Mengen dieses Pflanzennährstoffs in die Gewässer, so dass dort Überdüngung droht. Daher verschärfen sich die Anforderungen nun auch für mittlere und kleinere Anlagen, die Gewässergüte durch einen verringerten Phosphoreintrag zu verbessern. Im DWA-Expertenforum Phosphorelimination, das wegen der Coronakrise online durchgeführt wurde, ging es um die Möglichkeiten, wie sich dieses Ziel am besten erreichen lässt. Das Interesse war groß, wie sich auch an den ausführlichen Diskussionen über die Vorträge zeigte.

Klaus Zintz

In seiner Begrüßung erinnerte Boris Diehm, der Vorsitzende des DWA-Landesverbandes, dass in Baden-Württemberg etwa zwei Drittel der Kläranlagen bereits eine Einrichtung zur Phosphorelimination haben. Damit verfügt das Land über einen großen Erfahrungsschatz. Der Erfolg lässt sich insbesondere am Bodensee sehen: Durch die massive Reduktion des Phosphorgehalts in den Zuflüssen konnte der Gehalt dieses bedeutsamen Pflanzennährstoffs im See wieder auf natürliche Verhältnisse reduziert werden. Dank dieser Maßnahme hat der See wieder „eine tolle Wasserqualität“, wie es Diehm formulierte. Allerdings erfordern nun die ambitionierten Ziele der Wasserrahmenrichtlinie auch andernorts, den Phosphoreintrag weiter zu reduzieren, um einen guten Gewässerzustand zu erreichen.

Dies gehe nur mit einer guten Hardware, also Technik, aber auch eine gute Steuerung der Technik, also die passende Software, sei wichtig, so Diehm. Unabdingbar sei auch gut ausgebildetes Betriebspersonal, das mit der Technik umgehen kann und sie beherrscht. In diesem Zusammenhang verwies Diehm auf den im März 2019 erschienenen „Leitfaden Phosphorelimination: Optimierung auf Kläranlagen“. Er betonte, dass es kein „Programm aus der Schublade“ geben könne, sondern für die einzelnen Kläranlagen individuelle Lösungen gefunden werden müssten, die optimal an die jeweiligen Gegebenheiten anzupassen seien. Insbesondere kleinere und mittlere Anlagen seien hier gefordert, die sich bisher nicht mit dieser Frage auseinandersetzen mussten. „Wie schaffen wir es, die neuen Zielwerte zu erreichen?“ fragte Diehm. Die Antworten darauf gaben dann die Experten des DWA-Forums.

Warum den Phosphor-Eintrag begrenzen?

Vor den Erläuterungen zu den technischen Möglichkeiten, den Tipps und Erfahrungsberichten stand eine Bestandsaufnahme. Dabei referierten Ministerialrat Joachim Eberlein vom baden-württembergischen Umweltministerium und Christian Haile von der Landesanstalt für Umwelt über die Bedeutung von Phosphor für die Gewässerqualität – und, daraus abgeleitet, die Anforderungen an die Ablaufqualität von Kläranlagen im Hinblick auf die Phosphorkonzentrationen.

Haile erinnerte zunächst an die Europäische Wasserrahmenrichtlinie mit dem Ziel, eine gute Gewässerqualität zu erreichen. Neben anderen Komponenten hat Phosphor dabei als wichtiger Nährstoff Auswirkungen auf die pflanzliche Lebewelt, also Wasserpflanzen (Makrophyten), die am Gewässerboden lebenden Algen (Aufwuchsalgen, Phytobenthos) sowie das pflanzliche Plankton (Phytoplankton) – alles Indikatoren der Gewässergüte. Die schlechteste Zustandsklasse ist dabei maßgebend für die Bewertung des Wasserkörpers.

In Baden-Württemberg ergab die Wasserkörperbewertung mit Hilfe von Makrophyten und Phytobenthos aus dem Jahr 2015/2017 einige „gute“ und sogar ein „sehr gutes“ Gebiet am Hochrhein, doch der größte Teil der Gewässer wurde als „mäßig“ eingestuft. „Hier gibt es Handlungsbedarf“, betonte Haile und fügte an, dass man im Land bei der Erstellung eines entsprechenden Abwasser-Handlungskonzepts bereits bei der zweiten Stufe zur weitergehenden Elimination von Phosphor angekommen sei. Die bereits nahezu abgeschlossene erste Stufe des 2014 gestarteten Konzepts sah die Optimierung der P-Elimination bei Kläranlagen der Größenklassen drei bis fünf vor.

