



## Der Stickstoffkreislauf

Stickstoff ist ein chemisches Element, das für jedes Lebewesen auf unserem Planeten unverzichtbar ist. Mit 78 % ist molekularer Stickstoff Hauptbestandteil unserer Atemluft, und durch die Stickstoff-Fixierung wird er auf natürliche Weise organisch gebunden. Der deutsche Name geht darauf zurück, dass ein Lebewesen in reinem Stickstoff erstickt, und dass man mit diesem Gas auch eine Flamme durch Sauerstoffmangel „ersticken“ kann.

Organismen benötigen Stickstoff u. a. zum Aufbau von Aminosäuren, den Bausteinen der Eiweiße („Proteine“). Unterschiedliche Aminosäuren werden in Ketten zu Proteinen aneinander gereiht und erfüllen dann wichtige Funktionen in den Bereichen Struktur (Strukturproteine), Synthese (Enzyme), Bewegung (Flagellen, Gei-

ßeln, Muskeln) und Abbau von Stoffwechselprodukten.

In Boden und Wasser wird Stickstoff kontinuierlich in andere Verbindungen umgewandelt und durchläuft dabei einen regelrechten Kreislauf. In unserem dreiteiligen Beitrag möchten wir Ihnen, liebe KORALLE-Leserinnen und -Leser, einen Überblick über diesen Stickstoffkreislauf geben. Zunächst widmen wir uns dabei dem Ammonium sowie dem giftigen Ammoniak.

### Stickstoff-Fixierung

Unter nährstoffarmen Bedingungen kann in der Natur und im Aquarium Luftstickstoff ( $N_2$ ) von einigen Cyanobakterien („Rote Schmieralgen“, „Blualgen“, die sogenannten „Reinwasserformen“) aufgenommen, zu Ammoniak umgewandelt und zu weiteren stickstoffhaltigen Verbindungen synthetisiert werden. Dieser

Prozess wird als Stickstoff-Fixierung bezeichnet.

Werden Eiweiße ausgeschieden oder durch das Zersetzen eines verendeten Organismus freigesetzt, dann wandeln Bakterien sie u. a. in Ammonium um. Man nennt diesen Vorgang Dissimilation oder Ammonifikation. Im Verdauungstrakt von Mensch und Tier findet er ebenfalls statt. Nach der Ammonifikation liegt der Stickstoff in zwei Formen vor, die zueinander in einem pH-Wert-abhängigen, instabilen Gleichgewicht stehen: das ungiftige Ammonium ( $NH_4^+$ ) und das giftige Ammoniak ( $NH_3$ ).

Ammoniak wird auf unterschiedlichen Wegen von Organismen recycelt. Die sogenannte „Anammox-Reaktion“ (s. u.) oxidiert Ammoniak unter anaeroben Bedingungen zu Luftstickstoff. Ein kleiner Teil kann auch von Organismen aufgenommen („Ammonium-Assimilation“) und direkt in die Biomasse eingebaut werden.

# Stickstofftrilogie *Teil 1.*

## Ammoniak – ein starkes Fischgift

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

Für empfindliche Korallenfische wie Fahnenbarsche sind hohe Ammoniakwerte besonders gefährlich. Foto: D. Knop

## Ammoniak

### Ammoniak-Quellen

Ammoniak entsteht hauptsächlich durch den Prozess der Desaminierung. Dieser läuft bei biologischen Abbauprozessen innerhalb der Zellen ab. Alle heterotrophen Organismen nehmen organische Stoffe – als Feststoff oder im Wasser gelöst – auf, damit sie aus ihnen den Kohlenstoff für die eigenen Syntheseprozesse verwenden können. Gleichzeitig wird aus den chemischen Verbindungen Energie gewonnen und für die eigenen Prozesse umgewandelt. Der nicht für eigene Zwecke benötigte Stickstoff in den verarbeiteten organischen Substanzen wird durch die Desaminierung als Ammonium/Ammoniak abgespalten und diffundiert dann als Ammoniak einfach aus der Zelle heraus.

