



Redfield-Verhältnis – eine Zauberformel für das Aquarium?

von Burkhard-Ramsch* und Beate R. Sellner*

Die beiden in der Aquaristik umfassend diskutierten Substanzen Stickstoff und Phosphor sind einerseits wichtig als Makroelement für den Aufbau von Organismen, andererseits können sie in zu hohen Konzentrationen schnell ein Traum-Aquarium zum Alptraum-Aquarium umgestalten. Wie hoch dürfen diese Werte sein?



Stickstoff und Phosphor: Nährstoffe oder Schadstoffe?

Stickstoff (chemisches Kurzzeichen N) kommt im Aquarium in unterschiedlichen chemischen Verbindungen vor. Die bekanntesten anorganischen Vertreter sind das Ammonium, das mit Ammoniak im Gleichgewicht steht, das Paar Nitrit und Salpetrige Säure sowie das Paar Nitrat und Salpetersäure (SELLNER & RAMSCH 2008, SELLNER & RAMSCH 2009a und 2009b). Die Umwandlung von Ammoniak über Nitrit zu Nitrat ist eine der wichtigsten Reaktionen im Aquarium und als Nitrifikation bekannt.

Stickstoff kommt außerdem organisch gebunden vor. In allen Organismen, ob tierlich, pflanzlich oder bakteriell, ist Stickstoff gebunden und z. B. Bestandteil der wichtigen Proteine, die Struktur geben, chemische Reaktionen beeinflussen, Reservestoffe oder Abwehrstoffe bilden. Natürlich ist Stickstoff auch in der Nahrung zu finden und gelangt durch die Fütterung ins Aquarium.

Allerdings ist Stickstoff auch als Gas im Wasser gelöst. Das Di-Stickstoffmolekül (N_2) macht ungefähr 78 % der Gase in der Erdatmosphäre aus. Im Aquarienwasser spielt gasförmiger Stickstoff keine wesentliche Rolle. Er wird zwar als Endprodukte der Denitrifikation an das Wasser abgegeben, doch die Konzentrationen sind so gering, dass sich nicht übermäßig viel Stickstoffgas im Wasser lösen kann. Steht jedoch das Wasser unter Druck, kann überdurchschnittlich viel Stickstoff in Lösung gehen. Fische die in diesem Wasser leben, reichern auch in ihrem Körper den Stickstoff an. Das bleibt zwar zunächst folgenlos, doch wenn der „angereicherte“ Fisch in niedrigere Druckverhältnisse überführt wird (z. B. wenn er in erheblicher Tiefe gefangen und schnell an die Oberfläche gebracht wird), beginnt der überschüssige Stickstoff auszugasen und bildet Stickstoffbläschen, die im Blut Embolien verursachen oder sich im Gewebe einlagern. Taucher kennen dies als Taucherkrankheit.

Bild oben links: Traum-Aquarium mit Steinkorallen, sehr niedrige Stickstoff- und Phosphatkonzentrationen (Aquarium Krzysztof Tryk, Aufnahme 2007)

Bild oben rechts: Alptraum-Aquarium mit hohen Stickstoff- und Phosphatkonzentrationen: Es dominieren Fadenalgen
2 Fotos: D. Knop



Phosphat-Fällmittel trüben für kurze Zeit das Wasser. Das gefällte Phosphat wird nur zum Teil vom Filtersystem (Abschäumer) herausgefiltert; der Rest verschwindet im Boden oder in den lebenden Steinen und bildet Phosphat-Pools, die unter Umständen wieder gelöst werden können (anoxische Bedingungen). Foto: AquaCare

Phosphor (kurz P) wird ebenfalls mit der Nahrung ins Aquarium eingetragen. Aber auch ungeeignete Materialien im Kalkreaktor können Phosphat freisetzen. Phosphor ist in vielen lebenswichtigen organischen Verbindungen wie der DNA (Erbsubstanz), der „biologischen Energie-Währung“ Adenosin-Triphosphat (ATP) und vielen Zellbestandteilen wie der Zellmembran enthalten. Im Wasser liegt Phosphor in hohem Maße als Orthophosphat vor und kann mit dem Phosphatstest gemessen werden. Um Phosphat aus dem Wasser zu entfernen, gibt es einige Möglichkeiten:

- regelmäßiger Teilwasserwechsel mit phosphatfreiem Wasser
- Adsorption an Phosphatadsorbern (Zeolithe haben eine beträchtlich niedrigere Kapazität als die Adsorber auf Eisen- oder Aluminiumbasis)
- forciertes Wachstum der Korallen und Pflanzen (mehr Licht über dem Aquarium; schnellwüchsige Korallen oder Pflanzen wie Mangroven, mehr Strömung) und Algen (z. B. mit Hilfe eines Algenfilters).
- Fällreaktionen mit Phosphatfällmitteln (Eisen-, Lanthan- oder einige andere Salze) sind in der Lage, schnell die Phosphatkonzentration zu senken, können aber in einigen Fällen bei Doktorfischen tödliche Störungen verursachen.

Eine andere Fällreaktion ist sicherer und erhöht zusätzlich den pH-Wert und die Kalziumkonzentration: Kalziumhydroxid in Wasser gelöst – als Kalkwasser bezeichnet – wird langsam in das Wasser getropft. An der Eintropfstelle bildet sich durch den hohen pH-Wert der Lösung (pH 12–13) Hydroxylapatit $Ca_5(PO_4)_3(OH)$, eine Kalzium-Phosphat-Verbindung. Da dieses Salz in Wasser sehr schwer löslich ist, fällt es aus, und das Phosphat kann biologisch nicht mehr verwertet werden (von eventuellen Folgereaktionen in verdichteten Böden einmal abgesehen).

Beide Substanzen – sowohl Phosphor als auch Stickstoff – sind einerseits wichtige Stoffe, um Leben zu ermöglichen, andererseits sind aber hohe Konzentrationen schädlich. Bei Überdüngung wachsen ungeliebte Cyanobakterien und Grünalgen, und die Kalksynthese der Korallen ist gehemmt und lässt das Wachstum der riffbildenden Tiere stagnieren. Doch bevor wir mögliche Grenzwerte diskutieren können, sollten wir uns zunächst mit den verwendeten Messeinheiten befassen.

Das Problem der Umrechnung

Wasserinhaltsstoffe können grundsätzlich in Masse-Einheiten oder molaren Einheiten angegeben werden. Bei Masse-Einheiten werden die Moleküle „gewogen“ und bei den molaren Einheiten die Moleküle „gezählt“.

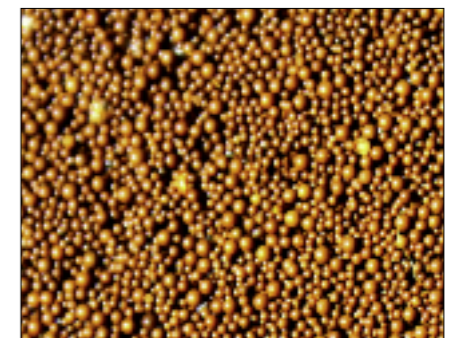
In der Aquaristik gebräuchlich sind die Masse-Einheiten mg/l bzw. im amerikanischen beeinflussten Raum ppm (parts per million). Bei mg/l müsste korrekterweise



Korallensand im Kalkreaktor kann Phosphat in das Aquarium eintragen Foto: D. Knop



Zeolithe können nur extrem wenig Phosphat adsorbieren Foto: AquaCare



Phosphatadsorber auf Eisenbasis sind gute Mittel, um Phosphat aus dem Wasser zu entfernen. Allerdings gibt es große Unterschiede in der Adsorptionsfähigkeit. Foto: AquaCare



	mmol/l = mM	mg/l PO ₄ ³⁻	mg/l PO ₄ ^{3--P}
mmol/l = mM	1	94,97136	30,97376
mg/l PO ₄ ³⁻	0,01053	1	0,32614
mg/l PO ₄ ^{3--P}	0,03229	3,06619	1

