Comammox – vollständige Nitrifikation durch einen einzigen Organismus

Nitrifikation · https://www.dyena-genetics.de/docs/comammox-klaeranlage/



Auf einen Blick

Comammox-*Nitrospira* oxidieren Ammonium (NH_4^+) allein vollständig zu Nitrat (NO_3^-). Comammox steht für *complete ammonia oxidation*. Diese Fähigkeit ist bisher nur aus der Gattung *Nitrospira* bekannt und wurde 2015 erstmalig nachgewiesen.

Comammox-*Nitrospira* wachsen langsam und kommen mit sehr wenig Ammonium aus. Sie finden sich deshalb vor allem dort, wo Bakterien lange in der Anlage bleiben: in Biofilmen, auf Aufwuchsträgern und bei hohem Schlammalter.

Im klassischen Bild der Nitrifikation gibt es meist mehr AOB als *Nitrospira*. Manchmal zeigt eine Analyse das Gegenteil: eine niedrige Lebendzellzahl der AOB, aber eine hohe Lebendzellzahl von *Nitrospira*. Trotzdem wird Ammonium zuverlässig abgebaut. Comammox ist eine mögliche Erklärung dafür, aber kein zwingender Beweis.

Grundlagen

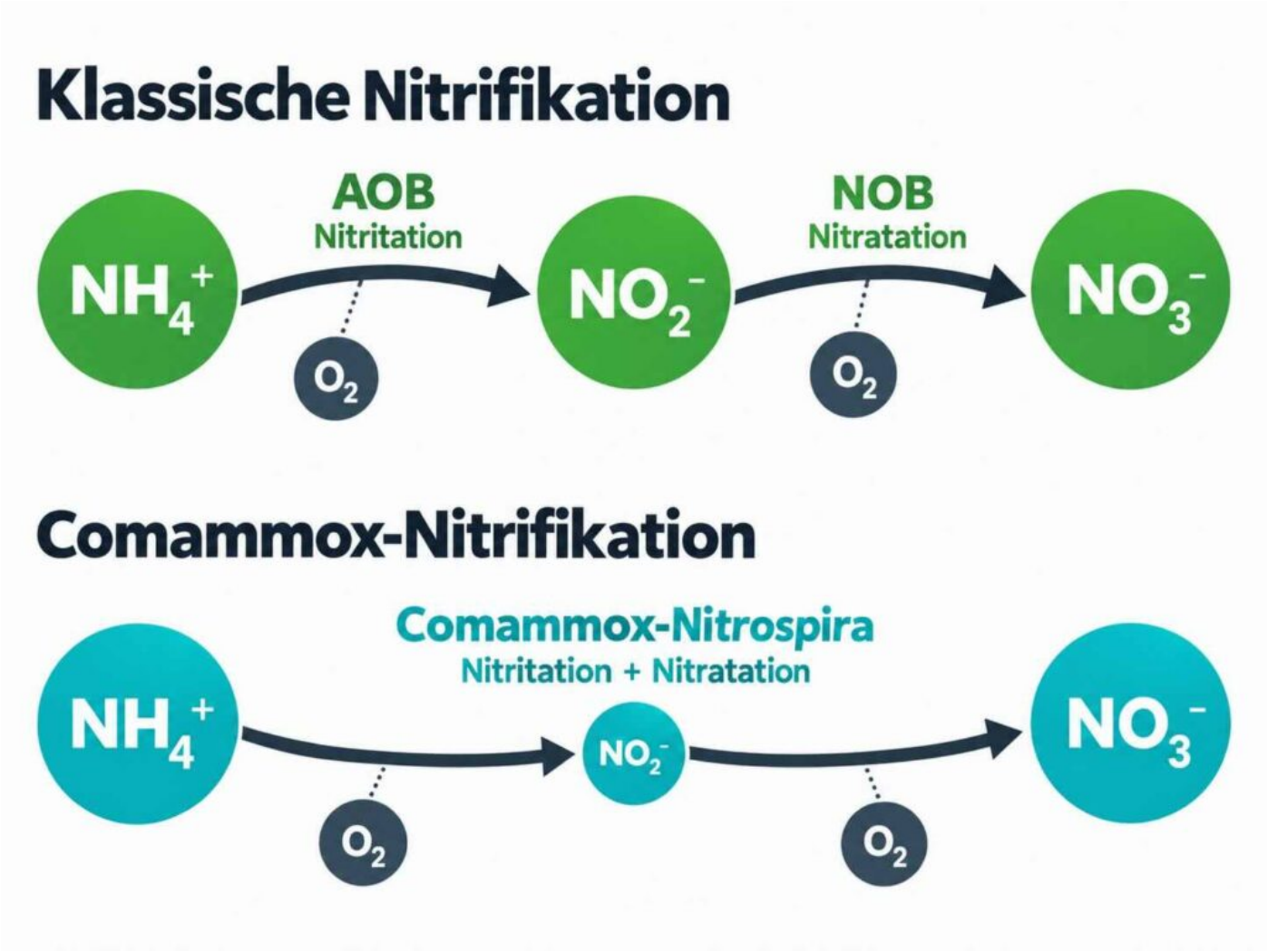


Abb 01: Die Nitrifikation läuft in der bekannten klassischen Arbeitsteilung ab. Ammoniumoxidierende Bakterien (AOB) oxidieren NH_4^+ zu Nitrit (NO_2^-). Nitritoxidierende Bakterien (NOB) oxidieren NO_2^- weiter zu NO_3^-.

Comammox-*Nitrospira* besitzen die Enzyme beider Schritte in einer Zelle. Für die Ammoniumoxidation sind das die Ammoniak-Monooxygenase (AMO) und die Hydroxylamin-Dehydrogenase (HAO), für die Nitritoxidation die Nitrit-Oxidoreduktase (NXR). Nitrit tritt dabei höchstens vorübergehend auf. Zusätzlich können Comammox-*Nitrospira* Harnstoff direkt verwerten.