Die Orientierungswerte für die Oberflächengewässer sehen beim Gesamtphosphor einen Wert von 0,1 Milligramm pro Liter vor und für den ortho-Phosphat-Phosphor 0,07 Milligramm pro Liter beziehungsweise 0,05 Milligramm pro Liter in den Gewässern des Alpenvorlandes. Nur wenn diese Werte im Gewässer eingehalten werden, lässt sich eine gute ökologische Gewässerqualität einhalten. Daran orientieren sich dann auch die Phosphormengen, die von den Kläranlagen mit dem gereinigten Abwasser in die Gewässer eingeleitet werden dürfen. Maßgeblich ist ein sogenannter Belastungsquotient, der sich aus den Ablaufwerten für Phosphor berechnen lässt. „Liegt dieser Quotient über 0,5 und ist ein Defizit in der Gewässergüte insbesondere bei Makrophyten und Phytobenthos festzustellen, dann stellt sich eine Maßnahmenkulisse ein“, betonte Haile. Er ging auch noch kurz auf die geplanten Verbesserungen bei Regenwasseranlagen ein, die für einen fast ebenso großen P-Eintrag wie die Kläranlagen verantwortlich sind.

Die Situation in Baden-Württemberg

Was das konkret bedeutet, erläuterte dann Joachim Eberlein. Um Ablaufkonzentrationen von 0,2 Milligramm pro Liter Gesamtphosphor zu erreichen kommen nur zwei Varianten in Betracht. Welche Variante ausgewählt wird, wird im Dialog mit der Wasserbehörde und dem Betreiber entschieden: den Phosphor durch Filter zu eliminieren oder durch Fällung. Die Filtervariante hat ab Größenklasse drei die Anforderung von 0,2 Milligramm pro Liter für Gesamtphosphor. Die Fällungsvariante zielt auf 0,3 Milligramm pro Liter für Gesamtphosphor und auf 0,16 Milligramm pro Liter für den pflanzenverfügbaren o-Phosphat-Phosphor ab – gemessen als Jahresmittelwerte. Eberlein fügte an, dass die Filtervariante insbesondere dann zum Einsatz kommen sollte, wenn eine weitergehende Reinigungsstufe zur Elimination von Spurenstoffen angestrebt werde. Denn alle Verfahren zur Spurenstoffelimination benötigt eine Abwasserfiltration. Die Fällungsvariante wiederum soll einen schnellen Einstieg in die Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen ermöglichen. Daher sollte die Inbetriebnahme bis spätestens Ende 2024 erfolgen. Ist eine Filteranlage vorgesehen, sollte mit ihrem Bau ebenfalls bis Ende 2024 begonnen werden. Abschließend informierte Eberlein über die bestehenden Fördermöglichkeiten mit einem Bonus von 20 Prozent – und die Voraussetzungen, die dafür erforderlich sind. So ist beispielsweise bei der Filtervariante der Förderbonus an die Umsetzung der Elimination von Spurenstoffen gebunden. Und bei der Filtervariante muss der Antrag für die Förderung bis zum 1. April 2022 eingegangen sein. Betroffen sind insgesamt rund 400 Kläranlagen im Land – was gerade in Coronazeiten eine beachtliche Herausforderung für Betreiber, Planer und Wasserbehörden darstellt. Der Lohn der Mühe: „Mit der Umsetzung wird die emittierte P-Fracht in die Gewässer um etwa 240 Tonnen pro Jahr reduziert“, berichtete Eberlein – und betonte, dass „damit die Kläranlagen ihren Beitrag zur Erreichung des guten ökologischen Zustands leisten“. Damit würde die P-Elimination in Verbindung mit dem Ausbau der Spurenstoffelimination den Gewässerschutz im Land einen „ganz großen Schritt“ voranbringen.

