



# reef zlements®



## HYBRID 2 PART DOSING SYSTEM™

The Comprehensive Manual





## VORWORT

Das Reef Zlements Hybrid 2 Part (H2P™) Dosiersystem ist das Ergebnis umfangreicher wissenschaftlicher Forschung in über 270 Artikeln und Büchern, kombiniert mit jahrelanger Erfahrung in der Haltung von Meerwasseraquarien und der Zucht von Korallen in Kreislaufsystemen (d.h. geschlossenen Aquarien).

Insbesondere möchten wir, obwohl wir uns nie getroffen haben, Professor Frank J. Millero für seinen lebenslangen Beitrag zum Wissen der Menschheit über die chemische Ozeanographie danken und auch den vielen anderen, die dazu beigetragen haben und es uns ermöglicht haben, zu lernen, unsere Produkte zu entwickeln und den Punkt zu erreichen, an dem wir heute stehen.

Vor allem möchten wir auch unserem großartigen Freund, Herrn David Saxby (Gründer von D-D The Aquarium Solution), für die langjährigen Erfahrungen danken, die er täglich mit uns teilt und für die Zeit, die er uns widmet.

Schließlich hoffen wir, dass die Arbeit, die wir geleistet haben und weiterhin leisten, es anderen ermöglicht, sich mit einer gemeinsamen Herausforderung zu befassen, vor der Riffaquarianer stehen: der Pflege eines gedeihenden Riffaquariums.



# INHALT

Vorwort .....	2
Überblick .....	6
Verständnis der Dosierung im Riffaquarium .....	8
Ergänzung von Makro- und Spurenelementen .....	17
Professionelle Labortests .....	22
Wasserwechsel .....	25
Der D-D KH Manager .....	26
Anforderungen für ein erfolgreiches Aquarium .....	28
H2P™ Schlüsselfaktoren .....	49
Fazit .....	120
Referenzen .....	121



# ÜBERSICHT

Willkommen beim Benutzerhandbuch für das Reef Zlements Hybrid 2 Part (H2P™) Dosiersystem. Reef Zlements freut sich, Ihnen diese hochmoderne Lösung vorstellen zu können, die für die Gesundheit und Vitalität Ihres marinen Ökosystems sorgt.

Das H2P™-Dosiersystem von Reef Zlements ist ein ganzheitliches System. Es handelt sich um eine Methodik, die mit dem Ethos entwickelt wurde, dass Riffaquarianer die bestmöglichen Bedingungen in ihren Aquarien sicherstellen. So sollten u.a. alle Nährstoffbedürfnisse ihrer Korallen erfüllt sein, um ein gesundes Aquarium zu erhalten. Das H2P™-System stellt sicher, dass Ihre Korallen gedeihen, indem es sie mit einer umfassenden Palette von Nährstoffen versorgt.

Das H2P™-Dosiersystem ist in der Lage, die Alkalinität und den pH-Wert unabhängig voneinander zu regeln und gleichzeitig alle anderen Nährstoffe zu liefern, die für die Aufrechterhaltung eines gesunden Meeresbioms erforderlich sind. Die Vorteile dieses bahnbrechenden Systems sorgen dafür, dass die Wasserchemie im Aquarium genau dort bleibt, wo sie sein soll. Dies bedeutet, dass die Korallen gesünder und schneller wachsen. Sie können sicher sein, dass Ihre Korallen mit dem H2P™-Dosiersystem ein komplettes, ausgewogenes Nährstoffprogramm erhalten. Dieses Dokument vermittelt Ihnen das gesamte Wissen, das Sie benötigen, um ein H2P™-Dosiersystem zu verstehen, zu starten und aufrechtzuerhalten.

Niedrige pH-Werte und andere unzureichende Parameter können bei Korallen zu zahlreichen Problemen führen, die ihre Gesundheit und ihr Wachstum beeinträchtigen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Systemen, die sich ausschließlich auf Bikarbonat oder Karbonat (oder eine Mischung, die nicht kontrolliert werden kann) verlassen, ist das H2P™-System so konzipiert, dass es die richtige Alkalinitätsquelle liefert, die den idealen pH-Wert zur richtigen Zeit fördert. Das H2P™-System ist auch so konzipiert, dass es alle anderen benötigten Nährstoffe bereitstellt, um sicherzustellen, dass Ihre Korallen und das aquatische Biom alles bekommen, was sie brauchen.



In diesem Handbuch möchten wir die grundlegenden Elemente der wissenschaftlichen Pflege eines erfolgreichen Riffaquariums erläutern. Jegliche Verwirrung, Missverständnisse oder falsch verbreitete Informationen über die Werte, die wir in Riffaquarien aufrechterhalten, pH, CO<sub>2</sub>, Bikarbonat, Karbonat und Hydroxid als Dosierungsmethoden sollen ausgeräumt werden. Wir werden die Vorteile eines Dosierungssystems demonstrieren, das mehrere Alkalinitätsquellen integriert und eine stabilere und effektivere Lösung für die Aufrechterhaltung optimaler Alkalinitäts-, pH-, Makro- und Spurenelementwerte in Ihrem Aquarium bietet.

In diesem Handbuch wird auch die Bedeutung der am häufigsten verwendeten Elemente erläutert, deren positive Wirkung auf Meereslebewesen und Korallen wissenschaftlich erwiesen ist. Obwohl die Aussagen in diesem Handbuch auf wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen und einige Abschnitte sich mit wissenschaftlichen Konzepten befassen, die durch umfangreiche wissenschaftliche Referenzen untermauert werden, haben wir uns entschieden, diese Referenzen an das Ende des Handbuchs zu stellen. Seien Sie jedoch versichert, dass Sie kein wissenschaftliches Hintergrundwissen benötigen und auch nicht das gesamte Handbuch lesen müssen, um das H2P™-Dosiersystem effektiv zu nutzen (wenn Sie eine vereinfachte Version wünschen, lesen Sie bitte den H2P™ Quick Start Guide).

Unser Ziel ist es, den Gebrauch und die Anwendung zu vereinfachen und für jedermann zugänglich zu machen. Wir möchten die Stärken unseres Systems aufzeigen, das auf der Wissenschaft und nicht auf Marketing und falschen Vorstellungen basiert.

Nur so können wir die Gewissheit geben, dass unsere Methoden aus Leidenschaft zur Aquaristik entstanden sind und nicht aus Profitgier.

Wir empfehlen, in erster Linie den Kapiteln Aufmerksamkeit zu schenken, in denen wir einen Überblick über das H2P™-System und eine Schritt-für-Schritt-Anleitung für die Umsetzung geben. Andere Kapitel richten sich insbesondere an Riffaquarianer mit erweitertem Interesse an Chemie und Biochemie.



Da wir wissen, dass es nicht nur eine Dosiermethodik ist, die für den langfristigen Erfolg unserer Riffaquarien notwendig ist, empfehlen wir, vor der Verwendung des H2P™-Dosiersystems bestimmte Voraussetzungen zu erfüllen. Obwohl diese Schritte nicht systemspezifisch sind, sind sie entscheidend, um die besten Ergebnisse bei der Pflege eines Riffaquariums zu erzielen. Um Ihnen dabei zu helfen, wird dieses Handbuch Sie durch einige dieser Voraussetzungen führen und Ihnen eine unkomplizierte Anleitung für die Einrichtung und den Betrieb Ihres H2P™-Dosiersystems bieten. Wir sind überzeugt, dass Sie mit dem H2P™-Dosiersystem ein langfristiges, florierendes marines Ökosystem mit gesunden und strahlenden Korallen als Herzstück kreieren werden.

## DIE DOSIERUNG IM RIFFAQUARIUM VERSTEHEN

### Was ist ein Dosiersystem?

Ein Dosiersystem für Riffaquarien ist eine wichtige Komponente, um die Wasserchemie für die Pflege empfindlicher Korallen und anderer Wasserlebewesen in einem geschlossenen Riffaquariensystem in Schach zu halten. Die Dosierung kann automatisch oder manuell erfolgen. Auf jeden Fall sollte es möglich sein, dem Aquarium präzise Mengen der notwendigen Nährstoffe zuzuführen. Dazu gehören Alkalinität, Kalzium, Magnesium, Kalium, Strontium, Spurenelemente und andere Nährstoffe, die für die Gesundheit und das Wachstum von Korallen und anderen Meeresbewohnern erforderlich sind.



Es gibt verschiedene Arten von Dosiersystemen, darunter:

- All-in-One-Systeme: Unser InOne ist ein Beispiel für ein All-in-One-System, das mehrere Komponenten in einer einzigen Lösung kombiniert. Diese Systeme sind darauf angewiesen, dass Bakterien den enthaltenen Kohlenstoff verstoffwechseln, damit Kalzium und Karbonate für die Korallen verfügbar sind.
- Mehrteilige Systeme: Unser H2P™-Dosiersystem fällt in diese Kategorie und besteht in der Regel aus zwei, drei, vier oder mehr Teilen, die jeweils unterschiedliche Komponenten liefern.
- Alternative Methoden: Andere Mittel zur Ergänzung eines Riffaquariums, wie z. B. Kalziumreaktoren, die zwar traditionell nicht als Dosiersystem betrachtet werden, das Aquarium aber effektiv mit wichtigen Komponenten wie Karbonaten, Kalzium und bis zu einem gewissen Grad (wenn spezielle Medien hinzugefügt werden) mit Magnesium versorgen. Für den Erfolg des Riffaquariums als Ganzes müssen diese normalerweise mit anderen Makro- und Spurenelementen sowie Nährstoffen ergänzt werden. Aufgrund der Abhängigkeit von CO<sub>2</sub> neigt diese Methode in der Regel dazu, den pH-Wert zu senken, was, wenn nicht gegengesteuert wird, zu potenziell schlechteren Ergebnissen als bei den vorherigen Methoden führt.

Die Verwendung eines Dosiersystems und das Verständnis für dieses ist entscheidend für die Erreichung und Aufrechterhaltung einer optimalen Wasserchemie und die Förderung einer florierenden Riffumgebung. Diese Methode wird Ihnen helfen, unser H2P™-Dosiersystem erfolgreich einzusetzen.



## Das Reef Zlements H2P™-Dosiersystem – Eine Übersicht

Das H2P™-Dosiersystem besteht aus zwei Hauptkomponenten

### Part 1: Hybrid Complete/pHplus

Diese lebenswichtige Komponente besteht aus zwei austauschbaren Lösungen, Complete und pHplus, die jeweils dazu dienen, die Alkalinität zu erhöhen und Ihr Riffaquarium mit einer umfassenden Mischung aus Makro- und Spurenelementen anzureichern. Jeder Liter enthält 10.000 dKH-Einheiten, und eine Dosis von 10 ml kann die Alkalinität von 100 Litern Wasser um 1 dKH erhöhen.

- **Complete:** Sorgt für eine optimale Alkalinität und hebt gleichzeitig den pH-Wert sanft an.
- **pHplus:** Sorgt für eine optimale Alkalinität bei aktiver Anhebung des pH-Werts.
- **Individuelles Mischen:** Mischen Sie Complete mit pHplus, um das pH-Gleichgewicht an die Bedürfnisse Ihres Aquariums anzupassen. Dosieren Sie die beiden Produkte zusammen oder getrennt, um den pH-Wert einzustellen und zu kontrollieren.

### Part 2: Universal

Universal ist der umbenannte und wesentliche Teil des Reef Zlements H2P™-Dosiersystems. Es enthält ca. 72.000 mg/L Calcium, aber bei Universal geht es nicht nur um Calcium.

Es ist eine sorgfältig ausgewogene Mischung aus 13 essenziellen Makro- und Spurenelementen, die für die Gesundheit und das Wachstum Ihrer Korallen entscheidend sind.





Jedes Element spielt eine entscheidende Rolle bei der Schaffung einer stabilen und blühenden Umgebung für Ihr Riff. Mit Universal dosieren Sie nicht einfach nur, sondern fördern ein Ökosystem, das der natürlichen Meeresumgebung sehr ähnlich ist.

## H2P™ Einrichten des Systems

Willkommen im Abschnitt über die Implementierung des H2P™-Dosiersystems. In diesem Abschnitt führen wir Sie durch die wichtigsten Schritte, um das H2P™-System in Ihrem Aquarium effektiv zu starten und zu verwalten. Von der anfänglichen Einrichtung bis hin zu fortgeschrittenen Dosierungsstrategien werden Sie lernen, wie Sie das volle Potenzial des H2P™-Systems nutzen können, um eine optimale Wasserchemie zu erhalten und die Gesundheit und Vitalität Ihres Riff-Ökosystems zu gewährleisten.

Wir werden alles behandeln, von der anfänglichen Einrichtung, einschließlich der Dosierung des H2P™-Systems, bis hin zur Verwendung des D-D KH Managers für die präzise gegenseitige Kontrolle von Alkalinität und pH-Wert. Außerdem besprechen wir die empfohlenen Werte für Makro- und Spurenelemente, die Bedeutung zusätzlicher Ergänzungen und die richtige Vorgehensweise beim Wasserwechsel. Schließlich werden wir uns mit professionellen Labortests befassen, einschließlich eines ICP-Testplans, um sicherzustellen, dass das Aquarium in perfektem Gleichgewicht bleibt.

Wenn Sie diesen umfassenden Leitfaden befolgen, sind Sie gut gerüstet, um das H2P™-Dosiersystem effektiv einzusetzen und ein blühendes Riffaquarium zu gewährleisten.



## Wie beginnt man mit der Dosierung des H2P™-Dosiersystems?

### Schritt 1

Bestimmen Sie den Alkalinitätsverbrauch Ihres Beckens. Testen Sie dazu die Alkalinität, stoppen Sie dann die Dosierung und testen Sie die Alkalinität genau 24 Stunden später erneut. Die Differenz zwischen den beiden Alkalinitätswerten ergibt den Verbrauch in 24 Stunden.

Wenn Ihr erster Test beispielsweise 7,0 dKH ergibt und Ihr zweiter Test, der genau 24 Stunden später durchgeführt wird, 6,7 dKH ergibt, beträgt Ihr täglicher Verbrauch 0,3 dKH.

### Schritt 2

Mit dem ermittelten Alkalinitätsverbrauch kann dann die tägliche Menge von Part 1 (Complete, pHplus oder eine Mischung aus beiden) berechnet werden, wobei davon ausgegangen wird, dass jede 10 ml von Part 1 die Alkalinität in 100 Litern Wasser um 1 dKH erhöht.

Einstellen des pH-Wertes auf das gewünschte Alkalitätslevel:

- Wenn der pH-Wert nicht überwacht wird, verwenden Sie bitte Complete als einzige Komponente von Part 1.
- Wenn der pH-Wert überwacht wird, können Sie Complete und pHplus zu unterschiedlichen Tageszeiten dosieren, um den pH-Wert auf den gewünschten Wert einzustellen:
  - o Um den pH-Wert zu erhöhen: Erhöhen Sie den Anteil von pHplus.
  - o Um den pH-Wert zu senken: Verringern Sie den Anteil von pHplus.



Eine andere Möglichkeit der Dosierung besteht darin, Complete und pHplus in einem beliebigen Verhältnis zu mischen oder entweder Complete oder pHplus allein zu verwenden.

Nehmen Sie die Anpassungen schrittweise vor und beobachten Sie die Veränderungen.

### Schritt 3

Verlegen Sie die Dosierleitungen über einem sehr strömungsreichen Bereich oder alternativ direkt in die Rücklaufpumpe. Tauchen Sie die Dosierleitungen nicht unter und achten Sie darauf, dass sie keinen Spritzern ausgesetzt sind. Wenn Sie keinen strömungsreichen Bereich im Technikbecken haben, kann dies mit einer kleinen Pumpe in der Nähe der Dosierleitungen erreicht werden. Bitte stellen Sie sicher, dass sich Part 1 nach der Dosierung vollständig auflöst.

Hinweis: Wenn sich P1 nach der Dosierung nicht vollständig auflöst, wird es sich wahrscheinlich als weiße Kalziumkarbonat-„Masse“ am Boden des Technikbeckens absetzen und nicht wie vorgesehen wirken. Dies geschieht, weil die lokalen chemischen Bedingungen die Ausfällung des Kalziumkarbonats fördern und die Auflösung nicht stattfindet. Sobald sich der pH-Wert auf Aquarienniveau normalisiert und die örtliche Sättigung abnimmt, wird sich das Kalziumkarbonat auflösen.

Wichtig ist auch, dass die Werte (d. h. pH-Wert, Alkalinität, Kalzium, Magnesium, PO<sub>4</sub> usw.) innerhalb der unten empfohlenen Bereiche gehalten werden, damit es nicht zu Ausfällungen kommt, und zwar unabhängig davon, ob Bikarbonat, Karbonat oder Hydroxid zur Erhöhung der Alkalinität verwendet wird.

### Schritt 4

Wenn Sie Ihren täglichen Kalziumverbrauch kennen, können Sie mit der Dosierung von Universal beginnen, da Sie wissen, dass 10 ml den Kalziumgehalt in 100 l Wasser um 7,2 mg/l erhöhen.



Alternativ, wenn Sie den Kalziumverbrauch nicht kennen, die Alkalinität Ihres Beckens innerhalb von 6,5-7,5 dKH und Kalzium unter 420 ppm liegt, beginnen Sie mit der Dosierung gleicher Teile von Part 1 und Universal Part 2 auf der Grundlage des zuvor ermittelten Tagesvolumens von Part 1. Diese Dosen sollten in so viele kleine Dosen wie möglich aufgeteilt und über den Tag verteilt werden (idealerweise mindestens eine Dosis von jedem Teil pro Stunde). Hinweis: Part 1 und Universal Part 2 sollten im Abstand von mindestens 15 Minuten dosiert werden, um chemische Interferenzen zu vermeiden.

Wenn die Alkalinität Ihres Beckens über 7,5 dKH liegt, stellen Sie die Dosierung von Alkalinitätslösungen ein und lassen Sie die Alkalinität Ihres Beckens auf einen Wert zwischen 6,5 und 7,5 dKH sinken. Wenn der Kalziumgehalt Ihres Beckens über 420 ppm liegt, stellen Sie die Kalziumzugabe ein, bis der Wert auf 400-420 ppm gesunken ist.

Wenn Ihr Kalziumwert über 420 ppm liegt, sollten Sie mit der Dosierung von Universal Part 2 erst beginnen, wenn Ihr Kalziumwert unter den empfohlenen Wert von 420 ppm gesunken ist. Sie können jedoch Part 1 nach Bedarf dosieren.

Wenn Ihre Alkalinität innerhalb des empfohlenen Bereichs liegt und Ihr Kalzium oder andere Elemente niedrig sind, verwenden Sie bitte die einzelnen Elemente, die wir anbieten, um sie auf die empfohlenen Werte einzustellen, die Sie unten finden. Versuchen Sie nicht, eines der 2 Teile zu verwenden, um einzelne Elemente zu erhöhen, z.B. Kalzium, Magnesium, usw. Reef Elements H2P™ Dosiersystem wurde nicht für diesen Zweck entwickelt, und wenn Sie dies tun, wird es wahrscheinlich zu einer Überdosierung anderer Elemente kommen.

## Schritt 5

Testen Sie die Alkalinität/den pH-Wert täglich und Kalzium in den ersten 2-3 Wochen alle 3-4 Tage. Dennoch empfehlen wir ein kontinuierliches und konsequentes Testverfahren, da über die Jahre hinweg die erfolgreichsten Riffhalter diejenigen sind, die ein strenges Testverfahren einhalten.