Bei Fischen geschieht das Ausscheiden über die Kiemen: Circa 90 % des anfallenden Ammoniaks werden bei adulten Fischen über die Kiemen abgegeben, bei Larven zusätzlich über die ganze Körperoberfläche (SCHRECKENBACH 2008). Im umgebenden Wasser wird das Ammoniak schnell verdünnt. Tiere, die ihre Evolution an Land vollzogen haben, können das entstandene Ammoniak nicht einfach über die Körperoberfläche abgeben, denn dafür müssten große Wassermengen ausgeschieden werden. Säugetiere z. B. wandeln das im Körper anfallende Ammoniak in Harnstoff um, der in hoher Konzentration mit dem Urin ausgeschieden wird. Tiere, die durch verschiedene Gründe gezwungen werden, Wasser zu sparen (z. B. Vögel aus Gewichtsgründen), konzentrieren Stickstoffabfälle als Harnsäure noch weiter auf. Ihr Wasserverlust beim Stickstoffexport ist daher extrem gering.

### Ammoniaksenken

Ammoniak wird von einigen Organismen benötigt. Pflanzen, die den notwendigen Kohlenstoff

aus anorganischen Verbindungen wie  $\text{CO}_2$  gewinnen, nehmen im Allgemeinen Ammoniak/Ammonium auf (Ammoniak-Assimilation), um daraus körpereigene Eiweiße herzustellen. Alle grünen Pflanzen können Ammonium/Ammoniak aufnehmen, und jeder erfahrene Süßwasser-aquarianer weiß, dass in einem Becken mit sehr vielen wachsenden Pflanzen (und niedrigem pH-Wert) Ammoniak eigentlich nie ein Problem wird. Auch im Meerwasseraquarium mit sehr vielen zooxanthellaten Korallen oder Algen treten kaum Schwierigkeiten mit zu hohen Ammoniak-Konzentrationen auf.

Organismen, die Ammoniak zur Energiegewinnung nutzen, nennt man, wie bereits erwähnt, Nitritanten, z. B. *Nitrosomonas* sp. Zusammen mit den Nitratanten, z. B. *Nitrobacter* sp., die das von den Nitritanten zu Nitrit oxidierte Ammoniak weiter zu Nitrat oxidieren, bilden sie die Gruppe der Nitrifikanten. Der Gesamtprozess – die Oxidation von Ammoniak über Nitrit zu Nitrat – nennt man Nitrifikation. Weil die Nitrifikanten zumeist autotroph sind (der benötigte Kohlenstoff wird aus unbelebten Substanzen aufgenommen), haben sie geringe Wachstumsraten und siedeln sich im neuen Aquarium manchmal sehr langsam an, so dass das anfallende Ammoniak sich aufkonzentrieren kann und bereits eingesetzte Tiere schädigt. Ein wichtiger Punkt in jeder Einfahrphase eines Aquariumsystems ist daher die ausreichende Etablierung der Nitrifikantenpopulation, um das ständig anfallende Ammoniak sofort zu oxidieren. In einem eingefahrenen System hingegen läuft dieser Prozess so schnell ab, dass sich Ammoniak nicht anreichern kann. Obgleich mit aquaristischen Mitteln nicht messbar, kann man sicher

sein, dass fortwährend Ammoniak produziert und durch den Oxidationsprozess in Nitrat umgewandelt wird. Das Resultat ist ein kontinuierlicher Anstieg des Nitrats im Wasser, wenn dies nicht durch Nitratassimilation (Pflanzen, Algen), Denitrifikation (Bakterien) oder hinreichenden Teilwasserwechsel verhindert wird. Sobald dieser Prozess aber gestört wird, z. B. durch den Einsatz bakterientötender Antibiotika (z. B. zur „Schmieralgen“-Vernichtung), die auch die Filterbakterien angreifen können, droht eine Ammoniakvergiftung. Behandlungen von Korallenfischen sollten darum stets in separaten Becken durchgeführt werden. Wer direkt im Aquarium behandeln will, muss zumindest das Biofiltersystem für die Zeit der Behandlung abkoppeln.

### Anammox

Ein erst kürzlich beschriebener Prozess ist die anaerobe Ammoniak-Oxidation, kurz Anammox. Einige heterotrophe Organismen können unter sauerstoffarmen Bedingungen – z. B. in Sedimenten – Ammoniak oxidieren. Über die Bedeutung dieses Vorgangs ist bisher nur wenig bekannt. Je nach verwendeter Wasseraufbereitungstechnik wird das Verhältnis zwischen Nitrifikation und Anammox in den einzelnen Aquarien wahrscheinlich unterschiedlich sein. Wir können uns gut vorstellen, dass in einem Meerwasseraquarium mit Tiefsandbett oder mit Jaubert-System (SPRUNG 2001, 2002) das Ammoniak durch Anammox effizienter oxidiert wird als in einem System mit wenig Bodengrund und geringem Bestand an Lebenden Steinen. In Systemen mit guter Wasserdurchströmung (Rieselfilter, Sandfilter, Fließbettfilter) sind die Bedingungen für Nitrifikanten wahrscheinlich besser als in schwach durchströmten Becken.