Wie es in der Realität in Baden-Württemberg aussieht, erläuterte Dr.-Ing. Tobias Morck vom Karlsruher KIT anhand der Auswertung des Leistungsvergleichs 2019 in Baden-Württemberg. Im Land nimmt seit Anfang der 1990er Jahre die Anzahl der Kläranlagen kontinuierlich ab. Die Leistungsfähigkeit wird allerdings immer besser – und damit die P-Elimination. Ende 2019 waren 624 von 896 Anlagen damit ausgerüstet – wobei verschiedene Verfahren zum Einsatz kommen. Der weitaus größte Teil verfügt über eine physikalisch-chemische Elimination, ferner gibt es die Kombination aus chemisch-physikalischer und biologischer Elimination (BioP) sowie die reine Bio-P, die aber eher selten vor allem bei kleineren Anlagen durchgeführt wird. Die Unterschiede in der Eliminierungsleistung für den Gesamtphosphor sind beachtlich: Sie reichen von 66 Prozent bei der Größenklasse eins bis zu 95,4 Prozent bei Größenklasse fünf. Erfreulich ist, dass es im Schnitt über alle erfassten Anlagen 93,3 Prozent sind. Von den 600 Tonnen Gesamtphosphor pro Jahr, welche die Kläranlagen verlassen, werden insgesamt 143 Tonnen von den Größenklassen eins bis drei in die

Gewässer eingeleitet. Ein wichtiges Fazit der Auswertung: Aus rund 460 Kläranlagen ohne und 15 Kläranlagen mit Filtration der Größenklassen zwei bis fünf sind die Phosphoreinträge weiter zu verringern, um die Zielwerte zu erreichen. Und: Die Differenz der mittleren Ablaufkonzentration zwischen Klärwerken mit und ohne Filtration liegt bei etwa 0,1 Milligramm Gesamtphosphor pro Liter.

Verfahrenstechnik: Wie sich Phosphor eliminieren lässt

Der zweite Vortragsblock war den verfahrenstechnischen Möglichkeiten der Phosphoreliminierung gewidmet. Hier berichtete Dr.-Ing. Werner Maier von der iat-Ingenieurberatung in Stuttgart über den derzeitigen Stand der biologischen P-Elimination. Dr.-Ing. Klaus Jedele vom Ingenieurbüro Jedele und Partner in Rellingen erläuterte, wie sich die chemische Fällung weiter optimieren lässt. Und Prof. Dr.-Ing. Ulrike Zettl von der Hochschule Biberach widmete sich der Frage, wie sich die Elimination von Phosphor und Spurenstoffen kombinieren lässt und welche Folgen eine Teilstrombehandlung hat.

Eine erhöhte biologische Phosphorelimination (BioP) wird von bestimmten Bakterienstämmen geleistet, die über das für das Leben der Bakterien notwendige Maß hinaus Phosphor aufnehmen und in Form von Polyphosphaten speichern können. Diese PAO (Phosphorus Accumulating Organisms) genannten Mikroorganismen lassen sich durch eine entsprechende Verfahrensführung mit einem Wechsel von anaeroben und aeroben Zuständen mit einem Wechsel von P-Rücklösung und P-Aufnahme etablieren. Dabei ist ein enger Zusammenhang mit der Stickstoffelimination gegeben. In seinem Vortrag erläuterte Dr.-Ing. Werner Maier auch konkrete Vorschläge, wie der Betrieb im Sommer und im Winter für die BioP bemessen sein sollte. Allerdings stellte er auch klar, dass mit einer reinen BioP die künftig geforderten Ablaufkonzentrationen für Phosphor nicht zu erreichen sind und dieses Verfahren eigentlich nur unterstützend zu einer chemisch-physikalischen P-Elimination eingesetzt werden kann. Dabei gibt es eine Reihe von Randbedingungen, welche die Bakterien der Bio-P begünstigen, etwa leicht abbaubare Kohlenstoffverbindungen oder eine sehr gute Stickstoffelimination. Meiers Empfehlung: „Die BioP-Kapazität maximal ausschöpfen und dann den Rest mit der chemisch-physikalischen Fällung organisieren.“

