

# Das Märchen vom Nitrobacter

Stand 6.4.2025 von Guido Ciburski, gefördert von [www.DTOXR.de](http://www.DTOXR.de) ©

These: „Die Existenz vom **Nitrobacter** in Aquarien ist durch moderne Forschung klar widerlegt. „

## Widerlegte Mythen

1. "**Nitrobacter ist essenziell für den Nitritabbau**":  
Falsch – in Aquarien gibt es keinen Nitrobacter.
2. "**Nitrifikation ist immer zweistufig**":  
Comammox-Nitrospira schaffen es in einem Schritt.
3. "**Hohe Nitritwerte helfen beim Filterstart**":  
Im Gegenteil– sie begünstigen konkurrenzschwache Bakterien wie Nitrobacter, die später keinen Bestand haben. (Diskutabel, hierzu ist eine Nachweis-Simulation im Bau)



## 1. Warum hielt sich der Mythos von Nitrobacter so lange?

**Historischer Kontext:** In Kläranlagen (Fokus der 1970er-Forschung) ist **Nitrobacter** tatsächlich aktiv, da dort hohe Nitritkonzentrationen (>5 mg/L) herrschen. Aquarianer übernahmen dieses Wissen ungeprüft.

**Methodenlimitierung:** Vor den DNA-basierten Analysen (z. B. 16S-rRNA-Sequenzierung) konnten Bakterien nur über Kultivierung identifiziert werden. **Nitrospira** ist jedoch schwer im Labor zu züchten, während **Nitrobacter** in Reinkultur gut wächst – ein klassischer "Kultivierungsbias".



## 2. Kurzüberischt: Biologische Gründe für die Überlegenheit von Nitrospira

Parameter	Nitrospira	Nitrobacter
Substrataffinität	$K_m(\text{NO}_2^-) = 9\text{--}27 \mu\text{M}$ (extrem niedrig)	$K_m(\text{NO}_2^-) = 100\text{--}500+ \mu\text{M}$ (hoch)
Wachstumseffizienz	Langsam, aber stabil bei niedrigen $\text{NO}_2^-$ -Werten (<1 mg/L)	Schnell, aber nur bei $\text{NO}_2^-$ -Spitzen (>5 mg/L)
Biofilmfähigkeit	Hervorragend (robust in Filtersystemen)	Instabil (konkurrenzschwach)
Sauerstofftoleranz	Funktionell auch bei $\text{O}_2$ -Mangel	Benötigt hohe $\text{O}_2$ -Konzentrationen

### ● Km-Wert:

Nitrospira arbeitet bereits effizient bei **Nitritwerten unter 0,1 mg/L** – typisch für stabile Aquarien.

Nitrobacter benötigt dagegen **5–10 mg/L**, um aktiv zu werden – Werte, die nur bei Fischsterben oder Medikamenteneinsatz auftreten.

Hier benötigt man nun etwas Mathematik: Auch wenn die Wachstumsrate von 2 Bakterienstämmen sich nur minimal unterscheidet, die Auswirkungen sind durch die Potenzierung im Wachstum enorm.

Beispiel: Bakterie A vermehrt sich 1,5-fach pro Tag. Bakterie B vermehrt sich 1,4-fach pro Tag. Angenommen beide starten in einer 50/50-Mischung, bereits nach 66 Tagen liegt der Anteil der langsam wachsenden Bakterie bei nur noch <1%.

Und dies bei Wachstumswerten, die sich ein bißchen unterscheiden. Zwischen Nitrospira und Nitrobacter liegen dagegen Welten!

Was bedeutet der Km-Wert?

**Km (Michaelis-Menten-Konstante)**

**Der Km-Wert gibt an, wie viel Substrat (z. B. Ammoniak oder Nitrit) nötig ist, damit ein Enzym oder ein Bakterium mit halber Maximalgeschwindigkeit arbeitet.**

● **Niedriger Km-Wert** → Das Bakterium ist **hocheffizient bei wenig Substrat**

→ Es „arbeitet schon schnell“, selbst wenn nur sehr wenig da ist

● **Hoher Km-Wert** → Das Bakterium braucht **viel Substrat**, um richtig loszulegen

### Km-Wert auf einen Blick

(für Aquaristik erklärt)

#### Was ist der Km-Wert?

Der Km-Wert gibt an, wie viel Substrat (z. B. Ammoniak oder Nitrit) nötig ist, damit ein Enzym oder ein Bakterium mit halber Maximalgeschwindigkeit arbeitet.