Der für sauerstoffreiche Biotope – also auch für die Aquaristik – wichtigste Schritt zur Ammoniak-Entfernung ist die dem Aquarianer bekannte Nitrifikation, bei der Ammoniak durch eine Oxidation mit Sauerstoff verbunden wird. Dies wird durch spezialisierte Bakterien bewerkstelligt: die Nitrifikanten. Für den ersten Schritt sind die „Nitritanten“ (nitritbildende Bakterien, z. B. *Nitrosomonas* sp.) verantwortlich, denn sie produzieren das an sich ungiftige Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ), das allerdings mit der giftigen Salpetrigen Säure ( $\text{HNO}_2$ ) im Gleichgewicht steht. (In der Aquaristik wird immer nur vom „giftigen Nitrit“ gesprochen, doch das ist eine Vereinfachung der Zusammenhänge). Die „Nitratanten“ (nitratbildende Bakterien, z. B. *Nitrobacter* sp.) oxidieren Nitrit und Salpetrige Säure weiter zum Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), das mit der Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) im Gleichgewicht steht. Da giftige Salpetersäure bei aquaristischen pH-Werten so gut wie nicht nachweisbar ist und das Nitrat selbst nicht giftig ist,



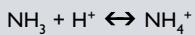
Korallenfische – hier *Amphiprion ocellaris* – atmen über die Kiemen fortwährend Ammonium ab. Foto: D. Knop

spielt das Paar Nitrat/Salpetersäure in Bezug auf Giftigkeit keine bedeutende Rolle. Die gesamte Oxidation von Ammonium/Ammoniak über Nitrit/Salpetrige Säure zu Nitrat/Salpetersäure wird Nitrifikation genannt. Das Paar Nitrat/Salpetersäure kann direkt von Organismen aufgenom-

men und zu anderen stickstoffhaltigen Verbindungen umgewandelt werden. Dieser als Nitratassimilation bezeichnete Vorgang läuft umso besser ab, je mehr Nitrat/Salpetersäure im Wasser vorliegt. Besonders Algen können bei genügend hohem Angebot extrem schnell wachsen und überwu-

## Das Ammoniak/Ammonium-Gleichgewicht

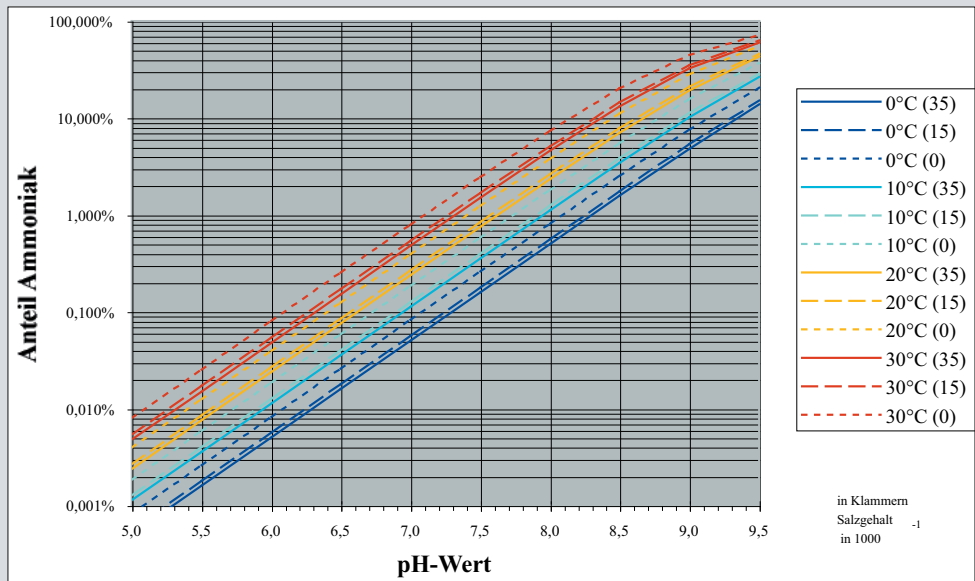
Ammonium entsteht durch den Abbau von Eiweißen und wird darum im Aquarienwasser als „Verschmutzungs-Indikator“ angesehen. Zwar ist es an sich harmlos, doch pH-Wert-abhängig wandelt sich ein Teil davon in das giftige Ammoniak um. Dieser Prozess geht sehr schnell vonstatten und ist beliebig oft umkehrbar, so dass mit jedem Steigen und Sinken des pH-Wertes im Aquarium auch der Ammoniak-Gehalt des Wassers verändert wird. Diese chemische Reaktion sieht folgendermaßen aus:



Ammoniak + Säure  $\leftrightarrow$  Ammonium

Um genauere Aussagen über die Ammoniak-Giftigkeit eines Aquariums zu machen, muss natürlich bekannt sein, wie viel Ammoniak im Wasser vorliegt. Mit den aquaristisch üblichen Tests wird aber nur die Gesamtmenge gemessen, nicht der absolute Ammonium- oder Ammoniak-Wert. Dieser kann anschließend auf einer Tabelle abgelesen werden, die den pH-Wert einrechnet.

Doch auch Temperatur und Salzgehalt wirken sich auf den Ammoniak-Gehalt in gewissem Rahmen aus, was normalerweise unberücksichtigt bleibt. Die nebenstehende Tabelle zeigt den Kurvenverlauf bei unterschiedlichen Temperatur- und Salzgehaltswerten. Wenn z. B. die 30-°C-Kurve bei 35 ‰ Salzgehalt gewählt und der Ammoniakanteil bei pH 8,0 aus der Kurve herausgelesen wird, kommt man auf einen Wert von 4,59 %; wenn also z. B. 0,5 mg/l Ammonium/Ammoniak gemessen wurden, liegt der Ammoniakanteil bei 4,59 % von 0,5 mg/l, d. h. bei 0,023 mg/l  $\text{NH}_3$ . Steigt aber der pH-Wert um 0,5, so ergibt sich bereits ein Anteil von 13,2%, so dass effektiv 0,067 mg/l Ammoniak vorliegen. Im Klartext bedeutet dies, dass sich die Ammoniak-Giftwirkung im Aquarienwasser allein durch eine pH-Verschiebung von 0,5 Einheiten fast verdreifacht hat, ohne dass zusätzlich Ammonium/Ammoniak dazugekommen wäre. Diese Veränderung kann durchaus über Gedeih und Verderb der Tiere entscheiden.



Der Anteil des Ammoniaks an der Summe Ammoniak/Ammonium in Abhängigkeit von pH-Wert, Temperatur und Salzgehalt. Berechnungsgrundlagen: EMERSON et al. 1975; MESSER et al. 1984; TRUESDELL & JONES 1974.

Grafik: B. Ramsch/B. Sellner

chern höhere Pflanzen und Korallen. Bei der sogenannten Denitrifikation verwenden bestimmte Bakterien unter sauerstofflimitierten (mikroaeroben) oder sauerstofffreien (anaeroben) Bedingungen das Nitrat als Sauerstofflieferanten: Sie entnehmen dem Nitrat (und auch dem Nitrit) den Sauerstoff und lassen molekularen Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) wieder frei – damit ist der Stickstoffkreislauf geschlossen.

## Giftigkeit des Ammoniaks – Problematik in der Literatur

Eine Ammoniakvergiftung äußert sich im Aquarium ähnlich wie jede andere akute Vergiftung, z. B. eine durch Schwermetalle: Die Fische sind unruhig, atmen schneller, halten sich an der Wasseroberfläche oder an jenen Stellen auf, an denen Frischwasser eingeleitet wird. Sie schnappen an der Oberfläche nach Luft, haben verblasste Körperfarben und meist auch Schleimablagerungen auf der Haut. Die Sauerstoffnot der Tiere wird größer, Herzfrequenz und Blutdruck neh-

men zu, das Blut wird aufgrund der steigenden Ammonium/Ammoniak-Konzentrationen geschädigt, und der Energiestoffwechsel wird gestört (SCHRECKENBACH 2008).

Was macht das Ammoniak so schädlich? Die eigentliche Giftigkeit kommt durch unterschiedliche Faktoren zustande. Steigt die Ammonium/Ammoniak-Konzentration im Wasser, oder wird durch einen höheren pH-Wert ein Teil des Ammoniums in Ammoniak verwandelt, dann bekommen die Fische Probleme, ihr im Blut vorhandenes Ammoniak über die Kiemen abzuatmen und aus dem Körper herauszuschleusen. Dieser Export geschieht passiv über ein Konzentrationsgefälle, und dazu muss die Ammoniumkonzentration im Wasser niedrig sein. Ist Letzteres nicht der Fall, so reichert sich im Blut des Fisches Ammonium an, und er vergiftet sich buchstäblich selbst.

