

## Einführung in die Nährstoffversorgung in Riffaquarien

### Teil 1: Biologie des Stoffwechsels und die Bedeutung von Nährstoffen

Dieser Text soll interessierten Aquarianern eine Einführung in die biochemischen Vorgänge bei der Nährstoffversorgung von Korallenriffaquarien bieten. Neben dem Neueinsteiger findet sich auch der fortgeschrittene Aquarianer oft nur schwer in der komplexen und facettenreichen Welt der theoretischen Meerwasseraquaristik zurecht. Uns begegnen schon früh entweder in der Literatur, oder in ersten Gesprächen mit Aquarianerkollegen oder mit Fachhändlern viele Fachbegriffe, die nicht nur unbekannt und eigenartig klingen, sondern nur schwer in einen direkten Zusammenhang mit der aquaristischen Praxis zu bringen sind. Dieser Artikel soll die wichtigsten biologischen und biochemischen Begriffe erläutern, um ein besseres Verständnis von aquaristischen Fachartikeln zu erzeugen.



**Autor: Jörg Kokott**  
**Stand: 06.06.2012**

#### 1.0 Einleitende Worte

Als Biologe bin ich immer mit Herz dabei, wenn es darum geht, ein Aquarium in möglichst vielen Details zu verstehen, ganz gleich ob das Aquarienwasser süß oder salzig ist. Natürlich steht bei mir auch der ästhetische Aspekt im Vordergrund: ein schönes und gesund gewachsenes Riffaquarium ist immer ein fesselnder Anblick. Aber die Neugierde über das Funktionsprinzip ist immer gleich geweckt! Wie funktioniert dieses Aquarium? Wie schafft der Aquarianer das Gleichgewicht zwischen Nährstoffeintrag und Nährstoffaustrag? Wie erfolgt die Stabilisierung des Kalkhaushalts? Welche Futtermittel kommen zum Einsatz? Werden die Korallen ganz besonders ernährt?

Fragen über Fragen, die nicht nur mir, sondern vermutlich jedem interessierten Aquarianer gleich in den Kopf schießen. Kein Wunder, dass das aquaristische Fachsimpeln dann nicht selten eine Angelegenheit von Stunden ist.

Für den Aquarianer, der über den aquaristischen Tellerrand etwas hinaus schauen möchte, und sich für biologische und chemische Themen interessiert, die sich in jedem Meerwasseraquarium zu genüge auftun, dann ist der hier vorgelegte Text ein guter Anfang. Ich möchte biologische Fachbegriffe erklären, Zusammenhänge zwischen praktischen Beobachtungen und theoretischen Fakten

schaffen, und nicht zuletzt, so hoffe ich zumindest, das individuelle Wissensspektrum erweitern. Möglicherweise können viele theoretische Kenntnisse für das eigene Aquarium praktisch umgesetzt werden. Da ein tropisches Korallenriff, und ein solches möchten wir in unseren Korallenriffaquarien gestalten, einen unglaublich komplexen Nährstoffhaushalt aufweist, und nur dadurch die uns immer wieder aufs Neue begeisternde Arten- und Organismenvielfalt hervorbringen kann, ist das Thema *Nährstoffversorgung* für uns interessant und zugleich für die praktische Pflege möglichst vieler Korallenriffbewohner ganz besonders relevant.

Bevor wir uns im Weiteren eigentlichen aquaristischen Dingen zuwenden, möchte ich in diesem einleitenden Teil ein Thema ansprechen und im Folgenden erörtern, das Aquarianern oft einige Schwierigkeiten bereitet: *Stoffwechselbiologie*.

Ohne grundlegende Kenntnisse über die biologisch-chemischen Vorgänge, die in einem Organismus stattfinden, und die sowohl die Aufnahme, als auch die Verwertung und Ausscheidung von Nahrung und Nährstoffen betreffen, ist unser schönes Hobby sehr schwer erfolgreich zu betreiben. Dazu kommt, dass die Weiterentwicklung unserer praktischen Fähigkeiten in der Pflege und Vermehrung von sensitiven und futterspezialisierten Korallen und Filterern sehr stark davon abhängt, in welchen Details wir verstehen können, wie und unter welchen Umweltbedingungen solche Tiere Nahrung aufnehmen und verwerten.

Bezüglich der Versorgung von Riffaquarien mit Nährstoffen halte ich es daher für absolut notwendig, dass wir uns zunächst damit beschäftigen, was eigentlich ein "Stoffwechsel" ist und was hier genau geschieht.

#### 1.1 Begriffserläuterung: Stoffwechsel

Jede lebende Zelle, ganz gleich ob es sich dabei um ein freilebendes, einzelliges Bakterium, oder um eine Zelle innerhalb eines höher entwickelten Organismus wie einem Fisch handelt, betreibt einen Stoffwechsel, den *Zellstoffwechsel*. Dieser betrachtet alle energetischen und materiellen Wechselwirkungen zwischen der Zelle und ihrer Umgebung. An dieser Stelle finde ich es zur Veranschaulichung geeignet, den Begriff *Stoffwechsel* mit dem möglicherweise leichter nach-



Foto 1: Gestalt und Farben sind innerhalb der tropischen Korallen unvorstellbar facettenreich, was sich auch auf den Nahrungserwerb und damit auf den Stoffwechsel auswirkt. Hier gezeigt eine *Acanthastrea echinata*. Foto: Jörg Kokott

vollziehbaren Begriff *Buchhaltung* zu übersetzen: so wie die unternehmerische Buchhaltung alle betriebswirtschaftlichen Vorgänge bestimmten Konten zuordnet, und dabei Rechnungseingänge und Rechnungsausgänge in der Bilanz gruppiert gegenüberstellt, kann man den Stoffwechsel einer Zelle gleichermaßen in die Bereiche "Aufnahme" und "Verbrauch" unterteilen. Leider sind diese beiden Begriffe im Speziellen ungenügend, um die genauen Vorgänge zu beschreiben, die in einer Zelle organisiert ablaufen. Der Vergleich soll hier aber im generalisierten Sinne verdeutlichen, dass eine lebende Zelle mit ihrer Umgebung in Wechselwirkung steht. Dabei nimmt sie bestimmte Stoffe in sich auf (Einkauf), verändert diese gewinnbringend (Verkauf/Umsatz), und gibt aus der Stoffumsetzung resultierende Reststoffe wieder an die Umgebung ab (was man als Abschreibung werten könnte). Alle diese komplexen Vorgänge fasst man unter dem Begriff *Stoffwechsel* zusammen. Im Fachjargon sprechen wir auch vom *Metabolismus*.

Wenn sich die Stoffwechselbilanz positiv darstellt, können Zellen wachsen, sich vermehren, regenerieren, und je nach Zelltyp energetische Reserven anlegen (Gewinn und Rücklagen). Leben ist biologisch betrachtet nur möglich, wenn der Gesamtorganismus schwarze Zahlen schreibt, und hier unterscheidet sich die Biologie nicht im Geringsten von allgemein gültigen betriebswirtschaftlichen Gesetzmäßigkeiten.

