

# Nitrifikation

## Allgemeine Beschreibung

**Kenntnisstand: ●●●●**

*Zweck:* Stabilisierung der Stickstoffkomponenten (Umwandlung in Nitrat) und Elimination der biologisch abbaubaren organischen Stoffe. Produktion von Nitrit für die anschließende Stickstoffelimination mittels Anammox oder Denitrifikation

*Beschreibung:* Bakterien wandeln Ammonium in Nitrit (1. Stufe) und Nitrat (2. Stufe) um. Dabei wird der pH reduziert und die Ammoniakausgasung verhindert. Ohne Basenzugabe kann 50% des Ammoniums umgewandelt werden.

Nitrifikation ist ein biologisches Verfahren, um das gesammelte Gelbwasser zu stabilisieren. In diesem Zusammenhang bedeutet Stabilisierung die teilweise Umwandlung von flüchtigem Ammoniak zu Nitrat. Gleichzeitig sinkt der pH und das verbleibende Ammoniak liegt als nicht flüchtiges Ammonium vor. Parallel zur Nitrifikation werden 90% der organischen Stoffe (gemessen als chemischer Sauerstoffbedarf) mineralisiert (Udert et al., 2003).

Die Alkalinität bestimmt, wieviel Ammoniak umgesetzt werden kann. Im gelagerten Gelbwasser stammt die Alkalinität hauptsächlich von der Harnstoffhydrolyse: pro Mol Harnstoff werden 2 Mole Alkalinität und 2 Mole Ammoniak freigesetzt. Da bei der Oxidation von einem Mol Ammoniak zwei Mole Alkalinität verbraucht werden, kann ohne zusätzliche Zugabe von Base nur die Hälfte des Ammoniaks zu Nitrat oder Nitrit umgesetzt werden. Wegen des Alkalinitätsverbrauchs sinkt der pH auf Werte unter 7 (Udert et al. 2003). Der Abbau von Ammoniak und organischen Stoffen beseitigt ausserdem den unangenehmen Geruch von gelagertem Gelbwasser. Vollständige Nitrifikation kann erreicht werden, wenn eine Base wie Natronlauge (Oosterhuis und van Loosdrecht, 2009) oder Natriumkarbonat (Feng et al., 2008) zudosiert wird.

Gelbwasser ist wegen der hohen Konzentrationen (Ammonium und Salze) und dem hohen pH eine sehr anspruchsvolle Umgebung für die nitrifizierenden Bakterien. Ein Ungleichgewicht zwischen den ammoniumoxidierenden und den nitritoxidierenden Bakterien kann zur Akkumulation von Nitrit und als Folge davon zur vollständigen Hemmung der Nitritoxidierer führen. Die Nitritakkumulation stellt für die Nitratproduktion ein grosses Problem dar, sie ist aber im zweistufigen Nitritation/Anammox-Verfahren erwünscht. Dieses Verfahren wurde von Udert et al. (2003) für die Stickstoffelimination von Urin vorgeschlagen.

Stabile Nitratproduktion verlangt, dass die Ammoniakkonzentrationen ( $\text{NH}_3$ ) im Reaktor konstant gehalten werden (Udert und Wächter, 2012). Deshalb eignen sich vor allem kontinuierlich beschickte Durchlaufreaktoren für die Nitratproduktion. Da die  $\text{NH}_3$ -Konzentration im Reaktor stark von der Ammoniumzuladung und dem pH-Wert abhängt, müssen diese beiden Parameter möglichst konstant gehalten werden und dürfen nur langsam geändert werden.

Mehrwöchige belüftete Ruhephasen sind zu vermeiden, da sie zum Einwachsen von säuretoleranten ammoniumoxidierenden Bakterien führen können. Diese können den pH im Reaktor auf Werte senken, die für Nitritoxidierer toxisch sind (Udert et al., 2005).

