



Nachdem wir im ersten Teil unserer „Stickstofftrilogie“ ausführlich auf Ammoniak eingegangen sind und sein Gleichgewicht mit dem Ammonium beschrieben haben, beschäftigt sich dieser zweite Teil der Reihe mit dem Nitrit, einer Substanz, die ebenfalls giftig ist.

Nitritquellen

Nitrit ist ein Zwischenprodukt, das bei verschiedenen biochemischen Reaktionen gebildet wird. Insbesondere der Nitrataufbau (Nitrifikation) und der Nitratabbau (Denitrifikation) sind bei nicht vollständiger Reaktion eine Nitritquelle. Wird Nitrit nicht weiterverarbeitet, reichert es sich zu Konzentrationen an, die giftig wirken. In einem einwandfrei funktionierenden Aquariensystem wird Nitrit jedoch nur während der Einfahrphase gefährlich werden, und darüber hinaus bei einer Störung der biologischen Vorgänge in der Filteranlage (z. B. Desinfektionsarbeiten, Medikamenteinsatz oder extreme Schwankungen von Temperatur bzw. anderer physikalischer Umgebungsfaktoren). Beim „Einfahren“ von Aquakultursystemen können Nitritkonzentrationen von 50 mg/l und mehr auftreten.

Nitritsenken

Die wichtigste Nitritsenke ist die Nitrifikation, bei der Ammoniak über Nitrit zu Nitrat oxidiert wird. Dabei oxidieren bestimmte Bakterien, die als Ammoniak-Oxidanten bezeichnet werden (z. B. *Nitrosomonas* sp.), Ammonium bzw. Ammoniak zu Nitrit, und anschließend die Nitrit-Oxidanten (z. B. *Nitrobacter* sp.) das Nitrit zu Nitrat. Doch erst wenn die zweite Stufe dieses Prozesses voll im Gang ist, wird entstandenes Nitrit sofort weiter oxidiert, so dass es nach kurzer Zeit nicht mehr nachweisbar ist – auch wenn von den Ammoniak-Oxidanten fortwährend neues Nitrit nachgeliefert wird. Bei der Anammox-Reaktion, die wahrscheinlich in Sandbettfiltern oder anderen anaeroben Systemen stattfindet, kann ebenfalls Nitrit aufgenommen und zu Luftstickstoff verarbeitet werden. Auch weitere Formen des Nitritabbaus sind denkbar (z. B. als Nitrit-Ammonifikation und als Nebenreaktion der Nitrataassimilation), doch wie viel diese tatsächlich zum Verringern der Nitritkonzentration beitragen können, ist unbekannt.

Das Gleichgewicht zwischen Nitrit und Salpetriger Säure

Wie die Verbindungen Ammonium und Ammoniak (siehe Teil 1 dieser Reihe) liegen auch Nitrit und Salpetrige Säure in einem Gleichgewicht vor, das von pH-Wert, Temperatur und Salzkonzentration bestimmt wird. Allerdings spielt die Salpetrige Säure nur bei sehr tiefen pH-Werten eine Rolle, die im Meerwasseraquarium nicht erreichbar sind. Bei den meereswassertypischen pH-Werten um 8,2 kann die Konzentration dieser Substanz vernachlässigt werden.

Die Giftigkeit des Nitrits

Schon KLINGLER stellte 1957 fest, dass Fische sehr unterschiedlich auf erhöhte Nitritkonzentrationen reagieren. Elritzen (*Phoxinus laevis*) starben bei Konzentrationen von 50 mg/l innerhalb von 3,4–22,9 Tagen (bei zehn Versuchstieren). Pathologische Untersuchungen der verendeten Tiere ergaben Anämie (Blutarmut), vermehrte Ablagerungen von Blutab-



Stickstofftrilogie ^{Teil 2.}

Nitrit – ein giftiges Zwischenprodukt

Beate R. Sellner und Burkhard Ramsch
(Diplombiologen der Firma AquaCare GmbH & Co. KG)

Fahnenbarsche benötigen besonders reines Aquarienwasser (Aquarium Jürgen Wendel). Foto: D. Knop



In einem gesunden Riffaquarium kommt es nicht zur Anreicherung von Nitrit (Aquarium Jürgen Wendel). Foto: D. Knop

bauprodukten in Leber, Milz und Niere sowie eine prall gefüllte Gallenblase.