Während eine einzelne freilebende Zelle (z.B. ein Bakterium oder eine Mikroalge)

nur einen einzigen (Zell-)Stoffwechsel betreibt, bezeichnet man das energetische und materielle Budget der evolutiv höher entwickelten Pflanzen, Pilze und Tiere mit ihren spezialisierten Geweben und Organen als Gesamtstoffwechsel (oder nur: Stoffwechsel, Metabolismus). Ein Gewebe ist eine Gruppierung einzelner Zellen (ein Zellverband), die jeweils die gleiche Aufgabe und Leistung erfüllen, und sich zu diesem Zwecke spezialisiert entwickelt haben. Ein Organ ist wiederum ein funktionaler Verband aus mehreren Geweben, und erfüllt im Körper eine oder mehrere bestimmte Aufgaben. Innerhalb des Körpers addieren sich die jeweiligen Zellstoffwechselaktivitäten zum Gesamtstoffwechsel.

Ohne das Stoffe, sog. Nährstoffe, aus der Umgebung aufgenommen und innerhalb des Stoffwechsels in welcher Art und Weise auch immer weiter verarbeitet werden, kann weder eine einzelne Zelle, noch ein komplexer Körper existieren. Die Kommunikation mit der Umgebung gehört daher zu den wichtigsten Leistungen, die eine lebende Zelle erbringen muss.

Grundsätzlich unterscheidet man zwei verschiedene Stoffwechselwege, die in jeder Zelle oder in jedem Organismus gleichzeitig ablaufen: den Baustoffwechsel (*Anabolismus*) und den Energie- oder Betriebsstoffwechsel (*Katabolismus*).

Im Baustoffwechsel werden aus bestimmten Rohstoffen unter Investition von gespeicherter Energie neues Zell-

und Körpermaterial aufgebaut. Dadurch kann eine Zelle oder ein Körper wachsen, Schäden und Verletzungen reparieren, oder Fortpflanzungsprodukte hervorbringen. Alle diese Vorgänge nennt man in der Biologie assimilatorischen Stoffwechsel, oder kurz: Assimilation.

Im Energie- oder Betriebsstoffwechsel werden dagegen große und damit energiereiche Ausgangsstoffe in kleinere Einheiten zerlegt und abgebaut. Die beteiligten Komponenten innerhalb der Zelle, sog. Enzyme, setzen dabei schrittweise Energie frei und speichern sie in einer für die lebende Zelle günstigen Form. Man nennt diese Energieform "chemische Energie". Sie kann z.B. in die Assimilation investiert werden. Der Abbau der energiereichen Rohstoffe innerhalb des Energiestoffwechsels wird dissimilatorischer Stoffwechsel, oder kurz: Dissimilation genannt.

## 1.2 Ernährungsstrategien: Autotrophie und Heterotrophie

Jede vollständige lebende Zelle (solche mit einem funktionstüchtigen Zellkern<sup>1</sup>) hat die Fähigkeit, unter Investition von Energie z.B. Zellbausteine aufzubauen (zu assimilieren), und Nährstoffe energiebringend abzubauen (zu dissimilieren). Assimilation und Dissimilation laufen also in einer Zelle gleichzeitig ab.

Lebende Zellen bauen sich aus organischen Molekülen auf. Ein organisches Molekül zeichnet sich dadurch aus, dass es aus mindestens zwei, aber auch beliebig mehr miteinander verknüpften Kohlenstoffatomen (C-Atomen) besteht. Die chemische Verknüpfung zweier C-Atome nennt man Kohlenstoffbindung. Sie ist einerseits stabil und damit energiereich genug, um ausreichend lange Bestand zu haben, sie ist aber auch relativ leicht spaltbar, sodass organische Moleküle vielseitig und schnell auf- und wieder abgebaut werden können. Dazu kommt, dass ein Kohlenstoffatom aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften dazu in der Lage ist, insgesamt vier Bindungen zu anderen Kohlenstoffatomen herzustellen. Durch diese mehrfache Verknüpfung einzelner Kohlenstoffatome können organische Moleküle unglaublich lange und v.a. auch räumliche Strukturen erzeugen, die z.B. in unserem Körper Muskelfaserzellen

<sup>1</sup> Es gibt auch lebende Zellen, die keinen Zellkern mehr besitzen, z.B. die roten Blutkörperchen, sog. Erythrozyten, die derart spezialisiert sind, dass sie nur begrenzt lebensfähig sind und sehr schnell abgebaut und vom Körper neu gebildet werden.



Foto 2: *Plerogyra sinuosa* ist eine beliebte großpolypige Steinkoralle, die ein sehr fleischiges Gewebe produziert und einen hohen Energie- und Rohstoffbedarf aufweist. Verletzungen können im Aquarium nur unter optimalen Bedingungen regeneriert werden. Foto: Jörg Kokott

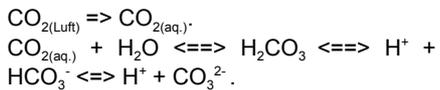
oder Nervenzellen bilden.

In der Kohlenstoffbindung wird auch chemische Energie gespeichert, die wiederum bei der erneuten Spaltung der Kohlenstoffbindung von der Zelle genutzt (investiert) werden kann.

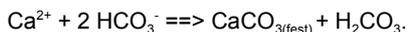
Weil alle lebenden Strukturen in der Zelle aus organischen, also kohlenstoffhaltigen Molekülen bestehen, ist der Kohlenstoffbedarf für einen Organismus sehr hoch. Es stellt sich jetzt nur die Frage, woher eine Zelle den so wichtigen Kohlenstoff bezieht?

Für Pflanzen und bestimmte Bakterien wie Cyanobakterien, die z.B. die Strahlung des Sonnenlichts (solare Strahlung) als Energiequelle für ihr Wachstum nutzen, spielt die Aufnahme von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) als Kohlenstoffquelle eine zentrale Rolle. Kohlendioxid ist ein kleines gasförmiges Molekül, das aus einem Kohlenstoffatom (chemisches Symbol: C) und zwei Sauerstoffatomen (chemisches Symbol: O) besteht (CO<sub>2</sub>). Da es nur ein einziges Kohlenstoffatom besitzt, gehört es zur Gruppe der anorganischen (also nicht-organischer) Stoffe. Anorganische Stoffe besitzen per Definition niemals mehr als ein Kohlenstoffatom.

Kohlendioxid ist in unserer Atmosphäre Bestandteil der Luft und kommt hier mit einem Volumenanteil von ca. 0,04% vor. Zudem löst es sich gut in Wasser und reagiert mit diesem zu Kohlensäure (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), aus der wiederum die uns bekannten Carbonatformen Hydrogen- oder Bicarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) und Carbonat (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) hervorgehen. Diese kennen wir aus der Bestimmung der Carbonathärte (bzw. der Alkalinität).



Aus der chemischen Verbindung der Carbonate mit Calcium entsteht beispielsweise der Kalk (CaCO<sub>3</sub>) der Steinkorallen- und Kalkrotalgenskelette. Dieser durch lebende Organismen verursachte (biogene) Verbrauch erzeugt eine direkte Veränderung des Carbonatgehalts des Wasser.



Wasserpflanzen und Algen bedienen sich des im Wasser gelösten CO<sub>2</sub>, oder nutzen die genannten Carbonatformen, hier v.a. Hydrogencarbonat. Im Unterschied zur Luft, wo der CO<sub>2</sub>-Anteil sehr konstant ist, weist der CO<sub>2</sub>-Gehalt des Wassers in der Regel Schwankungen auf, weil Wasserpflanzen es bei der Photosynthese aufnehmen. Entsprechend müssen wir in der Süßwasseraquaristik gezielt CO<sub>2</sub> nachdosieren, um den Wasserpflanzen ausreichend viel Kohlenstoff in Form von

CO<sub>2</sub> zur Verfügung zu stellen, die bei starker Beleuchtung sehr viel CO<sub>2</sub> umsetzen.

