

Abwasser

Kommunale Kläranlage

Um Abwasser wieder verwenden bzw. in die Umwelt ableiten zu können muss es zunächst in Kläranlagen in einem mehrstufigen Prozess gereinigt werden. Die Reinigungsstufen einer Kläranlage befinden sich zwischen Zu- und Auslauf der Anlage und lassen sich in drei größere Bereiche unterteilen: die mechanische, die biologische und die chemische Reinigung. Eine zusätzliche Komponente bildet die Aufbereitung des während der Reinigung anfallenden Schlammes. In allen Bereichen bedarf es der Kontrolle der ablaufenden Prozesse, um im Zweifelsfall korrigierend eingreifen zu können. Dieses Monitoring kann durch die Erfassung entsprechender Parameter gewährleistet werden. Entscheidend für die Überwachung sind dabei die Messpositionen für die einzelnen Parameter.

Zulauf

Was wird im Kläranlagenzulauf überwacht?



So ist im Bereich des Zulaufs inklusive der mechanischen Reinigungsstufe (Rechen, Sandfang, Ölfilter, etc.) eine Untersuchung des eingehenden Abwassers notwendig, um anfängliche Gehalte an Nährstoffen, organische Belastung, oder Salzfrachten zu ermitteln. Dazu können mit Hilfe von optischen Sonden Summenparameter (z.B. SAK, CSB, BSB), oder mit spezifischen Sensoren einzelne Parameter (z.B. pH, LF) gemessen werden. Die Optimierung des Schlammabzugs im Vorklärbecken, das die mechanische Stufe abschließt, kann durch die Schlammspiegelmessung erreicht werden.

Biologie, Chemie & Reinigung

Wie funktioniert die biologische Reinigung?



Die Eliminierung des hauptsächlich in Ammonium gebundenen Stickstoffs findet durch biochemische Reaktionen statt. Unter aeroben Bedingungen wird Ammonium durch Nitrifikation über Nitrit zu Nitrat oxidiert. Nach der Rückführung des Abwassers in das anaerobe Becken wird das Nitrat durch Denitrifikation zu elementarem Stickstoff reduziert. Der beschriebene Prozess findet also oftmals umgekehrt zur baulichen Anordnung der Becken statt, wodurch Teile des Abwassers den Prozess zweimal durchlaufen. Dieses als Belebtschlammverfahren bezeichnete Vorgehen erfordert also die Rückführung des anfallenden Nitrats aus dem aeroben Becken in das anaerobe Be-

cken. Die Prozessüberwachung konzentriert sich hier also auf die Erfassung von Ammonium (NH_4), Nitrat (NO_3) und Sauerstoff (O_2). Dazu bieten sich unser stabiler ISE Sensor und der kalibrierfreie Sauerstoffsensor an. Die zusätzliche Kontrolle der Trockensubstanz (TS) im Belebtschlamm ist hilfreich, da ein optimaler Anteil von Trockensubstanz zu erhöhter Nitrifikation, Denitrifikation und Phosphat-Elimination führt. Einsetzbar sind hier neben unserem Feststoffsensor auch der Trübungssensor. Beide Sensoren erzeugen durch ihre integrierte automatische Ultraschallreinigung. Für die gleichzeitige Erfassung von NO_3 , TS und Kohlenstoffparametern wie CSB, bieten sich unsere optischen Spektralsensoren an.

Was ist Bio-P?

Bei einer gegebenenfalls biologischen Eliminierung des Phosphors befindet sich vor der biologischen Reinigung ein sogenanntes Bio-P Becken. Unter anaeroben Bedingungen wird der Phosphoranteil in Form von Phosphat zunächst erhöht, da die vorhandenen Bakterien unter Stress stehen und ihr gespeichertes Phosphat an die Umgebung abgeben. Nach der Überführung in das sauerstoffhaltige Becken nehmen die Bakterien mehr Phosphat auf als sie zuvor abgegeben haben. Dieses Verhalten wird als „luxury uptake“ bezeichnet. Entscheidend für diesen Prozess ist neben der Sauerstoffarmut auch die Nitratarmut und die Verfügbarkeit von leicht abbaubarem organischem Substrat. Da für den gesamten Prozess der biologischen Reinigung die jeweiligen Sauerstoff-



a xylem brand

konzentrationen von entscheidender Bedeutung sind, ist die Erfassung dieses Parameters mittels eines Sauerstoffsensors unverzichtbar. Im abschließenden Nachklärbecken kann der Schlammabzug erneut mit Hilfe einer Schlammspiegelmessung gesteuert werden.