Die Symptome einer Nitritvergiftung sind heftige Atmung (Hyperventilation), Schäden an Leber und Augennetzhaut, Kaliumverlust der Zellen, erhöhte Herzfrequenz, Bildung von Nitrosaminen und eine Erhöhung der Empfindlichkeit gegenüber anderen giftigen Substanzen oder Infektionen. Doch für die Symptome, die wir bei einer Nitritvergiftung des Fisches wahrnehmen, spielt nicht nur die Konzentration des Nitrits im Wasser eine Rolle, sondern auch die Dauer ihrer Einwirkung. Je länger unser Fisch also in leicht erhöhter Nitritkonzentration verweilt, umso stärker werden seine Symptome, denn es kann sich mehr Nitrit in seinem Blut konzentrieren. Nach rund ca. 24–48 Stunden ist ein Gleichgewicht zwischen der Nitritkonzentration in Blut und Umgebungswasser erreicht (HUEY et al. 1980; EDDY et al. 1983).

Wenn erhöhte Nitritwerte im Wasser vorhanden sind, diffundiert Salpatri-

ge Säure von außen über die Fischkiemen in die Blutbahn und schleust Nitrit mit hinein. Im Blutplasma kann sich Nitrit auf das 60- bis 70fache der Umgebungswasser-Konzentration anreichern, in den Organen auf das 30fache. Ist Nitrit erst einmal im Blutplasma, dringt es auch in die roten Blutkörperchen ein und oxidiert dort das Eisen-Zentralatom des Hämoglobins, des roten Blutfarbstoffs. Oxidiertes Hämoglobin kann weniger Sauerstoff binden, und durch eine hohe Konzentration von oxidiertem Hämoglobin – als Methämoglobin bezeichnet – verfärbt Blut sich braun, was auch an einer Braunfärbung der Kiemen zu erkennen ist.

Daraus ergibt sich, dass ein Fisch in Aquarienwasser mit sehr hoher Nitritkonzentration Gefahr läuft, bei gesteigerter körperlicher Aktivität einen zunehmenden Sauerstoffmangel zu erleiden, weil sein Blut das lebenswichtige Gas nicht mehr binden und transportieren kann. Verhält sich ein solcher Fisch jedoch körperlich passiv, weil er beispielsweise träge in ei-

nem Versteck liegt, dann hat er oft eine gewisse Chance zu überleben, weil er seinen Sauerstoffbedarf vermindert, besser gesagt, weil er einen erhöhten Sauerstoffbedarf vermeidet. Entwickelt dieser Fisch dann aber plötzliche Aktivität, so dass sich sein Sauerstoffbedarf drastisch steigert (z. B. wenn wir versuchen, ihn mit einem Fangnetz aus dem Aquarium herauszufangen, er dabei schnell schwimmt und in Panik gerät), dann kann er infolge des Sauerstoffmangels regelrecht ersticken, weil sein Blut durch das viele oxidierte Hämoglobin nicht ausreichend Sauerstoff zu transportieren vermag.

Doch Fische, die körperlich in sehr guter Verfassung sind, haben hier noch einen biochemischen Trick auf Lager: In ihrer Leber haben sie mehr von einer Substanz namens Glykogen gespeichert. Dabei handelt es sich um Zucker (Glukose) in einer bestimmten Speicherform. Dieses Glykogen kann bei Bedarf wieder verfügbar gemacht werden, in einem Prozess, der als Glykogenolyse bezeichnet

Hilfe eines Enzyms namens „Methämoglobinreduktase“,

und wenn wir das Tier in nitritfreies Aquarienwasser setzen, dann dauert es rund 24–72 Stunden, bis das natürliche Maß wieder erreicht ist (HUEY et al. 1980; KNUDSEN & JENSEN 1997). Über dieses Enzym muss der Organismus verfügen, weil auch unter nitritfreien Bedingungen eine gewisse Oxidation des roten Blutfarbstoffes stattfindet, die rückgängig gemacht werden muss. Diese „natürliche“ Oxidation wird durch Sauerstoffmangel und erniedrigte pH-Werte (KIESE 1974) oder durch allgemeinen Stress (CAMERON 1971) begünstigt und ist natürlich abhängig von der Fischart (CAMERON 1971; BROWN & MCLEAY 1975). Ebenfalls spielt das Alter der Fische eine Rolle: Fischbrut ist toleranter gegenüber Nitrit als ältere Fische (PERRON & MEADE 1977; RUSSO et al. 1974; BARTLETT & NEUMANN 1998), wahrscheinlich durch erhöhte Methämoglobinreduktase-Aktivität (KIESE 1974).