Im Meerwasseraquarium ist dies jedoch anders, weil die meisten pflanzlichen Organismen in marinen Biotopen, und dazu zähle ich auch die symbiotischen Mikroalgen (Zooxanthellen) in den Korallen, darauf eingestellt sind, die Carbonatformen als Kohlenstoffquelle zu nutzen. Freies CO<sub>2</sub> ist hier nur begrenzt verfügbar. In der Koralle-Zooxanthellen-Symbiose bedingt ohnehin der dissimilatorische Stoffwechsel der Korallen, der CO<sub>2</sub> erzeugt, dass die Zooxanthellen im Korallengewebe intern mit Kohlenstoff versorgt werden. Die CO<sub>2</sub>-Zufuhr, z.B. aus einem Kalkreaktor, kann sich sehr schnell auf das Wachstum von Algen auswirken. Offenbar sind die uns bekannten grünen Fadenalgen (z.B. *Derbesia* oder *Cladophora*) in einem gut funktionierenden Korallenriff-aquarium Kohlenstoff-limitiert, d.h. sie würden unter vergleichbaren Aquarienbedingungen stärker wachsen, würden Sie mit freiem CO<sub>2</sub> versorgt werden (was man z.B. in vielen Kalkreaktor-betriebenen Aquarien feststellen kann). Daher ist typischerweise aufgrund des ausreichend hohen Carbonatgehalts im Meerwasser eine gezielte Nachdosierung von CO<sub>2</sub>, wie es im gut bepflanzten Süßwasseraquarium zu meist zwingend erforderlich ist, eher von Nachteil. Typischerweise gehen wir also im Meerwasseraquarium nicht davon aus, dass zumindest für das Wachstum zooxanthellater Korallen ein Kohlenstoffmangel besteht, sofern wir für eine ausreichende Stabilisierung

der Carbonathärte sorgen.

Der Prozess der biologischen Umwandlung von solarer Strahlungsenergie in chemische Energie zum Aufbau von Biomasse heißt **Photosynthese**. Die Photosynthese ist ein aufbauender (assimilatorischer) Stoffwechselweg, durch den Pflanzen und einige Bakterien wie z.B. Cyanobakterien wachsen (d.h. Biomasse aufbauen) können. Dazu nutzen Sie CO<sub>2</sub> als Kohlenstoffquelle aus der Luft oder aus dem Wasser und verknüpfen die einzelnen Kohlenstoffatome zu größeren organischen Stoffen, die dadurch auch einen höheren Energiegehalt erreichen. Die erforderliche Energie stammt aus dem Sonnenlicht, das von spezialisierten Pigmenten wie z.B. dem Chlorophyll eingefangen (absorbiert) wird. Bestimmte Komponenten in den Pflanzenzellen, sog. Photosysteme, können die absorbierte Strahlungsenergie umwandeln und durch die chemische Verbindung zweier Atome Kohlenstoff, die aus zwei CO<sub>2</sub> Molekülen stammen, zu einem großen Teil speichern.

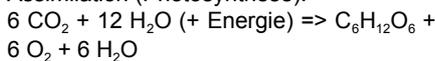
Neben dem CO<sub>2</sub> nehmen Pflanzen z.B. auch Nitrat (als Stickstoffquelle) oder Phosphat (als Phosphorquelle) aus ihrer Umgebung auf (aus der Erde oder dem Wasser). Diese Moleküle sind ebenfalls kleine anorganische Rohstoffe, die im Rahmen der Assimilation in zelleigene organische Biomasse eingeschleust werden, z.B. Stickstoff in Aminosäuren, oder Phosphor in bestimmte Fette (Phospholipide) der Zellmembran. Pflanzen und viele Bakterien können



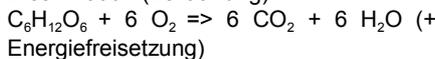
Foto 3: Pflanzen, dazu gehören auch Algen, betreiben Photosynthese. Sie nutzen die Energie des Sonnenlichts, um aus CO<sub>2</sub> energiereiche organische Nahrung herzustellen. Dabei entsteht Sauerstoff, der an dieser Rotalge als Gasblasen zu erkennen ist. Foto: Jörg Kott.

also aus verhältnismäßig kleinen und energiearmen Rohstoffen wie CO<sub>2</sub>, Nitrat oder Phosphat, energiereiche organische Moleküle wie z.B. Zucker selbst herstellen. Sie nutzen die Energie des Sonnenlichts, um solche energetisch wertvollen Zuckerbausteine im Rahmen ihres assimilatorischen Stoffwechsels zu produzieren. Der erneute Abbau dieser Nahrung über den dissimilatorischen Stoffwechsel der Pflanze erzeugt dann wiederum Energie, um alle wichtigen Zellprozesse anzufeuern. Beide Prozesse kann man anhand der Herstellung und der erneuten Veratmung von Glucose (Traubenzucker) veranschaulicht durch chemische Reaktionsgleichungen gegenüberstellen:

Assimilation (Photosynthese):



Dissimilation (Zellatmung):



Es wird anhand dieser Gleichungen deutlich, dass die photosynthetisch eingefangene solare Strahlungsenergie die Lebensprozesse auf diesem Planeten antreibt. Neben der solaren Strahlungsenergie können von einigen Bakterien auch andere Energiequellen genutzt werden, wie z.B. Redox-Energie (Energie, die aus der Reduktion bzw. Oxidation von Stoffen umgesetzt werden kann). Dies soll an dieser Stelle jedoch nicht weiter erörtert werden. Es ist für uns Aquarianer allerdings auch nicht völlig irrelevant, weil zu diesen Bakterien auch die uns bekannten nitrifizierenden Bakterien gehören, die Ammonium zu Nitrit und weiter zu Nitrat oxidieren, und aus dieser Umwandlung Redox-Energie umsetzen. Genau wie die photoautotrophen Pflanzen nehmen solche Bakterien CO<sub>2</sub> bzw. Hydrogencarbonat aus ihrer Umgebung auf und stellen daraus ihre eigene Nahrung her.

Die hier vorgestellte Ernährungsstrategie

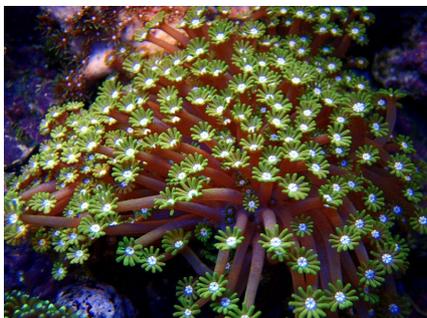


Foto 4: Korallen wie diese *Alveopora* sp. nehmen im Wasser gelöste organische Nahrung über ihre Oberfläche auf und verwerten diese unabhängig von der Versorgungsleistung ihrer Zooxanthellen. Foto: Jörg Kokott



Foto 5: Muscheln leben wie alle Tiere heterotroph, und filtrieren im Wasser suspendierte mineralische und organische Partikel. Diese *Tridacna squamosa* lebt jedoch wie viele tropische Korallen ebenfalls mit Zooxanthellen zusammen und ist funktional autotroph. Foto: Jörg Kokott

nennt man **Autotrophie**, was soviel heißt wie "Selbsternährung". Durch den Zusatz der jeweils vorliegenden Energiequelle kann man dann im Weiteren die *Photoautotrophie* (Selbsternährung durch das Sonnenlicht) von der *Chemoautotrophie* unterscheiden.

