

Biologische Phosphatelimination und simultane Denitrifikation

Dipl.-Ing. Norbert Meyer, Wiesbaden

Einleitung

Bei der Planung von Kläranlagen, die auch Phosphat eliminieren sollen, hat sich die biologische Phosphatelimination mittlerweile als fester Verfahrensbestandteil durchgesetzt. Um eine vermehrte biologische Phosphataufnahme durch die Bakterien im Belebtschlamm zu erreichen, wird eine anaerobe Phase in den biologischen Teil der Reinigung integriert. Dazu ist es üblich, einen weiteren Reaktor, das Anaerobbecken, in die biologische Reinigungsstufe mit einzubeziehen. Die Erfahrung hat gezeigt, daß auch in Kläranlagen, die nicht mit dieser zusätzlichen Anaerobstufe ausgerüstet sind, eine erhöhte biologische Phosphataufnahme beobachtet wird. Dies ist insbesondere bei Anlagen mit simultaner Denitrifikation und intermittierend betriebener Belüftung der Fall.

Grundlagen der biologischen Phosphatelimination

Setzt man den Belebtschlamm abwechselnd aeroben und anaeroben Verhältnissen aus, so kommt es zu vermehrter P-Aufnahme. Der P-Gehalt des Gesamtschlammes steigt dabei von 1–2% auf 2,5–5%. Die P-Elimination nimmt entsprechend von 20–30% auf 70–90% zu [1].

Im anaeroben Milieu findet Phosphatrücklösung statt. Dabei werden im Wasser gelöste kurzkettige Fettsäuren von den P-speichernden Bakterien aufgenommen und das gespeicherte Polyphosphat als Energielieferant genutzt und Orthophosphat abgegeben. Bei Anwesenheit von externen Elektronenakzeptoren wie Nitrat oder Sauerstoff haben andere Bakterien, die unter Umständen nicht zur P-Aufnahme befähigt sind, z. B. Denitrifikanten, einen Wettbewerbsvorteil.

Durch die Speicherung von organischen Säuren unter Freisetzung von Phosphat im anaeroben Milieu, sind die P-speichernden Bakterien in der Lage, ihren Stoffwechsel sehr schnell von anaeroben auf aerobe Bedingungen umzustellen. Sie nehmen nun unter Verwertung des endogen gespeicherten Substrats und exogener Substrate wieder vermehrt Phosphat auf, und zwar in der Regel weit mehr, als vorher rückgelöst wurde. Durch die schnelle Anpassung des Stoffwechsels an aerobe Bedingungen haben die P-speichernden Bakterien Konkurrenzvorteile gegenüber anderen heterotrophen Mikroorganismen und reichern sich bei entsprechender Verfahrensführung im Belebtschlamm an.

Verfahrensvarianten zur kombinierten biologischen P- und N-Elimination

Für den Wirkungsgrad der biologischen Phosphatelimination besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Phosphatrücklösung im Anaerobbecken und der Phosphataufnahme im Belebungsbecken. Die Phosphatrücklösung im Anaerobbecken findet jedoch nur statt, wenn dort wirklich sauerstoff- und nitratfreie Zustände erreicht werden. Dies stellt im Betrieb eines der größten Probleme dar. Um einen Sauerstoffeintrag in das Anaerobbecken zu vermeiden, bzw. einen schnellen Abbau des zugeführten Sauerstoffs zu erreichen, wurden verschiedene Verfahren entwickelt.

Im Hauptstromverfahren wird der im Hauptstrom von den Bakterien aufgenommene zusätzliche Phosphor mit dem Überschußschlamm entnommen.

Das JHB-Verfahren ist in Johannesburg großtechnisch realisiert. Der Rücklaufschlamm gelangt hier in ein eigenes anoxisches Becken ohne Abwasserzuführung und wird dann mit dem Zulauf dem Anaerobbecken zugeführt [2].

Das an der Universität von Hannover entwickelte ISAH-Verfahren ähnelt dem JHB-Verfahren. Der Rücklaufschlamm passiert ein zusätzliches Denitrifikationsbecken, um Restnitrat zu entfernen. Diesem anoxischen Reaktor kann bei Bedarf Substrat aus dem Anaerobbecken zugeführt werden [3]. In Berlin-Ruhleben stellte man bei Versuchen zur Blähschlammbekämpfung ebenfalls eine vermehrte P-Aufnahme fest. Ein zweizügiges Belebungsbecken war dabei von längsverteilter Beschickung auf Vor-Kopf-Beschickung umgebaut worden. Am Beginn des Beckens stellte sich dadurch eine hochbelastete Zone ein, in der die Belüftung stark vermindert wurde. Neben der Verbesserung des Schlammindex bemerkte man auch deutlich geringere P-Ablaufkonzentrationen [4]. Besonders strenge Anforderungen bzgl. der P- und N-Ablaufwerte führten in Dänemark zur Entwicklung des Bio-Deniphosphat-Verfahrens.