Die vollständige Oxidation liefert mehr Energie je Ammonium als jeder Einzelschritt. Costa et al. leiteten daraus 2006 ab, dass solche Organismen existieren müssten, vor allem in Biofilmen. Der Nachweis gelang 2015 zwei Arbeitsgruppen unabhängig voneinander..

Beteiligte Organismen

Nitrospira ist eine Gattung nitritoxidierender Bakterien, die in Belebtschlamm weit verbreitet ist. Nur ein Teil der Gattung ist zu Comammox fähig. Die Abkürzung *Ca.* (Candidatus) kennzeichnet vorläufig benannte Arten.

Gruppe	Comammox	Vorkommen
Ca. Nitrospira nitrosa, *Ca. Nitrospira inopinata*	JA	in Kläranlagen überwiegend
Nitrospira defluvii, *Nitrospira moscoviensis*	NEIN	klassische NOB in Belebtschlamm
Nitrobacter, *Nitrotoga*	NEIN	klassische NOB

Einflussfaktoren

Comammox-*Nitrospira* haben eine hohe Affinität für Ammoniak, nutzen also auch sehr niedrige Konzentrationen. Ihre maximale Umsatzrate ist niedrig. Ihre Biomasseausbeute, also die gebildete Biomasse je umgesetztem Substrat, ist hoch. Sie wachsen langsam.

Begünstigt Comammox	Mechansimus
Niedriges Rest-Ammonium	Hohe Affinität verschafft einen Konkurrenzvorteil gegenüber AOB
Biomasserückhalt (Biofilm, Aufwuchsträger)	Langsam wachsende Zellen verbleiben im System
Hohes Schlammalter	Langsam wachsende Organismen werden nicht ausgetragen

Benachteiligt Comammox	Warum
Hohe NH_4^+-Konzentrationen	AOB mit höherer Umsatzrate setzen sich durch. In der Teilstrom-Deammonifikation, der Behandlung des ammoniumreichen Prozesswassers aus der Schlammentwässerung, fehlen Comammox-*Nitrospira*.
Frachtspitzen	Die niedrige Maximalrate begrenzt den Umsatz bei plötzlich steigendem Angebot.

Chlorat	Hemmt in Laborkulturen gezielt Comammox-*Nitrospira*, und zwar Ammonium- und Nitritoxidation. Hemmkonzentrationen für Kläranlagen sind nicht bekannt.