Die photosynthetisch, oder photoautotroph hergestellte (gewachsene) Pflanzenbiomasse stellt wiederum die Nahrungsgrundlage für die Organismen dar, die der Autotrophie nicht fähig sind. Dabei wird die Nahrung unter dissimilatorischer Freisetzung von chemischer Energie erneut in die kleinen Grundbausteine zerlegt, was sowohl die energetische, wie auch die materielle Balance wiederherstellt (siehe Dissimilationsgleichung). Man nennt diese Ernährungsweise **Heterotrophie**, was übersetzt soviel bedeutet wie "andersartige Ernährung", um darzustellen, dass die Nahrung nicht selbst produziert, sondern anderweitig rekrutiert wird, z.B. durch den Fang von Beute oder das Abweiden von Pflanzen. *Heterotrophe* Organismen sind davon abhängig, dass die für sie lebensnotwendige Energie bereits in der durch autotrophe Lebensformen fertig hergestellten Biomasse als sog. "chemische Energie" gebunden ist. Der Autotrophie fähig sind letztlich nur alle pflanzlichen Organismen und viele (aber bei weitem nicht alle) Bakterien. Alle anderen Tiere und Pilze bilden die Gruppe der heterotrophen Organismen.

Mit unseren tropischen zooxanthellaten

Korallen betrachten wir einen Sonderfall. Die Koralle ist als tierischer Organismus heterotroph, d.h. ein Korallenpolyp muss extern hergestellte organische Nahrung aufnehmen und diese energiebringend veratmen. Allerdings sind die Symbiosealgen (Zooxanthellen) im Gewebe der Korallen als pflanzliche Organismen photoautotroph, d.h. sie nutzen das Licht aus der Aquarienbeleuchtung, um hochwertige organische Nahrung im Rahmen ihrer Photosyntheseleistung herzustellen.

Durch eine spezialisierte Symbiosekontrolle schafft es die Koralle, die fertigen Photosyntheseassimilate aus den Algen herauszuschleusen und für sich selbst zu nutzen.

Die Nahrungsrekrutierung bei einer symbiontischen Koralle besteht also erst einmal darin, Mechanismen zu entwickeln, um die photosynthetisch produzierte Nahrung aus den Symbiosealgen herauszuziehen. Man nennt die Übergabe der Assimilate von den Algenzellen in die Korallenzellen *Translokation*. Man sagt, die Assimilate werden von den Algen in die Koralle *transloziert*. Aus der photosynthetischen Assimilation in den Zooxanthellen gehen unterschiedliche organische Stoffe hervor, die transloziert werden können, z.B. Glycerol, Aminosäuren oder auch Fettsäuren. Die Koralle erhält also von den Zooxanthellen eine durchaus abwechslungsreiche Kost, die nicht nur zur Energiegewinnung, sondern auch zur koralleneigenen Assimilation (z.B.



Foto 6: Schwämme sind evolutiv sehr einfach gebaute Vielzeller, die darauf spezialisiert sind, Nahrung aus dem Wasser zu filtrieren. Was sie genau als Nahrung verwerten, bleibt uns meist unbekannt. Nur einige wenige Arten gedeihen gut im Aquarium. Die meisten sind leider aufgrund des Nahrungsmangels nur schwer oder gar nicht pflegbar. Foto: Jörg Kokott

die translozierten Aminosäuren zur Proteinsynthese) genutzt werden können.

Funktional betrachtet ist eine symbiontische Koralle sowohl heterotroph, als auch autotroph, sofern die Symbiose mit den Zooxanthellen intakt ist. Verliert eine symbiontische Koralle ihre Zooxanthellen (was wir *Ausbleichen* nennen), dann steht die heterotrophe Ernährung absolut im Vordergrund. Ist das Ausbleichen z.B. durch einem Mangel an anorganischen Rohstoffen wie  $\text{NO}_3$  oder  $\text{PO}_4$  verursacht, dann ist dieser Umstand äußerst kritisch, weil wir uns oftmals nur ungenügend um eine alternative Nährstoffzufuhr bemühen. Das liegt vermutlich daran, dass selbst die aktuelle Fachliteratur aussagt, dass symbiontische Korallen nur „von Licht leben“, und wir Aquarianer uns lediglich um eine gute Beleuchtung kümmern müssen.

Wenn wir also ein helles Korallengewebe (mit einer geringen Zooxanthellendichte) erarbeiten möchten, um die Farben der Korallen besser zum Vorschein kommen zu lassen, und aus diesem Grund den Gehalt an  $\text{NO}_3$  und  $\text{PO}_4$  im Wasser auf ein nicht nachweisbares Niveau senken, dann stehen wir in der Pflicht, alternative Nahrungsquellen für die Korallen anzubieten, weil ein signifikanter Verlust an Zooxanthellen auch eine geringe Translokationsleistung bedeutet.

Unabhängig von der symbiontischen Nährstoffrekrutierung ist die Aufnahme von gelöster und partikulärer Nahrung aus der Umgebung jedoch in fast allen Korallen im Rahmen einer heterotrophen Ernährungsweise möglich. Lediglich die Arten aus der Gattung *Xenia* können zumindest partikuläre Nahrung nicht aufnehmen und verwerten, sondern verlassen sich ausschließlich auf die Translokation von Nährstoffen aus den Zooxanthellen sowie auf die Aufnahme gelöster organischer Nährstoffe aus dem Wasser.

Wir können nun sehr leicht nachvollziehen, weshalb die Pflege von symbiontischen Korallen in unseren Riffaquarien verhältnismäßig einfach ist, weil wir uns als Pfleger relativ wenig um die Ernährung dieser Korallen kümmern müssen. Uns stellen sich natürlich Anforderungen an die Qualität der Leuchtmittel, sowie an die Umsetzung optimaler Strömungsbedingungen und an die mineralische Kalkversorgung. Sobald wir jedoch eine Koralle aktiv mit Nahrung versorgen müssen, wird es schwierig, denn die meisten Korallen stellen ganz individuelle Anforderungen an die Futterqualität, die Partikelgröße, die Partikeldichte, sowie an die Fütterungsintervalle. Azooxanthellate Korallen, also Korallen, die nicht mit Zooxanthellen in Symbiose leben, sind leider bis dato schwer zu pflegen, und darüber hinaus haben wir auch die Aufgabe zu erfüllen, die erhöhte Nährstoffbelastung zu kompensieren.