Ausgangspunkt des Bio-Deniphosphat-Verfahrens war das Bio-Denitro-Verfahren. Zwei parallele Becken werden dabei wechselweise mit Abwasser beschickt und belüftet. In Phasen ohne Belüftung findet Denitrifikation statt. Durch Vorschalten eines Anaerobbeckens, dem der Rücklaufschlamm und das Abwasser zugeführt werden, findet zusätzlich biologische Phosphorelimination statt.

Das SBR-Verfahren ist ein intermittierendes Verfahren. Die ablaufenden Prozesse werden

durch die zeitliche Abfolge und Dauer unterschiedlicher Versuchsbedingungen bestimmt. Die Idee, die Schlammaufenthaltszeit im Anaerobbecken von der Gesamtaufenthaltszeit des Abwasser-Schlamm-Gemisches zu trennen, führte zur Entwicklung des EASC-Verfahrens, in dem die anaerobe Stufe als Absetzbecken ausgeführt ist.

Auf einer Kläranlage in Brasilia wurden in der Nacht anaerobe Zonen geschaffen. Während das Belebungsbecken tagsüber voll belüftet wurde, wurde von Mitternacht bis 6 Uhr die Belüftung der vorderen Hälfte des Beckens eingestellt. Es ergaben sich Aufenthaltszeiten von 3,5 h, wobei die tatsächliche Kontaktzeit des Schlammes durch Absetzvorgänge bei 7 h lag. Die anaerobe Phase während der Nacht genügte, um auch am Tag vermehrte biologische P-Aufnahme sicherzustellen. Die P-Eliminationsrate erhöhte sich von 50 auf 80%. Am Institut für Ingenieurbio-logie der TU Karlsruhe wurde das vierstufige INVERS-Verfahren entwickelt. Nach der vorgeschalteten anaeroben Stufe werden Schlamm und Abwasser getrennt. Das Wasser wird einem Tropfkörper zur Nitrifikation zugeführt und anschließend in einer Denitrifikation wieder mit dem Schlamm gemischt. In dieser Stufe soll Phosphoraufnahme stattfinden. In einer weiteren belüfteten Stufe soll das im Schlammstrom mitgeführte Ammonium simultan nitrifiziert und denitrifiziert werden. Hier soll durch höhere Schlammbelastungen eine bessere P-Elimination ermöglicht werden, da Nitrifikation und P-Aufnahme räumlich getrennt sind.

Simultane Denitrifikation mit aerober Schlammstabilisierung

Bei der simultanen Denitrifikation finden Nitrifikation und Denitrifikation in einem Becken entweder zeitlich durch intermittierende Belüftung oder durch belüftete und unbelüftete Zonen getrennt statt. Die vorgeschaltete Denitrifikation bietet die Möglichkeit, durch die hohe Denitrifikationsgeschwindigkeit im hochbelasteten anoxischen Becken, das Volumen zu minimieren. Fordert man jedoch gemäß der ATV A131 [5] ein Schlammalter von 25 Tagen für aerobe Schlammstabilisierung, ist dieser verfahrenstechnische Vorteil der vorgeschalteten Denitrifikation hinfällig, da das Volumen vorgegeben ist. Das aus dem Schlammalter resultierende Belebungsbecken-volumen ist in jedem Fall auch bei simultaner Denitrifikation ausreichend für nahezu vollständige Stickstoffelimination mit Wirkungsgraden von über 95%, wie sie bei vorgeschalteter Denitrifikation nur bei unwirtschaftlich hohem Energieverbrauch für die Rezirkulation erreicht werden können.

Das Schlammalter von 25 Tagen hat zur Folge, daß die biologische Stufe bei einer Schlammbelastung von etwa 0,04–0,05 kg BSB₅/(m³ · d) sehr gering belastet ist. Entsprechend stellen sich sehr lange Denitrifikationsperioden ein. Bei Umlaufbecken, die in belüftete und unbelüftete Zonen aufgeteilt sind, reicht dabei die Durchflußzeit von Zone zu Zone in der Regel nicht aus, um den gelösten Sauerstoff vollständig aufzuzehren. Es ist also keine ausreichende Denitrifikation möglich. Die intermittierende Belüftung paßt sich hingegen über die Nitratregelung dynamisch an die gegebenen Verhältnisse an. Sie

stellt die bessere Verfahrenswahl für diesen Anwendungsfall dar.

Da der wirtschaftlich und theoretisch erreichbare Wirkungsgrad bei simultaner Denitrifikation höher ist und auf die Rezirkulation verzichtet werden kann, scheint die Kombination von aerober Schlammstabilisierung und simultaner Denitrifikation mit intermittierender Belüftung in diesem Fall die günstigste Wahl darzustellen.