Ein Weg zur Nitritreduzierung im Fisch existiert in der Leber: In den Leberzellen kann Nitrit zu Nitrat

oxidiert werden (DOBLANDER & LACKNER 1996). Wenn ausreichend Sauerstoff zur Verfügung steht, ist sogar in den roten Blutkörperchen ein Oxidieren des Nitrits möglich.

Welche Nitritkonzentration ist tolerierbar?

Grundsätzlich sollte die Nitritkonzentration im Aquarium auch in Ausnahmefällen einen Wert von 0,1 mg/l nicht überschreiten. Zwar können höhere Werte als beim Ammoniak toleriert werden, doch hat Nitrit aufgrund der Langzeitgiftigkeit auch lange nach einer Konzentrationsspitze noch negative Wirkungen auf einen Organismus.

In Quarantänebecken ist die biologische Filterung (Nitrifikation und Denitrifikation) meist unzureichend, und zusätzlich erschweren starke Belastungsschwankungen durch unterschiedlich dichten Tierbesatz die Bildung einer stabilen Bakterienpopulation. In Aquarien mit Bodengrund und einer Einrichtung mit viel bakteriell besiedelbarer Oberfläche bildet sich normalerweise eine stabile Mikroorganismen-Population, die Belastungsschwankungen besser toleriert als „nackte“ Quarantäneanlagen oder Nachzuchtbecken.

net wird. Dabei wird Zucker frei und dient dem Tier als Energielieferant, was ihm dabei hilft, einen Sauerstoffmangel infolge Methämoglobinbildung im Blut besser zu überstehen (PERRONE & MEADE 1977). Doch dies funktioniert wie gesagt nur, wenn ein Fisch in gutem Zustand ist, was vor allem die Ernährung betrifft – er muss „gut im Futter stehen“ –, und es zeigt, wie wichtig dieser gute Allgemeinzustand ist, wenn es darum geht, Stress und schlechte Wasserbedingungen zu überstehen. Fische in kalten Habitaten (z. B. in der Antarktis) transportieren erheblich mehr Sauerstoff direkt im Blutplasma und sind darum deutlich weniger der Gefahr einer Methämoglobinbildung ausgesetzt. Antarktische Fische besitzen z. B. überhaupt kein Hämoglobin! Ist ein nennenswerter Teil des Blutfarbstoffes Hämoglobin oxidiert, dann kann der Organismus des betreffenden Fisches dieses Methämoglobin wieder reduzieren und von Sauerstoffatomen befreien. Dies geschieht mit



Korallenwächter *Oxymonacanthus longirostris* (Aquarium Sandra und Cornelia Preis) Foto: D. Knop

Senkung hoher Nitritkonzentration

Akute Nitritspitzen können mit einem Teilwasserwechsel (mit „gereiftem“ Meerwasser) schnell reduziert werden. Ebenfalls unterstützend wirken die Anreicherung des Wassers mit Sauerstoff und der Einsatz von Adsorbentien. Ein Anheben des pH-Wertes hingegen kann die Giftigkeit des Nitrits nicht verringern. Im Gegensatz dazu kann es bei einer Nitritvergiftung durchaus helfen, einen eingefahrenen Bakterienfilter an das belastete System anzuschließen. Allerdings sollte immer darauf geachtet werden, dass mit dem Filter keinesfalls Ektoparasiten in das betreffende Aquarium eingeschleust werden dürfen, weil die Fische durch die Nitritbelastung extrem anfällig sind. Eine weitere Möglichkeit, erhöhten Nitritkonzentrationen im Aquarium zu Leibe zu rücken, ist der Einsatz von Präparaten mit halophilen („Meerwasser liebenden“) Nitrifikationsbakterien, der allerdings nicht immer zum Erfolg führt (RAMSCH et al. 1992).

Sehr wichtig ist es, zu hohe Nitritkonzentration von vornherein zu verhindern, z. B. dadurch, dass man den Tierbesatz eines Aquariums nicht plötzlich steigert, sondern nur allmählich. Auch darf die gereichte Futtermenge nicht abrupt erhöht werden. Allerdings müssen auch eine Mangelfütterung oder das Ernähren mit vitalstoffarmem Futter vermieden werden, weil, wie oben geschildert, dadurch die Widerstandsfähigkeit der Fische gegenüber erhöhten Nitritwerten enorm sinkt.