Autotrophie und Heterotrophie sind Ökosystemprozesse, die wir als Zyklus darstellen können: autotrophe Pflanzen und Bakterien nehmen  $\text{CO}_2$  und kleine anorganische Nährstoffe auf und produzieren daraus ihre organische Biomasse und als Nebenprodukt Sauerstoff. Daher bezeichnet man die autotrophen Lebewesen auch als die *Produzenten* in einem Ökosystem. Durch das Fressen von Pflanzen gelangt die energiereiche Biomasse in die *Nahrungskette* und wird hier durch den dissimilatorischen Stoffwechsel bis zum  $\text{CO}_2$  unter Verbrauch von Sauerstoff wieder abgebaut. Der in der Biomasse gespeicherte Energiebetrag kann dabei von den Tieren in

Wachstum und in Fortpflanzung umgesetzt werden. Alle heterotrophen Lebewesen werden die *Konsumenten* des Ökosystems genannt, weil sie sich an der autotroph produzierten Biomasse bedienen.

In aquatischen Ökosystemen spielen kleine autotrophe und heterotrophe Organismen eine ganz zentrale Rolle innerhalb der Nahrungskette: das *Plankton*. Plankton ist definiert als die Gesamtheit aller Lebewesen, die sich nicht durch eigenen Antrieb gegen eine Wassermasse gerichtet bewegen können, sozusagen alle Lebewesen, die mit dem Strom treiben. Dabei sind die meisten Planktonorganismen durchaus aktiv schwimmfähig, oder können durch bestimmte Mechanismen Auf- oder Abtrieb erzeugen, durch die sie sich vertikal in der Wassersäule bewegen können (Vertikalmigration). Aber sie können ihren Standort nicht entgegen der Strömungsrichtung aktiv verändern.

Verständlicherweise sind planktonische Organismen sehr kleine Lebewesen, von einzelligen Algen und Tieren angefangen, bis hin zu größeren Krebstieren wie dem Krill, oder auch den Medusen (Quallen). Pflanzliches Plankton wird *Phytoplankton*, tierisches Plankton wird *Zooplankton*, und bakterielles Plankton wird *Bakterioplankton* genannt.

Phytoplankton, das sind einzellige oder auch kleine vielzellige Algen, bindet das  $\text{CO}_2$  aus dem Wasser und assimiliert mit Hilfe des Sonnenlichts energiereiche organische Stoffe, wodurch es unter ständiger Zellteilung sehr große Populationen bildet, die sog. Phytoplanktonblüten. Diese färben



Foto 7: Detailaufnahme von Polypen der azooxanthellaten Gorgonie aus der Gattung *Menella*. Die Bereitstellung von partikulärem organischen Material und Zooplankton im Aquarium ist für diese Gorgonie existenziell wichtig. Foto: Jörg Kokott



Foto 8: Die Nesselfähigkeit hängt stark vom Ernährungszustand der Koralle ab. Bei Anemonen ist oft ein Verlust der Nesselkraft festzustellen. Diese *Stichodactyla haddoni* ist gesund und klebt sehr stark. Foto: Jörg Kokott

je nach Pigmentierung der Algen das Wasser sichtlich ein, z.B. erzeugen einige einzellige Rotalgen und auch Cyanobakterien die als *Rote Tiden* bekannten Phytoplanktonblüten, die sich mit der Tide im unmittelbar strandnahen Wasser anschwemmt.

Das Phytoplankton ist Nahrungsgrundlage für das Zooplankton, das sich heterotroph ernährt und die pflanzliche Biomasse des Phytoplanktons konsumiert. So erhält das Zooplankton wichtige Baustoffe für ihre Assimilationsprozesse, als natürlich auch Nahrung für den Energiestoffwechsel. Kleineres Zooplankton wird von größeren Zooplanktonorganismen gefressen, bis sich die Nahrungskette hin auf die Ebene der großen Fische, der Wale, und letztlich auch des Menschen entwickelt. Man spricht hier von sog. *Ernährungs- oder Trophieebenen*.

Organische Nahrung wird in der Natur also ständig auf und wieder abgebaut, jedoch stets unter der Voraussetzung, dass der Energiegehalt im Ökosystem in der Nettobilanz gleich bleibt. Korallenriffe bringen eine Vielzahl verschiedener planktonischer Organismen hervor, die Grundlage für die Entstehung sehr komplexer und stark vernetzter Trophieebenen sind. In Korallenriffen entstehen unglaublich viele Organismengruppen, die jedoch nur kleine Populationsgrößen entwickeln.

In anderen Ökosystemen sind Nahrungsketten kürzer, es existieren nur eine begrenzte Zahl an Trophieebenen, wobei die jeweiligen Populationen sehr groß werden können. Wird die organismenspezifische Biomasse groß, dann kann sie für die Fischerei in Frage kommen. Solche Ökosysteme sind sehr produktiv. Korallenriffe sind dagegen nicht produktiv, sie können nicht in großem Maßstab befischt werden.

### 1.3 Bedeutung von Nährstoffen für den Organismus

Chemische Energie, wie sie z.B. in der

Kohlenstoffbindung gespeichert wird, kann Arbeit verrichten. Eine Zelle kann sie wie eine Geldwährung in bestimmte Lebensbereiche investieren und nutzt dazu mehrere speziell zur Energiespeicherung vorgesehene organische Moleküle, am besten bekannt eine Verbindung mit dem Namen Adenosin-triphosphat, kurz ATP. Hier wird die chemische Energie in einer Phosphor-Sauerstoff-Bindung gespeichert. ATP besitzt drei aneinandergereihte Phosphorgruppen (triphosphat), die jeweils einzeln voneinander durch Enzyme abgespalten werden können, wodurch die in der Bindung gespeicherte Energie umgesetzt werden kann. Dadurch verändert sich das Adenosin-triphosphat in das Adenosindiphosphat (ADP) und das Adenosinmonophosphat (AMP). Im Zuge des dissimilatorischen Abbaus von energiereicher Nahrung können aus dem AMP oder dem ADP wieder hochwertiges ATP regeneriert werden. Vor allem dort, wo viel Energie benötigt wird, wie z.B. in der Muskulatur oder in Nervenzellen, finden sich große ATP-Speicher.

Ein Großteil der verfügbaren Energie geht zunächst in den Antrieb der wichtigsten Zell- und Körperprozesse, sowie in die Neuproduktion von Zellkomponenten. In höher entwickelten

Tieren wird sie auch in energiezehrende Bewegungen der Muskelzellen umgesetzt, oder sie treibt ein Nervensystem an, das umso energetisch aufwendiger ist, je höher die neuronalen Fähigkeiten des jeweiligen Organismus sind. Auch die Fähigkeit zur Regulation der Körpertemperatur ist ein extrem energieaufwendiger Vorgang. Je komplexer ein Körper aufgebaut ist, desto höher ist sein Energieumsatz, und desto wichtiger ist wiederum die Kontrolle und Organisation aller energieliefernder und energieverbrauchender Stoffwechselprozesse.

Die Herstellung von biochemischen Abwehr- und Hemmstoffen (in Korallen z.B. die Nesselgifte in den dafür eigens vorgesehenen Nesselzellen), oder die Bildung von Fortpflanzungsprodukten, können jedoch zunächst auch als sekundäre Investitionen angesehen werden. In evolutiv älteren und damit i.d.R. einfacher gebauten Organismen, und dazu gehören Korallen (bzw. Nesseltiere), werden viele Prozesse im Falle nicht optimaler Umweltbedingungen auch kurzweilig abgeschaltet, ohne dass dies eine akute existenzielle Bedrohung bedeuten würde. Solche Vorgänge sind evolutiv



Foto 9: Bei kleinpolygonigen Steinkorallen wie dieser *Acropora tenuis* (var. *plana*) zeigt neben dem stetigen Wachstum des Kalkskeletts auch die wirtseigene Pigmentierung und das Ausmaß der Polypenexpansion den Gesundheitszustand der Koralle an. Foto: Jörg Kokott

betrachtet zwar durchaus wichtig, z.B. im Falle der Nesselgifte, die in den artenreichen Korallenriffen dafür sorgen, dass die Korallen nicht von anderen Organismen verdrängt oder gefressen werden. Sie können aber nur dann erfolgen, wenn der Grundenergiebedarf gedeckt und ein dafür notwendiger Investitionsbetrag über ist.