Im Hinblick auf das Verbesserungspotenzial bei der Fällung stellte Dr.-Ing. Klaus Jedele die Frage, ob es noch besser geht – und gab auch gleich die Antwort: „Für viele Kläranlagen – ja. Entweder kann man Fällmittel einsparen oder die Ablaufwerte verbessern.“ Vorfällung, Simultanfällung, Nachfällung, Fällung mit und ohne Filtration: Bei all diesen Verfahren geht es künftig darum, mit möglichst wenig Fällmittel die neuen Anforderungen für den P-Ablauf zu erfüllen. Dies sei, so Jedele, möglich, wenn die Fällmittel ausreichend dosiert seien, der Ablauf des Nachklärbeckens wenig abfiltrierbare Stoffe aufweise und die Filtration sehr gut die Fällungsprodukte

zurückhalte. Das hänge auch von der Form des Phosphors ab. Nach seinen Worten lässt sich ortho-Phosphat-Phosphor durch BioP und/oder chemische Fällung gut entfernen, während organischer Phosphor, etwa aus Industrieabwasser, in Einzelfällen möglicherweise nicht durch Fällmittel entnommen werden kann. Daher muss der Betreiber wissen, wie sich der Phosphor in seinem Klärwerk zusammensetzt. Wie dies konkret aussehen kann, erläuterte Jedele am Beispiel einer kleinen Kläranlage mit 2000 Einwohnerwerten und einer großen Anlage mit 200.000 Einwohnerwerten. Und am Beispiel einer Anlage mit 50.000 Einwohnerwerten diskutierte er auch die Folgen einer Erweiterung durch einen Filter.

Zudem ging er noch auf verschiedene Möglichkeiten ein, die Menge des Fällmittels zu reduzieren. So lassen sich zum Beispiel bis zu 40 Prozent einsparen, wenn statt an nur einem Punkt an zwei Punkten gefällt wird. Vor allem bei großen Anlagen ist auch eine Regelung sinnvoll, bei der das Fällmittel abhängig vom P-Gehalt zudosiert wird und sich damit P-Fällmittel sparen lässt. Eine solche Regelung lohne sich ab etwa 30.000 Einwohnerwerten, sagte Jedele, fügte aber auch gleich an, dass jeder Einzelfall geprüft werden müsse und detaillierte Erhebungen immer notwendig seien.

Kombi-Elimination von Phosphor und Spurenstoffen

Mit der Möglichkeit, dass sich die Filtration bei der Elimination sowohl von Spurenstoffen als auch von Phosphor einsetzen lässt, beschäftigte sich Prof. Dr.-Ing. Ulrike Zettl. Sie erinnerte daran, dass es in Baden-Württemberg schon mehrere Filtrationsanlagen etwa im Bodenseegebiet und im Karstgebiet der Schwäbischen Alb gibt. Dabei fungiert die Abwasserfiltration als Teilkomponente der Spurenstoffelimination entweder mit pulverisierter Aktivkohle (PAK), granulierter Aktivkohle (GAK) oder per Ozonung. Anschließend ging die Expertin auf die Bemessung dieser Filtration mit verschiedenen Filtertypen ein, etwa Raumfilter oder Tuchfilter. Je nachdem, wofür die Filtrationsstufe genutzt wird, müssen die Bemessungsgrundlagen verändert werden. Anhand verschiedener Szenarien für die Mengen unterschiedlicher P-Fraktionen im Abwasser erläuterte sie die entsprechenden Anforderungen an die Abwasserfiltration bei der P-Elimination und die Kombination zwischen Filtration und Fällung. Prof. Dr.-Ing. Ulrike Zettl verwies auch darauf, dass viele Anlagen zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg im Teilstrom betrieben werden. Sie sind also auf einen bestimmten maximalen Zufluss ausgelegt, und wenn das Wasseraufkommen zu hoch wird, wird ein Teil des Abwassers an der Anlage vorbeigeführt. In einer als Beispiel angeführten Anlage passieren im Jahresmittelwert 85 Prozent der Jahresabwassermenge die Spurenstoffeliminierung. Da würden auch die P-Anforderungen eingehalten, weil der Gesamtphosphor bereits im Ablauf der Nachklärung niedrig sei. Sie mahnte aber auch, dass bei anderen Kläranlagen der Teilstrombetrieb im Hinblick auf die P-Anforderungen kritisch werden könnte. Ihr Fazit:

„Auch wenn eine stufenweise Realisierung von weitestgehender P-Elimination und Spurenstoffelimination angestrebt wird, sind beide Verfahrenskonzepte zwingend aufeinander abzustimmen und in die bestehende Anlage zu integrieren.“ Sie wies zudem darauf hin, dass auf eine stabile Simultanfällung und eine hohe Abtrennleistung für die abfiltrierbaren Stoffe in der Nachklärung geachtet werden müsse, damit die hohen Anforderungen an die P-Elimination mit Hilfe einer Filtrationsstufe eingehalten werden können.