In einem noch nicht „eingefahrenen“ Meerwasseraquarium sollte keinesfalls ein Nitratfilter (= Denitrifikationsfilter) in Betrieb genommen werden, dessen Aufgabe es ist, Nitrat bakteriell zu reduzieren und in Stickstoff zu verwandeln. Der Grund dafür ist simpel: Es dauert meist eine Weile, bis solche Nitratfilter optimal funktionieren, und so lange besteht die Gefahr, dass sie Nitrat in Nitrit umbauen, also die Nitritkonzentration des Aquarienwassers erhöhen. Die Konzentrationen können 10 mg/l am Nitratreaktorausgang schnell übersteigen, spielen

aber in einem eingefahrenen Aquariensystem keine Rolle. Doch dazu muss unbedingt die bakterielle Nitrifikation im Aquarium stabil funktionieren, sonst droht eine Nitritvergiftung. Denitrifikationssysteme werden grundsätzlich im Bypass betrieben, haben somit eine sehr geringe Durchsatzrate: bei Riffaquarien maximal 1 % pro Stunde – meist erheblich weniger. Das ins Aquarienwasser gelangende Nitrit wird schnell durch den Nitratfilter oder durch Anammoxreaktionen (z. B. im Tiefsandbett) in relativ unschädliches Nitrat bzw. ungiftigen molekularen Stickstoff (Luftstickstoff) umgewandelt. So kann sich Nitrit aus einem Nitratfilter nur sehr langsam anreichern und wird im Aquarienwasser nicht in erhöhter Konzentration nachweisbar sein.

Liegt ein Nitritgehalt von mehr als 0,1 mg/l in einem eingefahrenen Meerwasseraquarium vor, in dem sonst keine erkennbaren Störungen bestehen, muss grundsätzlich über die installierte Filtertechnik nachgedacht werden. Eine Vergrößerung der bakteriell aktiven Fläche für die Nitrifikation ist leicht durchzuführen. Auch Zusatzfilter wie Algenbecken, Refugium, Tiefsandbett oder Jaubert-Systeme können Abhilfe schaffen. Alternativ lässt sich die Belastung reduzieren, indem einige Tiere, die gefüttert werden müssen, aus dem System herausgenommen werden. Die Futtermenge pro Tier unter das Optimum zu reduzieren, sollte jedoch nur in absoluten Notfällen als kurzfristige Problemlösung erwogen werden. ■

Literatur

- BARTLETT, F. & D. NEUMANN (1998): Sensitivity of brown trout alevins (*Salmo trutta*, L.) to nitrite at different chloride concentrations. – Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 60: 340–346.
- BROWN, D.A. & D.J. MCLEAY (1975): Effect of nitrite on methaemoglobin and total haemoglobin of juvenile rainbow trout. – Progressive Fish-Culturist 37: 36–43.
- CAMERON, J. N. (1971): Methaemoglobin in erythrocytes of rainbow trout. – Comparative Biochemistry and Physiology 40: 743–749.
- DOBLANDER, C. & R. LACKNER (1996): Metabolism and detoxification of nitrite by trout hepatocytes. – Biochimica et Biophysica Acta 1289: 270–274.
- EDDY, F.B., P.A. KUNZLIK & R. N. BAHT (1983): Uptake and loss of nitrite from the blood of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Rich., and Atlantic salmon *Salmo salar* L., in fresh water and diluted sea water. – Journal of Fish Biology 23: 105–116.
- HUEY, D. W., B. A. SIMCO & D. W. CRISWELL (1980): Nitrite-induced methaemoglobin formation in channel catfish. – Transactions of the American Fisheries Society 109: 558–562.
- KIESE, M. (1974): Methaemoglobinaemia: A Comprehensive Treatise. – CRC Press, Cleveland, OH.
- KNUDSEN, P.K. & F.B. JENSEN (1997): Recovery of nitrite-induced methaemoglobinaemia and potassium balance disturbance in carp. – Fish Physiology and Biochemistry 16: 1–10.
- MISRA, A. L., R. C. MEHROTRA & J. D. TEWARI (1953): Notiz über ein neues Reagens zum Nachweis von Nitrit-Ionen. – Fresenius' Journal of Analytical Chemistry 139 (2): 89–92.
- PERRONE, S. J. & T. L. MEADE (1977): Protective effect of chloride on nitrite toxicity to coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). – Journal of the Fisheries Research Board of Canada 34: 486–492.
- RAMSCH, B., U. BIEN & J. GROENEWEG (1992): Im Test: Produkte zur Senkung der Ammonium- und Nitritkonzentrationen auf biologischem Wege. – DATZ 5: 324–327.
- RUSSO, R. C., C. E. SMITH & R. V. THURSTON (1974): Acute toxicity of nitrite to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). – Journal of the Fisheries Research Board of Canada 31: 1653–1655.



Amblyeleotris aurora
Foto: D. Knop