Wie funktioniert die chemische Phosphat-Eliminierung?

Die chemische Reinigung beruht auf der Zugabe von Fällmitteln. Um die Dosierung z.B. der Aluminium- oder Eisen-Kationen regeln zu können, ist die Ermittlung des nach der biologischen Stufe noch zu fällenden Ortho-Phosphats mit Hilfe eines PO_4 -Analysators empfehlenswert. Selbst bei einem sehr gut funktionierenden Bio-P-Becken (siehe oben) ist dieses chemische Verfahren meist anzutreffen, da das Ortho-Phosphat nicht vollständig durch Bio-P abgebaut werden kann.

Sedimentation



Die Sedimentation des Klärschlammes findet auf nahezu jeder Kläranlage in sogenannten Vor- und Nachklärbecken statt. Die meist kreisrunden Becken sind vor und nach der biologischen Reinigungsstufe angesiedelt. Der sich absetzende Schlamm wird als Primärschlamm (Vorklärbecken) bzw. Sekundärschlamm (Nachklärbecken) bezeichnet. Der Primärschlamm ist dabei deutlich inhomogener in seiner Zusammensetzung als der Sekundärschlamm.

Der sich absetzende Schlamm wird in bestimmten Intervallen oder auch kontinuierlich über Pumpen abgezogen. Der Primärschlamm wird dabei vollständig der Schlammbehandlung zugeführt. Der Sekundärschlamm (=Belebtschlamm) wird in Teilen in die biologische Reinigungsstufe zurückgepumpt und der Rest als Überschussschlamm zusammen mit dem Primärschlamm in die Schlammbehandlung gebracht.

Die Überwachung des Schlammspiegels kann in beiden Becken mit Hilfe des Schlammspiegelsensors IFL 700 IQ überwacht werden. Der große Vorteil dieser kontinuierlichen Überwachung ist, dass einerseits Pumpenzeiten reduziert und andererseits der für die Anlage sehr kritische Schlammabtrieb verhindert werden können.

4. Reinigungsstufe

Hintergrund



Mit Mikroverunreinigungen belastete Oberflächen- und Grundwässer rücken seit einiger Zeit immer mehr in den Fokus der Öffentlichkeit. Mikroverunreinigungen, die auch als Spurenstoffe oder Mikroschadstoffe bezeichnet werden, sind organische Rückstände, die von synthetischen Verbindungen freigesetzt werden. Dazu zählen Stoffe wie Röntgenkontrastmittel, Medikamente, Hormone, Pflanzenschutzmittel sowie Industriechemikalien, aber auch Alltagsprodukte wie Kosmetika und Haushaltschemikalien.

Auch wenn Mikroverunreinigungen nur in sehr geringen Konzentrationen von ng/l bzw. µg/l in Gewässern nachgewiesen werden können, wurden einige dieser Stoffe als potentiell gewässer- bzw. gesundheitsgefährdend eingestuft. In Gewässern überschreiten viele Mikroverunreinigungen die Konzentrationen der in der EU-Wasser-rahmenrichtlinie gesetzlich vorgeschriebenen Umweltqualitätsnormen. Ihr Eintrag in Oberflächengewässer erfolgt größtenteils über die Kanalisation und Kläranlagen, da sie mit konventionellen Kläran-

lagenprozessen wie mechanischer und biologischer Reinigung, nicht ausreichend abgebaut werden können.

Auf Kläranlagen bietet die vierte Reinigungsstufe Mikroverunreinigungen Paroli

Für einen gezielten und wirkungsvollen Abbau von Mikroverunreinigungen in Kläranlagen wird eine neue Verfahrensstufe, die sogenannte vierte Reinigungsstufe, benötigt. In der Schweiz trat Anfang 2016 ein neues Gewässerschutzgesetz in Kraft, das die vierte Reinigungsstufe für große Kläranlagen (> 80.000 EW) bzw. Kläranlagen an besonders belasteten Gewässern vorschreibt und zum Schutz der Gewässer und der Trinkwasserressourcen beitragen soll. Betroffen sind ca. 100 der 700 Schweizer Kläranlagen, die in den kommenden 20 Jahren mit einer vierten Reinigungsstufe ausgestattet werden. Das Umweltbundesamt hat 2014 in einem Positionspapier gefordert, dass in Deutschland auf Kläranlagen der Größenklasse 5 und kleineren Kläranlagen, die in saubere, belastungsempfindliche Gewässer einleiten, eine vierte Reinigungsstufe einzuführen ist. Eine gesetzliche Grundlage zur Einführung der vierten Reinigungsstufe, wie in der Schweiz, gibt es jedoch so in Deutschland noch nicht.