Achten Sie darauf, dass die Alkalinität und der Kalziumgehalt während dieser Zeit nicht ansteigen oder sinken. Falls erforderlich, um die Alkalinität und/oder den Kalziumgehalt stabil zu halten, passen Sie die Dosiermengen von Part 1 und/oder Universal Part 2 unabhängig voneinander an.

Testen Sie den Salzgehalt wöchentlich und stellen Sie sicher, dass der Salzgehalt innerhalb der empfohlenen Werte liegt, die Sie weiter unten finden können. Bitte beachten Sie, dass ein hoher Salzgehalt schnell zum Verlust von Korallen führt.

Wir empfehlen Ihnen, die Wasserqualität des Aquariums regelmäßig mit unserem neuesten ICP OES DSOI-Analysegerät von unserem Labor überprüfen zu lassen. Mindestens alle vier Wochen mit dem Reef Zlements 2-Komponenten-Dosiersystem zu testen, gibt Ihnen den Einblick und die Empfehlungen, die Sie brauchen, um das Aquarium in Topform zu halten.

## MAKRO- UND SPURENELEMENTE UND ANDERE PARAMETER, WELCHE WERTE SOLLTEN BEIBEHALTEN WERDEN?

Grundsätzlich können wir uns an der natürlichen Elementkonzentration im Meerwasser für die Pflege unserer Aquarien orientieren. Da ein Aquarium aber nun mal nicht der Ozean ist, empfehlen wir für viele Parameter Werte, die nahe an den natürlichen Meerwasserwerten liegen, für andere hingegen leicht abweichende Werte. Dies beruht auf unseren Erfahrungen und Beobachtungen, die zwar eine wissenschaftliche Grundlage haben, aber in erster Linie auf unseren empirischen Beobachtungen und Experimenten beruhen.



Temperatur - 24°C und innerhalb von 23°C und 28°C

Salzgehalt - 34 ppt und innerhalb von 33,5-35 ppt

Alkalinität - 6.8 dKH und innerhalb von 6,2-7.0 dKH

pH-Wert - 8,2-8,3 und nicht niedriger als 8,15 oder höher als 8,4

## Makro- und Mikroelemente

Bor - 6 mg/L und innerhalb von 4-10 mg/L

Brom - 75 mg/L und innerhalb von 60-100 mg/L

Kalzium - 420 mg/L und innerhalb von 380-480 mg/L

Chlorid - 18500 mg/L und innerhalb von 18150-19500 mg/L

Fluor - 1,5 mg/L und innerhalb von 1-1,9 mg/L

Magnesium - 1400 mg/L und innerhalb von 1300-1440 mg/L

Kalium - 420 mg/L und innerhalb von 380-500 mg/L

Natrium - 10500 mg/L und innerhalb von 10200-11000 mg/L

Strontium - 10 mg/L und innerhalb von 5-12 mg/L

Sulfat - 2695 mg/L und innerhalb von 2427- 2964 mg/L

Schwefel - 900 mg/L und innerhalb von 810-990 mg/L

## Spurenelemente

Barium - 15 µg/L und innerhalb von 10-100 µg/L

Chrom - 0,5 µg/L und innerhalb von 0,1-1 µg/L

Kobalt - 0,2 µg/L und innerhalb von 0,1-1 µg/L



Kupfer - 0,2 µg/L und innerhalb von 0,1-1 µg/L

Jod - 60 µg/L und innerhalb von 60-95 µg/L

Eisen - 0,4 µg/L und innerhalb von 0,2-5 µg/L

Lithium - 200 µg/L und innerhalb von 180-500 µg/L

Mangan - 2 µg/L und innerhalb von 0,9 - 4 µg/L

Molybdän - 15 µg/L und innerhalb von 15 - 20 µg/L

Nickel - 2,5 µg/L und innerhalb von 2 - 5 µg/L

Rubidium - 200 µg/L und innerhalb von 150-500 µg/L

Selen - 0,2 µg/L und innerhalb von 0,1 - 0,5 µg/L

Silizium - 150 µg/L und weniger als 300 µg/L

Zinn - 0 µg/L und weniger als 10 µg/L

Vanadium - 2 µg/L und innerhalb von 0,5 - 5 µg/L

Zink - 5 µg/L und innerhalb von 3 - 12 µg/L

#### **Nährstoffwerte für SPS dominierte Becken:**

Nitrate - 5 mg/L und zwischen 4 und 25 mg/L

Orthophosphat - 50 µg/L und zwischen 40 und 80 µg/L

#### **Nährstoffwerte für LPS dominierte Becken:**

Nitrate - 8 mg/L und zwischen 5 und 50 mg/L

Orthophosphat - 80 µg/L und zwischen 50 und 120 µg/L



### Nährstoffwerte für gemischte Riffe:

Nitrate - 6 mg/L und zwischen 5-50 mg/L

Orthophosphat - 60 µg/L und zwischen 40 und 100 µg/L

Im Zusammenhang mit den oben genannten Empfehlungen für Temperatur, pH-Wert, Alkalinität und Kalzium möchten wir auch darauf hinweisen, dass höhere pH-, Alkalinitäts- und Kalziumwerte zwar das Korallenwachstum beschleunigen würden, die empfohlenen Werte jedoch ein Gleichgewicht zwischen den Vorteilen für das Korallenwachstum und der Sättigung des Wassers mit Kalziumkarbonat herstellen. Dies fördert das Wachstum und die Gesundheit der Korallen und kontrolliert gleichzeitig die abiotische Ausfällung von Kalziumkarbonat.

## Ergänzung mit Makro- und Spurenelementen

Brauche ich zusätzliche Spurenelemente?

Die Aufrechterhaltung stabiler Umweltparameter sorgt für ein gedeihendes Aquarienbiom, einschließlich gesunder Korallen. Dazu gehört die Kontrolle von Alkalinität, pH-Wert, Temperatur, Makro- und Spurenelementen, organischer Kohlenstoffbelastung und anderen. Während Makroelemente im Allgemeinen im Meerwasser stabil bleiben, neigen Spurenelemente aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften, Konzentrationen und Meerwasserbedingungen zu einer schnellen Ausfällung.

Das H2P™-Dosiersystem vereinfacht die Deckung des Bedarfs der Korallen an Makroelementen. Allerdings kann es gelegentlich notwendig sein, bestimmte Elemente anzupassen. Wenn sich beispielsweise Korallenalgen vermehren, besteht in der Regel ein höherer Bedarf an Magnesium, der eine Ergänzung erforderlich macht. Aus diesem Grund bietet ReefZlements einzelne





Makroelemente für solche Korrekturen an, um eine gezielte Anpassung bei Bedarf zu gewährleisten. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass dies nicht täglich vorkommt.

Bei den Spurenelementen sieht es anders aus. Obwohl das RZ H2P™ die benötigten Spurenelemente liefert, haben diese im Vergleich zu Makroelementen eine deutlich kürzere Verweildauer im Meerwasser, insbesondere in einer Aquarienumgebung. Daher kann es von Vorteil sein, eine kontinuierliche Quelle für Spurenelemente zu verwenden.

Um dieses Konzept zu verstehen, ist es wichtig, die Verweildauer zu kennen. Die Verweildauer eines Elements im Wasser (oder einer anderen Lösung) bezieht sich auf die durchschnittliche Zeit, die das Element in der Lösung verbleibt, bevor es durch Prozesse wie Ausfällung, biologische Aufnahme, mechanische und chemische Filtration oder Sedimentation entfernt wird.

**Verweildauer = Gesamtmenge des Elements in Lösung**

**Entfernungsrate des Elementes**

Die Verweilzeiten verschiedener Elemente in den Ozeanen sind nicht vergleichbar mit dem, was wir in geschlossenen Systemen in unseren Aquarien erleben. Unter ozeanischen Bedingungen hat Kalzium beispielsweise eine Verweildauer von etwa einer Million Jahren, während sie in einem Aquarium je nach den gehaltenen Tieren nur 1-2 Monate betragen kann.

Eisen hingegen hat im Ozean eine Verweildauer von etwa 200 Jahren, im Aquarium jedoch nur wenige Stunden, bestenfalls einige Tage.

Darüber hinaus sehen sich Hersteller wie Reef Zlements mit anderen wichtigen Herausforderungen konfrontiert, wie z. B. unterschiedlichen Anforderungen an die Bioelemente, unbekanntem Quellen von Spurenelementen, die von Riffbewohnern eingebracht werden, unterschiedlichen Filtereinstellungen



(z. B. die Verwendung - oder Nichtverwendung - von GFO, Aktivkohle und anderen Filtermedien) und die Verwendung von Refugien. Diese Variablen machen es für jeden Hersteller unmöglich, eine Lösung „von der Stange“ zu entwickeln, die perfekt für alle Aquarien geeignet ist. Es sei denn, es handelt sich um ein realitätsfremdes Marketing-Szenario, das den Umsatz steigern soll.

Unabhängig davon, dass unser H2P™-Dosiersystem alle Makro- und Spurenelemente enthält, die Korallen zum Gedeihen benötigen, können wir nun verstehen, warum es wahrscheinlich von Vorteil ist, Spurenelemente in kleinen, aber häufigeren Dosen zu dosieren, und zwar zusätzlich zu unserem Hauptdosiersystem.

## Wie man die zusätzlichen Elemente dosiert

Nachdem nun die Notwendigkeit und der Grund für die Dosierung zusätzlicher Spurenelemente erörtert und entmystifiziert wurden, müssen wir uns damit befassen, wie diese zusätzlichen Spurenelemente zu dosieren sind.

Da der Hauptgrund für diese Notwendigkeit die Verweildauer der Spurenelemente im Meerwasser des Aquariums ist, sollte die Strategie darin bestehen, diese Spurenelemente so regelmäßig wie möglich und in den kleinstmöglichen Dosen zu dosieren, um sicherzustellen, dass wir sie in möglichst stabilen Konzentrationen halten.

Spurenelemente sollten jedoch nicht ohne Tests und Überwachung dosiert werden, da die Gefahr einer Überdosierung oder sogar einer Unterdosierung besteht. Regelmäßige ICP-Tests sind erforderlich, um angemessene Mengen dieser Elemente zu verabreichen (mehr über ICP-Tests weiter unten).

Obwohl Reef Elements nur einzelne Spurenelementlösungen anbietet, ist es mit dem H2P™-Dosiersystem nicht notwendig, einzelne Elementlösungen separat zu dosieren. Stattdessen können zwei maßgeschneiderte Lösungen



auf der Grundlage der individuellen ICP-Testergebnisse hergestellt werden. Der Grund dafür, dass Reef Zlements nur einzelne Spurenelemente anbietet, liegt in der Tatsache, dass eine Multielementlösung aus dem Regal leicht zu einer Überdosierung bestimmter Spurenelemente führen kann, wenn eines oder mehrere der Elemente in diesen Lösungen im Becken bereits erhöht sind.

Nach welchem Prinzip sollten wir also die verschiedenen Elemente in zwei verschiedenen Lösungen mischen? Das Prinzip ist einfach und beruht auf der Tatsache, dass Ionen mit ähnlichen Ladungen (d. h. Anionen oder Kationen) im Allgemeinen nicht miteinander reagieren, da sich gleiche Ladungen aufgrund elektrostatischer Kräfte gegenseitig abstoßen.

Um dies zu erleichtern, hat Reef Zlements zwei Kategorien für seine Elemente geschaffen, nämlich „Typ A“ für Anionen und „Typ C“ für Kationen. Mit dieser Kategorisierung können wir also einfach ähnlich geladene Elemente in eine der Lösungen geben und die entgegengesetzt geladenen in die andere.

Aber was sind die Reef Zlements Typ A und C Elemente? Die folgenden Elemente können miteinander gemischt werden:

#### Typ A

- Jod
- Molybdän
- Selen
- Schwefel/Sulfat
- Vanadium

Obwohl Schwefel ein Makroelement ist, wurde es in die Liste aufgenommen, da es langsam dosiert werden muss, um Probleme mit Mikroben zu vermeiden, die STN und RTN bei Korallen verursachen können.



## Typ C

- Barium
- Kobalt
- Chrom
- Eisen
- Kupfer
- Mangan
- Nickel
- Rubidium
- Zink

Da wir nun wissen, welche Spurenelemente miteinander gemischt werden können, besteht der nächste Schritt darin, sie in der richtigen Menge zu mischen und eine Verdünnung durchzuführen. So können wir diese Spuren stündlich zwischen Part 1 und Part 2 des H2P™ dosieren und sicherstellen, dass alle 15 Minuten Spurenelemente ins Aquarium gegeben werden.

Dies ist ein sehr einfacher Schritt. Sie müssen nur die ICP-Ergebnisse und die Mischungsvorschläge verwenden, um diese benutzerdefinierten Mischungen zu erstellen (zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Artikels ist dies in Entwicklung und wird bald verfügbar sein). In der Zwischenzeit können Sie den Rechner im ICP-Portal verwenden oder uns um Hilfe bitten.

Sobald Sie diese beiden Mischungen erstellt haben, sollten Sie kontinuierlich 1 ml jeder Lösung (Typ A und C) pro Stunde dosieren.

Ein wichtiger Hinweis: Wir empfehlen, die beiden Lösungen so zu mischen, dass sie nicht länger als der ICP-Routineplan reichen, um eine ideale Dosierung zu gewährleisten und eine Überdosierung zu vermeiden



## Nährstoffergänzung

Bevor wir mit diesem Abschnitt fortfahren, müssen wir Nährstoffe definieren. Wir können alles, was das Biom nährt, als Nährstoff betrachten. In diesem Zusammenhang werden wir Kohlenstoff, Stickstoff/Nitrate, Phosphor/Phosphat und alle damit verbundenen Verbindungen als Nährstoffe betrachten.

Was die Nährstoffergänzung angeht, empfehlen wir, einen konservativen Ansatz zu wählen und die verschiedenen Nährstoffe nur dann zu dosieren, wenn es notwendig ist. Wenn beispielsweise sowohl Nitrat als auch Phosphat niedrig sind, empfehlen wir, die Konzentration dieser Nährstoffe zu erhöhen, und dann CarboPlus, AminoPlus und VitaPlus in so geringen Mengen wie möglich zu verabreichen, um sowohl Nitrat als auch Phosphat zu erhalten.

Auf diese Weise werden die organischen Nährstoffe, die Korallen und andere Mikroorganismen benötigen, sichergestellt. Gleichzeitig wird ihre Verfügbarkeit in der Wassersäule, die zu potenziellen bakteriellen und Verschmutzungsproblemen führen kann, minimiert.

Die Sicherstellung eines angemessenen Nährstoffgehalts ist entscheidend für die Erhaltung gesunder und wachsender Korallen.

## PROFESSIONELLE LABORTESTS

Die Pflege eines Riffaquariums erfordert eine genaue Überwachung und Steuerung der Wasserchemie, um die Gesundheit und das Wachstum der Korallen und anderer Meeresbewohner zu gewährleisten. Bei Reef Elements sagen wir gerne, dass wir nicht die Korallen halten und pflegen, sondern das Wasser.



Während Hobbyisten grundlegende Parameter wie pH-Wert, Alkalinität und Nitrat zu Hause testen können, stellt das Testen der meisten Makro- und Spurenelemente wie Strontium, Kalium, Jod, Kupfer und viele andere eine große Herausforderung dar, da die Testkits für diese Elemente extrem ungenau sind.

Viele Spurenelemente, darunter Jod, Eisen und Mangan, sind für die Gesundheit von Korallen, Algen und Bakterien unerlässlich, jedoch mit herkömmlichen Testkits für den Hausgebrauch nur schwer oder gar nicht zu überwachen. Die Untersuchung auf diese Makro- und Spurenelemente und andere wichtige Parameter erfordert oft fortschrittliche Analysetechniken wie induktiv gekoppeltes Plasma (ICP), Ionenchromatographie (IC) und „Roboter“-Titrationen mit höherer Genauigkeit als sie Heimtestkits bieten.

Diese komplexen Methoden erfordern spezielle Geräte und technisches Fachwissen, die dem Hobby-Aquarianer in der Regel nicht zur Verfügung stehen.

Die ICP-Prüfung ist eine Analysemethode, mit der die chemische Zusammensetzung von Wasser gemessen werden kann. Sie kann ein breites Spektrum von Elementen, einschließlich Makro- und Spurenelementen, mit hoher Genauigkeit messen. Diese umfassende Analyse hilft bei der Ermittlung von Mängeln oder Überschüssen, die sich auf die Gesundheit des Riff-Ökosystems auswirken können. Neben ICP-Tests können Labors mit IC-Tests auch andere Ionen wie Nitrat, Orthophosphat, Fluorid und Sulfat messen. Mit der automatisierten oder robotergestützten Titration können Parameter wie Alkalinität, pH-Wert, Leitfähigkeit und andere gemessen werden.

Durch die Kombination verschiedener Analysetechniken können Labors umfassende Tests durchführen, wie sie z. B. Reef Zlements bietet. Die detaillierten Ergebnisse dieser Tests liefern wertvolle Erkenntnisse für die Anpassung von Dosierungsschemata. Durch die Kenntnis der Konzentration essenzieller Elemente können Riffhalter ihre Supplementierung anpassen und sicherstellen, dass die Korallen die benötigten Nährstoffe erhalten, ohne dass es zu einer Über- oder



Unterdosierung kommt.

Regelmäßige ICP-Tests tragen dazu bei, die langfristige Stabilität des Riffaquariums zu erhalten. Durch die konsequente Überwachung und Anpassung der Wasserchemie auf der Grundlage präziser Daten können Riffaquarianer drastische Schwankungen vermeiden, die Korallen und andere Meeresbewohner belasten oder schädigen können. Eine ausgewogene Wasserchemie, die durch ICP-Tests ermittelt werden kann, unterstützt ein optimales Korallenwachstum und eine lebendige Färbung. Gesunde Korallen sind widerstandsfähiger gegen Krankheiten, Parasiten und Umweltbelastungen.

Unser Team von Anwendungsspezialisten ist bestrebt, die genauesten und reproduzierbarsten Ergebnisse zu liefern. Zum besseren Verständnis des Prozesses und der Sorgfalt, die wir aufwenden, um die bestmöglichen Ergebnisse zu erzielen, finden Sie hier eine Beschreibung eines typischen Arbeitstages eines Reef Zlements ICP-Technikers:

Zu Beginn des Tages wird das ICP etwa 30 Minuten lang betrieben, um die Plasmatemperatur zu stabilisieren. Sobald die Temperatur und das Plasma stabil sind, wird die Kalibrierung der Spektren (Wellenlängen) unter Verwendung eines Standards eingeleitet, der Elemente mit Emissionslinien im gesamten UV/VIS-Spektrum enthält. Eine ordnungsgemäße Wellenlängenkalibrierung gewährleistet eine genaue Peak-Zentrierung, maximiert die Empfindlichkeit des Geräts und sorgt für eine präzise Identifizierung spektraler Interferenzen. Die Wellenlängenkalibrierung stellt auch sicher, dass die in die Gerätesoftware integrierte Identifizierung von spektralen Interferenzen so genau wie möglich ist.

Jeder Analyt wird dann für die Umkehrosiose mit Lösungen kalibriert, die unter DAkkS-Akkreditierung gemäß der DIN EN ISO/IEC 17025-Zertifizierung oder mit rückführbaren Kalibrierlösungen der Serie NIST SRM 3100 hergestellt werden. Der Erfolg der Kalibrierung des Geräts wird verifiziert, indem der Korrelationsfaktor der Kalibrierkurve jedes Analyten überprüft wird. Anschließend wird eine neue Sequenz erstellt und ausgeführt, die einen Kontrollstandard, drei Proben



desselben Wassers und einen weiteren Kontrollstandard enthält, um den Erfolg der Kalibrierung und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse weiter zu bestätigen. Es folgt die Analyse der Kundenproben.