Tabelle 1: Umrechnungsfaktoren für Phosphat

	mmol/l = mM	mg/l NH ₄ ⁺	mg/l NH ₃	mg/l NH _x -N
mmol/l = mM	1	18,03846	17,03052	14,0067
mg/l NH ₄ ⁺	0,05544	1	0,94417	0,77649
mg/l NH ₃	0,05872	1,05918	1	0,82245
mg/l NH _x -N	0,07139	1,28785	1,21588	1

Tabelle 2: Umrechnungsfaktoren für Ammonium / Ammoniak NH₄⁺ ist der Ausdruck für die Summe von NH₃ (Ammoniak) und NH₄⁺ (Ammonium)

	mmol/l = mM	mg/l NO ₂ ⁻	mg/l NO ₂ -N
mmol/l = mM	1	46,0055	14,0067
mg/l NO ₂ ⁻	0,02174	1	0,30446
mg/l NO ₂ -N	0,07139	3,2845	1

Tabelle 3: Umrechnungsfaktoren für Nitrit

	mmol/l = mM	mg/l NO ₃ ⁻	mg/l NO ₃ -N
mmol/l = mM	1	62,0049	14,0067
mg/l NO ₃ ⁻	0,01613	1	0,22590
mg/l NO ₃ -N	0,07139	4,42680	1

Tabelle 4: Umrechnungsfaktoren für Nitrat

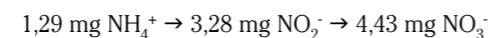
immer die Temperatur mit angegeben werden, um exakte Konzentrationsangaben machen zu können, weil bei z. B. Temperaturzunahme die Dichte der Lösung abnimmt und damit auch die Konzentration der gemessenen Substanz.

Die beiden amerikanischen Masse-Einheiten ppm und mg/kg sind temperaturunabhängige Einheiten. Theoretisch sind sie nur in Süßwasser bei 4 °C (Dichte 1,0 kg/l) gleichzusetzen. Bei anderen Temperaturen oder im Meerwasser stimmen die Werte nicht mehr überein. Im Alltag können aber wegen der erheblich höheren Messgenauigkeiten die beiden Einheiten mg/l und ppm oder mg/kg gleichgesetzt werden.

Oft sieht man die Bezeichnung Nitrat-N oder Nitrit-N (einge Fotometer messen in diesen Einheiten). Bei diesen Einheiten werden nur die Stickstoffatome „gewogen“, die anderen Atome – in diesem Beispiel der Sauerstoff – werden nicht beachtet. Der Sinn wird nicht sofort ersichtlich, doch wenn z. B. Stickstoffbilanzen angefertigt werden, d. h. es wird überprüft, wieviel eines Stoffs sich in einen anderen umwandelt, überzeugen gerade diese Zahlen. So wird während der Nitrifikation ein mg Ammonium-N zu einem mg Nitrit-N und weiter zu einem mg Nitrat-N oxidiert:



Werden die Moleküle bzw. Ionen hingegen „gewogen“, sieht die obige Reaktion gleich unübersichtlicher aus:



Man kann jedoch die Menge eines Stoffs auch dadurch bestimmen, dass man die Anzahl der Atome bzw. Moleküle bzw. Ionen „zählt“. Da z. B. ein Kilogramm Wasser eine unüberschaubare Menge an Wassermolekülen enthält und diese Zahl sehr unhandlich ist, hat man einen Faktor bestimmt, durch den diese gigantische Zahl so verkleinert wird, dass man gut mit ihr rechnen kann. Bei Hühnereiern kann man noch gut mit einem Dutzend rechnen, also 12 Stück, doch bei Atomen kommt man mit diesem Faktor nicht zurecht. Es wurde definiert, dass 1 mol eine Anzahl von $6,022 \cdot 10^{23}$ entspricht oder 602214179300000000000000 (www.iupac.org). Diese gewaltig große Zahl wird auch Avogadro-Konstante genannt. Die Einheit der Stoffmenge Mol ist „mol“, 1 Tausendstel ist ein mmol, 1 Millionstel ist ein µmol. Wird das Mol (die Stoffmenge) auf einen Liter (Volumen) bezogen, ist das z. B. mol/l (= Konzentration) oder abgekürzt M (molar), ein Tausendstel wäre mmol/l (Millimol pro Liter) oder mM (millimolar). Eine 1 molare Lösung (1 M) enthält also 1 mol des „gezählten“ Stoffes pro Liter. Die obige Beziehung zwischen Ammonium, Nitrit und Nitrat sieht in Mol umgerechnet folgendermaßen aus:



Auch wenn dieser chemische Ausflug für den Hobbyaquarianer sehr anspruchsvoll und komplex sein kann, sollte er jedoch die verschiedenen Einheiten umrechnen können, um unterschiedliche Angaben vergleichbar zu machen. Wir haben für diesen Zweck vier Tabellen entwickelt, die eine leichte Umrechnung ermöglichen (mg/l ist nahezu identisch mit ppm, parts per million; Molekulargewichte berechnet nach IUPAC, www.iupac.org).

Wird z. B. in der Literatur eine Konzentration von 0,03 mmol/l Phosphat angegeben, kann in Tabelle 1 leicht auf die aquaristisch gebräuchlichen mg/l bzw. ppm umgerechnet werden. Dazu gehen Sie in Tabelle 1 in der ersten Spalte auf die Einheit „mmol/l = mM“ und gehen in dieser Zeile nach rechts bis zur Spalte „mg/l PO₄³⁻“. Die angegebene Zahl 94,97136 ist der Umrechnungsfaktor. Multiplizieren Sie die 0,03 mmol/l Phosphat mit 94,97136 und Sie erhalten den Wert 2,8491 mg/l Phosphat.

Wie versorgen sich Rifforganismen mit Stickstoff und Phosphor?

Heterotrophe Organismen sind jene, die ihren Kohlenstoffbedarf aus organischem Kohlenstoff decken. Als Karnivore fressen sie Tiere, als Herbivore fressen sie Pflanzen, und Omnivore fressen beides, Saprobier bauen die Reste ab. All diese heterotrophen Orga-

nismen nehmen gleichzeitig Phosphor und Stickstoff auf; Überschüsse werden wieder ausgeschieden.

Autotrophe Organismen, die ihren benötigten Kohlenstoff aus anorganischem Kohlenstoff (z. B. Kohlendioxid) aufnehmen, müssen hingegen Phosphor und Stickstoff aus anorganischen Stoffen aufnehmen. Zu den autotrophen Organismen zählen Pflanzen, Algen einschließlich der Symbiosealgen von Korallen und viele Bakterien, z. B. Nitrifikanten und Cyanobakterien (RAMSCH & SELNER 1996). Alle Organismen, die wir durch eine Fütterung ernähren, erhalten dadurch Stickstoff und Phosphor.

Algen können wachsen, solange sie neben Spurenstoffen Energie (Licht), Kohlenstoff (Kohlendioxid, Hydrogencarbonat), Phosphor (Phosphat) und Stickstoff (Nitrat, aber auch Nitrit oder Ammonium erhalten; Cyanobakterien können auch gelösten Stickstoff mittels Stickstoff-Fixierung aufnehmen). Bei Korallen und Seeanemonen sieht die Sache schon anders aus. Azooxanthellate Korallen müssen Nahrung aufnehmen und damit ihren Stickstoff- und Phosphorbedarf decken. Neben dem aktiven Fang mit ihren Polypen können viele Tiere auch im Wasser gelöste Stoffe aufnehmen. Erhalten diese Tiere nicht täglich mehrfach Nahrung, verhungern sie bald. Immer wieder werden z. B. rote oder gelbe Schwämme oder *Tubastraea*-Steinkorallen wegen ihrer attraktiven Farben gekauft – doch ohne adäquate Fütterung verhungern sie und sterben. Bitte erwerben Sie nur Tiere, von denen Sie wissen, dass Sie diese auch langfristig erfolgreich pflegen können!