Zum Einfluss von Sauerstoff ist die Literatur widersprüchlich. Zu Eintragsquellen von Chlorat siehe Hemmstoffe.

Was Betriebsdaten zeigen – und was nicht

Ablaufwerte für NH_4-N, NO_2-N und NO_3-N zeigen die Nitrifikationsleistung. Sie zeigen nicht, welche Organismen diese Leistung erbringen. Chemisch ist eine Nitrifikation durch Comammox-*Nitrospira* nicht von der klassischen Arbeitsteilung zu unterscheiden. Ein niedriger Nitritwert im Ablauf passt zu beiden Wegen.

Typische Betriebssituationen

Bezug zur qPCR-Lebendzellzahl

Comammox wird in der Lebendzell-qPCR nicht als eigene Gruppe ausgewiesen. Für die Interpretation ist das Verhältnis der Lebendzellzahlen von AOB und *Nitrospira* relevant.

Im normalen mikrobiologischem Bild einer Kläranlage überwiegen die Ammoniumoxidierer zahlenmäßig. Daims et al. beschrieben 2015 eine Kläranlage, in der *Nitrospira* die AOB überwogen. Dort waren schätzungsweise 43–71 % der *Nitrospira* als Comammox-*Nitrospira* identifiziert worden.

Nitrifikanten qPCR-Analyse einer kommunalen Kläranlage mit potenieller Coanammox-Population



Abb 02: qPCR-Daten aus einer kommunalen Belebungsanlage: Die Ablaufwerte zeigen eine stabile Ammoniumoxidation (NH_4-N rund 0,4 mg/L). Das Verhältnis von AOB- zu NOB-Lebendzellzahl liegt somit bei etwa 1 : 8. Ein so hoher NOB-Anteil ist nicht nur selten, sondern entspricht auch dem Bild, das in einer Kläranlage mit nachgewiesen hohem Comammox-Anteil beschrieben wurde (Daims et al. 2015).

Andere Erklärungen für eine hohe *Nitrospira*-Lebendzellzahl sind ebenfalls möglich:

- alternative Energiequellen von *Nitrospira* wie Wasserstoff oder Formiat
- ammoniumoxidierende Archaeen (AOA)
- eine hohe Aktivität weniger AOB

Umgekehrt kommen Comammox-*Nitrospira* auch neben hohen AOB-Zahlen vor (Cotto et al. 2020). Die Lebendzellzahl ist keine Umsatzrate. Aussagekräftig ist sie nur im Zusammenhang mit Betriebsdaten und im zeitlichen Verlauf.

Merke: Eine deutlich höhere NOB-Lebendzellzahl als die AOB-Lebendzellzahl ist somit kein Widerspruch.

Literatur

- Costa E, Pérez J, Kreft JU (2006): Why is metabolic labour divided in nitrification? Trends in Microbiology 14, 213–219.
- Daims H et al. (2015): Complete nitrification by *Nitrospira* bacteria. Nature 528, 504–509.
- van Kessel MAHJ et al. (2015): Complete nitrification by a single microorganism. Nature 528, 555–559.

- Kits KD et al. (2017): Kinetic analysis of a complete nitrifier reveals an oligotrophic lifestyle. Nature 549, 269–272.
- Cotto I et al. (2020): Water Research 169, 115268.
- Roots P et al. (2019): Water Research [PRÜFEN: Band/Seiten]
- Chlorat als spezifischer Comammox-Hemmstoff, Yangtze-Ästuar [PRÜFEN: Autoren, Zeitschrift, Jahr]

Hinweis zur Einordnung dieses Artikels

Dieser Artikel dient als fachliche Orientierungshilfe zur Interpretation von qPCR-Ergebnissen. Er ersetzt keine anlagenspezifische Auswertung und stellt keine verbindliche Handlungsempfehlung dar.

Bei Fragen zur Interpretation Ihrer individuellen Ergebnisse sprechen Sie uns gerne an.

Tel.: 09721 9486610 E-Mail: info@dyena-genetics.de Web: www.dyena-genetics.de

---