Während diese Sequenzen ablaufen und die Kohlenstoffsonde des Autosamplers von Probe zu Probe geht, wird sie in zwei separaten Reinstsäurelösungen und einem dritten Reinstwasser gespült, um eine möglichst geringe Verschleppung (Kreuzkontamination der Proben) sicherzustellen. Eine angemessene Spülzeit sowohl mit Reinstwasser als auch mit der Probe selbst trägt zur Vermeidung von Verschleppungen bei. Dies wird auch durch stichprobenartig angeordnete Leerproben validiert.

Jedes Ergebnis wird dann einzeln geprüft, um mögliche Probleme zu identifizieren. Wenn alles in Ordnung ist, wird es in unser Portal hochgeladen und genehmigt.

Das gleiche Verfahren wie oben beschrieben (mit Ausnahme der Plasmastabilisierung) wird dann für die Salzwasserproben durchgeführt.

Indem wir die Umkehrosmoseproben vor den Salzwasserproben „laufen“ lassen, stellen wir sicher, dass keine Verschleppung von Salzwasserproben stattfindet.

Am Ende des Tages wird das Gerät gründlich gespült und mit hochreinen Säurelösungen gereinigt, einschließlich Brenner, Zyklon-Sprühkammer und Vernebler.

Mit diesem umfassenden und robusten Analyseverfahren wollen wir die zuverlässigsten und genauesten Ergebnisse liefern, die es im Hobbybereich gibt. Auf diese Weise hoffen wir, dass unser ICP-Testservice zu einem unschätzbaren Hilfsmittel für alle Aquarianer bei der Pflege ihrer Aquarien wird. Er bietet ein Maß an Präzision und Vollständigkeit, das mit StandardTestkits nicht erreicht werden kann, und ermöglicht es dem Aquarianer, eine optimale Wasserchemie aufrechtzuerhalten und die Gesundheit und das Wachstum seiner Meereslebewesen zu fördern.





## ICP-Testplan

Bevor Sie das H2P™-Dosiersystem in Betrieb nehmen, empfehlen wir die Durchführung eines Reef Zlements Advanced ICP. Dies ermöglicht es, einen Ausgangswert zu ermitteln und eventuelle Korrekturmaßnahmen zu ergreifen, um die Grundlage für einen erfolgreichen Einsatz von H2P™ zu schaffen.

Nach dem Start der H2P™-Dosierung und nachdem alle Makroelemente und Jod korrigiert wurden, empfehlen wir, zwei Wochen später eine zweite ICP zu senden. Damit wird eine tägliche Erhaltungsdosis an Jod, Molybdän und anderen Spurenelementen festgelegt. Danach empfehlen wir, mindestens alle vier bis sechs Wochen eine Routine-ICP durchzuführen.

Diese routinemäßige ICP-Prüfung ermöglicht geringfügige Korrekturen und die Behebung etwaiger Probleme (z. B. versehentliche Überdosierung, unbekannte Einführung bestimmter Spurenelemente in das Becken über unbekannte Quellen usw.). Im Laufe der Zeit wird diese Routine es uns ermöglichen, den spezifischen Verbrauch des Aquariums vollständig zu verstehen und unerwartete Probleme zu vermeiden.

## WASSERWECHSEL

Bei der Verwendung des H2P™-Systems von Reef Zlements kann mit wenigen Ausnahmen auf routinemäßige Wasserwechsel verzichtet werden. Nicht nur, weil Wasserwechsel nicht so effektiv sind wie das H2P™-System zur Aufrechterhaltung des Elementgehalts. Wasserwechsel können auch ein wichtiger destabilisierender Faktor sein und unterbrechen somit ggf. die Stabilität, die Korallen benötigen.

Vor diesem Hintergrund sehen wir Wasserwechsel als ein Mittel, um unerwünschte Verbindungen oder Elemente zu entfernen, die auf



unerwünschte Werte angestiegen sind. Diese Wasserwechsel sind manchmal notwendig, da bestimmte Schadstoffe auf andere Weise nicht wirksam entfernt werden können. Das häufigste Beispiel, das wir sehen, ist Zinn, hier helfen oft nur mehrere Wasserwechsel.

Da sich der gelöste organische Kohlenstoff (DOC-Dissolved organic Carbon) selbst bei starker Filterung in ungesunden Mengen ansammeln kann, empfehlen wir, alle sechs Monate eine Reihe von 2-3 großen Wasserwechseln (d. h. etwa 30 %) durchzuführen. Dies sollte idealerweise im Frühjahr und Sommer geschehen, wenn die Pollenbelastung in der Luft am höchsten ist. Dadurch wird sichergestellt, dass der ungesunde Gehalt an gelösten organischen Stoffen im Aquarium niedrig bleibt und Krankheitserreger sich nicht so leicht vermehren können. Bei solchen Wasserwechseln empfehlen wir dringend, die Gelegenheit zu nutzen, um den Bodengrund (falls vorhanden) abzusaugen und sicherzustellen, dass jeglicher Detritus oder Abfall, der sich am Boden angesammelt hat, entfernt wird. Stellen Sie dabei sicher, dass der Schmutz, der vom Bodengrund entfernt wird, nicht frei in die Wassersäule fließt. Dies ist von großer Bedeutung, da organische Stoffe, die sich in anaeroben Schichten des Bodengrunds ansammeln, in Schwefelwasserstoff umgewandelt werden können - eine der in großem Maße verantwortlichen Verbindungen für das „Old-Tank-Syndrom“.

Nichtsdestotrotz sind eine strikte Wartung sowie strenge ICP- und Heimtestroutinen der Schlüssel zur Umsetzung dieses Wasser-„wechsel“-Konzepts.

nzepts.

Durch eine kluge Herangehensweise kann man trotz Verzicht auf routinemäßige Wasserwechsel eine gesunde Aquarienumgebung erhalten.



## THE D-D KH MANAGER

Während das H2P™-Dosiersystem erfolgreich mit manuellen Dosierplänen und einer eigenständigen Pumpe wie der D-D P4 Pro Dosierpumpe implementiert werden kann, wird bald ein aufregendes neues Werkzeug verfügbar sein, das die Automatisierung der Aquariendosierung revolutionieren wird.

In Zusammenarbeit mit D-D The Aquarium Solution, Kamoer und Reef Zlements wurde eine neue Funktion für den D-D KH Manager entwickelt, die dieses App-gesteuerte Gerät auf die nächste Stufe hebt. Der KH-Manager nimmt nicht nur Proben, testet Ihr Aquarienwasser auf KH und hält die Alkalinitätswerte automatisch aufrecht, sondern bietet jetzt auch eine fortschrittliche Dosierungssteuerung, mit der Sie Ihren pH-Wert kontrollieren können.

Die meisten Aquarianer jagen ständig einem niedrigen pH-Wert hinterher, aber mit pHplus als „Part 1“-Lösung können Sie den durchschnittlichen pH-Wert Ihres Systems allmählich auf ein optimales Niveau von 8,2 bis 8,3 anheben, dem idealen Bereich für bestes Korallenwachstum und Gesundheit. Sobald Sie diesen Punkt erreicht haben, können Sie Complete verwenden, um das erhöhte Niveau zu halten und zu pHplus zurückkehren, wenn der pH-Wert allmählich zu sinken beginnt.

Durch die Verwendung eines KH-Managers mit der neuen Programmierung kann der Wechsel von pHplus zu Complete nun vollautomatisch über einen benutzerdefinierten Sollwert erfolgen. Hierbei wird die pH-Messung verwendet, die das Gerät bereits bei der Durchführung des normalen KH-Tests und der entsprechenden Anpassungen vornimmt, um einen konstant erhöhten „durchschnittlichen pH-Wert“ aufrechtzuerhalten. Der zusätzliche Vorteil dieser Automatisierung ist, dass sie auch die normalen pH-Schwankungen zwischen Tag und Nacht reduzieren kann, die in allen Aquarien auftreten.



Die natürliche biologische Tagesaktivität im Aquarium wirkt jeden Tag, um den pH-Wert Ihres Systems zu erhöhen und zu senken. Die Photosynthese der Korallen während des Tages, während die Beleuchtung eingeschaltet ist, erhöht den pH-Wert, während die Atmung in der Nacht den pH-Wert senkt. In den meisten Aquarien liegt diese tägliche Schwankung des pH-Werts zwischen 0,2 und 0,3, je nach Besatz und Entgasungsleistung des Systems.

Mit Hilfe des KH-Managers ermöglicht Ihnen das Programm, Complete tagsüber zu dosieren, während der pH-Wert im Aquarium auf natürliche Weise ansteigt, und pHplus in der Nacht zu dosieren, um dem natürlichen Abfall entgegenzuwirken. Auf diese Weise können Sie die tägliche pH-Schwankung Ihres Systems potenziell halbieren, so dass es mehr Zeit im idealen Bereich verbringt.

Wenn Sie dem KH-Manager erlauben, die Alkalinität und den pH-Wert aufrechtzuerhalten, gibt es einige interessante Schutzmaßnahmen. Um beispielsweise zu verhindern, dass der KH-Manager eine Überdosierung des KH-Puffers vornimmt, kann der Benutzer eine physische Grenze für die zu dosierende Menge festlegen. Wenn Sie nicht möchten, dass der KH-Manager mehr als 10 ml KH-Puffer selbständig dosiert, wird er auch dann nur 10 ml dosieren, wenn er feststellt, dass 20 ml erforderlich sind, um den Zielwert für die Alkalinität zu erreichen.

Darüber hinaus kann das Gerät so eingestellt werden, dass es bei abnormalen Testergebnissen (außerhalb des eingestellten Bereichs für KH und pH) Warnungen sendet. Für den Fall, dass der Alkalinitätstest ein abnormales Ergebnis liefert, kann auch eine automatische Wiederholungsprüfung eingestellt werden. Diese Funktionen geben dem Benutzer die Gewissheit, dass das Aquarium sicher ist.

Mit dieser Technologie können Aquarianer zum ersten Mal stabile Alkalinitäts- und pH-Werte in Echtzeit verwalten und aufrechterhalten und so eine perfekt ausgewogene und gesunde Aquarienumgebung sicherstellen



# ANFORDERUNGEN FÜR EIN ERFOLGREICHES AQUARIUM

Es gibt zwar viele Möglichkeiten, ein Riffaquarium einzurichten, aber damit es erfolgreich wird, bedarf es mehr als nur der richtigen Dosierungsmethode und der richtigen Zusätze. Für den langfristigen Erfolg ist es entscheidend, die richtigen Umweltbedingungen zu schaffen. Dazu gehören Aspekte wie Filterung, Beleuchtung, Wasserführung, Nährstoffmanagement, Steinbesatz, RO-Wasser, verwendetes Salz, Überwachung und Automatisierung, Auswahl der Tiere und Standort des Beckens. Obwohl sich dieses Handbuch auf das H2P™-Dosiersystem konzentriert, ist es wichtig, zunächst die richtigen Grundlagen für Ihr Aquarium zu schaffen.

## Filterung

Eine ordnungsgemäße Filterung ist eine absolute Notwendigkeit für eine hervorragende Wasserqualität und eine möglichst gesunde Aquarienumgebung. So wie frische Luft für unser Leben lebenswichtig ist, ist eine perfekte Wasserversorgung für das Leben in einem Riffaquarium lebenswichtig. Diese Filtersysteme reinigen das Wasser von Schadstoffen und sorgen gleichzeitig für ein ideales Gleichgewicht für Korallen und Fische in Ihrem Aquarium. Indem Sie in die richtige Filteranlage investieren, tragen Sie dazu bei, Ihr Riffaquarium in ein blühendes und lebendiges marines Ökosystem mit vielen bunten Lebewesen zu verwandeln.

## Filterrollen



Filterrollen wie die Clarisea sind für die Aufrechterhaltung der Wasserqualität in Riffaquarien von entscheidender Bedeutung. Sie fangen kontinuierlich Partikel aus dem Wasser auf und entfernen sie, während sie durch das Filtermedium fließen.

Die Clarisea-Filterrolle besteht aus einer Rolle aus feinem Vlies, das sich stetig vorwärts bewegt und dafür sorgt, dass immer frisches, sauberes Filtermedium vorhanden ist. Dieser kontinuierliche Mechanismus ermöglicht eine effiziente mechanische Filtration ohne häufige Wartung.

Der Hauptvorteil, den wir in der Verwendung von Filterrollen sehen, ist die frühzeitige Entfernung von organischen Stoffen. Dies ist von entscheidender Bedeutung, da nicht gefressene Nahrung, Fischabfälle und Detritus aufgefangen werden, bevor sie sich zu Schadstoffen zersetzen und ins Wasser gelangen. Filterwalzen tragen dazu bei, den Nährstoffgehalt niedrig zu halten, indem sie den Abbau von organischem Material verhindern. Dies ist der Schlüssel zur Verhinderung der Anhäufung von Schadstoffen im Wasser und in den Substraten, die zu zahlreichen Problemen wie dem „Old-Tank-Syndrom“ führen können. Dieser Zustand tritt ein, wenn in alteingesessenen Becken mit schlechter Haltung die Wasserqualität und die Stabilität des Ökosystems aufgrund der Freisetzung von Schadstoffen wie Schwefelwasserstoff aus dem Substrat in das Wasser abgegeben werden.

Außerdem tragen Filterwalzen erheblich zur Erhaltung der Wasserklarheit bei. Indem sie Partikel ständig entfernen, halten die Walzenfilter das Wasser klar und verbessern die Lichtdurchlässigkeit, die für die Gesundheit photosynthetischer Organismen wie Korallen und Makroalgen lebenswichtig ist. Klares Wasser verbessert natürlich auch das ästhetische Erscheinungsbild des Aquariums. Durch die Verringerung der Menge an organischen Stoffen entlasten Filterrollen außerdem die biologischen Filtersysteme.

Eine regelmäßige Überwachung des Filterwalzensystems ist unerlässlich, um sicherzustellen, dass es ordnungsgemäß funktioniert, und um das



Filtermaterial bei Bedarf zu ersetzen. Die ordnungsgemäße Installation und Integration in die bestehende Filtrationsanlage sind für eine optimale Leistung entscheidend.

## Abschäumer

Wir raten dringend zu einem Abschäumer, der für die Anzahl der Tiere und die Größe Ihres Beckens ausgelegt ist und den unserer Meinung nach jedes System haben sollte. Der Abschäumer ist die Hauptfiltrationskomponente, die sich um die im Wasser suspendierten organischen Abfälle kümmert, da diese Systeme stark in den Gasaustausch investiert sind, der für die Aufrechterhaltung hervorragender Wasserparameter notwendig ist.

Ein Eiweißabschäumer ist so konzipiert, dass er proaktiv vorgeht und gelöste organische Verbindungen aus dem Wasser entfernt, bevor sie eine Chance haben, sich zu zersetzen. Dazu produziert der Abschäumer Tausende von Mikrolbläschen, die in die Wassersäule gespritzt werden. Hydrophobe organische Verbindungen lagern sich an der Oberfläche dieser Blasen an und werden nach oben in eine Auffangschale befördert. Dieser proaktive Prozess senkt den Nährstoffgehalt, verhindert lästiges Algenwachstum und sorgt für eine gesündere Umgebung für Korallen und Fische.

Es werden nicht nur Abfälle entfernt, sondern Eiweißabschäumer fungieren auch als Gasaustauscher. Durch die ständige Durchmischung von Luft und Wasser tragen Abschäumer zur Erhöhung des Sauerstoffgehaltes bei. Da der  $\text{CO}_2$ -Druck ( $p_{\text{CO}_2}$ ) in der Luft, die das Aquarium umgibt, niedriger ist als im Aquarienwasser selbst, tragen sie außerdem dazu bei, die Kohlendioxidkonzentration ( $\text{CO}_2$ ) im Wasser zu verringern.

Dieser Prozess ist besonders wichtig, um den pH-Wert in einem „gesunden“ Bereich zu halten. Ein zu hoher  $\text{CO}_2$ -Gehalt kann zu einem Absinken des pH-Werts und damit zur Bildung eines sauren Milieus führen, das alles - von Korallen bis hin zu Fischen und dem gesamten Lebensraum - belasten oder schädigen würde. Wenn die Umgebung des Aquariums unter hohem



CO<sub>2</sub>-Druck steht, kann durch den verstärkten Gasaustausch mehr CO<sub>2</sub> in das Wasser gelangen, wodurch der pH-Wert sinken und eine saure Umgebung entstehen kann. Dies gilt es ebenfalls zu berücksichtigen und den Aquarienraum bei Bedarf zu belüften, um den CO<sub>2</sub>-Gehalt zu senken.

Aus diesem Grund sollten Sie einen Eiweißabschäumer wählen, der für die Größe Ihres Aquariums bei Höchstbetrieb geeignet ist. Es ist wichtig, die Anzahl der Tiere, die Größe des Volumens und die Umgebung zu berücksichtigen, wenn das Aquarium vollständig eingerichtet ist.

## Refugium

Ein Refugium ist oft eine Schlüsselkomponente vieler erfolgreicher Riffaquarien. Es bietet einen Zufluchtsort für nützliche Lebewesen und hilft beim Nährstoffexport. Ein angemessen dimensioniertes Refugium mit Makroalgen bietet einen Lebensraum für nützliche Organismen wie Copepoden, Amphipoden und andere Mikroorganismen. Diese Organismen tragen zum allgemeinen Gesundheitssystem bei, indem sie Detritus verzehren und als wichtige Nahrungsquelle für Fische und Korallen dienen.

Refugium-Makroalgen wie Chaetomorpha sind für den Nährstoffexport von größter Bedeutung. Diese Pflanzen nutzen den Kohlenstoff, die Nitrate, Phosphate und Spurenelemente, die in der Wassersäule gelöst sind, um zu wachsen, wodurch diese Nährstoffe im Hauptbecken reduziert werden. Diese Nährstoffaufnahme trägt dazu bei, störendes Algenwachstum im Hauptbecken zu reduzieren, andere Abfallstoffe zu entfernen und die allgemeine Wasserqualität zu verbessern. Makroalgen benötigen Nährstoffe wie Kohlenstoff, Nitrat, Phosphat und andere Spurenelemente, um optimal zu funktionieren und einen wirksamen Beitrag zu leisten. Für ein perfektes Wachstum und den Export von Nährstoffen ist es unerlässlich, dass die Makroalgen mit all diesen Nährstoffen versorgt werden - ohne diese Nährstoffe werden die Makroalgen nicht die erforderliche Leistung erbringen. Berücksichtigen Sie dies daher bei der Planung Ihres Refugiums





in Ihrem Dosierungsschema.

Da Makroalgen photosynthetisch sind, verbessert ein Makroalgenrefugium, das in einem gegenläufigen Lichtzyklus zum Hauptaquarium eingesetzt wird, die pH-Stabilität des Systems. Während der Photosynthese, die im Lichtkreislauf stattfindet, wird  $\text{CO}_2$  verbraucht, und Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) ist ein Nebenprodukt. Während also die Korallen und Algen im Hauptaquarium atmen und dabei  $\text{O}_2$  verbrauchen und  $\text{CO}_2$  freisetzen, betreiben die Makroalgen im Refugium Photosynthese, verbrauchen  $\text{CO}_2$  und setzen  $\text{O}_2$  frei. Dies trägt dazu bei, den pH-Wert rund um die Uhr zu stabilisieren, indem die  $\text{CO}_2$ -Konzentration gesenkt wird, wodurch der in den meisten Riffaquarien übliche nächtliche „pH-Abfall“ verringert wird.