Fressvorgang einer azooxanthellaten *Tubastraea*-Steinkoralle, Zustand vor dem Füttern, während der Nahrungsaufnahme (Frostfutter-Artemien) und Polyp beim Ausschleiden unverdaulicher Überreste
3 Fotos: D. Knop

MeWa store

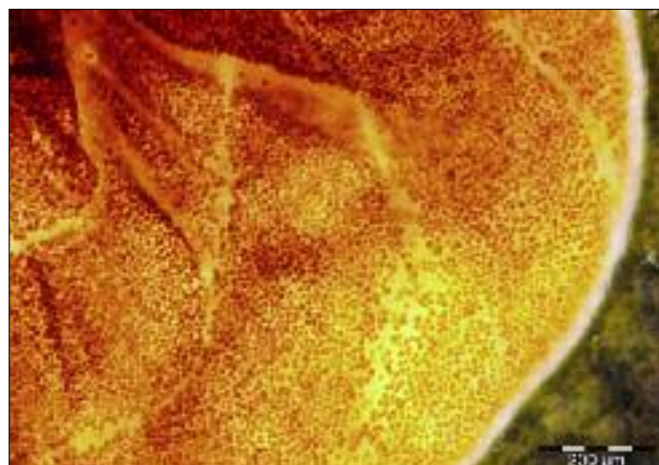
Meerwasser - Aquaristikfachversand

www.mewastore.de
Tel: 06151-9711279 Fax: 06151-9674806
e-mail: info@mewastore.de

Das **sangokai System** zur Versorgung tropischer Riffaquarien liefert wichtige Mikroährstoffe und partikuläre Mineralstoffe, die für eine gesunde Riffentwicklung notwendig sind. Die Ergebnisse sehen Sie schon nach wenigen Wochen!

Informieren Sie sich über die vielen Vorteile und Vorzüge des sangokai Systems, bei Ihrem sangokai Fachhändler, oder direkt bei uns, auf www.sangokai.de!

sangokai
www.sangokai.de
Inth. Dipl.-Biol. Jörg Kokott



Zooxanthellate Korallen und andere Tiere wie z. B. Riesenmuscheln der Gattung *Tridacna* haben sich eine zusätzliche Nährstoff- und Energiequelle erschlossen. Diese Tiere nahmen im Lauf der Evolution spezielle Algen aus der Gruppe der Dinoflagellaten u. a. auf und leben mit diesen in einer echten Symbiose. Das Tier erhält von der Alge Sauerstoff und organische Substanzen mit darin enthaltenem Stickstoff und Phosphor; die Alge hingegen profitiert von der stabilen Umgebung mit gleichmäßigem chemischen Milieu, ausreichender Sonneneinstrahlung und dem von der Koralle ausgeschiedenen Kohlendioxid.

Zooxanthellate Korallen können lange Zeit auf organische Nahrung verzichten, weil die Symbiosealgen sie ernähren. Aber besseres Wachstum ist mit zusätzlicher Nahrung möglich – ob gelöst (z. B. Aminosäuren) oder partikulär (Schwebenahrung, Plankton). Ist keine organische Substanz vorhanden oder diese nur in unzureichender Menge verfügbar, müssen die zooxanthellaten Korallen ihren Stickstoff- und Phosphorbedarf anderweitig decken: Sie verwenden Nitrat als Stickstoffquelle und Phosphat als Phosphorquelle.

Die Konzentrationen an Phosphor und Stickstoff in natürlichen Biotopen variieren stark – je nachdem, an welchen Stellen und zu welchen Zeitpunkten die Proben genommen wurden. Grundsätzlich steigen beide Konzentrationen, wenn der Biotop menschlichen Einflüssen wie Abwassereinleitung oder Regenwasser von gedüngten Feldern ausgesetzt wird. So hat z. B. GAST (1998) im Meer vor Curaçao Phosphat- bzw. Nitrat-Konzentrationen von 0,95–9,5 bzw. 12–19 µg/l gemessen. Bei einem Riff in der Nähe einer Stadt betragen die Konzentrationen bereits 4,7–28 bzw. 62–248 µg/l. Im Hafenwasser der Stadt konnten 620–2480 µg/l Nitrat gemessen werden. Die meisten Aquarien weisen erheblich höhere Konzentrationen auf!

Grundsätzlich sind im Porenbereich der Sedimente höhere Konzentrationen an Stickstoff und Phosphor zu messen als in der Wassersäule über den Sedimenten. Je nach Redoxpotential liegt der Stickstoff nicht mehr als Nitrat vor, sondern als Ammonium bzw. Ammoniak. In dieser Form kann er unter sauerstofffreien oder -armen Bedingungen von einigen Organismen (meist Bakterien) als Stickstoffquelle genutzt oder in der Anammox-Reaktion direkt zum molekularen Stickstoff (N₂) oxidiert werden.

Oberes Foto: Korallen und ihre Algensymbionten: Lederkoralle der Gattung *Sarcophyton*, Lupenfoto von Polypen mit sichtbaren Symbiosealgen (*Symbiodinium microadriaticum*) Foto: D. Knop
Unteres Foto: Korallengewebe mit Symbiosealgen Foto: AquaCare

P-N-Konzentrationen in natürlichen Biotopen							
P in µM	N in µM	P in µg/l	N in µg/l	Phosphat in µg/l	Nitrat in µg/l	Bemerkung	Autor
0,1	1,0	3,1	14	9,5	62	max. Freiwasser-Empfehlung, um Algenwachstum zu verhindern	GOREAU, T.J., THACKER, K. 1994
	5-10 auf 10-15		70-140 auf 140-210		310-620 auf 620-930	Anstieg bei Jamaica von Anfang der 80er bis Ende der 80er Jahre	GOREAU, T.J., THACKER, K. 1994
9,7		300		921		Konzentration im Sediment; Davies Reef, Great Barrier Reef, Australien	ENTSCH et al. 1983
0,01-0,1	0,2- 0,3	0,31-3,1	2,8-4,2	0,95-9,5	12-19	Offenes Meer vor Curaçao, 1994-1995	GAST 1998
0,05-0,3	1-4	1,55-9,3	14-56	4,7-28	62-248	Stadt-Riff; westlich Availa Beach Hotel vor Punda	
	10-40		140-560		620-2480	Hafenwasser in der Anna Bay	
0,26-0,31	0,83-0,91	8,1-9,6	12-13	25-29	51-56	Pelsaert Group, Houtman Abrolhos Islands, West Australien	CROSSLAND et al. 1984
0,22-0,29	0,93-1,02	6,8-9,0	13-14	21-28	58-63	Easter Group	
0,41-0,50	1,04-1,50	13-15	15-21	39-47	64-93	Wallabi Group	
0,03-0,3		1,9-9,3		2,8-28		Heron-Riff, Wistari Reefs, Great Barrier Reef, Australien	SOROKIN 1990
0,20-0,22	3,2-3,2	6,2-6,8	45-45	19-21	198-198	Riffwasser: Chapwani und Bawe, Riffe vor Zanzibar, Tansania	MOHAMMED & MGAYA ??
35-66		1084-2044		3324-6268		Porenwasser der Sedimente (342-690µM Ammonium)	
0,12-4,1	0,25-7,3	3,7-127	3,5-102	11-389	16-453	Oberflächenwasser in der Palk Bay Region, Indien	SRIDHAR et al. 2008
	< 0,5		< 7		< 31	Riff, Kane'oh'e Bay, Hawaii	LARNED & STIMSON 1996

Tabelle 5: Konzentrationen von Stickstoff und Phosphor in einigen Biotopen. Originalangaben in Fettdruck

Eine allgemeine Empfehlung geben GOREAU & THACKER (1994). Unter 0,1 µM Phosphor und unter 1,0 µM Stickstoff ist eine Eutrophierung, d. h. übermäßiges Wachstum von Algen, nahezu ausgeschlossen. Umgerechnet in Einheiten, die in der Aquaristik üblich sind, entspricht diese Empfehlung 0,062 mg/l Nitrat bzw. 0,009 mg/l Phosphat, was unterhalb der Messgrenze sehr guter Aquarientests liegt.