Je gesünder und kräftiger ein Fisch ist, umso länger kann er dieser Vergiftung widerstehen; schwache oder junge Fische sowie Larven fallen ihr weitaus früher zum Opfer. Auch die

Art des Futters beeinflusst diesen Vorgang: Ein Überangebot von Proteinen verschärft die Problematik, weil mehr Ammoniak – verursacht durch vermehrten Proteinabbau – ausgeschieden werden muss (SCHRECKENBACH et al. 1975). Leider aber sind die in Literatur, die sich mit der Giftwirkung von Ammoniak auf Fische befasst, erwähnten Ammoniumkonzentrationen oft nur begrenzt aussagekräftig, weil ihnen in der Regel Angaben über pH- und Temperaturwerte fehlen und somit eine Bestimmung des Ammoniakanteils nicht möglich ist. Beispiel: PANA et al. (2003) konnten bei juvenilen Garnelen *Penaeus monodon* bereits bei Ammonium/Ammoniak-Konzentrationen über 0,02 mg/l (für 72 h) eine erhöhte Sterblichkeit feststellen – leider fehlen Angaben über den pH-Wert, so dass man nicht errechnen kann, wie viel Stickstoff in Form von Ammonium und wie viel als Ammoniak vorgelegen hat.

SCHRECKENBACH (2008) gibt eine sichere Grenze für empfindliche Fische bei 0,006 mg/l  $\text{NH}_3$  (freier Ammoniak)

Dauerbelastung an, für robustere Tiere (Salmoniden) 0,01 mg/l, für Barschartige 0,02 mg/l. In der Aquaristikliteratur wird die Ammoniakproblematik in der Regel nur allgemein umschrieben und nicht mit Zahlen verdeutlicht. Gründe dafür sind wohl ungenaue Messmethoden (sofern die Ammoniakkonzentration überhaupt regelmäßig gemessen wird) und chemisches Unverständnis der Ammonium/Ammoniak-Problematik.

## Was tun bei Ammoniak im Aquarienwasser?

### Teilwasserwechsel

Der erste und einfachste Weg, erhöhte Ammoniak-Konzentrationen zu verringern, ist der Teilwasserwechsel. Dabei sollte aber sichergestellt werden, dass Salzgehalt, pH-Wert und Temperatur übereinstimmen, denn sonst kann ein umfassender Teilwasserwechsel bei vielen Tieren einen Schocktod auslösen. Ist beispielsweise der pH-Wert des frischen Wassers

höher, löst dies im Aquarium eine teilweise Umwandlung des Ammoniums zu Ammoniak aus, und die Hilfsmaßnahme verstärkt die Vergiftung. Weiterhin muss sichergestellt sein, dass das frische Meerwasser einige Tage „gereift“ ist, denn in der ersten Zeit nach dem Anmischen ist es zunächst aggressiv – durch Chlorradikale, die beim Salz-Löseprozess entstehen. Zwar kann die Gefahr chemischer Radikale bei frisch angesetztem Meerwasser durch Zugabe von Radikalfängern ein wenig abgemindert werden, doch die bessere Möglichkeit ist, genügend „gereiftes“ Frischwasser zu bevorraten, um im Notfall schnell handeln zu können. Auch kann ein umfassender Teilwasserwechsel in einem jungen, noch nicht „eingefahrenen“ Aquariensystem über die Schädigung der Tiere hinaus die Biofilter-Bakterienpopulation schwächen, so dass diese noch weniger Ammonium/Ammoniak oxidieren kann – was dann die Ammoniak-Konzentration weiter in die Höhe treibt.