Derzeit nehmen die Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg eine Vorreiterrolle in Sachen Umweltschutz ein und haben jeweils eigene Kompetenzzentren (Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW; KomS Kompetenzzentrum SpurenstoffeBW) für Mikroverunreinigungen gegründet. Diese führen wissenschaftliche Arbeiten sowie Machbarkeitsstudien in Zusammenarbeit mit Betreibern und Universitäten durch und begleiten Pilotprojekte sowie die großtechnische Umsetzung der vierten Reinigungsstufe auf Kläranlagen. Nach derzeitigem Stand der Forschung sind zwei Verfahren für die vierte Reinigungsstufe besonders gut geeignet, auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten: Zum einen ein sogenanntes adsorptives Verfahren, bei dem Aktivkohle zum Einsatz kommt. Die Mikroverunreinigungen lagern sich an der Aktivkohle an (adsorbieren), die belastete Aktivkohle wird dem Prozess entnommen und anschließend verbrannt. Zum anderen ist es die Ozonung, die ein oxidatives Verfahren darstellt.

Aktivkohleverfahren

Bei diesem Adsorptionsverfahren wird dem Abwasser Aktivkohle beigegeben. An der großen Oberfläche der Kohlepartikel lagern sich dann die Mikroverunreinigungen durch Adsorption an. Die so belegte Aktivkohle wird dann herausfiltriert und entweder rückgeführt oder entsorgt. Je nach Korngröße unterscheidet man zwischen granulierter (GAK) und pulverisierter Aktivkohle (PAK). Meist wird die Aktivkohle dem Belebungsbecken zugeführt. Je nach den baulichen Möglichkeiten einer Kläranlage, existieren beim PAK aber auch andere Verfahrensweisen, wie z.B. mit einem separaten Reaktionsbecken.

Ozonung

Kommt Ozonung als vierte Reinigungsstufe zum Einsatz, wird sie den mechanischbiologischen Klärprozessen nachgeschaltet. In die Wasserphase eingebrachtes Ozon reagiert mit den Mikroverunreinigungen und wandelt sie im günstigsten Fall in nichttoxische, abbaubare Bestandteile um. Typischerweise wird der Ozonung eine Filtration nachgeschaltet. Diese Filtration, oft eine biologisch aktive Filtration, dient zum einen dazu, die Reaktionsprodukte in Biomasse umzubauen, zum anderen dazu, eventuell auftretende toxische Reaktionsprodukte aus dem Abwasser zu entfernen. Bei diesem Verfahren werden allerdings nicht nur die Konzentrationen der Mikroverunreinigungen deutlich reduziert, sondern auch „klassische“ Kläranlagenparameter wie TSS, CSB sowie Färbung des Abwassers verbessert, was letztendlich den Ablaufwerten der Anlage zu Gute kommt.

Messtechnik für die 4. Reinigungsstufe

Die Laboranalytik zur Bestimmung hunderter verschiedener Stoffe ist sehr aufwendig und teuer. Da die Mikroverunreinigungen nur in sehr geringen Konzentrationen vorkommen, sind diese aktuell nicht mittels kontinuierlicher Online-Messtechnik messbar. Mit SAK, DOC oder CSB wurden aber geeignete Ersatzparameter gefunden, die einen Hinweis auf die Reinigungsleistung geben. Der SAK (Spektraler Absorptionskoeffizient) ist dabei die am häufigsten verwendete Messgröße, da DOC und CSB aufwendigere Referenzmethoden im Labor mit sich bringen. SAK kann so vor und/oder nach der Filtration bzw. Ozonung gemessen und als Regelwert verwendet werden. Xylem bietet hierfür einen digitalen Einzelparametersensor für das IQ SENSOR NET. Genaue Ergebnisse und die integrierte Ultraschallreinigung ermöglichen so eine zuverlässige und wartungsarme Prozessüberwachung und -regelung.

Auslauf

Was wird im Kläranlagenauslauf überwacht?



Das gereinigte Wasser wird aus der Kläranlage in ein oberirdisches Gewässer - auch Vorfluter genannt - ausgeleitet. Dazu ist neben einer behördlichen Erlaubnis auch die Einhaltung verschiedener Konzentrationen erforderlich. Trotz regionaler oder länderspezifischer Unterschiede gehören hierzu in der Regel CSB, BSB5, $\text{NH}_4\text{-N}$, Nges ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) und Pges. Zur Bestimmung dieser Konzentrationen sind neben der Messstelle und der Probennahmeart auch die Probenvorbehandlung und das Analyseverfahren festgelegt.