Anstieg der Stickstoff- und Phosphorkonzentration in natürlichen Gewässern

In natürlichen Gewässern wird der Anstieg von Stickstoff und Phosphor vor allem durch drei Faktoren verursacht: Schifffahrt, Landwirtschaft und Abwassereinleitung. Die Schifffahrt trägt durch Ablassen ungeklärter Abwässer dazu bei, die Gewässer zu verunreinigen. Aber auch Schiffsunfälle können – zumindest punktuell – zur Verschmutzung beitragen. So havarierte die „Safir“, ein Phosphattransporter, 1989 bei Ras Nasrani, Rotes Meer, und gab einige hundert Tonnen Phosphatdünger frei. Rund 500 m² des Riffs wurden in der Folge von Algen überwuchert (HAWKINS 1991).

Fast überall, wo Menschen leben, wird intensive Landwirtschaft betrieben. Dabei gelangen große Mengen an Dünger und Pestiziden in den Boden. Ein Großteil der Substanzen wird mit dem Regen aus den Feldern gespült, gelangt in Bäche und Flüsse und landet schließlich im Meer. Korallenriffe in der Nähe von Flussmündungen werden somit nicht nur durch Schwebstoffe belastet, sondern auch mit Nitrat und Phosphat.

In Australien wurde das Problem angegangen, indem einige Farmer in der Nähe der Felder Gräben anlegten, um das ablaufende Regenwasser vorübergehend zu sammeln. Während der „Lagerzeit“ können Algen, Bakterien und höhere Pflanzen einen Teil der Düngerfracht abbauen. Die entstehende Biomasse wird wieder auf die Felder gebracht. Diese Verfahrensweise reduziert den Einsatz von Düngemitteln und schont das der Küste vorgelagerte Riff, erfordert allerdings Arbeitsleistung.



Die grünen Felder bei Innisfail, Queensland, Australien, sind zumeist Zuckerrohrplantagen. Das Regenwasser wird mit Düngestoffen angereichert, sammelt sich im Fluss und gelangt letztlich in das Great Barrier Reef, das der Küste vorgelagert ist. Foto: Google Earth 07.2010

Nicht einfach nur irgendeine neue Pumpe. Die XStream Serie von SICCE ist sehr kompakt und hat eine revolutionäre Technologie. Durch ihre perfekte Kombination von Lauffläche, kompakter Bauweise, hoher Leistungsfähigkeit, nachweislicher Bauweise und niedriger Betriebskosten ist diese Pumpenserie perfekt geeignet für das Aquascaping.

- Hochwertige Bauteile
- Kompakte Bauweise
- Lauffläche
- Extrastarke Magnete
- Energiesparend
- Langlebig

5 Modelle:

- XStream 3500 mit 3.500 l/h
- XStream 5000 mit 5.000 l/h
- XStream 6500 mit 6.500 l/h
- XStream 8000 mit 8.000 l/h
- XStream-E für den Betrieb an einer elektronischen 24 V Steuerung.

Mit dieser neuen Stromversorgung setzt sich die SICCE-Flaggschiffserie als weltweit führende Produkte für ein Maß an Qualität, das den Aquaristen-Architekten.

SICCE
Tel: +39 0444 462826 - www.sicce.com

Jetzt verfügbar: Strömungspumpen XStream & XStream-E Serie

P-N-Konzentrationen in natürlichen Biotopen		
C:N:P	Organismus	Quelle
106:16:1	REDFIELD-Verhältnis	REDFIELD et al. 1963
117:14/16:1	durchschnittliches globales Verhältnis	ANDERSON & SARMIENTO 1994 in RIXEN et al. 2005
122:16:1	„Allgemeines Zirkulationsmodell“	MAIER-REIMER 1996 in RIXEN et al. 2005
125:14:1	Durchschnitt Arabische See	MILLERO ET AL. 1998 in RIXEN et al. 2005
550:30:1	bentische Algen in Riffen und Aquarien	ATKINSON & SMITH 1983
474:24:1	27 Seegrass-Arten an 30 Fundorten	DUARTE 1990
571:61:1	<i>Laurencia</i> sp. (Rhodophyta)	einige Extrema aus einer großen Übersicht von verschiedenen Autoren in
1625:182:1	<i>Spaerococcus coronopifolius</i> (Rhododophyta)	ATKINSON & SMITH 1983
240:31:1	<i>Spyridia</i> sp. (Rhodophyta)	
535:20:1	<i>Amphibolis griffithii</i> Blatt (Spermatophyta)	
982:27:1	dito, Stamm	
638:18:1	<i>Cymodocea serrulata</i> Blatt (Spermatophyta)	
410:19:1	dito	
872:13:1	dito Rhizom	
444:18:1	<i>Enhalus acorroides</i> Blatt (Spermatophyta)	
1000:48:1	dito	
3550:61:1	<i>Posidonia oceanica</i> (Spermatophyta)	
605:71:1	<i>Boodlea</i> sp. (Chlorophyta)	
371:33:1	dito	
362:16:1	<i>Enteromorpha flexuosa</i> (Chlorophyta)	
1051:80:1	<i>Ulva reticulata</i> (Chlorophyta)	
336:35:1	<i>Ulva</i> sp. (Chlorophyta)	
143:16:1	<i>Alaria crassifolia</i> (Phaeophyta)	
437:18:1	<i>Colpomenia sinuosa</i> (Phaeophyta)	
995:54:1	<i>Cystoseria balearica</i> (Phaeophyta)	
1896:68:1	<i>C. fimbriata</i> (Phaeophyta)	
589:61:1	<i>C. spinosa</i> (Phaeophyta)	
1124:65:1	<i>C. stricta</i> (Phaeophyta)	
933:35:1	<i>C. trinodis</i> (Phaeophyta)	
183:9:1	<i>Laminaria japonica</i> (Phaeophyta)	
384:25:1	<i>L. religiosa</i> (Phaeophyta)	
1031:20:1	<i>Sargassum</i> sp. (Phaeophyta)	
466:46:1	<i>Calothrix</i> sp. (Cyanophyta)	
429:52:1	dito	
302:38:1	<i>Lyngbia majuscula</i> (Cyanophyta)	
554:21:1	<i>Schizothrix</i> sp. (Cyanophyta)	

Tabelle 6: C:N:P-Verhältnisse bei unterschiedlichen Species, Pflanzenteilen und Fundorten.

Kommunales und industrielles Abwasser spielt nicht nur in Bezug auf Großstädte eine Rolle, denn auch kleinere Einleiter belasten die Riffe. In entwickelten Ländern sind Großstädte meist an Kläranlagen angeschlossen. Aber nur moderne Werke mit weitergehender Abwasserbehandlung entfernen auch Phosphat in hohem Maß. Doch aufgrund der großen Wassermengen können schon geringe Restkonzentrationen der Kläranlagen zur Eutrophierung der Gewässer führen. Kleine Einleiter geben nur geringe Wassermengen ab, doch diese sind meist nur mechanisch gereinigt und enthalten hohe Konzentrationen an Stickstoff und Phosphat.