Biologische Phosphatelimination in Verbindung mit simultaner Denitrifikation

Das Schlammalter von 25 Tagen hat zur Folge, daß die biologische Stufe bei einer Schlammbelastung von etwa 0,04–0,05 kg BSB₅/(m³ · d) sehr gering belastet ist. Entsprechend stellen sich sehr lange Denitrifikationsperioden ein. Es kommt dabei gegen Ende der Denitrifikationsphase zu Mangelsituationen, die denen im Anaerobbecken ähneln. Wie im Anaerobbecken wird weiter Substrat zugeführt, während der für die Bakterien verfügbare freie und gebundene Sauerstoff gegen Null geht. Entsprechend stellen sich die gleichen Prozesse ein, die durch den Wechsel von aeroben, anoxischen und anaeroben Phasen in getrennten Becken erreicht werden können. Die phosphatspeichernden Bakterien nutzen ihren Phosphatspeicher um ihren Stoffwechsel weiter zu betreiben, während andere Bakterien, die diese Fähigkeit nicht haben, ihren Stoffwechsel reduzieren müssen bzw. ganz einstellen. Durch den Konkurrenzvorteil reichern sich die P-speichernden Bakterien im Belebtschlamm an und es kommt zu erhöhter biologischer Phosphatelimination.

Beispiele von biologischer Phosphatelimination in Kläranlagen mit simultaner Nitrifikation/Denitrifikation und aerober Schlammstabilisierung (Schlammalter > 25 d)

In den Bildern 1 und 2 sind Reinigungsleistungen von Kläranlagen mit aerober Schlammstabilisierung und simultaner Denitrifikation mit intermittierender Belüftung dargestellt.

Die Kläranlage Hürtlingen ist als Teichanlage mit Zwischenklärung ausgeführt. Zur intermittierenden Belüftung sind die Belebtschlammteiche mit Rührwerken ausgestattet. Die vermehrte biologische Phosphatelimination wird hier durch die lange Verweilzeit bei einer geringeren Schlammkonzentration unterstützt. Ein zusätzlicher Anteil an Phosphat wird sicherlich auch in den auf den Belebtschlammteich folgenden zweiten belüfteten Teich und in der Vegetationsperiode durch Algenwachstum im Schönungsteich entfernt. Die Kläranlage Nordborchen ist auf 7 500 EW ausgelegt. Es handelt sich um eine einstufige Belebungsanlage mit aerober Schlammstabilisation und intermittierender Belüftung. Die Belüftung wird in beiden Anlagen über eine Sauerstoffmessung mit Min-Max-Grenzwertschaltern gesteuert. Die Denitrifikation wird über eine Nitratmessung gesteuert. Bei Erreichen eines einstellbaren Mi-

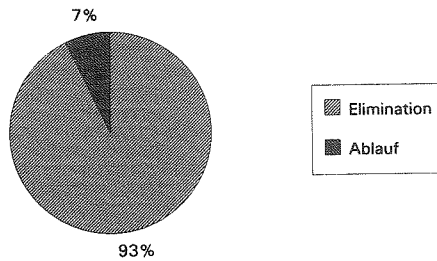


Bild 1. Kläranlage Nordborchen, 7 500 EW, einstufige Belebungsanlage mit simultaner Nitrifikation/Denitrifikation und intermittierender Belüftung, Stand 1991

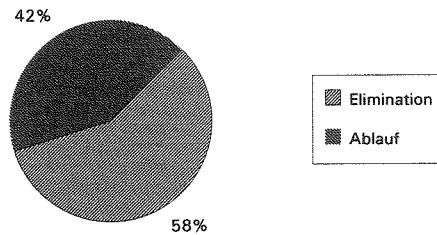


Bild 2. Kläranlage Hürtlingen, 4500 EW, zweistufige Teichkläranlage mit Zwischenklärung, mit simultaner Nitrifikation/Denitrifikation und intermittierender Belüftung, Stand 1990

nimalwertes wird die Belüftung wieder eingeschaltet. In beiden Anlagen beträgt die durchschnittliche Länge der Denitrifikationsphase etwa 20–30 min im Wechsel mit Nitrifikationsphasen von etwa 10–15 min.

Ohne eine gezielte Verfahrensführung zeigt sich eine erhöhte Phosphatelimination. Bei der unterbelasteten, großvolumigen Teichanlage ist der Effekt der biologischen Phosphatelimination deutlich ausgeprägter.

Die dargestellten theoretischen Hintergründe und betrieblichen Erfahrungen lassen es als sinnvoll erscheinen, die anaerobe Phase nicht räumlich getrennt in einem vorgeschalteten Anaerobbecken ablaufen zu lassen. Vielmehr bietet es sich an, diese Phase dort anzuordnen, wo aufgrund der Verfahrensführung bereits sauerstoff- und nitratfreie Zustände vorliegen, nämlich nach der Denitrifikationsphase im Belebungsbecken.