Refugien spielen eine wichtige Rolle bei der Stabilisierung des pH-Werts und der Senkung des Nährstoffgehalts und fördern gleichzeitig die Artenvielfalt. Sie bieten einen „sicheren Hafen“ für viele Arten, die von größeren Beckeninsassen bedroht werden. Diese Artenvielfalt, die durch ein Refugium gefördert wird, trägt dazu bei, dass das Riffsystem insgesamt widerstandsfähiger und gesünder wird. Ihr Refugium kann auch als Kinderstube für verschiedene Arten dienen und so zur natürlichen Wiederauffüllung des Ökosystems Ihres Beckens beitragen.

Die Vorteile eines Refugiums können nur dann maximiert werden, wenn es gut gepflegt wird. Dazu gehören eine angemessene Wasserbewegung, eine ausreichende Beleuchtung und das regelmäßige Entfernen eines Teils der Makroalgen, um die alten/toten Makroalgen aus dem System zu entfernen. Achten Sie jedoch darauf, keine gesunden Makroalgen zu entfernen, da Sie sonst die Nährstoffexportkapazität Ihres Refugiums verringern.

Die routinemäßige Pflege ist nicht nur eine Aufgabe, sondern eine Verantwortung, die das Wachstum von Makroalgen und anderer nützlicher Organismen im Refugium fördert. Indem Sie bei der Pflege proaktiv vorgehen, stellen Sie die Gesundheit und Vitalität Ihres Riffsystems sicher.

## Biologische Filterung



Die biologische Filterung ist das Rückgrat eines gesunden, stabilen Riffaquariums. Dieser Prozess beruht auf Mikroben und anderen Mikroorganismen, die die Oberflächen von allem besiedeln, was Sie in Ihr Aquarium einbringen - z. B. Steine, lebenden Sand - um organische Stoffe und Abfallprodukte abzubauen. Mikroben und andere Mikroorganismen wandeln diese Abfälle in Stickstoffgas und andere Stoffe um, und zwar durch einen Prozess, der als bakterielle Assimilation im Stickstoffkreislauf bekannt ist. Ausreichende Mengen an Gestein und lebendem Sand sind wichtig, um die notwendige Oberfläche für die Ansiedlung dieser nützlichen Mikroorganismen zu bieten. Dies führt im Idealfall zu einem artenreichen und ausgereiften Biom.

Hochgradig poröses Gestein: Der D-D Aquascape Rock bietet eine große Oberfläche, auf der diese Bakterien wachsen können. Es dient als physische Unterstützung und ästhetisches Element im Aquarium, das an einigen Stellen auch als biologischer Filter dienen kann. Lebender Sand beispielsweise trägt ebenfalls zum biologischen Filterprozess bei, indem er die Oberfläche vergrößert und nützliche Mikroorganismen sowie winzige wirbellose Tiere hinzufügt.

Eine wirksame biologische Filterung, die zur Ästhetik des Aquariums beiträgt, hängt weitgehend davon ab, wie die Steine platziert werden und wie sie gestaltet sind. Dies erfordert eine bestimmte Gestaltung der Strukturen (Felsen), um den Wasserdurchfluss zu maximieren, so dass alle Felsenoberflächen gut mit Sauerstoff versorgt werden und reichlich Platz für die Ansiedlung von nützlichen Bakterien bieten. Informationen über die Positionierung und Gestaltung von Steinen zur Steigerung der biologischen Wirksamkeit der Filtration finden Sie im Abschnitt Felsengestaltung in diesem Leitfaden. Biomedien - außer den erwähnten Steinen und Sand - wie Keramikringe, Sinterglas oder Biokugeln können Ihnen mehr Oberfläche für die Bakterienbedeckung bieten. Denken Sie daran: In diesem Fall ist die Größe wichtig!

Die biologische Filterung ist nur dann wirksam, wenn einige



grundlegende Bedingungen erfüllt sind, die es den nützlichen Bakterien ermöglichen, am Leben und funktionsfähig zu bleiben. Die Aufrechterhaltung stabiler Wasserparameter ist äußerst wichtig, d. h. die Aufrechterhaltung von pH-Wert, Temperatur und Salzgehalt sowie von Kohlenstoff, Nitrat, Phosphat und einer Reihe von Spurenelementen. Wenn diese Parameter nicht in der richtigen Menge vorhanden sind, können die Bakterien nicht die erwartete Leistung erbringen und sogar zugrunde gehen.

Die biologische Filterung ist für die Aufrechterhaltung der Wasserqualität und die allgemeine Gesundheit eines Riffaquariums unerlässlich. Die Verwendung eines angemessenen Volumens von Steinen und lebendem Sand bietet die notwendige Oberfläche für nützliche Mikroorganismen, um zu gedeihen und ein reifes und stabiles Biom zu fördern.

Ausreichend Gestein und lebender Sand - um die richtige Oberfläche zu schaffen für eine effektive Entwicklung von benefizieller Mikrofauna, die für ein reifes, stabiles Biom notwendig ist.

## Chemische Filterung

Ein wichtiger Punkt bei der Pflege eines Riffaquariums ist die chemische Filterung, um die Wasserqualität in Schach zu halten. Dies umfasst die Verwendung chemischer Medien, um gelöste organische Stoffe und andere Schadstoffe zu absorbieren, die von der mechanischen und biologischen Filterung nicht bewältigt werden können. Auf diese Weise wird eine stabile Umgebung aufrechterhalten, die ein gesundes Biom fördert, zu dem natürlich auch gesunde Korallen und Fische gehören. Die chemische Filterung hat viele Vorteile, aber wie jede andere Filterung kann sie auch unerwünschte negative Auswirkungen haben, d. h. sie kann Elemente entfernen, die wir im Wasser haben wollen.

Kristallklares Wasser kann durch den Einsatz von Aktivkohle (Reef Carbon) und Flockungsmitteln wie RZ Blizzard hergestellt werden - diese Produkte



binden gelöste organische Verbindungen, die gelbliches oder trübes Wasser verursachen, und ermöglichen es, diese leicht zu entfernen, was zu klarerem Wasser und besserer Lichtdurchdringung führt. Es gibt jedoch noch weitere Arten von Medien, die andere Ziele erfüllen können. GFO-Typen (Granular Ferric Oxide) wie Rowaphos, Phosphatentferner auf Aluminiumbasis oder Ionenaustauscherharze zur gezielten Entfernung von Schadstoffen, z. B. Kupfer, sind beliebte Mittel der Wahl.

Obwohl in diesem Abschnitt nicht auf die verschiedenen Filtermedien eingegangen werden soll, werden wir aufgrund ihrer Auswirkungen auf die Wasserchemie einige Details zu GFO erläutern, da es in Riffaquarien weit verbreitet ist, um den Phosphatgehalt effektiv zu kontrollieren und zu reduzieren. Bestehend aus Oxid-Hydroxid-Granulat, bindet GFO aufgrund seines großen Oberflächen-Volumen-Verhältnisses effektiv Phosphationen. GFO wird in erster Linie zur Phosphatkontrolle eingesetzt, um den Phosphatgehalt zu senken, störendes Algenwachstum zu verhindern und die Gesundheit der Korallen zu fördern. Es ist wichtig zu wissen, dass GFO auch andere Ionen wie Silizium, Mangan, Jod und Chrom sowie viele andere Spurenelemente entfernt. Daher müssen bei der Verwendung von GFO wahrscheinlich zusätzliche Spurenelemente zugeführt werden. Außerdem führt GFO bei der Zugabe in das Aquarium zu einer anfänglichen Abnahme der Alkalinität, was bei der Verwendung dieser Art von Phosphatentfernungsmedium berücksichtigt werden muss.

GFO kann in Medienbeuteln in Bereichen des Technikbeckens mit hohem Wasserstand platziert werden. Für eine effektive Nutzung wird GFO jedoch am besten in einem befeuchteten Reaktor wie dem D-D FMR75 (Wirbelbettreaktor) verwendet, der einen gleichmäßigen Wasserstand und maximalen Kontakt gewährleistet. Um die Wirksamkeit von GFO zu gewährleisten, sollte der pH-Wert nicht höher als 8,35 sein, da seine Wirksamkeit vom pH-Wert abhängt. Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Verwendung von GFO ist, dass es je nach den Bedingungen Eisen an das Wasser abgeben kann, was Algen- und Bakterienblüten begünstigen kann; außerdem kann minderwertiges, nicht reines (d. h. recyceltes) GFO, das zuvor in der Wasseraufbereitungsindustrie verwendet wurde, unter bestimmten Umständen einige der absorbierten Schadstoffe, wie z. B.



Arsen, wieder an das Wasser abgeben. Daher ist es bei der Verwendung dieser Art von Medien wichtig, hochwertiges neues Material zu wählen, wie es in Rowaphos verwendet wird.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die chemische Filterung ein sehr nützliches Instrument für die Erhaltung eines gesunden Riffaquariums ist. Sie hilft dabei, gelöste organische Stoffe, Toxine und andere Verunreinigungen zu entfernen, die für das Wachstum und die Gesundheit von Korallen, Fischen und anderen Meeresbewohnern nicht förderlich sind.

## Ozon

Ozon ( $O_3$ ) ist ein starkes Oxidationsmittel, das in Riffaquarien zur Verbesserung der Wasserqualität und -klarheit eingesetzt wird, indem es organische Schadstoffe abbaut und Mikroben abtötet. Obwohl diese Anwendung sehr hilfreich ist, ist sie ein zweischneidiges Schwert, denn aufgrund seiner starken oxidativen Fähigkeiten kann sie negative Auswirkungen auf Korallen haben.

Die Verwendung von Ozon in einem Riffaquarium hat viele Vorteile. Ozon spaltet effektiv die langen Ketten gelöster organischer Verbindungen (DOC) in einfachere Moleküle, die leichter von Eiweißabschäumern ausgefiltert oder von Biofiltern verarbeitet werden können. Hierdurch wird die Gesamtmenge organischer Stoffe gesenkt und die Klarheit des Wassers verbessert. Es beseitigt vergilbende Verbindungen, die typischerweise durch gelöstes organisches Material entstehen, was wiederum das Wasser klärt und die Lichtdurchlässigkeit des Aquariums verbessert. Ozon tötet auch Bakterien, Viren und andere Krankheitserreger ab, die sich im Wasser ansiedeln und eine Bedrohung für Korallen und andere Meeresorganismen darstellen können, und hält so Krankheitsausbrüche in Schach. Dies kann wiederum die Zahl der freischwimmenden Parasiten wie Cryptocaryon irritans (im frei-schwimmenden Stadium) verringern und dazu beitragen, den Zustand des Aquariums weiter zu verbessern.



Doch Ozon kann für Korallen schädlich sein. Ozon ist ein oxidativer Stressfaktor und kann in hohen Konzentrationen die Korallenzellen schädigen, was zum Ausbleichen oder zur Nekrose des Gewebes und sogar zum Tod führen kann. Um oxidative Schäden zu verringern, setzen Korallen Antioxidantien ein. Ihre Fähigkeit, wirksam zu reagieren, scheint jedoch unzureichend zu sein, wenn sie unter thermischem Stress hohen Ozonkonzentrationen ausgesetzt sind. Ozon hemmt nachweislich auch nitrifizierende Bakterien - eine Quelle der Gesundheit für den Stickstoffkreislauf in Riffaquarien - und kann so das Gleichgewicht in diesen Systemen stören, was zu toxischen Ammoniak- oder Nitritspitzen führt. Das verbleibende Ozon kann dann für Meereslebewesen giftig sein, wenn es nicht richtig gehandhabt wird. Außerdem kann die Oxidation zu schädlichen Nebenprodukten führen - Bromat entsteht, wenn Ozon mit Bromid reagiert. Zur Vermeidung dieser schädlichen Auswirkungen sollte Ozon aus dem Wasser entgast werden, bevor es in das Aquarium zurückgeführt wird, in der Regel mit Hilfe von Aktivkohle und anderen Entgasungsmethoden.

Die Anwendung von Ozon in Riffaquarien lässt sich am besten mit hochwertigen Ozongeneratoren steuern, die eine genaue Ozonproduktion liefern, um das Oxidations-Reduktions-Potenzial (ORP) bei etwa 300 bis 400 mV zu halten. Diese Werte sind für Meereslebewesen unbedenklich und werden wahrscheinlich keine Probleme verursachen! Außerdem müssen Sie Ihr Wasser ordnungsgemäß entgasen und mit Aktivkohle filtern, um Ozonreste aus dem Wasser zu entfernen, bevor es wieder in das Aquarium gelangt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Ozon ein sehr nützliches Werkzeug sein kann, insbesondere wenn es um die Wasseraufbereitung und die Sterilisierung von Krankheitserregern geht, die der Abschäumer nicht entfernen kann. Obwohl seine Verwendung sehr effektiv ist, muss es jedoch so eingesetzt werden, dass es keine negativen Auswirkungen auf Korallen und andere Meereslebewesen hat.



## UV-Sterilisatoren

In Riffaquarien werden häufig UV-Sterilisatoren verwendet, um bestimmte Aspekte der Wasserqualität zu erhalten. Die UV-Entkeimung ist ein Verfahren zur Abtötung oder Inaktivierung von Bakterien, Viren, Schimmelpilzsporen und Pilzen durch Zerstörung der Struktur ihrer DNA. UV-Sterilisatoren sind etwas weniger aggressiv als Ozon, müssen aber dennoch mit Vorsicht eingesetzt werden, um negative Auswirkungen auf das Ökosystem im Aquarium zu vermeiden.

UV-Sterilisatoren sind in der Lage, Bakterien, Viren und einige Arten von Parasiten im Wasser zu zerstören, was dazu beiträgt, die Zahl der Krankheiten zu verringern, die zwischen Fisch und Korallen übertragen werden können. Sie zielen auf die freischwimmenden Stadien von Parasiten wie *Cryptocaryon irritans* (marine ich) und *Amyloodinium ocellatum* (velvet) ab, um den Ausbruch von Krankheiten zu kontrollieren. Darüber hinaus wirken UV-Sterilisatoren als Kontrolleinheit gegen planktonische Algen, die das Wasser grün und sogar trüb erscheinen lassen können, und verbessern so die Klarheit des Wassers.

UV-Sterilisatoren können jedoch schädliche Auswirkungen auf Korallen haben. Obwohl UV-Sterilisatoren gut funktionieren, um schädliche Mikroorganismen abzutöten, können sie auch nützliche Bakterien und Phytoplankton abtöten, die für den Nährstoffkreislauf in Ihrem Aquarium notwendig sind. Ohne diese nützlichen Mikroben kann das mikrobielle Gleichgewicht gestört werden, was zu einem schlechten Nährstoffkreislauf, einer schlechten Wasserqualität und sogar einer schlechten Gesundheit der Korallen führt. Die Durchflussrate und die Trübung des Wassers begrenzen das Eindringen von UV-Licht. Wenn das Wasser nicht klar genug ist oder zu schnell abfließt, verliert der UV-Sterilisator an Wirksamkeit. UV-Sterilisatoren müssen lange genug eingeschaltet bleiben, damit die Lichtwellen die Mikroorganismen ausreichend abtöten können. Wenn das Wasser zu schnell durch den Sterilisator fließt, werden die Krankheitserreger möglicherweise nicht ausreichend abgetötet.



Wählen Sie einen UV-Sterilisator, der für das Volumen Ihres Beckens richtig dimensioniert und auf die Anforderungen Ihres Systems zugeschnitten ist. Passen Sie die Durchflussmenge des Sterilisators an, um eine ausreichende Kontaktzeit zu gewährleisten, und beachten Sie die Empfehlungen des Herstellers für die optimale Durchflussmenge. Tauschen Sie die UV-Lampe entsprechend den Empfehlungen des Herstellers aus, in der Regel alle 6-12 Monate bei Dauerbetrieb, um eine optimale Leistung zu erhalten. Wenn die Quarzhülse, in der sich die UV-Lampe befindet, verschmutzt ist, erhält das Wasser möglicherweise nicht so viel UV-Licht, was die Wirksamkeit Ihres Sterilisators verringern kann.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass UV-Sterilisatoren in Riffaquarien zur Erhaltung der Wasserqualität und zur Bekämpfung von Krankheitserregern eingesetzt werden können. Bei richtiger Anwendung bieten sie Vorteile wie eine bessere Wasserklarheit, ein geringeres Auftreten von Krankheiten und eine insgesamt bessere Wasserqualität.

## Wasserströmung

Die Wasserbewegung ist ein Eckpfeiler für die Gesundheit des Riffaquariums und beeinflusst alle Faktoren des gesamten Bioms, von der Lebensfähigkeit der Korallen bis zur Photosynthese, dem Wachstum, der thermischen Stresstoleranz bei der Nahrungsaufnahme und der mikrobiellen Stabilität.

Die Wasserströmung fördert auch den Export von Sauerstoff aus dem Korallengewebe, was den oxidativen Stress verringert und die Photosyntheseleistung verbessert. Sie beeinflusst auch die Wachstumsformen und -raten sowie die Stoffwechselaktivitäten der Korallen, wobei die verschiedenen Arten unterschiedlich auf den Wasseraustausch reagieren. Im Allgemeinen gilt: gute Strömung = mehr Wachstum.

Darüber hinaus trägt eine gute Wasserbewegung zum Transport von Beutepartikeln und Nährstoffen bei und erhöht so die Nahrungsaufnahme der Korallen, was zu einem gesünderen und farbenprächtigeren Korallenwachstum führt. Außerdem hilft sie den Korallen, Wärme und





Abfallstoffe abzugeben, so dass sie bei hohen Temperaturen weniger gestresst sind. Eine hohe Abflussrate hält alles im Gleichgewicht, da sie das Aufblühen pathogener Bakterien verhindert, insbesondere an heißen Tagen mit extremen Temperaturen.

Eine der am meisten ignorierten Anforderungen ist der Wasserdurchfluss, der für Systeme mit SPS-Arten entscheidend sein kann.

## Beleuchtung und Spektrum

Licht: Fast alle Korallen benötigen Licht, und eine gute Beleuchtung ist unerlässlich. Aufgrund ihrer symbiotischen Beziehung zu Zooxanthellen, den photosynthetischen Algen, die in ihrem Gewebe leben, ist Licht für Korallen unerlässlich. Eine gute Beleuchtung ist lebenswichtig, da sie die Photosynthese, das Wachstum und die Gesundheit der Korallen fördert. Wenn Sie sich ein modernes Riffaquarium ansehen, ist es sehr wahrscheinlich, dass es mit LED-Leuchten ausgestattet ist, die leistungsstark und sehr anpassungsfähig sind. Daher ist es wichtig, ein Gleichgewicht zwischen Wärme und Lichtintensität zu finden, damit Ihre Korallen sich wohl fühlen.

## Dauer

Eine 10-12-stündige Photoperiode mit einem langsamen (d.h. 1 bis 2 Stunden) Anstieg und Abfall der Lichtintensität zu Beginn und am Ende der Photoperiode wird empfohlen und ist ideal, da sie die Natur nachahmt. Die Beleuchtungs-dauer eines Beckens muss mit Bedacht festgelegt werden, da eine unzureichende Dauer die Photosyntheseaktivität stört und den Stoffwechsel der Korallen aufgrund der geringeren Einstrahlung beeinträchtigt; gleichzeitig kann eine Verlängerung der Photoperiode eine Photoinhibition verursachen und den Photosyntheseapparat schädigen, was zur Korallenbleiche und schließlich zum Tod führt.