Das Redfield-Verhältnis

Der US-amerikanische Ozeanograf Alfred C. Redfield (1890–1983) stellte Mitte des vergangenen Jahrhunderts fest, dass die Tiefsee überall auf der Welt ein erstaunlich konstantes Verhältnis an Kohlenstoff (C), Stickstoff (N) und Phosphor (P) aufweist (REDFIELD 1958). Er bezifferte dieses molare Verhältnis (es wurden also die Atome „gezählt“) mit C:N:P = 106:16:1. Auch gemittelte Proben von Biomasse – ob nun aus der Tiefsee oder aus Küstengewässern – wiesen dieses Verhältnis auf. Abweichungen fanden sich in gewissem Rahmen, und sie waren um so größer, je kleiner der untersuchte Raum war, oder je weniger Spezies in diese Berechnung einbezogen wurden.

So fanden PAHLOW & RIEBESELL (2000) heraus, dass in der nördlichen Hemisphäre über einen Zeitraum von 50 Jahren das N:P-Verhältnis angestiegen ist. Eine Erklärung wäre der vom Menschen stammende Eintrag von Stickoxiden in die Meere. Ebenfalls angestiegene C:N- und C:P-Verhältnisse können mit höheren Remineralisierungsprozessen (Abbauprozessen) erklärt werden, die durch Eisen verursacht wurden, das mit dem Wind eingetragen wurde (z. B. in Form feinsten Sahara-Sands).

Auch ist die Phosphatkonzentration abhängig von der Tiefe. Von 0 bis 1.000 m steigt sie von nahe 2,2 µM, zwischen 1.000 und 1.800 m sinkt sie von 2,2 auf 1,3 µM. In Tiefen bis 3.900 m ist die Phosphatkonzentration relativ konstant bei 1,3 µM, bis 5.000 Meter Tiefe steigt sie wieder auf 2,0 µM P (PAHLOW & RIEBESELL 2000).

Wenn einzelne Individuen auf ihre C:N:P-Verhältnisse untersucht werden, können extreme Abweichungen vom Redfield-Verhältnis gemessen werden – Tabelle 6 gibt eine kleine Übersicht. Die größten Abweichungen liegen bei 183:9:1 (Braunalge *Laminaria japonica*) und 3550:61:1 (Neptungras *Posidonia oceanica*, Blatt). Man muss allerdings beim C:N:P-Verhältnis beachten, dass schon kleine Messfehler bei der Phosphorbestimmung große Fehler bei der Berechnung des Kohlenstoffverhältnisses ausmachen können.

Das N:P-Verhältnis ist leicht aus den Werten der Tabelle zu entnehmen. Um jedoch auch die große Variabilität des C:N-Verhältnisses zu verdeutlichen, wurden die Tabellenwerte im Anschluss grafisch ausgewertet. Man sieht sehr deutlich, dass einzelne Organismen, ja sogar Einzelteile wie Wurzeln oder Blätter, sehr unterschiedliche Verhältnisse aufweisen.

Molekulare C:N-Verhältnis (bezogen auf 1 Mol P)

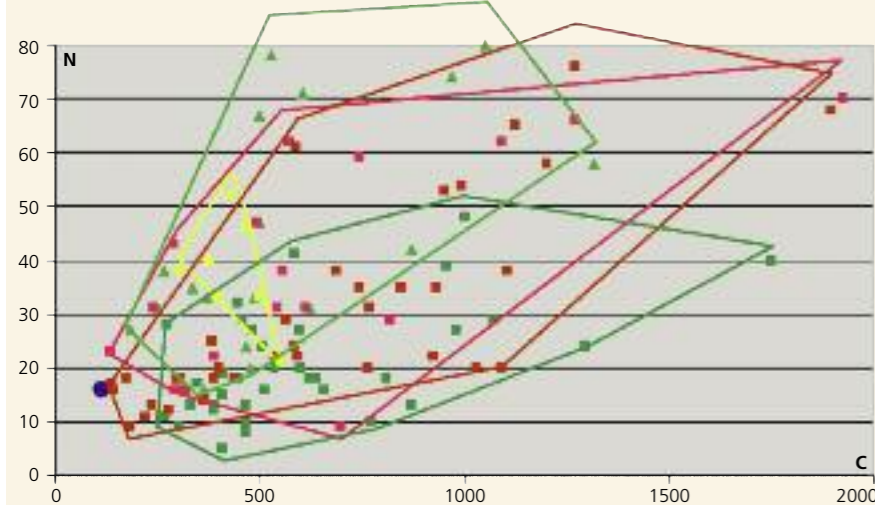


Abb. 11: Grafische Aufarbeitung der Tabelle 6. Extreme über 80 mol N und über 2000 mol C wurden nicht mit aufgenommen. ● Redfield-Verhältnis, ■ Spermatophyta = Samenpflanzen, ▲ Chlorophyta = Grünalgen, ■ Rhodophyta = Rotalgen, ■ Phaeophyta = Braunalgen, ■ Cyanophyta = Cyanobacteria = „Blaualgae“.

Welches N:P-Verhältnis sollte im Korallenaquarium vorliegen?

Immer wieder taucht in der Literatur und im Internet die Behauptung auf, das harmonische Funktionieren eines Korallenriffaquariums setze das Einhalten des Redfield-Verhältnisses voraus. Darum versuchen einige Aquarienpfleger mitunter, ihre Werte mit Phosphat- oder Nitratzugaben so zu verändern, dass das N:P-Verhältnis von 16:1 erreicht wird. Die Auswirkungen solcher Maßnahmen sind nicht vorhersagbar, und sogar vollständige Zusammenbrüche des biologischen Systems können die Folge sein – gerade bei schnellen Veränderungen. Es gibt keinen Grund – so sieht das z. B. JURY (2006) – das Aquariumwasser dem Redfield-Verhältnis anzupassen. Auch BROCKMANN (2007) spricht sich deutlich gegen eine Anpassung des Verhältnisses im Aquarium aus.

Unzureichende Messmethodik

Das Ökosystem Korallenriff zeichnet sich durch extrem niedrige Konzentrationen an Stickstoff und Phosphor aus. Die im Handel verfügbaren Tests sind nicht empfindlich genug, um diese in der Natur vorliegenden Konzentrationen zu messen. Kleine Fotometer können unter Laborbedingungen ab ca. 1 mg/l Nitrat mit einer Genauigkeit von 10 % des Messbereichs messen; Phosphat wird ab ca. 0,05 mg/l mit einer Genauigkeit von 4 % dargestellt.

Misst der Betreiber eines Steinkorallenaquariums mit dem präzisesten aquaristischen Verfahren – also einem Klein-Fotometer – Werte von 2 mg/l Nitrat und 0,05 Phosphat, muss er sich der Tatsache bewusst sein, dass die Messabweichungen enorm sein können. So werden aus 2 mg/l Nitrat leicht 2 ± 3 mg/l (10 % Abweichung des Messbereichs von 30 mg/l ergibt 3 mg/l mögliche Abweichung; gemessen wurden also 0 bis 5 mg/l). Und: Vergleicht man dieses Wasser aus dem Steinkorallenaquarium mit natürlichen Werten (siehe Tab. 5), so ist der gemessene Nitratwert von 2 mg/l = 2.000 µg/l Nitrat vergleichbar mit dem schmutzigen Hafenwasser der Anna Bay, Curaçao.

Örtlich stark schwankende Steinkorallen-Wasserqualität

Werden in Tabelle 5 aus den gemessenen Werten die N:P-Verhältnisse bestimmt, so reichen sie von 2,9:1 bis 20:1. Auch JURY (2006) sieht im Aquarium bei einem N:P-Verhältnis von 10:1 bis 20:1 keine Probleme. Unserer Ansicht nach ist diese Schätzung sogar noch als sehr vorsichtig einzustufen; die Tiere können sich wahrscheinlich an weit-aus größere N:P-Bandbreiten anpassen.