Ähnliches gilt für die Farbigkeit von SPS-Korallen, die nur dann optimal ausgeprägt wird, wenn es neben der Beleuchtungsqualität auch der Ernährungszustand zulässt.

Der Verlust der Nesselfähigkeit, z.B. bei Anemonen oder auch bei großpolypigen LPS-Korallen, zeigt ganz klar, dass der Ernährungszustand der Tiere nicht optimal ist. Durch das Fehlen von Polypenfressern in unseren Aquarien fällt der Verlust der Nesselfähigkeit nicht so stark ins Gewicht wie in der Natur, weil der Polyp hier vor Räubern geschützt ist. Dennoch, wenn wir als Aquarianer optimale Bedingungen schaffen wollen, und v.a. auch die Vermehrung und schnelle Regeneration von Korallen im Fokus haben, sind wir dazu aufgefordert, mögliche Ernährungsdefizite zu diagnostizieren und sowohl quantitativ als auch qualitativ auszugleichen.

Für die durch uns gepflegten Mikro- und Makroalgen, sowie für die symbiotischen Korallen, die ihrerseits mit den photoautotrophen Zooxanthellen innerhalb des Korallengewebes in enger Partnerschaft leben und dadurch eine funktionelle Autotrophie erreichen, stellt ein stets verfügbarer anorganischer Basisnährstoffgehalt eine tagtägliche Notwendigkeit dar. Ohne dass die Zooxanthellen als pflanzliche Organismen innerhalb des Korallengewebes eine stabile Grundnährstoffversorgung in ihrer direkten Umgebung erfahren, wird die Koralle-Zooxanthellen-Symbiose nicht optimal funktionieren, was sich natürlich direkt auf den Ernährungsstatus der Koralle selbst auswirkt. Entsprechend sind symbiotische Korallen stets von einer Grundverfügbarkeit an anorganischen Nährstoffen wie  $\text{CO}_2$  (respektive  $\text{HCO}_3^-$ ), Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) und Phosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) abhängig.

Aussagen, selbst in der aktuellen aquaristischen Literatur, die den Aquarianer dahingehend beraten, die in Ihrer Bedeutung für die Autotrophie existentiell wichtigen Nährstoffe Nitrat und Phosphat bis unter die Nachweisgrenze der uns verfügbaren Analytiksysteme zu eliminieren, sind nicht nur vom theoretischen Ansatz her falsch, sondern in ihrer praktischen Konsequenz auch nicht ungefährlich.

In der Vergangenheit förderte ein Überangebot an anorganischen Nährstoffen wie Nitrat und Phosphat das Wachstum

von Algen. Allerdings kann es nur als klare Fehlinterpretation seitens der Fachautoren gewertet werden, wenn die Literatur nicht das übertriebene Ausmaß der Verfügbarkeit von Nitrat und Phosphat, also die Nährstoffkonzentration als Ursache darstellt, sondern stattdessen diese Nährstoffe generell als Übeltäter deklariert. Nitrat als auch Phosphat sind die wichtigsten Nährstoffe, die wir im Aquarium kontrollieren müssen, sowohl was ihre Anreicherung nach oben, als auch ihren Mangel nach unten betrifft. Im Folgenden werden wir die Verfügbarkeit von Nährstoffen im Rahmen dieser Einleitung noch etwas genauer ansprechen.

#### 1.4 Nährstofflimitierungen

Jeder autotrophe Organismus, sei es eine Pflanze oder ein autotrophes Bakterium, ist von einer konstanten Verfügbarkeit von anorganischem Stickstoff als Ammonium, Nitrit, oder Nitrat, sowie von Phosphor als anorganisches *ortho*-Phosphat, abhängig. Diese Nährstoffe sind neben dem  $\text{CO}_2$  die lebenswichtigen kleinen und energiearmen Grundbausteine und Funktionsträger für jede autotrophe Zelle. Die rigorose und irreversible Entfernung dieser Nährstoffe aus dem

Aquariensystem führt dazu, dass die autotrophe Lebensgemeinschaft im Aquarium in ihren Zellabläufen nachhaltig gestört wird. Der zunächst rein materielle Mangel wirkt sich konsequent auch auf den energetischen Status der Zelle aus. Folglich fehlen auch die Grundlagen und Reserven für Wachstum und Reproduktion. Eine derartige Mangelsituation wird in der Fachsprache **Nährstofflimitierung** oder **Wachstumslimitierung** genannt, weil der Aufbau von Biomasse durch das Fehlen an Rohstoffen nicht optimal möglich und damit limitiert ist.

Es besteht zwischen den verschiedenen relevanten Nährelementen wie Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor oder Eisen keine differenzierte Wertigkeit, d.h., es gilt das Gesetz des minimierenden Faktors (*Liebig'sches Minimumgesetz*), der vergleichbar mit einem Akkumulator diejenige Akkuzelle als das schwächste Glied in der Kette betrachtet, deren elektrische Spannung insgesamt am niedrigsten ist. Daher spielt es keine Rolle, welches Nährelement in quantitativer Hinsicht fehlt, weil das Fehlen an sich immer eine Funktionsstörung mit sich bringt. Dennoch, einige Nährelemente haben ein größeres Verbreitungsspektrum als



Foto 10: Blastomussa wellsi ist eine zooxanthellate großpolypige LPS-Koralle, die sehr gut Futterpartikel fangen kann. Dennoch ist sie auf einen konstanten Gehalt an Nitrat und Phosphat angewiesen. Foto: Jörg Kokott

andere, wie z.B. Stickstoff, der als organischer Stickstoff oder auch als anorganische Formen wie Ammonium oder Nitrat auftreten kann, so dass generell eine theoretisch bessere Gesamtverfügbarkeit denkbar wäre als z.B. bei Eisen.

Aus praktischer Sicht sind wir als Aquarianer ganz klar gefordert, den minimierenden Faktor genau zu erkennen, damit wir im Sinne einer Diagnostik entsprechend wirksame Lösungsansätze erarbeiten können. Es macht durchaus einen großen Unterschied, ob wir eine Stickstoff- oder eine Phosphorlimitierung als Problemstellung vor uns haben, weil wir in den praktischen Maßnahmen entsprechend anders vorgehen müssen. Glücklicherweise stellen sich im Riffaquarium eindeutige Symptome bzw. typische Muster für eine Wachstums-limitierung durch ein jeweiliges Nähr-element ein, anhand derer eine sichere Diagnostik mit geschultem Auge und entsprechender theoretischer Kenntnisse möglich ist. Dies betrifft vor allem das generelle Erscheinungsbild der Korallen, aber auch das anderer Organismen, wie z.B. Kalkrotalgen, sowie generell das Gedeihen von Algen im Aquarium. Schlechtes Polypenbild bei Korallen, Verlust an Farbigkeit und Gewebe-veränderungen sind Symptome, die eine beginnende Nährstofflimitierung im Ansatz andeuten, bevor gravierende, teils irreversible Schädigungen wie z.B. Gewebeverlust oder sekundäre Krankheiten auftreten können. Ich werde im folgenden zweiten Teil dieses Artikels ganz gezielt und im Detail auf die spezifischen Symptome der Nährstoff-limitierungen eingehen.