## Intensität

Die Lichtintensität sollte auf die verschiedenen Korallenarten in Ihrem Becken abgestimmt sein. Weich- und LPS-Korallen benötigen eine geringere Intensität ( $50-250 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ), während SPS-Korallen eine höhere Intensität benötigen ( $250-450 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ).

Die Intensität ist von besonderer Bedeutung, da eine zu hohe Intensität zu einer Photoinhibition führt und in extremen Fällen die Zooxanthellen schädigen kann, was zur Korallenbleiche führt. Andererseits führt eine zu geringe Intensität zum Verhungern der Korallen. Wir empfehlen daher die Verwendung eines PAR/Spektrum-Messgeräts, um nicht nur die Intensität, sondern auch das ideale Spektrum wie unten beschrieben einzustellen.

## Spektrum

Studien deuten darauf hin, dass sich das Lichtspektrum auf die Korallen auswirkt, indem es die antioxidative Aktivität, die Photosynthese, den oxidativen Stress, die Gametogenese, das Überleben und die Kalzifizierungsraten beeinflusst, wobei blaues Licht im Allgemeinen positive Auswirkungen hat und künstliches Licht in der Nacht und rotes Licht negative.

- **UV-Licht (380-450nm):** UV-Strahlung verschlimmert den thermischen Stress und führt während der Bleiche zu einer verstärkten Schädigung des Wirtsgewebes und der Algensymbionten. Dennoch bieten fluoreszierende Pigmente, die durch UV-Licht in Korallen stimuliert werden, einen Lichtschutz, indem sie überschüssige Energie ableiten und schädliches Licht reflektieren, was die Widerstandsfähigkeit gegen das Ausbleichen bei Hitzestress erhöht.
- **Blaues Licht (450 - 495nm):** Blaues Licht (Spitzenwert bei 455nm) fördert das Korallenwachstum, die Zooxanthellen-Dichte, den Chlorophyllgehalt und die Photosyntheseraten im Vergleich zu rotem Licht, das den Korallen schaden kann.



- **Rotes Licht (620 - 750nm):** Die Forschung hat gezeigt, dass sich rotes Licht negativ auf die Gesundheit von SPS-Korallen auswirkt, indem es die Überlebensraten, die Zooxanthellen-Dichte und den Chlorophyll-Gehalt verringert. Korallen, die rotem Licht ausgesetzt sind, zeigen eine geringere Photosyntheseleistung und höheren oxidativen Stress.
- **Grünes Licht (495 - 570nm):** Unterstützt die Photosynthese, ist aber weniger effektiv als blaues Licht.

Das Lichtspektrum hat einen tiefgreifenden Einfluss auf die Gesundheit und Physiologie der Korallen. Blaues Licht fördert im Allgemeinen das Korallenwachstum, die Photosynthese und die antioxidative Aktivität. Rotes Licht hingegen und künstliches Licht in der Nacht können schädlich sein, da sie oxidativen Stress verursachen und die biologischen Rhythmen stört. UV-Strahlung kann Korallen schädigen, wobei die fluoreszierenden Pigmente einen Lichtschutz bieten, so dass es wichtig ist, ein Gleichgewicht zwischen der UV-Exposition der Korallen und der „geförderten“ Färbung herzustellen. Eine gute Lichtabsorption durch das Korallenskelett und eine verstärkte Kalziumbildung unter blauem Licht sind für das Überleben und Wachstum der Korallen entscheidend.

## Lichtdeckung

Stellen Sie sicher, dass alle Korallen ausreichend Licht erhalten, indem Sie eine Kombination aus Spot-/Puck-Lampen und Lichtbalken, wie Al Hydras mit Al Blades, verwenden. Dies gewährleistet eine gleichmäßige Lichtdeckung des Aquariums.

## Mondlicht-Zyklen

Synchrone Mondlichtzyklen können helfen, indem sie die Bedingungen nachahmen, die normalerweise das Laichen der Korallen und andere natürliche Verhaltensweisen signalisieren. Dennoch müssen sie mit großer Vorsicht geplant werden, da übermäßiges Licht sehr negative Auswirkungen auf Korallen haben kann.



## Gestein und Sand

Steinbesatz und Sand sind für ein erfolgreiches und nachhaltiges Meerwasseraquarium unerlässlich. Diese Elemente beeinflussen die biologische Filterung, die mikrobielle Vielfalt, den Wasserdurchfluss und die Nährstoffverteilung, die allesamt zur Gesundheit und Stabilität des Ökosystems Aquarium beitragen. Nehmen Sie sich die Zeit, zunächst am Reißbrett eine schöne und offene Gesteinslandschaft zu planen und zu gestalten, bevor Sie sich an die aktive Gestaltung machen.

Eine gut gestaltete Gesteinsbasis beeinflusst die Wasserströmung, sorgt für eine gute Nährstoffverteilung und den Abtransport von Abfallstoffen und verhindert die Ansammlung von Giftstoffen.

Poröses Gestein, wie D-D Aquascape Dry Rock, wirkt als Biofilter, der stickstoffhaltige Verbindungen entfernt und Bakterien beherbergt, die diese Verbindungen „zirkulieren“ lassen und so die Wasserqualität erhalten.

Vielfältige mikrobielle Gemeinschaften auf Steinen und im Korallenschleim sind entscheidend für die Gesundheit der Korallen. Lebendes Gestein in einem Becken ist in der Regel ein Zeichen für eine gute mikrobielle Vielfalt. Wenn Sie jedoch die Verwendung von Lebendgestein in Betracht ziehen, stellen Sie sicher, dass dies frei von Schädlingen ist, da Schädlinge die Freude am Hobby nehmen können.

Eine sorgfältig konstruierte Trockengesteinslandschaft, die mit nützlichen Mikroorganismen und Mikroben aus Sand und Gestein eines bestehenden erfolgreichen Aquariums oder hochwertigen kleinen Mengen an lebendem Gestein besiedelt ist, kann dazu beitragen, die natürlichen Bedingungen zu imitieren. Dies heißt, eine stabile mikrobielle Gemeinschaft zu unterstützen und die Risiken der Verwendung großer Mengen an lebendem Gestein zu vermeiden.

Das Gestein sollte so angeordnet sein, dass es den Wasserdurchfluss nicht behindert, da Korallen durch schlechte Wasserqualität oder ungünstige Strömungsbedingungen gestresst werden. Korallen profitieren von einer guten Wasserströmung und -filtration in einer gut gestalteten Felslandschaft.



Ein angemessener Abstand zwischen den Steinen, der einen ausreichenden Wasserdurchfluss ermöglicht, trägt dazu bei, den Ausbruch von Krankheiten einzudämmen, indem Stress reduziert und die Ansammlung von Krankheitserregern verhindert wird.

## Umkehrosmose-Wasser

Aus mehreren Gründen ist es wichtig, in Riffaquarien hochwertiges Umkehrosmosewasser (RO) anstelle von Leitungswasser zu verwenden.

Leitungswasser enthält oft Verunreinigungen wie Chlor, Chloramine, Schwermetalle, Nitrate und Phosphate, die für die Meeresbewohner schädlich sein können. RO-Wasser ist hochgradig gereinigt und gewährleistet, dass das dem Aquarium zugeführte Wasser frei von diesen Schadstoffen ist.

RO-Wasser sorgt für eine stabile und kontrollierte Umgebung. Es bietet eine einheitliche Ausgangsbasis für die Aufbereitung von Salzwasser, was die Einhaltung der gewünschten chemischen Parameter erleichtert. Außerdem hilft RO-Wasser durch die Minimierung von Nitraten und Phosphaten, unerwünschtes Algenwachstum zu verhindern.

RO-Wasser ist wichtig für die Gesundheit empfindlicher Meeresbewohner wie Korallen und Wirbellose, die sehr empfindlich auf Verunreinigungen im Leitungswasser reagieren. Außerdem ermöglicht die Verwendung von RO-Wasser eine genaue Kontrolle der Wasserchemie. Riffhalter können den Mineraliengehalt individuell anpassen, um die idealen Wasserbedingungen für ihre Riffbewohner zu gewährleisten und unerwünschte Reaktionen durch schadstoffbelastetes Wasser zu vermeiden. RO-Wasser beugt auch langfristigen Problemen vor, indem es die Ansammlung von Schadstoffen und die Bioakkumulation in Meeresorganismen verhindert, die zu chronischen Gesundheitsproblemen führen und die allgemeine Gesundheit beeinträchtigen können.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Verwendung von RO-Wasser in Riffaquarien eine sauberere, stabilere Umgebung schafft, die die



Gesundheit und das Wachstum von Korallen, Schwämmen und Wirbellosen fördert und gleichzeitig die üblichen Probleme im Zusammenhang mit Leitungswasser vermeidet, was zu einem blühenden Ökosystem im Riff führt.

## Salz

Es gibt viele Gründe, in hochwertiges Salz für Ihr Riffaquarium zu investieren. Qualitativ hochwertige Salzmischungen sind so konzipiert, dass sie die natürlichen Bestandteile des Meerwassers nachbilden und alle wichtigen Makro-, Mikro- und Spurenelemente in der richtigen Konzentration enthalten, damit die Tiere ausreichend mit Mineralien versorgt werden.

Ein qualitativ hochwertiges Salz unterstützt das Wachstum und die Gesundheit der Korallen, indem es die richtigen Werte liefert, die für die Stoffwechselprozesse der Korallen entscheidend sind. Diese Salze sorgen auch dafür, dass keine hohen Nährstoffkonzentrationen wie Nitrat und Phosphat vorhanden sind, die sich nachteilig auf die verschiedenen biologischen Prozesse in Korallen und anderen wirbellosen Tieren auswirken würden.

Premium-Salzmischungen werden aus den reinsten Zutaten hergestellt, was bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit geringer ist, dass Verunreinigungen (z. B. Schwermetalle, Nitrate und Phosphate) zusammen mit gebundenem Wasser in der einen oder anderen Form in Ihr Beckensystem gelangen - allesamt potenziell gefährlich für die Meeresbewohner. Man kann davon ausgehen, dass sie frei von Verunreinigungen oder unerwünschten Zusatzstoffen sind, die die Wasserqualität beeinträchtigen können.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass die Verwendung eines guten Salzes eines der wichtigsten Dinge bei der Einrichtung und Pflege eines Riffaquariums ist. Es bildet die Grundlage für die Gesunderhaltung der Korallen und anderer Meeresbewohner und verhindert, dass Schadstoffe in das Aquarium gelangen, was ein wichtiger Aspekt für ein langfristig erfolgreiches Aquarium ist. Die Ausgaben für eine hochwertige



Meersalzmischung führen zu gesünderen Korallen und einer stabileren Riffumgebung, was weniger laufende Probleme bedeutet und es Ihnen ermöglicht, das Aquarium langfristig zu genießen.

## Dosierung

Obwohl Sie jede dieser benötigten Chemikalien manuell in Ihr Riffaquarium dosieren können, wird eine Automatisierung mit Hilfe einer Dosierpumpe empfohlen. Die manuelle Dosierung ist schwierig und zeitaufwändig, da eine gleichmäßige, genaue Messung und Zeitplanung für optimale Ergebnisse erforderlich ist. Beständigkeit und Präzision sind das A und O, um das empfindliche Gleichgewicht des Ökosystems eines Aquariums aufrechtzuerhalten - die automatische Dosierung bietet genau das.

Verwenden Sie eine Dosierpumpe, die mindestens vier Kanäle unterstützt, wie die D-D P4 Pro. Diese Pumpen ermöglichen die automatische Dosierung von unzähligen Chemikalien wie Kalzium, Karbonaten und Spurenelementen, die für die Aufrechterhaltung idealer Wasserparameter unerlässlich sind. Die automatische Dosierung stellt sicher, dass die richtige Menge jeder Chemikalie zur richtigen Zeit dosiert wird, wodurch die Gefahr menschengemachter Fehler verringert wird.

Besonders bei der Verwendung unserer H2P™ sollten Sie bei der Auswahl einer Dosierpumpe darauf achten, dass die Pumpe chemikalienbeständig ist, damit Sie die verschiedenen im Aquarium verwendeten Chemikalien verarbeiten kann, ohne dass es zu vorzeitiger Abnutzung oder Fehlfunktionen kommt. Die D-D P4 Pro zum Beispiel ist so konzipiert, dass sie mit dem H2P™-Dosiersystem und anderen chemischen Komponenten kompatibel ist, was eine lange Lebensdauer und Zuverlässigkeit gewährleistet.

Die Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten bei Dosierpumpen ist wichtig, um eine Über- oder Unterdosierung zu vermeiden. Eine Überdosierung kann ernsthafte Probleme verursachen, die für das Leben in Ihrem Aquarium gefährlich sein kann. Automatische Abschaltung, Alarme



und wiederholte Sicherheitsüberprüfungen sind einige der Funktionen, die vor diesen Risiken schützen und einen sicheren und effektiven Betrieb des Dosiersystems gewährleisten.

Nicht alle Dosierpumpen sind mit allen Chemikalien kompatibel. Die D-D P4 Pro zeichnet sich durch ihre Kompatibilität mit pHplus aus. Dies ist auf die chemikalienbeständigen Materialien der Pumpe zurückzuführen, die eine Zersetzung verhindern und eine genaue Dosierung gewährleisten. Die Verwendung einer nicht kompatiblen Pumpe könnte zu einer ungenauen Dosierung und einem möglichen Ausfall der Anlage führen.

Die Automatisierung des Dosiervorgangs in einem Riffaquarium mit einer hochwertigen, chemikalienbeständigen Dosierpumpe wie der D-D P4 Pro ist unerlässlich für die Aufrechterhaltung des empfindlichen Gleichgewichts, das für eine gesunde Meeresumwelt erforderlich ist. Ein weiterer Vorteil der D-D P4 Pro Dosierpumpe ist, dass sie auch mit dem D-D KH Manager integriert werden kann, was die höchste Optimierung des H2P™-Dosiersystems ermöglicht.

Hochwertige und chemikalienbeständige Pumpen bieten Konsistenz, Präzision und Sicherheit, die für den langfristigen Erfolg des Aquariums entscheidend sind.

## Auswahl der Tiere

Bei der Auswahl der Tiere für Ihr Aquarium sollten Sie sich ausreichend über die Bedürfnisse und Verhaltensweisen der einzelnen Arten informieren, um sicherzustellen, dass sie mit den Bedingungen in Ihrem Becken und untereinander kompatibel sind. Dieser Aspekt wird von Aquarianern oft unterschätzt und im Endeffekt leiden die Tiere.

Wir empfehlen, „Arbeitende Tiere“ zu wählen, d. h. Tiere, die eine Funktion im Aquarium haben, z. B. Algen fressen oder Schädlinge bekämpfen.





## Standort des Beckens

Die Wahl des Standorts des Beckens ist für den Erfolg des Aquariums entscheidend. Direkte Sonneneinstrahlung sollte auf jeden Fall vermieden werden, um Temperaturschwankungen und Algenwachstum zu vermeiden. Sorgen Sie auch für einen leichten Zugang für Wartung und Überwachung. Je einfacher der Zugang für die Wartung ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass Sie sich daran erfreuen und eine gute Haltung gewährleisten können.

Wenn Sie diese grundlegenden Richtlinien berücksichtigen, können Sie ein blühendes Riffaquarium einrichten, das die Gesundheit und das Wachstum Ihrer Korallen und anderer Meeresbewohner unterstützt. Das H2P™-Dosiersystem hat eine größere Wirkung auf von vornherein gesunde und stabile Riffe.

## Testen und Überwachen

Im Laufe der Jahre haben wir festgestellt, dass Riffaquarianer, die ihre Aquarienparameter konsequent und gewissenhaft überwachen, am erfolgreichsten sind. Bestimmte Schlüsselparameter müssen regelmäßig überwacht werden, um eine gesunde Riffumgebung zu erhalten.

Einige dieser Parameter können und sollten zu Hause überwacht werden, während andere das Fachwissen und die Instrumente eines professionellen Labors erfordern, wie z. B. das Reef Zlements ICP-Labor (das wir oben beschrieben haben).

Obwohl die Verwendung eines D-D KH Managers zur Implementierung des H2P™-Dosiersystems nicht zwingend erforderlich ist, empfehlen wir, ihn zu verwenden, um die Leistung des Systems vollständig zu optimieren. Der D-D KH Manager verfügt über eine speziell für das H2P™-Dosiersystem von Reef Zlements entwickelte Dosieroption, die es dem Benutzer ermöglicht, die stabilsten Alkalinitäts- und pH-Werte aufrechtzuerhalten, die jemals erreicht wurden.



## Parameter, die wir zu Hause testen und überwachen sollten

### Temperatur

Die Temperatur ist ein entscheidender Faktor für die Gesundheit der Korallen. Die Forschung hat verschiedene Auswirkungen der Temperatur auf die Korallen untersucht, u.a. die Auswirkungen auf die Genexpression und die Wechselwirkungen mit anderen Stressfaktoren, aber auch Anpassungsfähigkeit seitens der Tiere. Sie hat z.B. gezeigt, dass die Temperatur bei einigen Korallenarten den Einbau von Magnesium in ihr Skelett beeinflusst.

Korallen, die schwankenden Temperaturen ausgesetzt sind, weisen eine höhere Wärmetoleranz auf als Korallen in sehr stabilen thermischen Umgebungen. Dies deutet darauf hin, dass eine vorherige Exposition gegenüber schwankenden Temperaturen die Widerstandsfähigkeit der Korallen gegenüber Hitzestress erhöhen kann. Dabei sollte es sich jedoch nicht um rasche Veränderungen handeln, die innerhalb von ein oder zwei Tagen auftreten, sondern um jahreszeitlich bedingte Schwankungen von 2 bis 3 °C, wie sie in der Natur über mehrere Monate hinweg auftreten.

Es ist auch wichtig zu wissen, dass eine kurzfristige Exposition gegenüber Temperaturen, die 3-4°C über der normalen „Sommertemperatur“ liegen, zu einer Bleiche führen kann, während eine langfristige Exposition gegenüber 1-2°C über der Umgebungstemperatur das Wachstum und die Reproduktion der Korallen beeinträchtigen kann.

Höhere Temperaturen wirken sich auch auf die Wasserchemie aus. Höhere Temperaturen beschleunigen zum Beispiel die Bildung von Kalziumkarbonatkernen und das Kristallwachstum, was zu Kalziumkarbonatausfällungen führen kann.

Es ist auch wichtig, die Auswirkungen der Temperatur auf andere wichtige Aspekte der Haltung eines Riffaquariums zu verstehen, wie etwa die Auswirkungen der Temperatur auf Schädlinge (wie *Prosthiostomum acroporae* [AEFW] und *Phestillasubodiosus* sp. nov. [Montipora fressende



Nacktschnecken]) und Bakterien. Niedrigere Temperaturen können dazu beitragen, einige Schädlinge zu kontrollieren und auszurotten und das Bakterienwachstum zu verlangsamen, wenn bakterielle Probleme bekämpft werden sollen.

In Anbetracht dessen empfehlen wir dringend die Verwendung eines digitalen Temperaturmonitors und eines Alarms zur ständigen Überwachung der Temperatur, wobei die Temperatur zwischen 23°C und 28°C liegen sollte. Wir empfehlen außerdem, die Temperatur während des Winters in Ihrer Region niedriger und im Sommer höher zu halten. Wir empfehlen, die Temperatur im Frühjahr und im Herbst zu erhöhen und zu senken, um dies zu erreichen. Dadurch wird die natürliche Umgebung nachgeahmt und die Widerstandsfähigkeit der Korallen möglicherweise erhöht. Obwohl wir den Einsatz eines Kühlgeräts empfehlen, um die Temperatur vollständig zu kontrollieren, wird diese Strategie dazu beitragen, die Auswirkungen von Hitzewellen in den Sommermonaten zu minimieren.