Ungleicher Bedarf

Die Organismen im Riff und in anderen Habitaten haben unterschiedlichen Stickstoff- und Phosphorbedarf. Auch die weiter unten genannten Untersuchungen an Mikroalgen legen dar, dass der Bedarf an Stickstoff und Phosphor jeweils sehr verschieden sein kann.

Ernährungsweise

Nicht zuletzt muss man die Tatsache berücksichtigen, dass die im Riffbecken gepflegten Tiere nicht natürlich ernährt werden. Die Beleuchtung ist nahezu optimal – wengleich der Trend zur LED-Beleuchtung geht und hier noch einiges an Innovationen zu erwarten ist. Die Mehrzahl zooxantheller Tiere kann sich autotroph gut entwickeln.

Im natürlichen Lebensraum leben diese Tiere jedoch nicht wirklich autotroph. Jeder, der nachts einmal im Riff getaucht ist, hat die überwältigende Planktondichte vor dem Schein einer Tauchlampe erlebt. Während dieser Zeit bedienen sich die Korallen am Plankton und werden so zu „Mischköstlern“ – die Ernährungsweise ist somit mixotroph (sowohl autotroph als auch heterotroph). Unsere Aquarien hingegen weisen kaum jemals Plankton auf, abgesehen von einigen Wirbellosen, die gelegentlich ablaichen. In Riffbecken, die mit Refugien oder Algenfiltern betrieben werden, sieht die Planktonbilanz ein wenig besser aus, ist jedoch mit natürlichen Bedingungen bei weitem nicht vergleichbar.

Sind keine organischen Substanzen vorhanden, die von den Korallen aufgenommen werden könnten – gelöst oder partikulär als Plankton –, muss sicher gestellt werden, dass Stickstoff und Phosphat im Wasser vorhanden sind.



onescape

ONLINESHOP & COMMUNITY

Produkte für eine neue Generation der Aquaristik



TRITON
BASE ELEMENTZ

Komplettversorgung für Korallen

Einfache Handhabung, zielgerichtete und sichere Versorgung, extrem hohe Reinheit, ohne Wasserwechsel



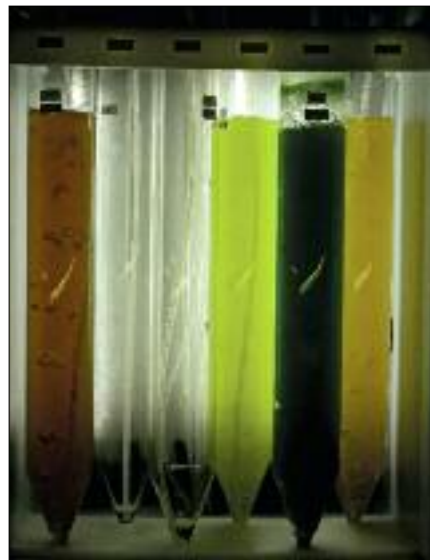
Meerwasser und Süßwasser
AQUARISTIK



onescape.de



Die Kieselalge *Phaeodactylum tricornutum* im Algenreaktor bei konstanter Temperatur und CO₂-Versorgung (pH-Regelung mit CO₂). Foto: AquaCare



Unterschiedliche Mikroalgen in Algenröhren, die mit steriler Luft begast werden, von links nach rechts: dichte *Phaeodactylum-tricornutum*-Kultur, zwei leere Röhren, weniger dichte *Nannochloropsis-salina*-Kultur, dichte Kultur eines unbekanntes Cyanobakteriums „Xxx-8“, weniger dichte *P-tricornutum*-Kultur Foto: AquaCare

Wer ein reines Weichkorallenaquarium mit kräftiger Beleuchtung und hohen Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen betreibt, erlebt sehr hohe Wachstumsraten. Ein Nitratwert von 100 mg/l und Phosphatkonzentration von 2 mg/l ermöglichen erstaunliches Weichkorallenwachstum. Die Zooxanthellen können als autotrophe Organismen leicht anorganischen Stickstoff und Phosphor aufnehmen und in ihre Zellen einbauen.

Steinkorallen hingegen können bei hohen Nitrat- und Phosphatkonzentration nicht überleben. Einerseits sind viele Tiere nicht dazu in der Lage, sich vor überwuchernden Algen zu schützen. Andererseits wird die Kalksynthese durch hohe Phosphatkonzentrationen behindert oder sogar blockiert. Nicht wachsende Korallen haben auf längere Sicht keine Überlebenschance.

Unsere Empfehlung für die maximalen Konzentrationen an Stickstoff und Phosphor:
Weichkorallenaquarien: 100 mg/l Nitrat, 2 mg/l Phosphat
Steinkorallenaquarien: 5–20 mg/l Nitrat, 0,05–0,2 mg/l Phosphat

Diese Empfehlung soll jedoch nicht zu der Annahme verleiten, alle Steinkorallen würden bei 20 mg/l Nitrat und 0,2 mg/l Phosphat gedeihen. Die Anpassungsfähigkeit der Arten ist unterschiedlich. Ebenfalls spielt eine Rolle, ob hohe Konzentrationen für kurze Zeit oder dauerhaft vorliegen. Jeder Pfleger muss seine Tiere beobachten; kommt es zur Wachstumsstagnation, kann das an zu hohen Nährstoffwerten liegen.

Welche N/P-Konzentration für die Mikroalgenzucht?

Mikroalgen spielen in der engagierten Meerwasseraquaristik eine zunehmend größer werdende Rolle. Sie können direkt im Aquarium verfüttert oder als Aufzuchtfutter für Zooplankton verwendet werden, das für die Aufzucht von Korallenfischlarven unverzichtbar ist. Aber auch als Zusatzfutter im Riffaquarium wird lebendes Zooplankton von Fischen und Korallen gern genommen. Auch ermöglicht Lebendplankton, einige azooxanthellate Korallenarten zu pflegen und zu vermehren.

Um Mikroalgen zu vermehren, sind neben Spurenelementen, CO₂ und Licht natürlich auch Nitrat und Phosphat nötig. Die einfachste Rezeptur für einen Algendünger, die bisweilen in Internetforen auftaucht, lautet „Man nehme Blumendünger aus dem Baumarkt“. Das ist jedoch problematisch, denn diese Dünger sind nicht auf die Bedürfnisse von Mikroalgen abgestimmt, zumal es Dünger mit sehr unterschiedlichen Zusammensetzungen gibt. Auch Mikroalgen benötigen z. T. sehr unterschiedliche N:P-Verhältnisse!

Wachstumsversuche durch AquaCare konnten zeigen, dass Mikroalgen einen sehr unterschiedlichen Bedarf an Stickstoff und Phosphor aufweisen (siehe Tabelle 7). Das soll jedoch nicht bedeuten, dass Algen unter ungünstigen Bedingungen nicht wachsen könnten. So kann z. B. *Nannochloropsis salina* ohne weiteres in einem Medium mit einem N:P-Verhältnis von 7:1 oder 20:1 wachsen. Ist aber einer der beiden Hauptnährstoffe Nitrat oder Phosphat aufgebraucht, so können einige Algen nicht weiterwachsen – der andere Nährstoff bleibt ungenutzt und stört eventuell das Wachstum der nachfolgenden Zooplanktonkultur. Andere Algenarten hingegen können den Mangel eine Zeit lang kompensieren und wachsen weiter. So ist es sehr schwer, anhand des Messwertes des einen Nährstoffs die Konzentration des jeweils anderen zu schätzen.