Schlammbehandlung

Wie misst man den Schlammspiegel?



Die Aufbereitung des anfallenden Schlammes erfolgt in einer gesonderten Prozesskette. Dabei wird jeglicher Rohschlamm, der nicht in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt wird durch Eindickung, Zersetzung in Faultürmen und Entwässerung in behandelten Klärschlamm überführt. Um Massenströme des Schlammes und die Reinigungsleistung der Anlage nachverfolgen zu können, ist die Messung von Trockensubstanz und Trübung in all diesen Prozessschritten notwendig. Hierfür geeignete Sensoren sind Trübungs- bzw. Feststoffsensoren. Da im Klärprozess der Reinigung der Sensoren eine besondere Rolle zukommt, bieten sich selbstreinigende Sensoren an.

Deammonifikation

(partielle Nitrifikation / anaerobe Ammoniumoximation)



Bei der partiellen Nitrifikation wird das vorhandene Ammonium zu einem Anteil von ca. 50% zu Nitrit abgebaut. Im zweiten Teilschritt kommen nun Deammonifikations-Bakterien ins Spiel, die hierbei den verbleibenden Teil des Ammoniumstickstoffs und das gebildete Nitrit zu elementarem Stickstoff umsetzen. Da es sich bei den Vertretern dieser Bakterien um anaerobe, chemolitho-autotrophe Mikroorganismen handelt, benötigen diese weder Sauerstoff noch organischen Kohlenstoff. Der Sauerstoffbedarf reduziert sich um 60%. Kohlenstoff wird gar nicht benötigt, die Ersparnis beträgt 100% (Abbildung 1).

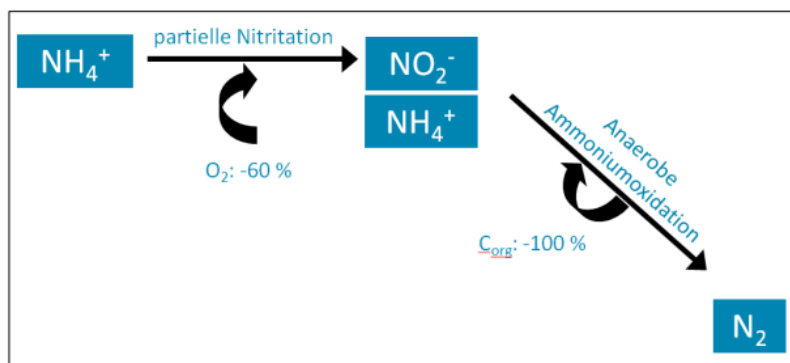


Abb. 1: Schematische Darstellung der Deammonifikation, bestehend aus den zwei Schritten partielle Nitrifikation und anaerobe Ammoniumoximation

Ein- und Zweistufige Verfahrensweise

Die Deammonifikation kann sowohl als einstufiges als auch als zweistufiges Verfahren betrieben werden. Beim einstufigen Verfahren werden beide Prozessschritte – partielle Nitritation und anaerobe Ammoniumoxidation (Anammox) – im gleichen Becken bzw. Tank durchgeführt. Im Zweistufigen Verfahren, finden die beiden Schritte in getrennten Becken statt.

Beim einstufigen Verfahren wird in der Regel ein Sauerstoffsollwert von unter 0,5 mg/l gewählt. Dies soll eine zu starke Nitritanreicherung sowie die Oxidation von Nitrit zu Nitrat zu vermeiden. Die Nitritkonzentration liegt hier bei 2 – 25 mg/l, da eine zu hohe Konzentration hemmend auf die Anammox-Bakterien wirkt. Daher wird bei Erreichen des oberen O₂ Grenzwertes die Belüftung ausgeschaltet. Während der Belüftungsphase dominiert die Nitritation aber auch die anaerobe Ammoniumoxidation läuft in geringem Masse ab. Im zweistufigen Verfahren dagegen werden Sauerstoffsollwerte von bis zu 1 mg/l gewählt. Dementsprechend sind auch höhere Nitritkonzentrationen (bis zu 750 mg/l) möglich.

Bei beiden Verfahrensweisen entsteht Nitratstickstoff in einer Konzentration, die in etwa 10% der Konzentration des Ammoniumstickstoffs beträgt.

