

Titel: Innovative strategies for enhanced deammonification performance and reduced nitrous oxide emissions

Autor: Carmen Leix, Technische Universität München, Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Jörg E. Drewes, Prof. Dr.-Ing. Susanne Lackner, Prof. Dr.-Ing. Eberhard Morgenroth

Veröffentlicht: 2017

Link: https://mediatum.ub.tum.de/680891?show_id=1355598&style=full_text

Zusammenfassung:

Die autotrophe Deammonifikation zur biologischen Stickstoffelimination aus Abwässern ist im Vergleich zur konventionellen Nitrifikation/Denitrifikation ein vielversprechendes Verfahren, um Betriebskosten zu senken. Darüber hinaus kann die Stickstoffeliminationskapazität der gesamten Kläranlage durch deren Anwendung im Seitenstrom erweitert werden. Allerdings können für die Deammonifikation vorteilhafte Betriebsbedingungen die Bildung von unerwünschtem Lachgas (N_2O) begünstigen, was wiederum ein Risiko an erhöhten N_2O -Emissionen birgt. N_2O ist nicht nur ein 298-fach stärkeres Treibhausgas als Kohlendioxid, sondern trägt auch zum Ozonabbau bei. Daher sind wirksame N_2O -Minderungsstrategien essentiell, um negative Umweltauswirkungen zu minimieren. Da N_2O -Emissionen von Kläranlagen gesetzlich bislang nicht begrenzt sind, könnte eine mit den N_2O -Minderungsstrategien gleichzeitig einhergehende Verbesserung der Deammonifikationsleistung einen Anreiz schaffen, diese freiwillig umzusetzen.

Aus diesen Gründen verfolgte diese Dissertation zwei Hauptziele: die Entwicklung von Strategien a) zur Verbesserung der Stickstoffeliminationsleistung und b) zur Reduktion der N_2O -Emissionen bei der Deammonifikation. Um möglichst viele Systemkonfigurationen abzudecken, wurden Experimente im Labor- und Pilotmaßstab mit ein- und zweistufigen Deammonifikationsanlagen durchgeführt, die sowohl als Sequencing-Batch-Reaktoren (SBR) mit suspendierter Biomasse, als auch als Moving-Bed-Biofilm-Reaktoren (MBBR) mit Biofilm betrieben wurden.

Die Untersuchungen bzgl. einer verbesserten Deammonifikationsleistung zeigten, dass bereits geringe Mengen an suspendierter Biomasse die Stickstoffeliminationsrate des MBBRs positiv beeinflussten. Ein vollständiger Abzug der Suspension aus dem MBBR führte zu einer 3,5-fach geringeren Stickstoffeliminationsrate. Chemische Analysen und eine Fluoreszenz in situ Hybridisierung (FISH) der Biomasse zeigten, dass die Suspension fast ausschließlich aus ammoniumoxidierenden Bakterien (AOB) bestand. Wurde diese teilweise ausgewaschen, konnte sich das System dennoch binnen weniger Stunden erholen, was auf die hohen spezifischen Wachstumsraten der AOBs zurückzuführen war. Im Gegensatz dazu war der Biofilm sowohl aus AOBs, als auch anoxischen ammoniumoxidierenden Bakterien (AnAOBs) zusammengesetzt. Die organische Trockensubstanz und Stickstoffeliminationsrate korrelierten positiv, weshalb die Leistungsfähigkeit von MBBRs durch eine Akkumulation der suspendierten Biomasse weiter verbessert werden könnte.

In einer Pilotanlage zur zweistufigen Deammonifikation auf der Kläranlage Kempten wurde aufgezeigt, dass eine partielle Nitrifikation als erster Teilschritt des Prozesses möglichst nahe

am theoretischen Ammonium-Nitrit-Verhältnis von 1:1,32 entscheidend für einen gut funktionierenden Gesamtprozess ist. Das produzierte Nitrit dient als Substrat für die anschließende anoxische Ammoniumoxidation im zweiten Schritt und begrenzt somit die minimal mögliche Ammoniumablaufkonzentration. Aufgrund einer moderaten partiellen Nitritation wurden die zweifach implementierten zweiten Stufen (ausgeführt als SBR und MBBR) von den Kläranlagenbetreibern intermittierend belüftet, um eine zusätzliche partielle Nitritation zur Leistungssteigerung zu ermöglichen. Dieser Ansatz war mit Stickstoffeliminations- und Abbauraten von mehr als $0,50 \text{ kg}_N/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ bzw. 80 % erfolgreich. Allerdings ist eine Belüftung in der zweiten Stufe äußerst ungewöhnlich und für zweistufige Deammonifikationsanlagen nicht empfehlenswert, da dadurch der Vorteil zweier sich verschieden entwickelnder Biozönosen in der ersten und zweiten Stufe verloren geht. Dennoch ermöglichte dies, die Leistungsfähigkeit des SBRs und MBBRs (hypothetisch als einstufig betriebene Deammonifikation) zu vergleichen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Stickstoffeliminationsrate des MBBRs die des SBRs leicht überstieg ($0,39 \pm 0,15 \text{ kg}_N/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ vs. $0,33 \pm 0,11 \text{ kg}_N/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$). Dies könnte durch den Betrieb des MBBRs in einem günstigeren pH-Bereich erklärt werden ($\text{pH } 7,60 \pm 0,26$ vs. $\text{pH } 7,84 \pm 0,15$), wie in einer zusätzlichen Studie aufgezeigt werden konnte.