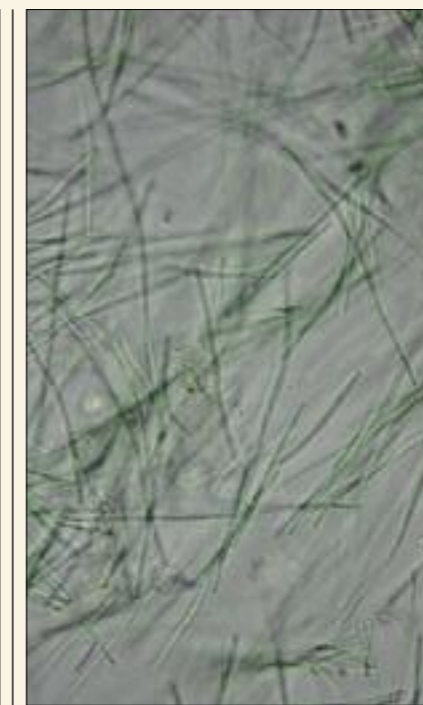
Klare Aussagen sind möglich, wenn das ideale Verhältnis bekannt ist, z. B. für *Nannochloropsis salina* 14,2:1, und die Algen mit einem Medium versorgt werden, das dieses Verhältnis aufweist. Wird die Kultur überprüft, indem z. B. nur Nitrat gemessen wird, können auch Aussagen über den jeweils anderen Nährstoff gemacht werden, denn beide werden einigermaßen gleichzeitig aufgebraucht. Zu diesem Zeitpunkt hat die Kultur dann optimale Eigenschaften. Insbesondere die mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFA, HUFA) sind dann besonders hoch angereichert (LIANG et al. 2006) und ermöglichen maximalen Zuchterfolg bei der Fischzucht.

Hungert die Kultur, weil die Nährstoffe Nitrat und Phosphat aufgebraucht wurden, besteht die Gefahr, dass durch eingeschleppte Kontaminanten (Bakterien, andere Algen, Cyanobakterien, Ciliaten) die Kultur nicht mehr frei suspendiert wächst, sondern dass an den Wand-Innenseiten der Zuchtgefäße Algenfilme wachsen oder die Algen Klumpen bilden. Solche Algenkulturen sind nicht mehr zu gebrauchen.



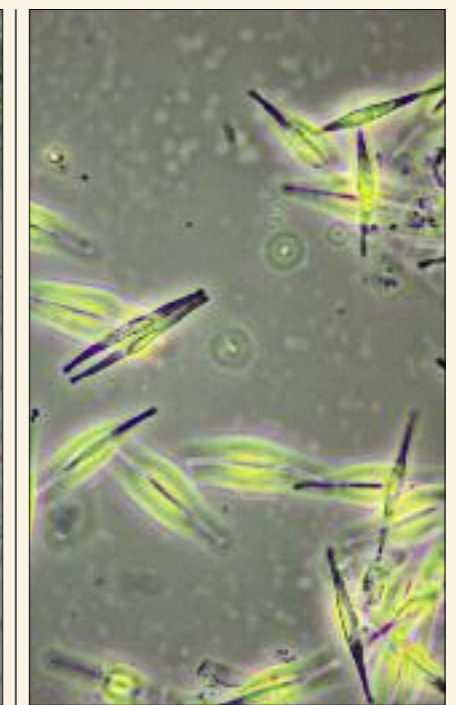
Nannochloropsis salina (Grünalge), Durchmesser 2-3 µm

N:P-Verhältnis 14,2 : 1



unbekannte „Mikroalge“ wahrscheinlich ein Cyanobakterium, ca. 1 µm Durchmesser, Länge 50–500 µm

N:P-Verhältnis 9,6 : 1



Phaeodactylum tricornutum eine Kieselalge, ca. 20-25 µm lang

N:P-Verhältnis 7,1 : 1

Tabelle 7: Drei Mikroalgen mit unterschiedlichen N:P-Bedarf. Daten und Fotos: AquaCare.



2. KLIMAHAUŠ®-KONGRESS „MEERWASSER-AQUARISTIK“

Gefährdung aquatischer Lebensräume – Nachhaltigkeit und Aquaristik
Zierfisch- und Wirbellosen-Zucht im Hobby und in der Wissenschaft am 25. und 26. APRIL 2015

10 Vorträge namhafter Referenten, Besuch der Ausstellung im Klimahaus® und Führungen hinter die Kulissen der 1 Mio. Liter fassenden Aquaristik! Zusätzlich buchbares Abendprogramm mit Buffet.

KOSTEN (inkl. MwSt)

2 Tage: 48,- €
1 Tag: 32,- € (25. oder 26. April)
zzgl. 29,- € bei Anmeldung zum
Abendprogramm mit Buffet am
25. April

Eine Veranstaltung von:

ANMELDUNG/WEITERE INFORMATIONEN

Dr. Lutz Fischer
Leiter Aquaristik und Terraristik
Klimahaus® Bremerhaven 3rd Ost
Am Längengrad 8 | 27568 Bremerhaven

In Zusammenarbeit mit:

Tel.: 0471 9320030
E-Mail: fischer@klimahaus-bremerhaven.de
www.klimahaus-bremerhaven.de

Mit freundlicher Unterstützung durch:



Für Weiterbildungen und Klimawert!



Importagentur für den Groß- und Einzelhandel

mit wöchentlichen Importen von Seewasserrischen, Meeres-Tieren, Steinkorallen, Mördernacheln sowie Süßwasserzertischen und Wasserpflanzen.

Fordern Sie unsere Preis- und Stocklisten gegen Gewerbesteuer an
Tropical Import Service Müller
Neckarstraße 24, 65462 Ginsheim-Gustavsburg.
Tel. 0 61 44/40 22 08, Fax 0 61 44/40 22 09



N.-salina-Kultur optimal mit Stickstoff und Phosphat versorgt



N.-salina-Kultur 31 Tage ohne Stickstoff und Phosphat



N.-salina-Kultur 50 Tage ohne Stickstoff und Phosphat

Tabelle 8: *Nannochloropsis salina* bei optimaler N:P-Versorgung und bei Mangel dieser Nährstoffe.

Einige reine Kulturen können bei N:P-Limitierung (beide Nährstoffe sind nicht mehr im Medium vorhanden) je nach Art eine ganz besondere Eigenschaft zeigen: Sie verändern aufgrund veränderter Inhaltsstoffe reversibel ihre Farbe. Spätestens dann sollten diese Algen in frische Medien überführt werden – die ursprüngliche Farbe wird sich innerhalb weniger Tage wieder einstellen.

Schlussfolgerung

Das Redfield-Verhältnis ermöglicht es, langfristige oder großräumige Aussagen über Nährstoffe zu machen. Diese sehr allgemeinen Ergebnisse auf kleine Biotope zu beziehen, z. B. eine einzelne Bucht, ein Korallenriff oder gar ein Aquarium, ist jedoch wenig sinnvoll. Der Bedarf der unterschiedlichen Organismen an Stickstoff und Phosphor differiert extrem, so dass kein allgemeingültiges Redfield-Verhältnis für diese kleinen Biotope genannt werden kann.

Die Gefahren einer Manipulation des im eigenen Aquarium gemessenen N/P-Verhältnisses sind groß. Einerseits täuschen falsche oder ungenaue Messergebnisse Handlungsbedarf vor, und andererseits ist die Anpassungsfähigkeit der Tiere so groß, dass sehr unterschiedliche Verhältnisse toleriert werden, ohne dass es zu Ausfällen kommt. Das Zudosieren von „Geheimrezepten“ bringt im Zweifelsfall nur Unglück und kann das Aquariumsystem vollständig zerstören. So lange die Phosphat- und Nitratmesswerte die empfohlenen Maximalkonzentrationen unterschreiten und die Tiere auch bei sorgfältiger Beobachtung kein Unwohlsein zeigen, sollte keine Manipulation vorgenommen werden. Lässt sich eine bestimmte, von Ihnen gewünschte Art nicht im Aquarium etablieren, so sollten Sie niemals versuchen, dieses Ziel zu erreichen, indem Sie durch Manipulation der N/P-Konzentrationen Ihr Aquariumsystem in Richtung auf das Redfield-Verhältnis zu bewegen.