Vorkommen der Deammonifikation

Bei der Schlammbehandlung einer Kläranlage fällt stickstoffhaltiges Prozesswasser mit sehr hohen Ammonium Konzentrationen an (bis zu 2.000 mg/l Ammonium möglich). Diese erheblichen Belastungen können vorhandene Systeme oft nur unzureichend bewältigen. Versuche, eine ausreichende Nitrifikation zu erzwingen, schlagen oft fehl und resultierten zugleich in zu hohen Ablaufwerten für Nitrat. Letztlich müssen in solchen Fällen neue Wege in der Abwasserreinigung eingeschlagen werden, um die erhöhten Belastungen durch das Prozesswasser zu bewältigen.

Herausforderungen der Deammonifikation

Eine bedeutende Schwierigkeit bestand in den ersten großtechnischen Deammonifikations-Anlagen, in der sehr zeitaufwendigen Aufkonzentration der speziellen Mikroorganismen von bis zu mehreren Jahren. Mit dem Vorhandensein von eingefahrenen Anlagen mit genügend großer Biomasse ist diese Schwierigkeit heute weitestgehend behoben. Die Bakterien können nun auch in größeren Mengen von den bestehenden Anlagen zum Animpfen neuer Anlagen benutzt werden. Die Einlaufzeiten neuer Anlagen betragen nunmehr nur noch wenige Wochen. Auch die Prozess-Stabilität hat sich auf Grund der mehrjährigen Erfahrungen, optimierter Mess- und Regelkonzepte sowie verlässlicher Messtechnik erhöht.

Die biologische Aktivität der Deammonifikations-Organismen unterliegt bestimmten Einflussgrößen, deren Kenntnis zwingend notwendig für einen reibungslosen Deammonifikations-Prozess ist. Das für die anaerobe Ammoniumoxidation nötige Nitrit wirkt in erhöhten Konzentrationen hemmend bzw. toxisch auf die Bakterien, was eine irreversible Schädigung des gesamten Verfahrens nach sich ziehen kann. Ähnliche Wirkung zeigen Schwefelverbindungen und Methanol. Im Hinblick auf eine einstufige Verfahrensweise führt der für die

xylemanalytics.com/de

partielle Nitrifikation benötigte Sauerstoff gleichzeitig zur Hemmung (reversibel) der Organismen. Für die anaerobe Ammoniumoxidation bedarf es somit ausreichend langer Phasen mit sehr niedrigen Sauerstoffkonzentrationen.

Die Nitritation und anaerobe Ammoniumoxidation besitzen eine gegenläufige Auswirkung auf den pH-Wert. Die Belüftung erfolgt nur innerhalb eines sehr engen pH-Intervalls. Während dieser Phase dominiert die Nitritation über die anaerobe Ammoniumoxidation. Das gebildete Nitrit bewirkt ein Abfallen des pH-Wertes, bis der untere Schwellenwert (ca. bei pH 7,00) erreicht wird. Die Belüftung wird abgeschaltet, die O₂-Konzentration sinkt und das gebildete Nitrit wird zur Oxidation des noch vorhandenen Ammoniums aufgebraucht (anaerobe Ammoniumoxidation). Der pH-Wert steigt sowohl durch diesen Prozess, als auch durch die kontinuierliche Zugabe von alkalischem Prozesswasser bis zum oberen Schwellenwert an, was wiederum zum Starten der Belüftung führt.

Außerdem führen eine zu niedrige Temperatur und zu hohe Feststoffgehalte zu erhöhter Bildung von NO₃. Dies wiederum hat eine Hemmung der anaeroben Ammoniumoxidation zur Folge.

Verwendbare Messtechnik

Überwachungs- und Regelgrößen sind neben den gängigsten Parametern pH und Sauerstoff auch Stickstoffkonzentrationen (NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N), die Temperatur und die Trockensubstanz. Xylem bietet hierfür passende digitale Sensoren, die alle am Messsystem IQ SENSOR NET anschließbar sind.

pH: SensoLyt® 700 IQ

O₂: FDO® 700 IQ oder TriOxmatic® 700 IQ

Stickstoffe: ISE-Sensoren, z.B. VARiON® 700 IQ

TS: ViSolid® 700 IQ

Temperatur: integriert in diversen Sensoren

System: IQ SENSOR NET

Haben Sie weitere Fragen?

Bitte wenden Sie sich an unser Customer Care Center:

Xylem Analytics Germany Sales
GmbH & Co. KG, WTW
Am Achalaich 11
82362 Weilheim, Deutschland
Tel +49 881 1830
Fax +49 881 183-420
Info.WTW@xylem.com