### Reaktorkonfigurationen

Für die Nitratproduktion eignen sich besonders kontinuierlich betriebene Anlagen. Reaktoren mit festsitzender Biomasse (z.B. Biofilmträger, MBBR) helfen, das Auswaschen der langsam wachsenden nitrifizierenden Bakterien zu verhindern. In Laborversuchen wurden für die Nitratproduktion ohne Basendosierung Umsatzraten um  $380 \text{ gN}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  erreicht (25.3°C, Udert et al., 2003). Höhere Umsatzraten sind vermutlich möglich.

Nitritproduktion wurde sowohl in kontinuierlich betriebenen Laboranlagen (CSTR), als auch in „Sequencing Batch Reactors (SBR)“ erreicht. Udert et al. (2003) geben maximale Abbauraten von 790

$\text{gN}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  (30 °C, CSTR) und  $280 \text{ gN}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  (24.5 °C, SBR) an. Beide Versuchsanlagen wurden ohne Basenzugabe betrieben.

## Verfahrensanwendung

Keine Bemessungsregelwerke bekannt.

## Technische Erfahrung

Seit 2012 läuft eine Pilotanlage an der Eawag in Dübendorf. Ausserdem wird 2013 eine Pilotanlage in Durban / Südafrika in Betrieb genommen.

## Platzbedarf

Der Platzbedarf ergibt sich aus den oben angegebenen Abbauraten und den Zulauffrachten. Beispiel: unter der Annahme, dass eine Person  $10 \text{ gN}\cdot\text{d}^{-1}$  Harnstoff und Ammonium ausscheidet wird für die Nitratproduktion ohne Basenzugabe ein minimales Reaktorvolumen von 13 L pro Person benötigt.

## Verfahrensdauer

Die hydraulische Aufenthaltszeit im Reaktor kann aus den oben angegebenen Abbauraten und den Zulauffrachten berechnet werden. Beispiel: unter der Annahme, dass eine Person  $10 \text{ gN}\cdot\text{d}^{-1}$  Harnstoff und Ammonium und  $1.5 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$  ausscheidet, beträgt die hydraulische Aufenthalt für die Nitratproduktion ohne Basenzugabe 8.7 Tage.

## Hilfsstoffe

Energie und Luftsauerstoff. Bei vollständiger Nitrifikation auch eine Base (z.B. Kaliumbikarbonat, Natronlauge, Kalilauge, gebrannter Kalk). Die minimale Basenmenge beträgt 1 Mol Alkalinität pro Mol Ammonium im gelagerten Urin.

Der elektrische Energiebedarf für die Nitrifikation von unverdünntem Urin ohne Basenzugabe beträgt ca.  $45 \text{ Wh}\cdot\text{L}^{-1}$  (2 m hoher Reaktor mit Biofilmträgern, Udert und Wächter, 2012).

## Geeignete Vor- und Nachbehandlungsverfahren

Nitratproduktion: Vorbehandlung für die Eindampfung

Nitritproduktion: Vorbehandlung für Anammox

Sowohl Nitrat- als auch Nitritlösungen können für die heterotrophe Denitrifikation verwendet werden.

Allerdings wurde dieses Verfahren noch unseren Erkenntnissen noch nicht in der Literatur beschrieben.

## Literatur

Feng, D., Wu, Z. and Xu, S. (2008) Nitrification of human urine for its stabilization and nutrient recycling. *Bioresource Technology* 99(14), 6299-6304.

Oosterhuis, M. and Loosdrecht, M.C.M.v. (2009) Nitrification of urine for H<sub>2</sub>S control in pressure sewers. *Water Practise and Technology* 4(3), not known yet.

Udert, K.M., Fux, C., Münster, M., Larsen, T.A., Siegrist, H. and Gujer, W. (2003) Nitrification and autotrophic denitrification of source-separated urine. *Water Science and Technology* 48(1), 119-130.

Udert, K.M. and Wächter, M. (2012) Complete nutrient recovery from source-separated urine by nitrification and distillation. *Water Research* 46(2), 453-464.

Udert, K.M., Larsen, T.A. and Gujer, W. (2005) Chemical nitrite oxidation in acid solutions as a consequence of microbial ammonium oxidation. *Environmental Science and Technology* 39(11), 4066-4075.