Erfahrungen aus der Praxis

Der dritte Vortragsblock war der praktischen Umsetzung der P-Elimination gewidmet. Wie dies auf kleinen Kläranlagen der Größenklasse eins bis drei – also bis 10.000 Einwohnerwerten – am besten funktionieren kann, erläuterte Andreas Ebermeier von der Heilbronner Niederlassung von Weber-Ingenieure. Die zur Verfügung stehenden Werkzeuge – chemische Fällung, erhöhte biologische P-Elimination und Abwasserfiltration – müssen bei kleinen Anlagen mit den zur Verfügung stehenden personellen und strukturellen Gegebenheiten in Einklang gebracht werden. Die Investitionskosten liegen bei den drei von Ebermeier beschriebenen Ausführungsbeispielen hinsichtlich der Bautechnik zwischen 17.000 und 46.000 Euro netto. Für die technische Ausrüstung fielen Kosten in Höhe von 44.000 Euro bis 90.000 Euro an, ebenfalls netto. „Insgesamt muss bei Anlagen von etwa 3000 bis 10.000 Einwohnerwerten mit 60.000 bis 160.000 Euro Brutto-Investitionskosten gerechnet werden“, fasste Ebermeier zusammen und ergänzte: „Ein höherer Aufwand bei baulichen Maßnahmen sowie die Automation führt zwangsläufig zu einer ‚Kostenexplosion‘ des Kennwertes Euro pro Einwohner.“ Daher sei im Vorfeld der Ausführung eine Prüfung der in Frage kommenden Varianten sowohl wirtschaftlich als auch unter betrieblichen Aspekten erforderlich. Dabei könnten auch ohne aufwendige Automatisierung die Ablaufwerte über eine konstante Dosierung erreicht werden.

Mit den Kennzahlen, die sich bei der P-Elimination mit ihrer Effizienz und ihrer Wirtschaftlichkeit verbinden, beschäftigte sich Prof. Dr.-Ing. Peter Baumann von der Stuttgarter Hochschule für Technik. Maßgeblich ist hier zum einen der K_p -Wert, also der Wert für die Phosphor-Tagesfracht im Zulauf der Kläranlage bezogen auf den Metallbedarf pro Tag. Zum anderen gibt es den Beta-Wert ($\beta_{\text{Fäll}}$ -Wert), der sich über eine Formel berechnet, in die der Bedarf an Eisen oder Aluminium für die Fällung, der chemisch eliminierte Phosphor und die Molmassen für Phosphor und das Fällmittel eingehen. Auf die Frage, ob solche Kennzahlen nur einen Zahlenfriedhof darstellen oder vielmehr als Benchmark gesehen werden müssen, gab Baumann eine klare Antwort: „Definitiv als Benchmark.“ Denn mit Hilfe der Zahlen lässt sich die Leistungsfähigkeit und die Wirtschaftlichkeit verbessern, weil dann das Fällmittel optimal eingesetzt werden kann, unter anderem weil weniger Fällmittel benötigt



wird und damit auch bei der Behandlung und Entsorgung des Klärschlammes Einsparungen gegeben sind.

Abschließend berichtete Thomas Hauck vom Hauptklärwerk Mühlhausen in Stuttgart über die dort gemachten Erfahrungen und Probleme mit der P-Elimination. Die Ausbaugröße der Anlage liegt bei 1.200.000 Einwohnerwerten, die P-Elimination wird durch eine biologische P-Elimination und durch eine Zweipunktfällung mit Eisensalzen bewältigt. Haucks Fazit: „Wir sind technisch auf einem guten Weg, die neuen Zielwerte einzuhalten.“ Dabei könne die BioP unterstützend wirken, sie könne aber auch bei der Schlammbehandlung zu Nachteilen und erhöhten Aufwendungen führen.