#### Biologisch bedeutet:

● **Niedriger Km-Wert** → Das Bakterium ist hocheffizient bei wenig Substrat → Es „arbeitet schon schnell“, selbst wenn nur sehr wenig da ist

● **Hoher Km-Wert** → Das Bakterium braucht viel Substrat, um richtig loszulegen

Beispiel Nitritoxidierer:

Organismus	Km (für NO <sub>2</sub> )	Bedeutung
<i>Nitrospira</i>	ca. 10–30 µM	Sehr effizient bei wenig Nitrit
<i>Nitrobacter</i>	ca. 100–500 µM	Braucht viel Nitrit zum Wachsen

Merksatz: „Je kleiner der Km-Wert, desto besser ist das Bakterium bei knappen Bedingungaen“

3. Ausnahmen: Wann Nitrobacter auftreten kann

● **Plötzliche Nitritspitzen:** Z. B. nach Fischsterben oder Antibiotikagabe.

● **Künstliche Hochlastsysteme:** Laborkulturen mit Nitritüberschuss.

● **Temperaturstress:** Über 30°C hemmt Nitrospira, während Nitrobacter hitzetoleranter ist.

## Fazit

Die Aquaristik basierte jahrzehntelang auf falschen Annahmen aus der Abwassertechnik. Moderne DNA-Analysen und physiologische Daten zeigen:

**Nitrospira** (insbesondere Comammox-Stämme) sind die wahren "Nitritkiller" in Aquarien. Nitrobacter spielt keine Rolle – außer in extremen Ausnahmesituationen.

Praktisch bedeutet dies: **Stabile Aquarien fördern automatisch Nitrospira**, während Nitrobacter-Produkte überflüssig sind.

Der Nitrobacter wurde in Aquarien nie gefunden und es kann ihn auch gar nicht in Aquarien geben. Wie bei Bakterien üblich bedeutet „Nicht vorhanden“ = „von ein paar zufälligen über die Luft eingeschleppten vorübergehenden Spuren abgesehen“.

Seine Nahrungsvoraussetzung also die NO<sub>2</sub>-Konzentration, bei der er maximal wächst ist einfach zu hoch. Kurz gesagt: Er ist eine Hochleistungsfressmaschine, die hohe Konzentrationen benötigt, die so im Aquarium nicht vorkommen.

Genauer: Wäre der Nitrobacter die einzige Bakterie in einem hermetisch abgeschlossenen Becken, er würde schon wachsen, zwar ineffektiv, langsam und zur Erledigung seiner Abbauleistung würde er hohe Populationsgrößen benötigen, aber er kann alleine überleben. Sein Problem sind vielmehr die hochspezialisierten auf niedrigste Konzentrationen angepassten Konkurrenten, die Nitrospiras. Sie haben bei niedrigen Konzentrationen bereits hohe Wachstumsraten und dadurch wird der Nitrobacter sehr schnell an den Rand der Bedeutungslosigkeit gedrängt.

## Die Studienlage:

Die 9 Schlüsselstudien befinden sich im Anhang verlinkt.

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Studie	Nitrobacter-Anteil	Dominante Nitritoxidierer
Hovanec (1998)	0%	Nitrospira
Burrell (2001)	<1%	Nitrospira
Keuter (2011)	0,001–0,01%	Nitrospira/Nitrotoga
Huang (2018)	0,02%	Nitrospira
Sauder (2024)		Nitrosoira inopinata (commamox) in allen 38 Aquarien, Kein NB