Da in der anaeroben Phase kein Schlammwachstum stattfindet, muß das Anaerobvolumen dem Nitrifikations- und Denitrifikationsvolumen zugeschlagen werden, wenn auch bei niedrigen Temperaturen das in der ATV A131 geforderte Gesamtschlammalter von 25 d eingehalten werden soll.

Ein Vorteil der simultanen biologischen Phosphatelimination ist weiterhin, daß das anaerobe Volumen bei niedrigen Temperaturen für die Nitrifikation/Denitrifikation mit genutzt werden kann. Versuche [6] haben gezeigt, daß die Fähigkeit zur vermehrten biologischen P-Elimination nicht sofort verloren geht, sondern vielmehr langsam abnimmt. Wird die biologische Stufe wieder mit anaerober Phase betrieben, ist innerhalb von ca. 2–3 Wochen die Fähigkeit zur biologischen P-Elimination wieder voll hergestellt. Akzeptiert man, daß bei niedrigen Temperaturen nicht die volle Kapazität der anaeroben Phase genutzt wird, sondern das anaerobe Volumen zugunsten des Nitrifikations- und

Denitrifikationsvolumens reduziert wird, kann eine biologische P-Elimination in Anlagen erreicht werden, die nach ATV A131 auf 25 d Schlammalter bei 10 °C dimensioniert sind, ohne daß zusätzliches Volumen erforderlich ist. Eine vermehrte biologische Phosphatelimination ist dann nur eine Frage der Steuerung des Abwasserzuflusses und der Belüftung. Die Länge der anaeroben Phase sollte über die Phosphatmessung gesteuert werden. Der notwendige Zeitraum bis zur Phosphatrücklösung ist dann bedarfsgerecht und flexibel wählbar.

Schlußfolgerungen

Wird die biologische Reinigungsstufe einer Kläranlage auf aerobe Schlammstabilisierung ausgelegt, ist unabhängig von der Verfahrenswahl der Nitrifikation und Denitrifikation das Volumen vorgegeben. In diesem Fall bietet sich aufgrund des höheren Wirkungsgrades und des geringeren apparativen Aufwandes die simultane Denitrifikation zur Stickstoffentfernung an. Da sich bei der geringen Schlammbelastung lange Denitrifikationsphasen einstellen, und wegen der besseren Anpassungsfähigkeit an die Belastungsverhältnisse sollten Mischbecken mit intermittierender Belüftung gewählt werden. Aufgrund der langen Denitrifikationsphasen bei der geringen Belastung stellen sich gegen Ende der Denitrifikationsphasen annähernd anaerobe Bedingungen ein. Es ist dann der Zustand erreicht, der in einem separaten Anaerobbecken z. B. durch die Vielzahl der oben genannten Verfahren angestrebt wird. Bei der Wahl der hier vorgeschlagenen Verfahrenskombination von simultaner Denitrifikation bei intermittierender Belüftung scheint es daher sinnvoll, auf das zusätzliche Anaerobbecken und die daraus resultierenden Investitions- und Betriebskosten zu verzichten und das Anaerobvolumen in das Belebungsbeckenvolumen zu integrieren.

Verkürzt man bei niedrigen Temperaturen die anaerobe Phase zugunsten der anoxischen und aeroben Phase, so ist ein nach ATV A131 auf 25 d Schlammalter ausgelegtes Belebungsbecken die meiste Zeit des Jahres ausreichend, um vermehrte biologische P-Elimination zu erreichen.

Durch die Steuerung der anaeroben Phase über eine Phosphatmessung läßt sich Phosphatrücklösung und damit der Effekt der vermehrten biologischen Phosphataufnahme sicher erreichen.

Literatur

- [1] Boll, R.: Zur erhöhten Phosphorentfernung mit dem Belebungsverfahren. TU Braunschweig, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, 1988, Heft 46, S. 110
- [2] Ekama, G. A., und Marais, G. v. R.: Zusätzliche biologische Phosphorelimination beim Belebungsverfahren – Erfahrungen in Südafrika. gwf-wasser/abwasser (1985) H. 5, S. 139–154
- [3] Hartwig, P.: Betriebsergebnisse des Klärwerkes Hildesheim. Veröffentlichung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der TU Braunschweig, 1989, H. 47, S. 139–154
- [4] Lützner, K., Röske, I., und Kühn, V.: Die kombinierte biologische Phosphor- und Stickstoffentfernung. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, 1990, Band 112
- [5] ATV-Arbeitsblatt A 131, 2/91
- [6] Matsche, N.: Leistungsfähigkeit von Anlagen zur biologischen Phosphorelimination. Schriftenreihe WAR, 1993, Band 71, S. 53–80