Abschließend sollten Sie bei der Einstellung der Temperatur in einem Becken bedenken, dass in einem neu eingerichteten Aquarium eine anfänglich höhere Temperatur die Ansiedlung der Mikroben, aus denen das Biom besteht, beschleunigen wird. Auch bei unerwünschten Schädlingen oder bakteriellen Problemen verlangsamt eine niedrigere Temperatur ihr Wachstum und ihre Vermehrung. Eine höhere Temperatur fördert ein Milieu, in dem sich Kalziumkarbonat leichter abgelagert.

## Salzgehalt

Im Laufe der Jahre sind wir zu dem Schluss gekommen, dass der Salzgehalt einer der am meisten übersehenen Parameter ist und dass es für Aquarianer oft schwierig ist, ihn korrekt und genau zu messen.

In Aquarien können drei Hauptfaktoren den Salzgehalt beeinflussen: Verdunstung/Zugabe von RO, Wasserwechsel und Dosierung. Letzteres ist besonders wichtig, da die meisten Dosiersysteme den Salzgehalt aufgrund der Chemie erhöhen.



Es ist daher wichtig, den Salzgehalt zu überwachen und zu kontrollieren. Dieser sollte wöchentlich mit einem Refraktometer, einem Adensimeter oder einem Leitfähigkeitsmesser überprüft und innerhalb eines idealen Bereichs gehalten werden.

## **pH-Wert und Alkalinität**

Obwohl dem pH-Wert und der Alkalinität weiter unten ein eigenes Kapitel gewidmet ist, muss in diesem Abschnitt unbedingt erwähnt werden, dass es wichtig ist, den pH-Wert regelmäßig und die Alkalinität mindestens einmal täglich mit manuellen Testkits oder modernen Geräten wie dem D-D KH Manager zu überwachen. Ziel ist es, die pH- und Alkalinitätswerte so weit wie möglich stabil zu halten. Mehr zu diesem Thema weiter unten in diesem Handbuch.

## **Kalzium**

Wie der pH-Wert und die Alkalinität ist auch Kalzium ein äußerst wichtiger Parameter, der genau überwacht werden muss. Obwohl wir das Thema Kalzium im Abschnitt Makro- und Spurenelemente behandeln werden, möchten wir erwähnen, dass es alle 3 bis 4 Tage überwacht und innerhalb der oben empfohlenen Werte gehalten werden sollte.

## **Orthophosphat**

Der Orthophosphatgehalt hat erhebliche Auswirkungen auf die Gesundheit der Korallen und beeinflusst das Wachstum, die Skelettdichte und die symbiotischen Beziehungen. Während niedrige Orthophosphatwerte zu Bleiche und Korallensterben führen können, können überhöhte Werte die Skelettbildung hemmen und Algenkonkurrenz fördern. Die Kontrolle des Orthophosphatgehalts ist entscheidend für die Erhaltung gesunder Korallenriffe und die Abschwächung der Auswirkungen von Umweltstressfaktoren. Es ist auch wichtig, den Nährstoffgehalt zu Hause



wöchentlich mit Testkits oder digitalen Messgeräten oder mit einem professionellen, umfassenden Test wie dem Reef Zlements Advanced ICP Test (über Farbmatrik) zu überwachen; wenn der Orthophosphatgehalt innerhalb der oben empfohlenen Werte stabil gehalten wird, ist die beste Korallengesundheit und Farbgebung gewährleistet. Mehr zum Thema Phosphat und Orthophosphat weiter unten.

## Nitrat

Ein weiterer wichtiger Parameter, der jede Woche überwacht werden sollte, ist Nitrat.

Dies kann zu Hause mit Testkits, digitalen Prüfgeräten oder mit einem professionellen, umfassenden Test wie dem Reef Zlements Advanced ICP-Test (über Ionenchromatographie) erfolgen. Effektives Management des Nitratgehalts ist entscheidend für den Schutz und die Widerstandsfähigkeit der Korallen und die Kontrolle unerwünschter Schädlinge (wie Algen oder Cyanobakterien). Wir empfehlen, Nitrat in einem Verhältnis von etwa 1:100 zu Orthophosphat zu halten, um die Gesundheit der Korallen zu gewährleisten und nachteilige Auswirkungen zu mindern. Mehr über Nitrat weiter unten.

## H2P™™ SCHLÜSSELPARAMETER

Das H2P™-Dosiersystem von Reef Zlements wurde entwickelt, um den Korallen eine unvergleichliche Stabilität zu bieten, damit sie gedeihen und ihr maximales Wachstums- und Gesundheitspotenzial erreichen können. Daher ist es wichtig, einige der grundlegenden Parameter zu untersuchen, die für die Förderung der idealen Umgebung für sie wichtig sind.



## Salzgehalt

### Die Grundlagen und ihre Geschichte

Der Salzgehalt wurde zunächst als Maß für die Masse der gelösten Salze in einer bestimmten Menge Meerwasser definiert. Ursprünglich musste zu seiner Bestimmung das Meerwasser getrocknet und die daraus resultierenden Salze gewogen werden. Wie zu erwarten, ist dies jedoch mit einigen Schwierigkeiten verbunden, nicht nur wegen des Verfahrens selbst, sondern auch wegen einiger chemischer Reaktionen, die bei den Temperaturen ablaufen, die erforderlich sind, um das gesamte  $H_2O$  zu entziehen.

Die Geschichte der Salzgehaltsmessung ist eine faszinierende Reise durch die Geschichte der Ozeanographie und der wissenschaftlichen Fortschritte beim Verständnis und der Quantifizierung des Salzgehalts des Meerwassers. Wir werden darauf ein wenig näher eingehen, denn der Salzgehalt ist ein äußerst wichtiger Umweltfaktor, der sich auf die Gesundheit, das Wachstum und das Überleben aller Tiere in unserem Aquarium auswirkt.

Mitte des 19. Jahrhunderts leistete Johan Georg Forchhammer einen bedeutenden Beitrag zum Verständnis der Zusammensetzung des Meerwassers. Er analysierte verschiedene Meerwasserproben und ermittelte das konstante Verhältnis der Hauptionen, was zum Konzept des "Forchhammerschen Prinzips" oder des „Gesetzes der konstanten Proportionen“ führte. Dieses Prinzip besagt, dass die relativen Anteile der Hauptionen im Meerwasser konstant sind, unabhängig vom Gesamtsalzgehalt.

Aufbauend auf Forchhammers Arbeit hat Martin Knudsen die Methoden zur Bestimmung des Salzgehalts weiter verfeinert. Im Jahr 1901 entwickelte Knudsen eine praktische Methode zur Bestimmung des Salzgehalts anhand der „Chlorinität“, d. h. der Konzentration von Chloridionen im Meerwasser. Knudsens Tabellen setzten die Chlorinität mit dem Salzgehalt und der Dichte in Beziehung und standardisierten damit erstmals die Salzgehaltsmessungen.



Das Aräometer, ein Instrument zur Messung des spezifischen Gewichts (der relativen Dichte) von Flüssigkeiten, das zu Beginn des 18. Jahrhunderts von frühen Ozeanographen zur Messung der Dichte des Meerwassers erfunden wurde, erfuhr mit Knudsens Arbeit einen bedeutenden Fortschritt, der es zu einer der praktischen Methoden machte, die wir heute zur Bestimmung des Salzgehalts verwenden.

Die Brechungsindexmethode zur Messung des Salzgehalts geht auf das 19. Jahrhundert zurück. Frühe Refraktometer wurden in verschiedenen Wissenschaftsbereichen, darunter Chemie und Pharmazie, zur Messung der Konzentration von Lösungen verwendet. Der Brechungsindex des Meerwassers (das Maß dafür, wie stark das Licht beim Eintritt in eine Substanz gebeugt oder gebrochen wird) ändert sich mit seinem Salzgehalt. Der Brechungsindex nimmt zu, wenn die Konzentration der gelösten Salze im Meerwasser steigt.

Die Fortschritte in der Optik und Materialwissenschaft im 20. Jahrhundert haben die Genauigkeit und Zuverlässigkeit von Refraktometern verbessert. Moderne Refraktometer, die wir heute im Hobby verwenden, verfügen häufig über digitale Anzeigen und eine automatische Temperaturkompensation, was ihre Benutzerfreundlichkeit und Präzision erhöht.

Eine weitere Methode ist die Schallgeschwindigkeitsmethode, bei der die Schallgeschwindigkeit im Meerwasser durch den Salzgehalt, die Temperatur und den Druck beeinflusst wird. Ein höherer Salzgehalt erhöht die Dichte des Wassers, was sich auf die Geschwindigkeit auswirkt, mit der sich Schallwellen durch das Wasser bewegen. Geräte, die Velocimeter oder Hydrophone genannt werden, messen die Zeit, die ein Schallimpuls benötigt, um eine bekannte Strecke im Meerwasser zurückzulegen. Anschließend werden empirische Formeln wie der UNESCO-Algorithmus, Schallgeschwindigkeitsdaten sowie Temperatur- und Druckmessungen verwendet, um den Salzgehalt zu schätzen.

Die Entwicklung von Leitfähigkeitsmessgeräten in der Mitte des 20. Jahrhunderts hat die Messung des Salzgehalts revolutioniert. Signifikante Fortschritte gab es während des Zweiten Weltkriegs, als die US-Marine genaue Salzgehaltsmessungen für die U-Boot-Navigation und



Sonaroperationen benötigte.

In dieser Zeit entwickelten Forscher zuverlässigere Verfahren zur Messung der Leitfähigkeit, und 1978 wurde die Praktische Salzgehaltsskala (PSS-78) eingeführt, die die Salzgehaltsmessung revolutionierte. Die PSS-78 definiert den Salzgehalt anhand des Leitfähigkeitsverhältnisses von Meerwasser zu einer Kaliumchlorid (KCl)-Standardlösung bei einer bestimmten Temperatur (15 °C) und einem bestimmten Druck (1 Atmosphäre). Heute verwenden wir „moderne“ Leitfähigkeitsmesser, um den Salzgehalt genau zu messen. Dies ist eine der präzisesten Methoden, die wir als Hobbyisten anwenden können.

ICP ist zwar keine direkte Methode zur Messung des Salzgehalts, spielt aber eine entscheidende Rolle bei der Bestimmung der Konzentrationen verschiedener Ionen im Meerwasser, die zur Berechnung des Salzgehalts herangezogen werden können.

Mit der allgemeinen Verbreitung der ICP-Methode haben heutzutage auch Hobbyisten zu Hause Zugang zu dieser Technik.

Seit der Einführung der ersten Geräte zur Messung des Salzgehalts hat sich viel getan. Es gibt zwar noch andere Methoden zur Messung des Salzgehalts, wie Osmometrie, kapazitive Salinometer, Laser-Emissionsspektroskopie und andere, aber die oben genannten umfassen alle Methoden, die dem Hobbyisten zugänglich sind. Eine weitere Vertiefung ist sicherlich äußerst interessant, würde aber den Rahmen dieses Handbuchs sprengen

### **Aber warum ist der Salzgehalt wichtig?**

Der Salzgehalt spielt eine entscheidende Rolle für die Gesundheit und das Überleben von Korallenriffen und beeinflusst ihre Thermotoleranz, ihren Fortpflanzungserfolg und ihre allgemeinen physiologischen Funktionen. Das Verständnis der Auswirkungen des Salzgehalts auf die Korallen ist für die Entwicklung von Strategien zur Abschwächung der negativen Auswirkungen und anderer Umweltstressfaktoren von entscheidender Bedeutung.





Korallen reagieren im Allgemeinen empfindlich auf Änderungen des Salzgehalts, da sie eine Osmoregulation benötigen, die in einem Riffaquarium entweder durch Dosierung, Zugabe von Umkehrosmosewasser oder Wasserwechsel mit Wasser mit unterschiedlichem Salzgehalt erfolgen kann.

Hypo-Salinität (niedriger Salzgehalt) kann bei Korallen zu starker Ausbleichung, Gewebenekrose und erhöhter Sterblichkeit führen. Untersuchungen an *Stylophora pistillata* ergaben schwere pathomorphologische Veränderungen und Hinweise auf oxidativen Stress sowohl bei der Wirtskoralle als auch bei ihren Algensymbionten unter abnehmenden Salzgehaltsbedingungen.

Umgekehrt wirkt sich ein erhöhter Salzgehalt deutlich auf Korallenarten wie *Stylophora pistillata*, *Acropora tenuis* und *Pocilloporaverrucosa* aus und führt zu partiellem Ausbleichen, geringerer Bakterien- und Algensymbiontentätigkeit und geringeren Kalkbildungsraten.

### **Salzgehalt, aber welche Werte?**

Studien haben gezeigt, dass optimale Wachstums- und Stoffwechselraten bei einigen kleinpolypigen Steinkorallen (SPS) und großpolypigen Steinkorallen (LPS) bei Salzgehalten zwischen 30 und 35 PSU zu beobachten sind, wobei die Leistung außerhalb dieses Bereichs deutlich abnimmt. Nichtsdestotrotz stellen wir bei ICP-Tests häufig eine Verarmung einiger kritischer Makro- und Spurenelemente bei Salzgehalten unter 33,5 PSU fest. Die wöchentliche Überwachung des Salzgehalts und seine Beibehaltung bei 33,5 bis 35 PSU ist eine gute und wichtige Praxis.



## pH

### Die Grundlagen

Angesichts der Tatsache, dass das H2P™-Dosiersystem das erste Dosiersystem ist, das entwickelt wurde, um den pH-Wert in einer viel raffinierteren Art und Weise als je zuvor zu kontrollieren, und das sich um die Aufrechterhaltung idealer und stabiler Werte dreht, hielten wir es für wichtig, diesem oft übersehenen Parameter einen ausführlichen Abschnitt zu widmen.

Der Begriff pH steht für „Wasserstoffpotenzial“ und gibt die Konzentration von Wasserstoffionen ( $H^+$ ) in einer Lösung an. Der pH-Wert misst den Säuregrad oder die Alkalität einer Lösung, wobei 0 bis 6,9 sauer ist, 7 neutral und 7,1 bis 14 alkalisch.

Der pH-Wert wird mit der folgenden Formel berechnet:

$$pH = -\log[H^+]$$

Dabei ist  $[H^+]$  die Wasserstoffionenkonzentration in Mol pro Liter. Da die Skala logarithmisch ist, entspricht jede ganzzahlige Änderung auf der pH-Skala einer Verzehnfachung oder Verringerung des Säuregehalts. So ist beispielsweise eine Lösung mit einem pH-Wert von 7,9 fast doppelt so sauer wie eine Lösung mit einem pH-Wert von 8,2 und mehr als dreimal so sauer wie eine Lösung mit einem pH-Wert von 8,4.

### Aber warum ist der pH-Wert so wichtig?

Der pH-Wert spielt eine entscheidende Rolle bei der Erhaltung der Gesundheit von Korallen in Aquarien. Niedrigere pH-Werte verringern die Kalzifizierungsraten erheblich und machen es für die Korallen energetisch aufwendig, ihr Skelett aufzubauen und zu erhalten. Dies führt zu einer schwächeren strukturellen Integrität, gestörten symbiotischen Beziehungen mit Zooxanthellen, erhöhter Anfälligkeit für Krankheiten und geringerer Wärmetoleranz, was insgesamt das Überleben der Korallen bedroht.



Studien zeigen, dass eine Absenkung des pH-Wertes um 0,15 bis 0,3 Einheiten gegenüber dem Umgebungswert bei einigen Korallenarten zu einer Verringerung der Kalkbildungsrate um 30 bis 56 % führen kann. Mit Säure versetztes Salzwasser wirkt sich negativ auf die photosynthetische Ausbeute und die Zelldichte von freilebenden Zooxanthellen aus und verursacht erhebliche physiologische und morphologische Schäden. Außerdem verändern ein niedrigerer pH-Wert und ein höherer CO<sub>2</sub>-Gehalt die mikrobiellen Gemeinschaften, die mit den Korallen verbunden sind, und erhöhen die Anfälligkeit für Krankheiten wie die Gelbband-/Fleckenkrankheit.

Die Acidifikation verringert auch die Wärmetoleranz der Korallen, indem sie ihre Fähigkeit beeinträchtigt, oxidativen Stress zu bewältigen und die Zellfunktionen bei hohen Temperaturen aufrechtzuerhalten, was zu einer erhöhten Bleiche und Sterblichkeitsrate führt. Diese kombinierten Auswirkungen machen deutlich, wie wichtig die Aufrechterhaltung eines optimalen pH-Werts für die Gesundheit der Korallen ist.

Umgekehrt bringt die Aufrechterhaltung eines pH-Werts zwischen 8,2 und 8,4 erhebliche Vorteile für Korallen mit sich. Erhöhte pH-Werte wirken sich im Allgemeinen positiv auf die Kalkbildung und das Wachstum der Korallen aus. Die verschiedenen Korallenarten sind unterschiedlich gut in der Lage, ihre Kalkbildungsrate bei diesen pH-Werten aufrechtzuerhalten oder sogar zu steigern. Einige Arten gedeihen beispielsweise bei pH-Werten zwischen 8,2 und 8,4, was auf eine positive Reaktion auf solche Bedingungen hindeutet.

Korallen, die bei einem pH-Wert zwischen 8,2 und 8,4 gehalten werden, weisen auch stabile mikrobielle Gemeinschaften auf, ohne dass es zu einem signifikanten Anstieg der mit Krankheiten oder Stress verbundenen Bakterien kommt. Außerdem steigert ein erhöhter pH-Wert (um 8,4) tagsüber die Photosyntheseraten der Zooxanthellen, was der Gesundheit und dem Wachstum der Korallen zugute kommt.

Allerdings können sich stark erhöhte pH-Werte auch auf verschiedene Weise auf die Physiologie und Gesundheit der Korallen auswirken, die noch nicht umfassend erforscht sind. Daher wird empfohlen, einen pH-Wert von



über 8,6 nicht über einen längeren Zeitraum aufrechtzuerhalten, da die langfristigen Auswirkungen auf die Korallen noch nicht vollständig erforscht sind. Wie wir weiter unten erläutern werden, kann ein höherer pH-Wert auch die Ausfällung von Kalziumkarbonat begünstigen, daher ist es wichtig, den pH-Wert auf dem empfohlenen Niveau zu halten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Aufrechterhaltung eines optimalen pH-Werts in unseren Aquarien entscheidend für die Gesundheit und Langlebigkeit der Korallen ist. Ein angemessener pH-Wert unterstützt die Kalzifizierung der Korallen, erhält nützliche symbiotische Beziehungen aufrecht, verringert die Anfälligkeit für Krankheiten und verbessert die Wärmetoleranz. Andererseits haben niedrigere pH-Werte nachteilige Auswirkungen, was die Bedeutung einer regelmäßigen Überwachung und Anpassung der Wasserchemie im Aquarium für das Wohlergehen der Korallenökosysteme unterstreicht.

## Die wichtigsten Faktoren, die den pH-Wert beeinflussen

Die Aufrechterhaltung eines stabilen pH-Werts ist entscheidend für die Gesundheit und das Überleben von Korallen und anderen Meeresbewohnern in Aquarien. Mehrere Faktoren können den pH-Wert beeinflussen und erfordern eine sorgfältige Überwachung und Pflege, um eine optimale Umgebung zu gewährleisten.