Azooxanthellate Hornkorallen – hier *Diodorgia nodulifera* – benötigen eine üppige Fütterung, was die Ammoniumbelastung des Aquarienswassers steigert. Foto: D. Knop

### Ammoniak-Adsorber

Um die Ammoniak-Anreicherung in Fisch-Transportbeuteln zu verringern, werden bisweilen Adsorber eingesetzt, die Ammoniak binden, so dass



Kriechsprossalgen – hier *Caulerpa racemosa* – können die Ammoniumbelastung des Aquarienwassers verringern. Foto: D. Knop



Die Pflege von Steinkorallen setzt eine funktionierende Nitrifikation voraus. Foto: D. Knop

es sich nicht im Wasser anreichern kann. Werden solche Spezialadsorber im Aquarium verwendet, muss allerdings durch regelmäßige Messungen sichergestellt werden, dass sie noch nicht gesättigt, sondern nach wie vor aufnahmefähig sind, denn andernfalls käme es zu einem schnellen Ansteigen der Ammoniak-Konzentration im Aquarienwasser. Und: Wie bei allen Adsorptionsprozessen sollten Änderungen von pH-Wert, Salzgehalt und Temperatur vermieden werden, weil sich sonst das adsorbierte Ammoniak wieder lösen und Vergiftungen bewirken kann. Zeolithe können ebenfalls Ammoniak adsorbieren und gegen akute Vergiftungen eingesetzt werden, doch ihre Kapazität ist im Allgemeinen deutlich geringer als die der Spezialadsorber.

### Sauerstoffbegasung

Eine Versorgung mit reinem Sauerstoff kann dem Vergiftungseffekt von Ammoniak entgegenwirken. So konnten in Versuchen von GRÖTTUM et al. (1997) bei Fischtransporten mit sehr hohem Besatz und Belüftung mit Reinsauerstoff die Sterblichkeitszeit von 50 % der Tiere ( $LT_{50}$ ) von 40 Stunden auf 130 erhöhen.

Auch beim Import tropischer Aquarienfische sollten die Transportbeutel unbedingt mit Reinsauerstoff aufgefüllt werden. Unsere eigenen Messungen ergaben, dass nach Importen aus Indonesien und Kenia im Transportwasser immer noch eine Sauerstoffsättigung von mindestens 240 % vorhanden war (Begasung mit Luft =

100 %). Infolge der Ammonium-Sättigung des Wassers schwammen einige Fische (z. B. *Zebrafische*-Arten) bereits nicht mehr senkrecht, und ohne Sauerstoffübersättigung wären diese Fische wohl kaum noch zu retten gewesen. Auch bei längeren Transporten vom Zoofachgeschäft ins heimische Aquarium kann Reinsauerstoff hilfreich sein.

### Ansäuerung des Wassers

Wer den Zusammenhang zwischen Ammonium/Ammoniak-Gleichgewicht und pH-Wert verstanden hat, kommt leicht auf den Gedanken, bei akuter Ammoniak-Vergiftungsgefahr den pH-Wert zu senken. So konnten GRÖTTUM et al. 1997 feststellen, dass die  $LT_{50}$  des Steinbutts (*Scophthalmus maximus*) bei Absenkung des pH-Wertes mit Kohlendioxid oder Säure von 130 auf 220 Tage anstieg.

Dieser Effekt kann ebenfalls bei jedem Fischimport beobachtet werden. Während des Transportes atmen die Fische über die Kiemen  $CO_2$  und Ammonium ab. Das erzeugt eine steigende Ammoniumkonzentration im Wasser und führt gleichzeitig zum Sinken des pH-Wertes. Unsere Untersuchungen bei Meerwasserfisch-Importen haben gezeigt, dass der pH-Wert im Transportwasser durchaus auf Werte um 5,5 fallen kann. Fische, die über lange Zeit transportiert werden sollen, bekommen normalerweise einige Tage vor dem Transport nichts zu fressen, so dass die Ammoniak-Ausscheidung reduziert wird. Doch selbst diese Maßnahme kann nicht verhindern, dass sich Ammonium und

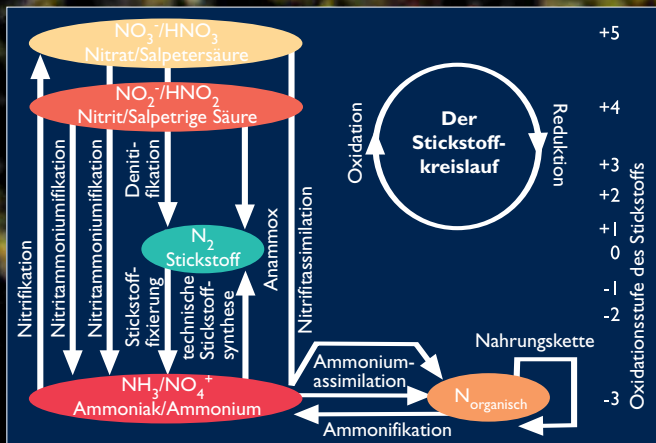
Ammoniak im Transportbeutel anreichern. In Wasser mit einem pH-Wert von 5,5 können bei 20 °C und einer Salzkonzentration von 35 ‰ rein rechnerisch 300 Mal höhere Ammonium/Ammoniak-Konzentrationen überlebt werden als bei pH 8,0. Fische, die direkt nach dem Transport noch leben, sterben unweigerlich, wenn bei der Eingewöhnung durch Zumischen von Aquarienwasser der pH-Wert des Transportwassers erhöht wird, ohne dass dabei die Stickstoffverbindungen entfernt werden.