Wenn wir anhand optischer Indizien eine Nährstofflimitierung im Aquarium vermuten, untersuchen wir zunächst die als Haupt- oder Makronährstoffe in Frage kommenden Nährelemente Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor.

Kohlenstoff ist in der Regel aufgrund des Carbonatsystems in Meerwasser insofern vernachlässigbar, als dass - wie bereits erläutert - marine autotrophe Organismen nicht nur gelöstes CO<sub>2</sub>, sondern auch Hydrogencarbonat (Bicarbonat) effektiv als Kohlenstoffquelle nutzen können. Dennoch sollte immer eine Überprüfung der Carbonathärte gemeinsam mit dem Calcium- und Magnesiumgehalt erfolgen, um sicherzustellen, dass der Kalkhaushalt stabil ist und kein Carbonatdefizit besteht, auf das insbesondere Steinkorallen sehr schnell negativ reagieren. Hier würden wir vielmehr einen Mineralstoffmangel als einen Nährstoffmangel als wachstums-störende Ursache betrachten.

### 1.5 Nährstoffumsatzraten in Korallenriffaquarien

Die für uns wichtigsten Nährelemente sind

Stickstoff und Phosphor, deren anorganische Formen wir als Ammonium, Nitrit und Nitrat, respektive Phosphat, relativ leicht und zuverlässig quantitativ bestimmen können. Sowohl Ammonium als auch Nitrit sind als reduzierte Formen im Meerwasser wenig stabil und werden relativ schnell zu Nitrat oxidiert. Die Eigenschaft der Nitrifizierer, diese Umwandlung für eine chemoautotrophe Lebensweise zu nutzen, wurde bereits kurz angesprochen.

Nitrat und Phosphat stellen die anorganischen Endstufen der Stickstoff- und Phosphoroxidation dar, und sind als redox-stabile Nährstoffe im Meerwasser gut nachweisbar. Bekanntlich reichern sie sich dann an, wenn der Nährstoffeintrag im Aquarium bezogen auf die bestehende autotrophe Biomasse zu hoch ist. Hier ergeben sich zwei perspektivisch verschiedene Lösungsansätze. Einerseits könnte man den Nährstoff-export durch technische Komponenten (z.B. Eiweißabschäumer) oder durch den Einsatz von spezialisierten Filtermedien (z.B. Phosphatadsorber) steigern, d.h. bei gleichbleibender Nährstoffbelastung und bei unverändertem Korallen- und Algenbesatz werden mehr Nährstoffe aus dem Aquarium entzogen.

Andererseits kann man die autotrophe Biomasse erhöhen, die wiederum mehr anorganische Nährstoffe aufzunehmen vermag, d.h. es kann der Besatz mit zooxanthellaten Korallen weiter erhöht werden, und/oder ein separates Algenrefugium installiert werden, so dass bei gleichbleibendem Nährstoffeintrag und bei gleicher technischer Ausstattung des Aquariums mehr Nährstoffe in Biomasse eingebaut werden. Leider werden heute immer noch Fehler bei der Aquarieneinrichtung begangen, so dass viele Becken über Wochen hinweg brach liegen und keinen Korallenbesatz erfahren, weil dies in den vergangenen Jahrzehnten (warum auch immer) so üblich war. Selbst neuere Literatur ist diesbezüglich nicht zeitgemäß, was ich als großen Kritikpunkt ansprechen möchte.

Wenn wir das Aquarium als ein Ökosystem betrachten, und genau ein Solches ist es, dann stehen wir selbst im Mittelpunkt der Geschehnisse, wenn es darum geht zu bestimmen, welche Organismen in dieses Ökosystem einziehen und welche nicht. Ohne einen entsprechenden Besatz mit Korallen wird sich ein "einfahrendes" Riffaquarium nicht als Solches entwickeln. Vorprogrammiert sind Probleme mit Algen, weil diese weder eine Raum-, noch eine Nährstoffkonkurrenz durch Korallen erfahren. Das Verschwinden von Algen in der sog. "Einfahrphase"



Foto 11: Als Gestalter sind wir Aquarianer gefragt, möglichst schnell den Lebensraum zu besetzen. Viele Korallen können sich gegen etablierte Fadenalgen kaum durchsetzen, wie z.B. diese schön gefärbte Ricordea yuma. Ein Abwarten der "Algenphasen" ist grundlegend verkehrt. Foto: Jörg Kokott

(wobei ich betonen möchte, dass ich persönlich diesen Begriff in der heutigen Moderne für unpassend halte, weil er durch seine historische Entwicklung generell eine lange Wartezeit impliziert) liegt daran, dass ein einsetzender Nährstoffmangel die Algenpopulationen zum Absterben zwingt. Allerdings wird eine in das nun algenfreie Aquarium neu eingesetzte Koralle an diesem Nährstoffmangel leiden und vermutlich ihrerseits schnell absterben. Der Mangel an essentiellen Hauptnährstoffen ist wie ein Stock in die Speiche, v.a. deshalb, weil sich die Koralle genau jetzt an die neuen Strahlungsbedingungen sowie auch an die neuen Strömungsbedingungen akklimatisieren muss, was sehr energiezehrende Prozesse sind. Wenn die eingesetzte Koralle abstirbt, wird das Gewebe schnell zersetzt und es erfolgt letztlich eine Freisetzung von Nitrat und Phosphat. Das hat zur Folge, dass sich die wiederum ruhenden Dauerstadien der zurückgezogenen Algen auf die erneut verfügbaren Nährstoffe stürzen und die Algenpopulation schnell wieder dahin wächst, wo sie vor der Nährstoff-limitierung war. Die "Einfahrphase" nimmt nicht selten auf diese Art und Weise kein Ende. Zwar gibt es Ausnahmen, die belegen, dass auch eine solche "Einfahrphase" irgendwann zum Erfolg führt. Eine solche Vorgehensweise, wie sie auch in Büchern propagiert wird, entbehrt jedoch für mein biologisches und chemisches Sachverständnis jegliche nachvollziehbare Erklärung und ist im Idealfall nur pure Zeit- und Geldverschwendung. Meistens enden diese Vorhaben in einer etablierten Algenpopulation, die nur mühselig zu bekämpfen ist, schließlich gibt kein Organismus unter optimalen Bedingungen seinen Platz im Universum auf, auch nicht im Aquarium.

Ziel der Einrichtung und Gestaltung eines Ökosystems unter menschlicher Obhut (das kann im Übrigen auch ein Garten oder ein Teich sein), ist das zügige und effektive Einbringen der Organismen, die den Lebensraum besiedeln sollen. Für Riffaquarien bedeutet dies, dass wir Korallen einsetzen müssen, wenn wir ein Korallenriffaquarium pflegen möchten. Gemäß der ökologischen Gesetzmäßigkeiten in der Natur spielt die Verdrängung von unerwünschten Algen durch eine Raumbesetzung, als auch durch eine schnellere und effektivere Aufnahme von begrenzten Nährstoffen eine zentrale Rolle bei der langfristig erfolgreichen Aquariumpflege. Dies gelingt nur durch das frühzeitige Einsetzen von Korallen, die v.a. auch in frisch angesetztem Meerwasser mit den heutigen modernen Meersalzmischungen keine Schwierigkeiten haben. Ohne hier ganz

konkret werden zu wollen, weil es nicht Hauptanliegen dieses Artikel ist, kann man den Zeitpunkt des Korallenbesatzes bei meinen Aquarien an einer Hand abzählen.