Die Photosynthese beeinflusst den pH-Wert während der Tageslichtstunden in erheblichem Maße. Photosynthetische Organismen, wie Zooxanthellen in Korallen, verbrauchen  $\text{CO}_2$  und setzen Sauerstoff frei. Durch diesen Prozess sinkt die  $\text{CO}_2$ -Konzentration im Wasser, wodurch die Bildung von Kohlensäure und deren Partialdruck ( $\text{pCO}_2$ ) verringert und der pH-Wert erhöht wird. Dieser tageszeitliche Anstieg des pH-Wertes ist ein natürlicher Bestandteil des Tageszyklus im Aquarium und unterstreicht die Bedeutung des Gleichgewichts der biologischen Aktivitäten innerhalb des Systems.

Die nächtlichen Atmungsprozesse gleichen die Auswirkungen der Photosynthese am Tag aus. Sowohl Korallen als auch Zooxanthellen atmen, verbrauchen Sauerstoff und setzen  $\text{CO}_2$  frei. Diese Atmung erhöht die  $\text{CO}_2$ -



Konzentration und den  $\text{pCO}_2$ -Gehalt, der ,in Wasser gelöst, Kohlensäure bildet und damit den pH-Wert senkt. Dieses nächtliche Absinken des pH-Wertes muss kontrolliert werden, um schädliche Schwankungen zu vermeiden, die die Meeresorganismen belasten könnten.

Der Kohlendioxidgehalt ( $\text{CO}_2$ ) wirkt sich direkt auf den pH-Wert aus. Wenn ein höherer atmosphärischer  $\text{pCO}_2$ -Gehalt  $\text{CO}_2$  dazu zwingt, sich im Meerwasser zu lösen (erklärt durch das Henry'sche Gesetz), um Kohlensäure zu bilden ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ ), die in Bikarbonat und Wasserstoffionen dissoziiert ( $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{HCO}^- + \text{H}^+$ ), führt dies zu einem niedrigeren pH-Wert. In ähnlicher Weise kann ein erhöhter  $\text{CO}_2$ -Gehalt, der oft auf einen schlechten Gasaustausch, einen übermäßigen Bestand an Fischen oder einen hohen  $\text{pCO}_2$ -Wert in der Umwelt zurückzuführen ist, zu einem anhaltend niedrigen pH-Wert führen.

Säuren können durch verschiedene Quellen in das Aquarienwasser gelangen, z. B. durch biologische Prozesse, Verschmutzung oder die Zersetzung von organischem Material. Unter anderem sind Phosphatase produzierende Bakterien und anorganische Phosphat lösende Bakterien für die Produktion von organischen Säuren verantwortlich, die dann die Wasserstoffionen-konzentration im Wasser erhöhen und so den pH-Wert senken.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Photosynthese und Atmung natürliche biologische Prozesse sind, die tägliche Schwankungen des pH-Werts verursachen. In der Zwischenzeit können der  $\text{CO}_2$ -Gehalt und das Vorhandensein von Säuren aus verschiedenen Quellen zu nachhaltigeren Veränderungen des pH-Werts führen. Eine sorgfältige Überwachung und Steuerung dieser Faktoren ist für die Aufrechterhaltung einer stabilen und geeigneten Umgebung für die Gesundheit und das Überleben von Korallen in Aquarien unerlässlich.

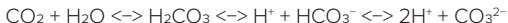


## pH-Wert, welche Werte?

Obwohl der pH-Wert in den meisten Oberflächengewässern im Gleichgewicht mit der Atmosphäre bei 8,2 liegt, kann er in kleinen Gewässern stark schwanken. Der pH-Wert in küstennahen Gewässern entlang des Ningaloo-Riffs reicht von 8,22 bis 8,64, während er in küstennahen Gewässern zwischen 8,45 und 8,53 liegt. Das Great Barrier Reef hingegen weist in verschiedenen Lebensräumen pH-Werte zwischen 7,98 und 8,37 auf. In Puerto Rico lagen die pH-Werte am Media-Luna-Riff zwischen 7,89 und 8,17.

Natürlich sind dies nur zwei regionale Beispiele, aber wenn man sich die Beispiele ansieht, kann man eindeutig sagen, dass der pH-Wert in Korallenriffen zwischen 7,9 und 8,6 liegt. Korallenriffe unterliegen natürlichen pH-Schwankungen, die sowohl von biologischen Prozessen als auch von den allgemeinen ozeanografischen Bedingungen beeinflusst werden, aber wie bereits erwähnt, können Werte zwischen 8,2 und 8,6 für die Korallen von Vorteil sein. Dennoch kann ein hoher pH-Wert in einem Riffaquarium trotz seiner Vorteile für die Korallen einige Herausforderungen mit sich bringen.

Bei höheren pH-Werten nimmt die Konzentration von Karbonat-Ionen im Wasser zu. Das liegt daran, dass sich bei höheren pH-Werten das Gleichgewicht zwischen gelöstem Kohlendioxid und Bikarbonationen zugunsten der Produktion von Karbonationen verschiebt. Die beteiligten chemischen Reaktionen sind:



Mit steigendem pH-Wert sinkt die Konzentration der  $\text{H}^+$ -Ionen, was die Bildung von  $\text{CO}_3^{2-}$  begünstigt. Mit steigendem pH-Wert nimmt die Konzentration der Karbonat-Ionen zu, und wenn genügend Kalzium-Ionen vorhanden sind, ist das Wasser in Bezug auf Kalziumkarbonat gesättigt. Wenn das Produkt der Konzentrationen von Calcium- und Carbonationen das Löslichkeitsprodukt von Calciumcarbonat übersteigt, wird die Lösung übersättigt, und Calciumcarbonat beginnt, aus der Lösung auszufallen (mehr zu diesem Thema im Abschnitt Calcium weiter unten).



In Anbetracht all dessen können Aquarianer durch die Aufrechterhaltung eines optimalen pH-Werts zwischen 8,2 und 8,4 und das Verständnis der Faktoren, die den pH-Wert beeinflussen, die Gesundheit und Langlebigkeit der ihnen anvertrauten Korallenriffe erheblich verbessern. Regelmäßige Kontrollen und eine angemessene Bewirtschaftung sind für die Erhaltung lebendiger und widerstandsfähiger Korallenökosysteme unerlässlich.

## Wie man die richtigen pH-Werte erreicht

Es gibt mehrere Möglichkeiten, den pH-Wert zu steuern; H2P™ wurde jedoch speziell entwickelt, um Riffhaltern die Möglichkeit zu geben, den pH-Wert zusammen mit der Alkalinität zu erhalten und zu steuern. Die oben beschriebene Anwendung ist wahrscheinlich die zuverlässigste und präziseste Methode zur Steuerung des pH-Werts.

## Alkalinität

### Die Grundlagen - was ist Alkalinität?

Die Alkalinität ist ein wichtiger Parameter in der Wasserchemie, insbesondere in aquatischen Systemen wie Korallenriffen und Aquarien. Die strengsten Definitionen der Alkalinität beruhen notwendigerweise auf Säure-Base-Gleichgewichten und stellen die Fähigkeit des Wassers dar, pH-Änderungen zu widerstehen, indem es Säuren neutralisiert.

Anstatt jedoch mit einer Definition der Alkalinität zu beginnen, ist es vielleicht intuitiver, zunächst die Veränderungen zu betrachten, die während der Titration des Wassers mit einer starken Säure stattfinden.

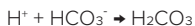
Bei einer so genannten „acidimetrischen“ Titration wird eine starke Säure zu einer Lösung gegeben, bis alle wässrigen Spezies, die Protonen aufnehmen können, vollständig in ungeladene Spezies umgewandelt sind. Wenn diese „Protonenakzeptoren“, oder allgemeiner gesagt, Basen, im Verhältnis zu den „Protonendonatoren“ (d. h. Säuren mit relativ großen Dissoziationskonstanten) in zu hohen Konzentrationen vorhanden sind, wird ein Teil



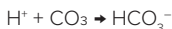
des während der Titration zugegebenen  $H^+$  verbraucht, was zu einer charakteristischen Beziehung zwischen der zugegebenen Säuremenge und dem resultierenden pH-Wert führt.

Mit anderen Worten: Während der Zugabe der Säure binden sich vor allem Bikarbonat, Karbonat und andere kleinere Komponenten an das von der Säure zugegebene  $H^+$  und neutralisieren es. Diese Neutralisierung erfolgt, indem Bikarbonat in Kohlensäure und Karbonat in Bikarbonat umgewandelt wird.

Bikarbonat wird wie folgt in Kohlensäure umgewandelt:



Carbonat wird wie folgt in Bicarbonat umgewandelt:



Wie wir oben sehen, besteht die Alkalinität in erster Linie aus Bicarbonat- ( $HCO_3^-$ ), dann aus Carbonat- ( $CO_3^{2-}$ ) Ionen und zu einem viel geringeren Teil aus anderen, weniger wichtigen Bestandteilen wie Borsäure und Boraten ( $H_3BO_3$  und  $BO_3^{3-}$ ), Hydroxid ( $OH^-$ ), Silikat ( $SiO_4^{4-}$ ), Phosphate ( $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ ), Ammoniak ( $NH_3$ ) und Ammonium ( $NH_4^+$ ), die alle zur so genannten anorganischen Alkalität beitragen.

Es gibt jedoch noch eine andere Form der Alkalinität: die organische Alkalinität, die organischen Säuren wie Fulvosäure, Huminsäure, Essigsäure und anderen Carbonsäuren sowie deren konjugierten Basen zugeschrieben wird. Diese Säuren können in unseren Aquarien vorkommen und stammen aus der Zersetzung organischer Stoffe, tragen aber nicht so stark wie die anorganischen „Gegenspieler“ zur Gesamtalkalität bei.

Zusammen bilden sie das, was als Gesamtalkalität (oder Titrationsalkalität) bekannt ist, oder was wir in der Aquaristik allgemein als Alkalinität bezeichnen. Betrachtet man diese Alkalinitätskomponenten und die Reaktionen im Meerwasser, so sind diese Hauptbestandteile bei einem pH-Wert von 4,5 in der Regel neutralisiert worden. An diesem Punkt kann die zum Erreichen des Titrationsendpunkts verwendete Säuremenge zur





Berechnung der Gesamtalkalität der Meerwasserprobe verwendet werden.

Diese wird in der Regel als Kalziumkarbonat-Äquivalent ( $\text{CaCO}_3$ ) in Milligramm pro Liter (mg/L), als Milliäquivalent pro Liter (meq/L) oder als Karbonathärtegrad (dKH) angegeben.

Letzteres ist die unter Aquarianern gebräuchlichste Maßeinheit.

In Anbetracht der wichtigsten Faktoren, die zur Alkalinität im Meerwasser eines Aquariums beitragen, kann die Alkalinität in der Praxis jedoch vereinfachend durch die folgenden Formeln ausgedrückt werden:

$$\text{Alkalinität (in meq/L)} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{B(OH)}^-] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]$$

Da die Alkalinität in unserem Hobby sehr häufig in dKH ausgedrückt wird, können wir zur Umrechnung der Alkalinität von meq/L in dKH folgende Formeln verwenden:

$\text{dKH} = \text{Alkalinität (meq/L)} / 0,357$  und somit entsprechen 2,5 meq/L ungefähr 7dKH Alkalinität.

Aber warum ist die Alkalinität wichtig?

Vor allem Korallen nehmen Kalziumionen ( $\text{Ca}^{2+}$ ) und Karbonationen ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) aus dem Meerwasser über ihre äußere Zellschicht (Epithel) auf. Die Ionen werden dann in den Kalzifizierungsraum (subcalicoblastic space) zwischen dem Korallengewebe und dem vorhandenen Skelett transportiert. Im Kalkraum verbinden sich Kalzium- und Karbonat-Ionen zu Kalziumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), das als Aragonitkristalle ausfällt und das Korallenskelett bildet.

Daher ist die Alkalinität ein kritischer Parameter in Riffaquarien (und Riffen auf der ganzen Welt), der eine wichtige Rolle bei der Erhaltung der Gesundheit und Stabilität von Korallenriff-Ökosystemen spielt. Er beeinflusst verschiedene biochemische Prozesse, darunter, wie bereits erwähnt, die



Kalzifizierung, die pH-Stabilität und die allgemeine Karbonatchemie des Wassers, die alle für das Wachstum und die Widerstandsfähigkeit von Korallen und anderen Meeresorganismen unerlässlich sind. Ohne Karbonationen wäre das Wachstum von Korallen und letztlich ihr Leben, wie wir es kennen, nicht möglich.

### Alkalinität, welche Werte?

Die Alkalinität schwankt weltweit aus einer Reihe unterschiedlicher Gründe, darunter die Jahreszeiten, die den Wasserkreislauf beeinflussen, die Nähe zur Küste aufgrund von Landeinträgen und Flüssen, Tiefe sowie geologische Prozesse aufgrund von hydrothermalen Quellen und Sedimentwechselwirkungen, Meeresströmungen und andere Faktoren. Dennoch schwankte die Gesamtalkalität nach Untersuchungen an 14 küstennahen Riffen des GBR über einen Zeitraum von zwei Jahren zwischen 2069  $\mu\text{mol/kg}$  und 2360  $\mu\text{mol/kg}$  (entspricht 5,79 und 6,61 dKH). Im Roten Meer, wo die Alkalinität im Vergleich zu anderen ozeanischen Regionen etwas höher ist, liegt sie zwischen 2250  $\mu\text{mol/kg}$  und 2500  $\mu\text{mol/kg}$  (entspricht 6,3 bis 7 dKH). In anderen küstennahen Gebieten des Indischen Ozeans schwanken die Werte zwischen etwa 2200  $\mu\text{mol/kg}$  und 2360  $\mu\text{mol/kg}$  (entspricht 6,16 bis 6,61 dKH). Der Pazifische Ozean schwankt zwischen 2200  $\mu\text{mol/kg}$  und 2400  $\mu\text{mol/kg}$  (entspricht 6,16 und 6,72 dKH) und der Atlantische Ozean zwischen 2180  $\mu\text{mol/kg}$  und 2450  $\mu\text{mol/kg}$  (entspricht 6,10 und 6,86 dKH).

Die oben genannten Werte weisen regionale (die größten Unterschiede treten in verschiedenen Breitengraden auf) und saisonale Schwankungen auf. Betrachtet man jedoch die normalisierte Gesamtalkalität (NTA), die in der chemischen Ozeanografie zur Bewertung und zum Vergleich der Alkalinität des Meerwassers in verschiedenen Regionen und unter verschiedenen Bedingungen verwendet wird und Schwankungen des Salzgehalts berücksichtigt, so ergibt sich folgende Formel:

$$\text{NTA} = \text{TA} \times \frac{35}{S}$$



Dabei ist TA die gemessene Gesamtalkalität und S der gemessene Salzgehalt. Durch Multiplikation der TA mit dem Verhältnis der Standardsalinität (35 PSU) zur tatsächlichen Salinität wird die Alkalinität normalisiert, und wir können feststellen, dass die Durchschnittswerte zwischen dem Indischen und dem Atlantischen Ozean ähnlich sind, d. h. 2291  $\mu\text{mol/kg}$  (entspricht 6,41 dKH) und nur geringfügig höher für die Durchschnittswerte des Pazifischen Ozeans mit 2300  $\mu\text{mol/kg}$  (entspricht 6,44 dKH).

Wenn wir die obigen Zahlen betrachten, stellen wir fest, dass sich die Alkalinitätswerte in den Riffen und Ozeanen auf der ganzen Welt deutlich von den Werten unterscheiden, die wir in unseren Aquarien oft halten. Das Minimum liegt bei 5,79 dKH und das Maximum bei 7 dKH, und wenn der Salzgehalt auf 35ppt normalisiert wird, liegt die Alkalinität zwischen 6,415 und 6,44 dKH.

Somit kann man mit Sicherheit sagen, dass Korallen in der Natur bei weitem nicht an die Alkalinitäten gewöhnt sind, die wir in unseren Aquarien im Allgemeinen aufrechterhalten. Unser Ansatz besteht darin, den Korallen eine möglichst naturnahe Umgebung zu bieten und gleichzeitig einen guten pH-Wert, ein gutes Wachstum und eine gute Gesundheit der Korallen sowie einen leicht erhöhten Wert zu gewährleisten, um Ausfälle durch Menschen und Geräte zu vermeiden.

Daher sollten wir bei der Verwendung des R2P-Dosiersystems einen Alkalitätsbereich zwischen 6,5 und 7,5 dKH anstreben. Während dieser Bereich die Alkalinität etwas über das ozeanische Niveau anheben kann, wird ein angemessenes pH-Management (innerhalb der von uns empfohlenen Werte) mit diesen Alkalinitätswerten die optimale langfristige Gesundheit und das Wachstum unserer Korallen sicherstellen und gleichzeitig Probleme wie Kalziumkarbonatausfällungen vermeiden.

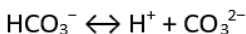
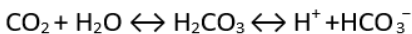
## Die verschiedenen Alkalitätsquellen und der pH-Wert

Wie wir oben gesehen haben, ist die Aufrechterhaltung eines naturnahen Alkalinitätsbereichs zusammen mit dem richtigen pH-Wert in einem Riffaquarium entscheidend für die Gesundheit und Stabilität des



Ökosystems. Bei der Entscheidung für eine Alkalinitätsquelle zur Erhöhung der Alkalinität ist es daher wichtig, die Auswirkungen der verschiedenen Quellen auf den pH-Wert zu berücksichtigen.

Um die Beziehung zwischen Bikarbonat und Karbonat und dem pH-Wert zu verstehen, müssen wir uns ansehen, wie sich das Karbonatsystem im Salzwasser verhält, d. h. wir müssen die chemischen Gleichgewichte im Meerwasser und damit die wichtigsten Reaktionen in der Karbonatchemie verstehen. Diese sind:



Wenn sowohl Bicarbonat als auch Carbonat zu Wasser gegeben werden, können sie sowohl als Säure als auch als Base wirken, da sie amphotere Spezies sind. Allerdings sind die pH-Bedingungen für die verschiedenen Reaktionen sehr unterschiedlich, und Karbonat würde einen pH-Wert von deutlich über 10 erfordern, um als Säure zu wirken, während Bikarbonat einen deutlich niedrigeren pH-Wert benötigen würde.

Eine weitere bekannte Alkalitätsquelle, die in der Aquaristik seit vielen Jahren verwendet wird, ist Hydroxid. Am bekanntesten ist Calciumhydroxid, d. h. Kalkwasser, das seit Jahrzehnten in Aquarien verwendet wird. Es werden jedoch auch andere Formen von Hydroxid verwendet. Im Gegensatz zu den beiden anderen Alkalitätsquellen ist Hydroxid nicht amphoter. Damit  $\text{OH}^-$  als Säure wirken kann, müsste ein Proton abgegeben werden.  $\text{OH}^-$  gibt jedoch keine Protonen ab, sondern nimmt sie auf. Daher kann es nur den pH-Wert erhöhen und wird daher als starke Base eingestuft.

Vergleichen wir nun die Auswirkungen der verschiedenen Alkalinitätsquellen auf den pH-Wert anhand einiger Beispiele aus der Praxis.



## Bikarbonat

Nehmen wir an, wir haben ein 500-Liter-Aquarium mit einem pH-Wert von 8,2 und einer stabilen Anfangskonzentration von  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  und  $\text{CO}_2$  (aq) im Gleichgewicht, dem wir 250 mmol Bikarbonat hinzufügen.

Durch die Zugabe von Bicarbonat verschieben sich die Gleichgewichte, und ein Teil des Bicarbonats wird sich in Carbonat und Wasserstoffionen umwandeln, was sich auf den pH-Wert auswirkt, aber wir wollen sehen, wie.