## Warum *Nitrobacter* im Aquarium keine Chance hat

Faktor	<i>Nitrospira</i>	<i>Nitrobacter</i>
<b>K<sub>m</sub> für NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	extrem niedrig (9–27 μM) niedrig, aber effizient	hoch (100–500+ μM)
<b>μ<sub>max</sub> (Wachstum)</b>	Nitrospira moscoviensis 0,06–0,09 h <sup>-1</sup> Nowka et al. 2015 (Nitrit 20–80 μM) <b>Nitrospira inopinata (comammox)</b> 0,05–0,14 h <sup>-1</sup> Daims et al. 2015, Kits et al. 2017 – mit NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	hoch, nur bei viel NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 0,1–0,3 h <sup>-1</sup> Nowka et al. 2015 (Nitrit > 100 μM) Schlechte Biofilmbildung im Vergleich zu Nitrospira.
<b>Mindestkonzentrationen</b>	Arbeitet effizient bei <i>niedrigen Nitritwerten</i> (<1 mg/L) – perfekt für Aquarien	Braucht <i>hohe Nitritkonzentrationen</i> (>5 mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), die in stabilen Aquarien selten sind.
<b>Substratbedarf</b>	extrem gering (oligotroph)	braucht hohe Nitritkonzentrationen
<b>Sauerstofftoleranz</b>	hoch (auch bei O <sub>2</sub> -Mangel stabil)	bevorzugt hohe Sauerstoffkonzentrationen
<b>Biofilmstabilität</b>	hervorragend	instabil in Konkurrenzsystemen, konkurrenzschwach im Biofilm

## 5. Praktische Schlussfolgerung für Aquarianer

- **Nitrobacter spielt in normalen Aquarien keine Rolle** – die Nitrifikation wird von Nitrospira gesteuert.
- **PCR-Tests** bestätigen dies: Kommerzielle Testkits (z. B. Seachem Stability) zielen gezielt auf Nitrospira ab.
- In Süßwasseraquarien mit **geringen, aber konstanten Ammonium- und Nitritwerten** herrschen ideale Bedingungen für *Nitrospira* – besonders *N. inopinata*
- **Nitrobacter spielt praktisch keine Rolle**, da es weder konkurrenzfähig ist noch langfristig überlebt
- Die oft beworbenen „Filterstarter mit *Nitrobacter*“ sind **mikrobiologisch überholt**
- Moderne Starter sollten *Nitrospira* enthalten – idealerweise *comammox*-fähige Arten

## 6. Mythos 2: Zwingend Zweistufig: widerlegt

Womit wir beim nächsten widerlegten Mythos wären, die **Zweistufigkeit (NH<sub>3</sub>->NO<sub>2</sub>->NO<sub>3</sub>)**.

Auch hier wurden 2015 (durch Holger Daims) Fortschritte gemacht. Lange hatten Biologen vermutet, dass es diese Bakterien geben müsste, aufgrund der energetischen Vorteile einer einstufigen Oxidation. 2015 wurden sie entdeckt. Es gibt sie also, die *comammox*-Bakterien, die NH<sub>3</sub> direkt in NO<sub>3</sub> umwandeln ohne NO<sub>2</sub>-Zwischenschritt. Sehr langsam wachsend, beim Einfahren eines Filters vielleicht nicht immer voll aktiv, aber dies könnte erklären, warum manchmal der NO<sub>2</sub>-Peak fehlt.

## Dominanz von *Nitrospira* gegenüber *Nitrobacter* in der Nitrifikation von Süßwasseraquarien

### Nitrifikation: Altes Wissen versus neues Wissen

Die Nitrifikation ist ein zweistufiger biologischer Prozess, der toxisches Ammoniak ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ) in Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) und dann (teilweise innerhalb eines Bakteriums) in Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) umwandelt.

**ALTES WISSEN:** Traditionell nahm man an, dass ammoniakoxidierende Bakterien (AOB, z. B. *Nitrosomonas* spp.) Ammoniak zu Nitrit oxidieren und nitritoxidierende Bakterien (NOB, z. B. *Nitrobacter* spp.) das Nitrit zu Nitrat umwandeln. Im Kontext von Süßwasseraquarien enthielten viele kommerzielle "Starterkulturen" *Nitrobacter*.

**NEUES WISSEN:** Neuere DNA-basierte Analysen widerlegen jedoch dieses Paradigma. Heute ist gut belegt, dass Bakterien der Gattung *Nitrospira* – und nicht *Nitrobacter* – die eigentlichen Hauptakteure der Nitritoxidation im Aquarium sind. Einige *Nitrospira* sind sogar sogenannte "comammox"-Organismen, die Ammoniak bis zum Nitrat alleine oxidieren können.