In Anlehnung an diese Vorgehensweise bei der Einrichtung und Gestaltung von Riffaquarien, und wiederum unter Berücksichtigung der bemerkenswert erfolgreichen Weiterentwicklungen der letzten zehn Jahre bezüglich Pumpen-, Abschäum- und Beleuchtungstechnik, stellt sich die Riffaquaristik heutzutage bezüglich der Umsatz- und Abbauraten von Nitrat und Phosphat so dar, dass wir mit den chronischen Nährstoffanreicherungen im Aquarium vergangener Tage keine Probleme mehr haben. Die *Eutrophierung* genannte Anreicherung anorganischer Pflanzennährstoffe wie Nitrat und Phosphat, die

schwerwiegende und lang anhaltende Algenprobleme verursachen können, spielt nur noch in seltenen Fällen eine aquaristische Problemrolle, z.B. in reinen Fischeaquarien, oder wenn tatsächlich aus mangelhaftem Interesse die Moderne noch nicht Einkehr in den ein oder anderen Fachhandelsbetrieb erhalten hat.

Vielmehr sind es die sog. *oligotrophen* (nährstoffarmen) Aquarienbedingungen, die uns in der heute modernen Riffaquaristik Kopfschmerzen bereiten, wenn es darum geht, dass der Gehalt von Makronährstoffen zu niedrig ist.

Mit der Definition des Begriffes Makronährstoff als ein Solcher, der ein statistisch hohes Vorkommen in der lebenden Zelle aufweist, zeigen sich die Elemente Stickstoff (N) und Phosphor (P) als die wahrscheinlichsten Verursacher einer Nährstofflimitierung. Wenn sich jedoch ein deutlich positiver Befund sowohl im Nitrat-, als auch im Phosphatgehalt messbar ergibt, würde sich eine Nährstofflimitierung vermutlich im Mikronährstoffhaushalt darstellen. Auch hier sind bezüglich des quantitativen Vorkommens von Mikronährstoffen in der lebenden Zelle die Nährelemente Eisen, Mangan, oder Zink an vorderster Stelle zu nennen. Ungünstigerweise können wir im Vergleich zu den Hauptnährelementen keines der genannten Mikronährelemente zuverlässig erfassen, da wir über keine aquaristische Messanalytik verfügen. Demnach basiert eine Diagnostik nicht auf analytisch ermittelten Daten (wie z.B. dem Nitratgehalt), sondern stellt ausschließlich die Beobachtung des Aquariums als diagnostisches Mittel in den Vordergrund.

Viele Aquarianer sind nach wie vor der Meinung, dass die Versorgung ihrer Pfleglinge mit Spurenelementen, die sie über den Wasserwechsel ergänzen, ausreichend sind, um ein üppiges Wachstum insbesondere ihrer Korallen zu gewährleisten. Diese Annahme rührt aus einer Zeit, als zum einen die Korallenbesatzdichten sowie die Wachstumsraten unserer Riffaquarien vergleichsweise gering waren, und demgegenüber die Verunreinigung mit Schwermetallen durch eine mindere Rohstoffqualität in den Ausgangssalzen größer war als heute. Diese Zeiten sind schätzungsweise seit mindestens zehn Jahren vorbei. Zudem müssen wir ganz grundsätzlich beachten, dass wir mit einer Mikronährstoffversorgung nicht nur Korallen ansprechen, sondern eben auch die gesamte Mikrowelt im Hinterkopf haben müssen. Insbesondere solche Aquarien, die mit organischen Kohlenstoffquellen arbeiten um die heterotrophe Bakterienaktivität anzuregen, weisen einen viel anspruchsvolleren und höheren Mikro-



Foto 12: Azooxanthellate Korallen wie diese Scleronephthea tragen zu einer erheblichen Wasserbelastung bei. Da sie nicht in dem Maße wie symbiotische Korallen anorganische Nährstoffe wie Nitrat oder Phosphat aufnehmen, muss der Nährstoffeintrag entweder über eine dimensionierte Technik, oder durch die Erhöhung der autotrophen Biomasse z.B. in einem Algenrefugium kompensiert werden. Foto: Jörg Kokott

nährstoffbedarf auf als ein ganz klassisches Berliner System, das so gut wie kein Bakterioplankton und auch keine nennenswerten immobilisierte Biofilme erzeugt. Selbst wenn wir Verunreinigungen in den Meersalzmischungen sowie von Zuschlagsalzen wie Calciumchlorid annehmen müssen, dann haben wir darüber weder eine genaue Kenntnis, noch können wir davon ausgehen, dass alle physiologisch relevanten Mikronährstoffe im Salz vorhanden sind, und dann wiederum auch noch in einer entsprechenden Verteilung vorliegen, die wir als günstig für die Versorgung unserer autotrophen Pfleglinge ansehen könnten. Dazu kommt der Einsatz leistungsfähiger Eiweißabschäumer, die z.B. anorganische Niederschläge von Schwermetallen wie Eisenphosphat aus dem freien Wasser effektiv entfernen. Auch Filtermaterialien wie Eisenhydroxid-basierte Anionenadsorber können durch bestimmte physikalische Wechselwirkungen Schwermetallkationen wie Kupfer oder Nickel abzw. einlagern und deren Verfügbarkeit damit auf ein kritisches Maß herabsetzen.

Heutzutage gibt es keine Riffaquarien, die langfristig ohne jegliche spezifische Mikronährstoffversorgung auskommen, sofern wir davon ausgehen wollen, dass

ein Aquariensystem optimal versorgt sein soll. Wenn wir eine große Zahl an Organismen gemeinsam und nebeneinander pflegen, dann sind bei einer mangelhaften Versorgung Mikronährstofflimitierungen genauso häufig wie Wachstumslimitierungen, die aus dem Mangel an Hauptnährstoffen resultieren.

Jedes Aquarium funktioniert anders, so dass wir ganz individuell die jeweiligen Bedürfnisse erkennen und sowohl in quantitativer, wie auch in qualitativer Hinsicht abdecken müssen.

Dazu stehen heute eine große Zahl an qualitativ hochwertigen Produkten zur Verfügung. Die Entscheidung für deren Anwendung können aber nur wir als Aquarianer treffen, da niemand unser eigenes Aquarium besser beurteilen kann, als wir selbst.



Der Autor:  
Dipl. Biol. Jörg Kokott  
Marktplatz 12  
D-27711 Osterholz-Scharmbeck  
email: [info@sangokai.de](mailto:info@sangokai.de)



Foto 13: Tubastrea faulkneri, eine der schönsten Korallen, die wir mit einer kontinuierlichen Fütterung sehr leicht pflegen können. Futter und Nährstoffversorgung ist heutzutage der wesentliche Schlüssel zum Erfolg! Foto: Jörg Kokott