Hierbei wurde systematisch der Einfluss der Belüftungs- und Fütterungsstrategie sowie des pH-Wertes bei Zyklusbeginn auf die Stickstoffeliminationsrate und die N_2O -Emissionen der einstufigen Deammonifikation mit Hilfe einer experimentellen Versuchsplanung untersucht. Zwei Modelle wurden entwickelt, um effektive Prozesskontrollstrategien für einen effizienten und umweltfreundlichen Betrieb abzuleiten. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Belüftungsstrategie den höchsten Einfluss auf die Stickstoffeliminationsrate ausübte. Eine maximale Stickstoffeliminationsrate von $0,49 \pm 0,03 \text{ kg}_N/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ wurde für einen Betrieb mit intermittierender Fütterungs- und Belüftungsstrategie sowie einem pH-Wert von 7,46 bei Zyklusbeginn vorhergesagt.

Die Versuche bzgl. der N_2O -Emissionen zeigten, dass minimale N_2O -Emissionen hingegen mit Hilfe einer einmaligen Fütterungsstrategie, kontinuierlicher Belüftung und einem anfänglichen pH-Wert von 7,80 erwartet werden können, wobei der pH-Wert bei Zyklusbeginn den höchsten Effekt auf die N_2O -Emissionen hatte. Diese voneinander abweichenden Einstellungen für eine verbesserte Deammonifikationsleistung und reduzierte N_2O -Emissionen wiesen bereits darauf hin, dass eine gleichzeitige Verbesserung unter den getesteten Bedingungen kaum erreichbar sein wird. Die Kombination der beiden Modelle bestätigte diese Annahme und zeigte eine schwache positive Korrelation zwischen der Deammonifikationsleistung und den N_2O -Emissionen auf. Somit konnte für die Gesamtoptimierung nicht ein einzelner Betriebspunkt festgelegt, jedoch mehrere Einstellungen definiert werden, die einen gewünschten Kompromiss zwischen einer ökonomischen und ökologischen Betriebsweise der Deammonifikation erfüllten.

In der zweistufigen Deammonifikation hatte der Pufferspeicher zwischen der ersten und zweiten Stufe die höchsten Konzentrationen an gelöstem N_2O aller Reaktoren. Erhöhte Nitrit- und Ammoniumkonzentrationen, kohlenstofflimitierte und anoxische Bedingungen sowie eine konstante Zufuhr von Mikroorganismen aus der ersten Stufe stellten offenbar ideale Voraussetzungen für die N_2O -Bildung dar. Eine reduzierte hydraulische Verweilzeit und ein regelmäßiger Abzug der Biomasse aus dem Pufferspeicher sollten zur N_2O -Minimierung beitragen. Auch die Einführung einer anoxischen Phase in der zweiten (unkonventionell belüfteten) Stufe ermöglichte eine N_2O -Reduktion. Somit würde die Umstellung auf eine Belüftungsstrategie mit unbelüfteten Phasen direkt nach der Zugabe des mit gelöstem N_2O

angereicherten Zulaufs oder auf einen vollständig anoxischen Prozess der zweiten Stufe komplett ohne Belüftung die Stripping-Effekte verringern.

Trotz aller Bemühungen die N₂O-Emissionen weitestgehend zu reduzieren, wird eine vollständige Vermeidung der N₂O-Bildung höchstwahrscheinlich nicht möglich sein, da N₂O nicht nur biologisch, sondern auch abiotisch produziert wird. Das umweltschädliche N₂O könnte dennoch sicher in inertes N₂ umgewandelt werden, indem die Abgase aus der Deammonifikation vollständig erfasst und zusammen mit Biogas verbrannt werden würden, wodurch zusätzlich die 37 % höhere Energieausbeute von N₂O im Vergleich zu Sauerstoff genutzt werden könnte.

Papers im Peer-Reviewed Journals:

1. Leix, C.; Drewes, J.; Koch, K. (2016): *The role of residual quantities of suspended sludge on nitrogen removal efficiency in a deammonifying moving bed biofilm reactor*. *Bioresource Technology* 219, 212-218.
2. Leix, C.; Hartl, R.; Zeh, C.; Beer, F.; Drewes, J.; Koch, K. (2016): *Performance and N₂O-formation of deammonification by suspended sludge and biofilm systems – A pilot-scale study*. *Water* 8 (12), 1-16.
3. Leix, C.; Drewes, J.; Liu, Y.; Koch, K. (2017): *Strategies for enhanced deammonification performance and reduced nitrous oxide emissions*. *Bioresource Technology* 236, 174-185.