### Verfüttern von Zusatzstoffen

Eine eher vorbeugende Methode, Ammoniakvergiftungen zu umgehen, ist das Verfüttern bestimmter Substanzen, die eine Entgiftungsfähigkeit der Tiere steigern. PANA et al. (2003) konnten bei der Garnele *Penaeus monodon* eine höhere Ammoniakverträglichkeit feststellen, wenn Jungtiere Futter erhalten hatten, das mit Astaxanthin angereichert war, einem Antioxidans aus der Carotinoid-Gruppe.

### Verhindern der Ammoniak-anreicherung

Eine Ammoniakanreicherung kann im Prinzip auf zweierlei Wegen abgeschwächt oder unterbunden werden: Man kann die Quellen vermindern, oder man kann die Senken erhöhen. Die Quellen zu verringern ist nur bedingt möglich, und dies sollte nur für Transportzwecke in Betracht gezogen werden. Wie schon erwähnt kann der Ausstoß an Ammonium/Ammoniak durch eine mehrtägige Nahrungskarenz verringert werden. Auch Beruhi-



Der Stickstoffkreislauf Grafik nach Vorlagen B. Ramsch/B. Sellner

gungsmittel können zum Absenken des Stoffwechsels und damit des Ammonium-Ausstoßes eingesetzt werden. Sogar eine Temperaturabsenkung kann dazu beitragen, sofern die Tiere dadurch nicht unterkühlt werden. Doch alle Methoden, die Ammoniakquellen zu reduzieren, haben Nebenwirkungen, die das Tier schwächen. Deshalb ist es wichtig, dass über lange Zeit transportierte Tiere nur in einwandfreiem Zustand versandt werden. Schwache, abgemagerte Tiere und Fischbrut sollten nie transportiert werden. Eine zuvor durchgeführte Entwurmungskur ist ratsam; zwar mögen kräftige Tiere durchaus Parasiten verkraften, doch nach einem schwächenden Transport fallen sie ihnen leichter zum Opfer. Die für Aquarien einzige Möglichkeit, eine Ammoniakreicherung zu verhindern, ist ein effizientes, an den Fischbesatz angepasstes Filtersystem, das sowohl die Nitrifikation als auch die anaerobe Oxidation von Ammoniak („Anammox“) unterstützt. Filtermedien mit großer besiedelbarer Fläche (Rieselfilter, Fließbettfilter, rückspülbare Sandfilter), die stark mit Wasser umspült werden, bieten nitrifikanten gute Voraussetzungen. Schwach durchströmte Filtermedien (z. B. Tiefsandbett „DSB“, Jaubert-System, Schlammfiltersysteme, das Innere von Lebenden Steinen), die mikroaerobe oder anaerobe Bedingungen hervorrufen, begünstigt die Anammox und die passive Denitrifikation, aber auch immer mit der potenziellen Gefahr von Gärprozessen (anoxische Bedingungen) bei zu hohen organischen Belastungen im Wasser. Ein kräftiger Korallen-

durch regelmäßige Messungen begleitet werden. Es gibt nur einige allgemeine Regeln:

- Je kälter das Wasser, desto länger die Einfahrphase.
- Je höher der Salzgehalt, desto länger die Einfahrphase.
- Eingefahrenes Filtermaterial und Aquarienwasser können die Zeit etwas verkürzen, doch in welchem Maß, ist nicht voraussagbar. Das Gleiche gilt für sogenannte bakterielle Starterkulturen.
- Dringend abzuraten ist von einer Extremreinigung der Aquarienbecken mit Chemikalien, um z. B. einen Neubesatz vorzubereiten, denn dadurch werden angeschlossene Filtersysteme geschädigt, und dort vorhandene Mikroorganismen belasten zusätzlich das Beckenwasser. Wenn aus Hygienegründen ein System desinfiziert werden muss, sollte der Aquarianer immer bedenken, dass das Biofiltersystem wieder bei Null beginnt.
- Jeder Besatz muss vorsichtig vorgenommen werden. Eine plötzliche Erhöhung des Besatzes führt oft zum Zusammenbruch des gesamten biologischen Systems. Das gilt auch für eingefahrene Aquarien. Die Bakterienpopulation muss sich bei jeder Belastungsänderung anpassen. Schnelle Besatzsteigerungen sind mit Ammoniak-Spitzen verbunden, und zeitlich versetzt treten Nitritspitzen auf. Sind diese Spitzen zu hoch, sind Verluste nicht zu verhindern. Erst wenn die Ammoniak- und Nitritkonzentration im ungefährlichen Bereich sind, darf die Gesamtbelastung schrittweise erhöht

len- und Makroalgenwuchs sowie externe Algenfilter begünstigen die Stickstoff-Assimilation.

Man sollte immer beachten, dass alle biologischen Filtersysteme eine Einfahrzeit benötigen – die Länge dieser Einfahrphase ist nicht vorhersagbar und muss

werden. Muss eine große Masse an Fischen (z. B. in Großaquarien oder Aquakulturen) auf einmal eingesetzt werden, sollte die Anlage schon Wochen vorher mit der errechneten Minimum-Futtermenge des geplanten Besatzes versorgt werden, um den Mikroorganismen genügend Zeit zur Anpassung zu geben und die Ammoniak- und Nitritwerte wieder auf ein ungefährliches Niveau abzusenken.

Treten erhöhte Ammoniakkonzentrationen auf und können die oben aufgeführten Möglichkeiten diese nicht senken, muss die Fütterung drastisch erniedrigt oder zeitweise eingestellt werden. Die Gefahr von Tierverlusten durch eine Ammoniakvergiftung ist erheblich größer als die Folgen von Futtermangel.

#### Literatur

- EMERSON, K., R. C. RUSSO, R. E. LUND & R.V. THURSTON (1975): Aqueous ammonia equilibrium calculations: Effect of pH and temperature. – J. Fish. Res. Board. Can., 32: 2379–2383.
- GRÖTTUM J. A., M. STAURNES & T. SIGHOLT (1997): Effect of oxygenation, aeration and pH control on water quality and survival of turbot, *Scophthalmus maximus* (L.), kept at high densities during transport. – Aquaculture Research 28 (2): 159–164.
- MESSER, J. J., J. HO & W. J. GRENNY (1984): Ionic strength correction for extent of ammonia ionization in freshwater. – Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41: 811–815.
- PANA C.-H., Y.-H. YEW & B. HUNTER (2003): The resistance to ammonia stress of *Penaeus monodon* Fabricius juvenile fed diets supplemented with astaxanthin. – Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Volume 297 (1): 107–118.
- SCHOUTEN, S., M. STROUS, M. M. M. KUYPERS, W. I. C. RIJSTRA, M. BAAS, C. J. SCHUBERT, M. S. M. JETTEN & J. S. SINNINGHE DAMSTÉ (2004): Stable Carbon Isotopic Fractionations Associated with Inorganic Carbon Fixation by Anaerobic Ammonium-Oxidizing Bacteria. – Applied and Environmental Microbiology 70 (6): 3785–3788.
- SCHRECKENBACH, K., R. SPANGENBERG & S. KRUG (1975): Die Ursache der Kiemennekrose. – Z. f. Binnenfischerei DDR, 22 (9): 257–288.
- SPRUNG, J. (2001): Einrichten eines Jaubert-Aquariums. – KORALLE 10, 2 (5): 68–73.
- (2002): Wartung eines Jaubert-Aquariums. – KORALLE 13, 3 (1): 78–81.
- TRUESDELL, A.H. & JONES, B.F. (1974): Wateq: a computer program for calculating chemical equilibria of natural waters. – J. Res. U. S. Geol. Surv. 2 (2): 233–248.

Internet (Stand September 2008)

SCHRECKENBACH, K. (2008): Einfluss von Umwelt und Ernährung bei der Aufzucht und beim Besatz von Fischen. Internetdokument vom Institut für Binnenfischerei e.V. [http://www.zierfischforum.at/artikel/umwelt\\_ernaehrung\\_aufzucht.html](http://www.zierfischforum.at/artikel/umwelt_ernaehrung_aufzucht.html)