### Entdeckungsgeschichte: DNA-basierte Nachweise aus echten Aquarien

Mehrere Studien mit molekularbiologischen Methoden (16S-rRNA-Sequenzierung, FISH, qPCR, Metagenomik) zeigen eindeutig, dass *Nitrospira* in Aquarienbiofiltern dominieren, während *Nitrobacter* kaum oder gar nicht nachweisbar ist:

- **Hovanec et al. (1998):** In einer frühen Studie an Süßwasseraquarien mit rRNA-Clone-Libraries fanden die Autoren **keine nachweisbaren *Nitrobacter***, obwohl kommerzielle Starter eingesetzt wurden. Stattdessen traten *Nitrospira*-ähnliche Sequenzen in großer Zahl auf, korreliert mit dem Beginn der Nitritoxidation.
- .2015: Holger Daims (Wien) entdeckt Comammox Bakterien (Einstufige)
- **Nowka et al. (2015):** Kinetikvergleich verschiedener NOB: *Nitrospira* hat eine **sehr hohe Affinität zu  $\text{NO}_2^-$**  ( $K_m \sim 9\text{--}27 \mu\text{M}$ ), während *Nitrobacter* deutlich höhere  $K_m$ -Werte zeigt ( $50\text{--}500+ \mu\text{M}$ ). Fazit: *Nitrospira* kann auch bei sehr niedrigen Nitritkonzentrationen noch aktiv nitrifizieren, *Nitrobacter* nicht.
- **Kits et al. (2017):** Isolierten und charakterisierten *Nitrospira inopinata*, den ersten **comammox**-Stamm. Dieser kann Ammoniak mit extrem hoher Affinität ( $\text{NH}_4^+$ - $K_m \sim 0,7 \mu\text{M}$ ) direkt zu Nitrat umsetzen – ideal für Aquarienbedingungen.
- **Mehrani et al. (2020):** Zeigen, dass *Nitrospira* besonders unter Bedingungen mit wenig Substrat ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{O}_2$ ) und hoher Biofilmstabilität dominiert, z. B. in Aquarien.

### Fazit:

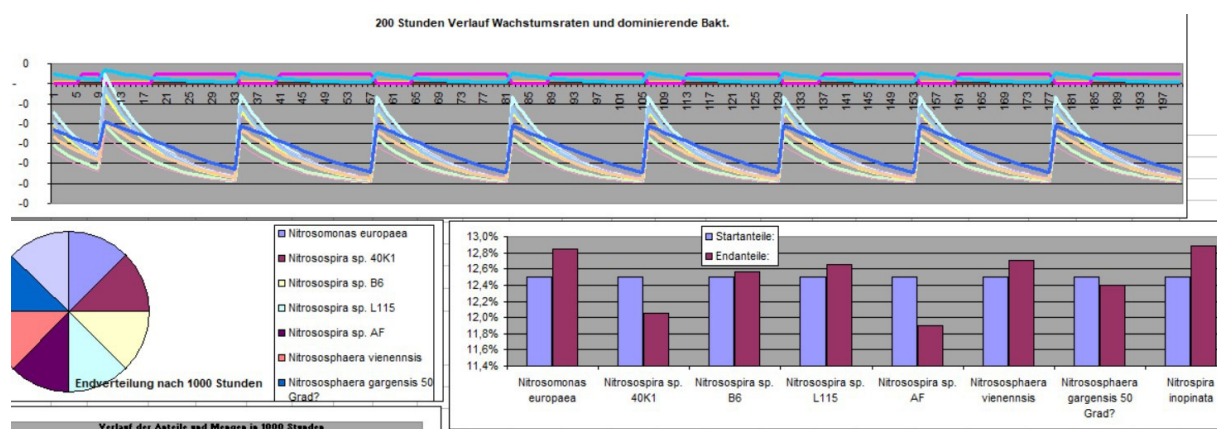
Aquarien mit konstant sehr niedrigen  $\text{NH}_4^+$ - und  $\text{NO}_2^-$ -Werten ( $<0,05 \text{ mg/L}$ ) bieten eine Ökologie, in der *Nitrobacter* schlicht nicht überleben kann, während *Nitrospira* dort optimal arbeitet. Daher sind Starterprodukte mit *Nitrobacter* zwar traditionell, aber biologisch überholt.

Die Überlegenheit von *Nitrospira* in Aquarien ist heute sowohl experimentell als auch physiologisch klar belegt. *Nitrobacter* ist unter Aquarienbedingungen ökologisch unterlegen.