Die Gefahren einer Manipulation des im eigenen Aquarium gemessenen N/P-Verhältnisses sind groß. Einerseits täuschen falsche oder ungenaue Messergebnisse Handlungsbedarf vor, und andererseits ist die Anpassungsfähigkeit der Tiere so groß, dass sehr unterschiedliche Verhältnisse toleriert werden, ohne dass es zu Ausfällen kommt. Das Zudosieren von „Geheimrezepten“ bringt im Zweifelsfall nur Unglück und kann das Aquariumsystem vollständig zerstören. So lange die Phosphat- und Nitratmesswerte die empfohlenen Maximalkonzentrationen unterschreiten und die Tiere auch bei sorgfältiger Beobachtung kein Unwohlsein zeigen, sollte keine Manipulation vorgenommen werden. Lässt sich eine bestimmte, von Ihnen gewünschte Art nicht im Aquarium etablieren, so sollten Sie niemals versuchen, dieses Ziel zu erreichen, indem Sie durch Manipulation der N/P-Konzentrationen Ihr Aquariumsystem in Richtung auf das Redfield-Verhältnis zu bewegen.

*Diplombiologin der Firma AquaCare GmbH & Co. KG

Literatur:

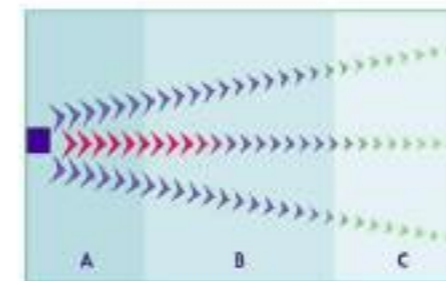
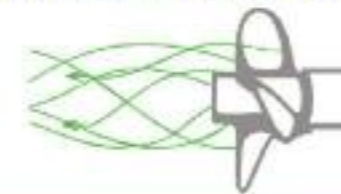
ATKINSON, M. J. & S. V. SMITH (1983): C : N : P ratios of benthic marine plants. – Limnol. Oceanogr. 28 (3): 568–574.
 BROCKMANN, D. (2007): Das REDFIELD-Verhältnis – was sagt es wirklich aus? – KORALLE 48 (6): 68–70.
 CROSSLAND, C. J., B. G. HATCHER, M. J. ATKINSONS & S. V. SMITH (1984): Dissolved nutrients of a high-latitude coral reef, Houtman Abrolhos Islands, Western Australia. – Marine Ecology Progress Series 14: 159–163.
 DUARTE, C. M. (1990): Seagrass nutrient content. – Mar. Eco. Prog. Ser. 67: 201–207.
 ENTSCH, B., G. BOTO, R. G. SIM & J. T. WELLINGTON (1983): Phosphorous and nitrogen in coral reef sediments. – Limnol. Oceanogr. 28 (3): 465–476.
 GAST, G. J. (1998): Nutrient pollution in coral reef water with data from Curaçao waters. – Syllabus for the reef care Curaçao workshop on nutrient pollution. Oct. 23. 1998.
 GOREAU, T. J. & K. THACKER (1994): Coral Reefs, Sewage, and Water Quality Standards. – Caribbean water and wastewater association Conference, Kingston, Jamaica, Oct. 3–7 1994.
 HAWKINS, J. P., C. M. ROBERTS & T. ADAMSON (1991): Effects of a phosphate ship grounding on a Red Sea coral reef. – Marine Pollution Bulletin. 22 (11): 538–542.
 JURY, C. (2006): The nutrient dynamics of coral reefs: part 2, the oceanic system. – www.Reefkeeping.com.
 LARNED, S. T. & J. STIMSON (1996): Nitrogen-limited growth in the coral reef chlorophyte *Dictyosphaeria cavernosa*, and the effect of exposure to sediment-derived nitrogen on growth. – Marine Ecology Progress Series 145: 95–108.
 LIANG Y., J. BEARDALL & P. HERAUD (2006): Changes in growth, chlorophyll fluorescence and fatty acid composition with culture age in batch cultures of *Phaeodactylum tricornutum* and *Chaetoceros muelleri* (Bacillariophyceae). – Botanica Marina 49, 165–173.

MOHAMMED, M. S. & Y. D. MGAYA (2001): Nutrient levels and their dynamics in the coral reefs off Zanzibar Town. – Internet http://gridnairobi.unep.org/chm/EAF/Documents/Tanzania/mohammed_p171-183.pdf.
 PAHLOW, M. & U. RIEBESELL (2000): Temporal Trends in Deep Ocean Redfield Ratios. – Science 287: 831–833.
 RAMSCH, B. & B. R. SELLNER (1996): Der Kohlenstoffkreislauf, Teil 1. – DATZ 6: 398–401.
 – (1996): Der Kohlenstoffkreislauf, Teil 2. – DATZ 7: 441–443.
 REDFIELD, A. C. (1958): The biological control of chemical factors in the environment. – Am. Sci. 46: 205–221.
 REDFIELD, A. C., B. H. KETCHUM & F. A. RICHARDS (1963): The influence of organisms on the composition of sea-water. In: M. N. Hill (ed.) The sea: 36–77. – Interscience: New York and London.
 RIXEN, T., C. GOYET & V. ITTEKOT (2005): Diatoms and their influence on the biologically mediated uptake of atmospheric CO₂ in the Arabian Sea. – Biogeosciences Discussions 2: 103–136.
 SELLNER, B. R. & B. RAMSCH (2008): Stickstofftrilogie: Ammoniak, ein starkes Fischgift. – KORALLE 54, 9 (6): 58–64.
 – (2009a): Stickstofftrilogie: Nitrit – ein giftiges Zwischenprodukt. – KORALLE 55, 10 (1): 64–68.
 – (2009b): Stickstofftrilogie: Nitratentfernung – eine Übersicht. – KORALLE 56, 10 (2): 60–66.
 SOROKIN, Y. (1990): Phosphorus metabolism in coral reef communities: Dynamics in the water column. – Australian Journal of Marine and Freshwater Research 41 (6): 775–783.
 SRIDHAR, R., T. THANGARADJOU & L. KANNAN (2008): Comparative investigation on physico-chemical properties of the coral reef and seagrass ecosystems of the Palk Bay. – Indian Journal of Marine Science 37 (2): 207–213.
 www.iupac.org: atomic weights of the elements (2007): N = 14,0067 g/mol, O = 15,9994 g/mol, H = 1,00794 g/mol, P = 30,97376 g/mol.



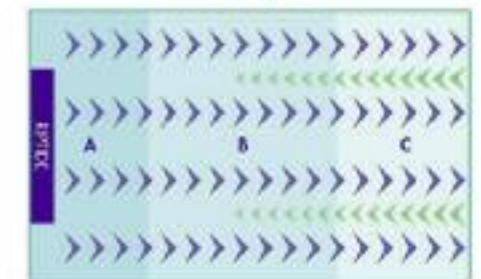
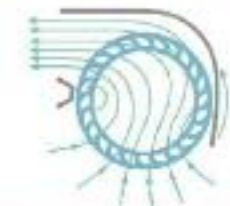
EINE REVOLUTIONÄRE TECHNIK!

Propellerdüsen-Technik



- A Tote Zonen mit relativ schlechter Wasserbewegung
- B Sehr starke Strömung in der Mitte, dies erschwert die Platzierung von Korallen
- C Sehr schwache Strömung am anderen Ende des Aquariums

Crossflow-Technologie



- A Keine „toten Ecken“
- B Gleichmäßig verteilte Strömung im gesamten Aquarium
- C Das Wasser strömt zur gegenüberliegenden Aquariumseite und schafft somit einen vollständigen Kreislauf („Gyre-Flow“)