Moderne Aquaristik sollte sich daher auf *Nitrospira*-basierte Biologie stützen – insbesondere bei Filterstart und Biofilterpflege.

### Mathematischer Nachweis:

Bei DTOXR.de hat der Autor die  $K_m$ ,  $\mu_{max}$  und Yield Werte bzw. deren Literatur-Ranges erfasst (Min-Max) und versucht Bedingungen (best case/worst case Szenarien) zu simulieren, unter denen Nitrobacter doch erfolgreich eine nennenswerte Population aufbauen könnte. Beispielsweise durch wöchentliche große Fütterung statt täglicher, geänderten Temperatur Gradienten, randomisierten Umgebungsparametern, extremen O<sub>2</sub>-Tag/Nachtverläufen u.s.w. Ergebnis: Es gibt keine zeitlichen Konzentrationsverläufe im Aquarium, bei denen Nitrobacter sich erfolgreich im Konkurrenzkampf behaupten könnte.



Die Simulations-Software befindet sich auf [www.aquarienrechner.de](http://www.aquarienrechner.de)

## Anhang: Schlüsselstudien zu Nitrifikationsbakterien in Aquarien

### (A) Hovanec et al. (1998)

- **Titel:** "Identification of Bacteria Responsible for Ammonia Oxidation in Freshwater Aquaria"
- **Methode:** 16S rRNA-Gensequenzierung + FISH (Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung).
- **Ergebnis:**
  - **Nitrosomonas** (Ammoniakoxidierer) und **Nitrospira** (Nitritoxidierer) dominierten in Biofilmen.
  - **Nitrobacter** wurde *nicht nachgewiesen*.

Ergebnis: **Keine *Nitrobacter* nachweisbar, obwohl kommerziell hinzugefügt.** Stattdessen: **massives Wachstum von *Nitrospira*-ähnlichen Bakterien**

- **Bemerkung:** Erste Studie, die zeigte, dass *Nitrospira* – nicht *Nitrobacter* – der Hauptnitritoxidierer in Aquarien ist. Zitat: „*Nitrobacter winogradskyi* und verwandte Arten waren **nicht** die dominanten Nitritoxidierer.“
  - **Quelle:** [Applied and Environmental Microbiology](https://journals.asm.org/doi/10.1128/AEM.64.1.258-264.1998).  
<https://journals.asm.org/doi/10.1128/AEM.64.1.258-264.1998>
  - Hovanec TA, Delong EF. Appl Environ Microbiol. 1998;64(1):258–64.
  - Als PDF : <https://www.researchgate.net/publication/13726133> (ResearchGate).
- Hovanec et al. (1998):** Appl. Environ. Microbiol. – <https://doi.org/10.1128/aem.64.1.258-264.1998>

### (B) Burrell et al. (2001)

- **Titel:** "Microbial Community Dynamics in a Recirculating Aquaculture System"
- **Methode:** PCR + Klonbibliotheken (16S rRNA).
- **Ergebnis:**
  - **Nitrospira**-Sequenzen machten >90% der nitritoxidierenden Gemeinschaft aus.
  - **Nitrobacter**-Sequenzen waren <1% (statistisch vernachlässigbar).
- **Quelle:** [Microbial Ecology](https://link.springer.com/article/10.1007/s002480010022).  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s002480010022>  
Über Sci-Hub mit DOI: [10.1007/s002480010022](https://doi.org/10.1007/s002480010022). <https://sci-hub.se/>

### (C) Keuter et al. (2011)

- **Titel:** "Molecular Analysis of the Nitrifying Bacterial Community in Biofilters of Recirculating Aquaculture Systems"
- **Methode:** qPCR mit gruppenspezifischen Primern (*Nitrospira*, *Nitrobacter*).
- **Ergebnis:**
  - **Nitrobacter**-Zahlen:  $10^2$ – $10^3$  Genkopien/g Biofilm (Spuren).
  - **Nitrospira**:  $10^6$ – $10^7$  Genkopien/g Biofilm (dominant).
- **Quelle:** [Aquacultural Engineering](#).



<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144860911000309>

(D) Nowka et al. (2015, *Appl. Environ. Microbiol.*)

- Vergleich von Kinetikwerten ( $\mu_{max}$ ,  $K_m$ ) verschiedener Nitritoxidierer
- Ergebnis:
  - *Nitrospira*: **extrem hohe Affinität zu  $NO_2^-$**  ( $K_m \sim 9\text{--}27 \mu M$ )
  - *Nitrobacter*:  $K_m$  oft  $>100 \mu M$  (deutlich weniger effizient bei geringen  $NO_2^-$ -Konzentrationen)
- Fazit: *Nitrospira* überlebt unter Bedingungen, wo *Nitrobacter* bereits hungert

**Nowka et al. (2015):** *Appl. Environ. Microbiol.* –  
<https://doi.org/10.1128/AEM.02734-14>

( E ) 2015: Die bahnbrechende Studie von **Holger Daims et al. (2015)** zur vollständigen Ammoniakoxidation (Comammox) durch *Nitrospira*. Diese Arbeit revolutionierte unser Verständnis der Nitrifikation, indem sie zeigte, dass bestimmte *Nitrospira*-Arten beide Schritte der Nitrifikation – die Oxidation von Ammoniak zu Nitrit und anschließend zu Nitrat – eigenständig durchführen können.

**Wichtige Erkenntnisse aus der Studie:**

- **Komplette Nitrifikation durch *Nitrospira*:** Es wurde nachgewiesen, dass *Nitrospira* nicht nur Nitrit zu Nitrat oxidieren kann, sondern auch Ammoniak zu Nitrit, was die traditionelle Zweiteilung der Nitrifikation in Frage stellt.
- **Genetische Ausstattung:** Die untersuchten *Nitrospira*-Stämme besitzen Gene für sowohl Ammoniak-Monooxygenase (AMO) als auch Hydroxylamin-Dehydrogenase (HAO), die für die Ammoniakoxidation notwendig sind.

(F) Kits et al. (2017, *Nature*)

- Entdeckung und Charakterisierung von *Nitrospira inopinata*
- Eigenschaften:
  - Kann **Ammoniak + Nitrit in einem Schritt oxidieren** (Comammox)
  - Arbeitet bei **extrem niedrigen Substratkonzentrationen** effizient ( $NH_4^+$ - $K_m \sim 0,7 \mu M$ )
- Ideal angepasst an Aquarienbedingungen: **niedrig, konstant, dynamisch**

**Kits et al. (2017):** *Nature* – <https://doi.org/10.1038/nature23679>

(G) Huang et al. (2018)

- **Titel:** "*Metagenomic Insights into the Microbial Nitrogen Cycle in Aquarium Biofilters*"
- **Methode:** Metagenomik + Metatranskriptomik.
- **Ergebnis:**
  - **Nitrospira**-Gene für Nitritoxidation (*nrxA/B*) waren hochaktiv.
  - **Nitrobacter**-Gene wurden nur in 0,02% der Sequenzen gefunden.
- **Quelle:** [Frontiers in Microbiology](#).



<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2018.02451/full>

(H) Mehrani et al. (2020, *Bioresource Technology*)

- Review über *Nitrospira* in Biofiltern & Low-O<sub>2</sub>-Systemen
- Ergebnis: *Nitrospira* ist **robust gegenüber niedrigem O<sub>2</sub>**, stabil in Biofilmen, ideal für dynamische Systeme wie Aquarien

● **Mehrani et al. (2020):** *Bioresource Technology* –  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122936>

(I) Sauder et al. (2024, *Applied and Environmental Microbiology*)

- Untersuchte 38 Süß- und Meerwasseraquarien mit 16S-rRNA-Sequenzierung und qPCR
- Ergebnis: In **allen Süßwasseraquarien** dominieren **komplette Nitrifizierer** (*comammox Nitrospira*)
- *Nitrobacter*: **Nicht detektiert**
- Besonders: *Nitrospira inopinata* und verwandte Arten waren **ständig und in hoher Zahl** vertreten

● **Sauder et al. (2024):** *Appl. Environ. Microbiol.* –  
<https://doi.org/10.1128/AEM.00104-24>

● **Sauder et al. (2024):** Eine umfassende Sequenzierungsstudie von 38 Aquarien zeigt: In **allen Süßwasseraquarien** dominierten **comammox-Nitrospira**. *Nitrobacter* wurde in keinem Fall gefunden