Um die Konzentration zu ermitteln, die sich ergibt, wenn man 250 mmol Bikarbonat zu 500 l Salzwasser hinzufügt, müssen wir die folgende Gleichung aufstellen:

$$C = \frac{\text{Total mmol}}{\text{Volume L}} \Leftrightarrow C = \frac{250 \text{ mmol}}{500\text{L}} \Leftrightarrow C = 0.5 \text{ mmol/L}$$

Die Zugabe von 250 mmol Bikarbonat in 500 l Salzwasser entspricht also einer Zugabe von 0,5 mmol/l.

Verwenden wir nun die untenstehende Henderson-Hasselbalch-Gleichung, um die Auswirkungen auf den pH-Wert zu verstehen:

$$\text{pH} = \text{pK}_2 + \log \left( \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \right)$$

Im Meerwasser beträgt der Wert  $\text{pK}_2$  für die Dissoziation von Bicarbonat zu Carbonat bei 25°C etwa 9,1, und wir können davon ausgehen, dass die Anfangskonzentration von Bicarbonat und Carbonat im Meerwasser bei einem pH-Wert von 8,2  $\text{HCO}_3^- \approx 1,8 \text{ mmol/L}$  (millimolar/L) und  $\text{CO}_3^{2-} \approx 0,2 \text{ mmol/L}$  beträgt.

Durch die Zugabe von Bicarbonat erhöht sich dessen Konzentration um 0,5 meq/L, so dass die neue  $\text{HCO}_3^-$  Konzentration 2,3 mmol/L beträgt (d. h.  $\text{HCO}_3^- = 1,8 \text{ mmol/L} + 0,5 \text{ mmol/L}$ ).



Berechnen wir nun die pH-Verschiebung, um das Gleichgewicht aufrechtzuerhalten:

$$\text{pH} = 9.1 + \log\left(\frac{0.2\text{mM}}{2.3\text{mM}}\right) \Leftrightarrow \text{pH} \approx 9.1 + \log(0.087) \Leftrightarrow \text{pH} \approx 9.1 - 1.06 \Leftrightarrow \text{pH} \approx 8.04$$

Mit der obigen mathematischen Rechnung können wir eindeutig zeigen, dass die Verwendung von 0,5 meq/l Bikarbonat als Alkalinitätsquelle in einem 500-Liter-System mit einem idealen pH-Wert von 8,2 den pH-Wert des Systems auf einen suboptimalen Wert von etwa 8,04 absenkt.

## Karbonat

Schauen wir uns nun an, was passiert, wenn wir statt Bicarbonat unter den gleichen Bedingungen Carbonat verwenden.

Wenn wir also die obige Umrechnung verwenden, entspricht die Zugabe von 250 mmol Karbonat zu 500 l Meerwasser der Zugabe von 0,5 mmol/l Karbonat.

In ähnlicher Weise müssen wir wieder die Henderson-Hasselbalch-Gleichung anwenden:

$$\text{pH} = \text{p}K_2 + \log\left(\frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}\right)$$

Unter den gleichen Ausgangsbedingungen beträgt der pK<sub>2</sub>-Wert bei 25°C also immer noch etwa 9,1, und entsprechend sollten wir davon ausgehen, dass die Anfangskonzentration von Bicarbonat und Carbonat im Meerwasser bei einem pH-Wert von 8,2  $\text{HCO}_3^- \approx 1,8 \text{ mmol/L}$  und  $\text{CO}_3^{2-} \approx 0,2 \text{ mmol/L}$  beträgt. Mit der Zugabe von 0,5 mmol/L  $\text{CO}_3^{2-}$  erhalten wir also etwa 0,7 mmol/L Karbonat:



$$\text{pH} = 9.1 + \log\left(\frac{0.7\text{mM}}{1.8\text{mM}}\right) \Leftrightarrow \text{pH} \approx 9.1 + \log(0.389) \Leftrightarrow \text{pH} \approx 9.1 - 0.41 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \text{pH} \approx 8.6898$$

Diesmal ist der gegenteilige Effekt auf den pH-Wert deutlich zu erkennen: Wird Karbonat verwendet, steigt der pH-Wert des Aquariums an.

## Hydroxid

Wie bereits erwähnt, ist Hydroxid eine starke Base. Als solche verhält es sich nicht wie Bicarbonat oder Carbonat, da es nur den pH-Wert erhöhen kann. Aus diesem Grund kann Hydroxid verwendet werden, wenn wir den pH-Wert in unseren Aquarien deutlich erhöhen müssen. Es gibt jedoch einige Fragen dazu, z. B. wann, wie viel und was passiert, wenn wir Hydroxid anstelle von Bikarbonat oder Karbonat dosieren?

Bevor wir zeigen, um wie viel eine bestimmte Dosis Hydroxid den pH-Wert unter den oben genannten Bedingungen erhöht, ist es wichtig zu verstehen, warum Hydroxid eine starke Base ist. Dies ist leicht zu erklären.

Wenn Hydroxid (OH<sup>-</sup>) ins Meerwasser gegeben wird, tritt es mit verschiedenen Bestandteilen des Meerwassers in Wechselwirkung, was zur Bildung verschiedener Spezies führt. Die wichtigsten Reaktionen betreffen das Karbonatsystem, zu dem gelöstes Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Kohlensäure (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), Bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) und Karbonat (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)gehören. Diese Reaktionen sind wie folgt:

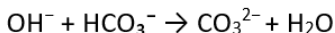
Reaktion mit Kohlensäure





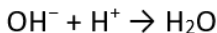
Hier reagiert das Hydroxid mit der Kohlensäure zu Bikarbonat und Wasser.

Reaktion mit Bikarbonat:



Hydroxid reagiert mit Bikarbonat zu Karbonat und Wasser.

Reaktion mit Wasserstoffionen:



Hydroxid neutralisiert Wasserstoffionen und bildet Wasser, wodurch der pH-Wert des Meerwassers steigt.

Wie wir sehen können, reagiert Hydroxid, wenn es ins Meerwasser gegeben wird, in erster Linie mit Wasserstoff, Kohlensäure, Bikarbonat und Karbonat, und es entstehen drei Spezies/Elemente, d.h. Wasser, Bikarbonat und Karbonat.

Schauen wir uns also an, was passiert, wenn wir ein ähnliches Szenario wie das zuvor besprochene haben, bei dem wir davon ausgehen, dass wir ein 500-Liter-Aquarium bei 25°C mit einem pH-Wert von 8,2 und einer stabilen Anfangskonzentration von  $\text{HCO}_3^- \approx 1,8 \text{ mM}$ ,  $\text{CO}_3^{2-} \approx 0,2 \text{ mM}$  und  $\text{H}^+ \approx 6,31 \times 10^{-9} \text{ M}$  haben, dem wir 250 mmol (0,5 mmol/L) Hydroxid hinzufügen.

Da 1 mmol  $\text{OH}^-$  1 mmol  $\text{H}^+$  neutralisiert und die zugegebene Menge an  $\text{OH}^-$  (0,5 mmol/L) viel größer ist als die anfängliche  $\text{H}^+$ -Konzentration ( $6,31 \times 10^{-9} \text{ M}$ ), wird das anfängliche  $\text{H}^+$  fast vollständig neutralisiert und die Hydroxid-konzentration ändert sich praktisch nicht:

$$\text{New } [\text{OH}^-] = [\text{OH}^-]_{\text{Added}} - [\text{H}^+]_{\text{Initial}} \Leftrightarrow \text{New } [\text{OH}^-] = 6.31 \times 10^{-9} \text{ M} - 0.5 \times 10^{-3} \text{ M} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \text{New } [\text{OH}^-] = 4.9999369 \times 10^{-4} \text{ M} \Leftrightarrow \text{New } [\text{OH}^-] \approx 0.5 \times 10^{-3}$$





Da  $\text{OH}^-$  mit  $\text{HCO}_3^-$  unter Bildung von  $\text{CO}_3^{2-}$  und  $\text{H}_2\text{O}$  reagiert, sinkt die Konzentration von  $\text{HCO}_3^-$ :

$$\text{New } [\text{HCO}_3^-] = 1,8 \text{ mM} - 0,5 \text{ mM} \quad \text{New } [\text{HCO}_3^-] = 1,3 \text{ mM}$$

Umgekehrt steigt die  $\text{CO}_3^{2-}$ -Konzentration aufgrund des Beitrags der  $\text{OH}^-$  und  $\text{HCO}_3^-$  Reaktion um 0,5 mM:

$$\text{New } [\text{CO}_3^{2-}] = 0,2 \text{ mM} + 0,5 \text{ mM} \quad \text{New } [\text{CO}_3^{2-}] = 0,7 \text{ mM}$$

Nun können wir die Henderson-Hasselbalch-Gleichung verwenden, um den neuen pH-Wert zu ermitteln:

$$\text{pH} = \text{p}K_2 + \log \left( \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \right)$$

Angenommen  $\text{p}K_2$  ist ungefähr 9,1, haben wir:

$$\text{pH} = 9,1 + \log \left( \frac{0,7 \text{ mM}}{1,3 \text{ mM}} \right) \Leftrightarrow \text{pH} \approx 9,1 + \log(0,538) \Leftrightarrow \text{pH} \approx 9,1 - 0,2688 \Leftrightarrow \text{pH} \approx 8,83$$

Unter Berücksichtigung der obigen Ausführungen, die zwar nur eine Annäherung an die tatsächlichen Vorgänge in situ darstellen, können wir eindeutig feststellen, dass Hydroxid die Alkalinitätsquelle ist, die den pH-Wert bei ähnlicher Dosierung am stärksten erhöht, gefolgt von Karbonat und Bikarbonat, wobei letzteres je nach den Bedingungen den pH-Wert sogar senken kann.



## Alkalinität, aber welche Quellen sollten wir verwenden?

Wenn wir die obigen Ausführungen betrachten, können wir eindeutig entscheiden, welche Karbonatquellen wir verwenden, wie und wann wir sie verwenden.

Um diese Frage zu beantworten, müssen wir den gesamten Kontext betrachten, d.h. was wir erreichen wollen, welche Tiere wir halten und welche Anforderungen sie haben. Wichtig ist natürlich auch die Meerwasserchemie, d.h. der pH-Wert, Alkalinitätsgrad, Temperatur, die wir aufrechterhalten, und einige andere Werte, die wir zwar noch nicht behandelt haben, aber weiter unten besprechen werden, wie z.B. die Makroelemente und die Nährstoffwerte.

Sobald ein Alkalinitätswert mit Hilfe von Karbonat oder Bikarbonat festgelegt und erreicht ist, sollte man die verschiedenen Alkalinitätsquellen mit einem intelligenten Ansatz kombinieren, um den idealen pH-Wert zu erreichen.

Lassen Sie uns dies anhand eines einfachen Beispiels veranschaulichen, das keine mathematischen Berechnungen beinhaltet. Wir gehen also nur von hypothetischen pH-Werten aus, die lediglich dazu dienen sollen, die Überlegungen zu veranschaulichen, die bei der Auswahl der verschiedenen Alkalinitätsquellen angestellt werden sollten.

Nehmen wir an, dass wir ein 500-Liter-Aquarium haben und dass wir zur Aufrechterhaltung einer Alkalinität von 2,5 meq/L (d.h. 7 dKH) stündlich 50 ml einer Bikarbonat-Alkalinitätslösung über 24 Stunden dosieren.

Unter den besonderen Bedingungen des Aquariums liegt der pH-Wert nachts bei 7,8 und tagsüber bei 8,0 in der Spitze. Die einfachste Lösung (wenn auch nicht unbedingt die optimale) wäre ein direkter Austausch des Bikarbonats durch Karbonat oder sogar Hydroxid.

Nehmen wir also an, dass wir das Bikarbonat direkt durch eine Hydroxidlösung ersetzt haben, die die gleiche Menge an Alkalinität liefert und den Alkalinitätswert auf dem gleichen Niveau stabil hält.



Nehmen wir hypothetisch an, dass der pH-Wert durch den Austausch nun 8,3 am niedrigsten Punkt (während der Nacht) und 8,7 am höchsten Punkt während des Tages beträgt.

Wenn man sich die pH-Werte ansieht, kann man nach allem, was bisher besprochen wurde, sagen, dass der pH-Wert leicht über den idealen Werten liegt, die man im Aquarium beibehalten sollte.

Da wir wissen, dass Karbonat einen geringeren Einfluss auf den pH-Wert hat als Hydroxid, ersetzen wir nun die 25 ml des Hydroxids, das während der 12 Stunden des Tages dosiert wird, durch 25 ml einer Karbonatlösung mit der gleichen Alkalinitätskonzentration. Auf diese Weise wird der pH-Wert theoretisch sinken, allerdings mit einem Schwerpunkt während des Tages, und das Endergebnis wird in etwa ein pH-Wert von 8,3 während der Nacht und 8,5 in der Spitze während des Tages sein. Wenn dieser pH-Bereich immer noch etwas höher ist als gewünscht, können wir einen Teil des Karbonats durch Bikarbonat ersetzen oder mischen. Wir sollten nun in der Lage sein, den pH-Wert weiter zu optimieren und einen pH-Wert zwischen 8,2 und 8,4 zu erreichen.

Obwohl es sich bei diesen pH-Werten nur um hypothetische Werte handelt, können wir damit veranschaulichen, wie die verschiedenen Alkalinitätsquellen verwendet werden können, um den pH-Wert in unseren Becken zu manipulieren und einen idealen pH-Bereich zu erreichen. Dies ist etwas, was das H2P™-Dosiersystem tut.

### **Alkalinitätsquellen: verursachen die verschiedenen Quellen langfristige Probleme?**

In letzter Zeit sind mehrere wissenschaftlich nicht belegte Behauptungen über Karbonat und Hydroxid aufgetaucht. Diese wurden mit dem „Old Tank Syndrome“ (OTS) in Verbindung gebracht, einem Begriff, für den es keine klare wissenschaftliche Definition gibt und der nur grob beschrieben wurde. Es hat den Anschein, dass diese Behauptungen aus rein kommerziellen Gründen aufgestellt wurden, ohne das Wohlbefinden der Aquarienorganismen oder andere relevante Faktoren zu berücksichtigen.



Um auf diese Behauptungen einzugehen, ist es wichtig, die Rolle von Bikarbonat, Karbonat und Hydroxid als Alkalitätsquellen in Meerwasseraquarien zu untersuchen. Eine Überprüfung der vorangegangenen Abschnitte zeigt, dass diese Behauptungen in der Tat nicht wissenschaftlich fundiert sind.

Um diese Behauptungen zu entkräften, müssen wir erst einmal verstehen, was es mit OTS auf sich hat. Dieser Begriff bezieht sich auf die Verschlechterung der Wasserqualität in alteingesessenen Aquarien aufgrund von angesammelten Schadstoffen und verminderter biologischer Filterleistung, die oft auf vernachlässigte Pflege und Haltung zurückzuführen ist. Dieser Rückgang kann unter anderem zu unerklärlichen langsamen Gewebenekrosen (STN) und schnellen Gewebenekrosen (RTN) bei Korallen führen (d. h. ihrem langsamen oder schnellen Gewebetod).

Obwohl es für OTS keine formale wissenschaftliche Definition gibt, leisten wir einen empirischen Beitrag zu ihrem Verständnis. Wie im Abschnitt Voraussetzungen dieses Handbuchs erörtert, führt eine unzureichende „Infrastruktur“ im Laufe der Zeit wahrscheinlich zu einer Anhäufung von organischem Material und Schadstoffen im Aquariensubstrat oder im Refugium.

Dieses organische Material stellt eine Nahrungsquelle für Bakterien und andere Mikroorganismen dar. Aerobe Bakterien zersetzen organisches Material zunächst in Gegenwart von Sauerstoff, wobei Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) und andere Nebenprodukte entstehen. In Zonen mit schlechter Wasserzirkulation kann es jedoch zu einer Verknappung des Sauerstoffs kommen.

Wenn der Sauerstoffgehalt sinkt, können aerobe Bakterien nicht überleben, und es entstehen anaerobe Bedingungen. Anaerobe Bakterien, die ohne Sauerstoff gedeihen, übernehmen den Zersetzungsprozess. Unter diesen Bedingungen nutzen sulfatreduzierende Bakterien (SRB) wie *Desulfovibrio* und *Desulfotomaculum Sulfat* ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) als Elektronenakzeptor anstelle von Sauerstoff. Diese Bakterien reduzieren im Rahmen ihres Stoffwechsels



Sulfat zu Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ), und zwar nach der folgenden chemischen Reaktion:

$\text{SO}_4^{2-} + \text{organisches Material} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{CO}_2 + \text{andere Nebenprodukte}$   
Schwefelwasserstoffgas ( $\text{H}_2\text{S}$ ) entsteht als Nebenprodukt der Sulfatreduktion. Dieses Gas kann sich im Substrat ansammeln, insbesondere in Bereichen wie Deep Sand Beds, tieferen Gesteinsschichten, Bereichen mit schlechtem Wasserstand oder ungenutzten (ohne Wasserstand) Medienreaktoren, die mit verbrauchten Medien und Detritus zurückgelassen werden. Das Vorhandensein von Schwefelwasserstoff wird oft durch einen charakteristischen Geruch nach faulen Eiern angezeigt und ist extrem giftig für Fische, Korallen und andere Wasserorganismen. Bei Störungen (oder wenn ein Reaktor in Betrieb genommen wird, ohne dass die alten Medien ausgetauscht und gereinigt wurden) wird Schwefelwasserstoff freigesetzt, was oft katastrophale Folgen hat.

Dieses Problem trägt in Verbindung mit übermäßigen organischen Verbindungen, Nitrat, Phosphat und anderen Schadstoffen zum so genannten Old-Tank-Syndrome bei. Es ist klar, dass die verschiedenen Alkalinitätsquellen wie Bikarbonat, Karbonat oder Hydroxid nichts mit dem Old-Tank-Syndrome zu tun haben. Die Behauptung, dass diese Stoffe für das Aquarium gefährlich sind, dient nur einem zweifelhaften kommerziellen Zweck.

Wenn Riffhalter jedoch eine klare und strenge Praxis einhalten, um alle Bereiche des Aquariums frei von Detritus zu halten, wird das Old-Tank-Syndrome nicht auftreten, weder heute noch in 10 oder 20+ Jahren, unabhängig von der verwendeten Alkalinitätsquelle.

**Letzte Überlegungen zu  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  und  $\text{OH}^-$**



Das Verständnis der obigen Ausführungen ist wichtig, um zu entscheiden, welche Alkalinitätsquelle verwendet werden soll, aber es sollten noch weitere Überlegungen angestellt werden.

Die Verwendung jeder dieser Quellen ist sicher, vorausgesetzt, man verwendet sie in angemessener Weise und hält Werte ein, die mit der Wasserchemie vereinbar sind, die für die Haltung der von uns gepflegten Tiere erforderlich ist.

Bei kontinuierlicher Verwendung von Bikarbonat kann der pH-Wert wahrscheinlich gesenkt werden. Die Verwendung von Karbonat und Hydroxid auf die gleiche Weise trägt erheblich zur Erhöhung des pH-Werts bei, und die Kombination all dieser Quellen in einer intelligenten Dosierungsstrategie kann uns dabei helfen, die angestrebten Alkalinitäts- und pH-Werte aufrechtzuerhalten, die am besten für die Tiere geeignet sind.

## **Makro, Spurenelemente und Nährstoffe**

Bergman definierte 1779 die ersten chemischen Eigenschaften des Meerwassers. Später, im Jahr 1819, schlug Marcet vor, dass die Zusammensetzung des Meersalzes nahezu konstant ist, d. h. dass alle Arten von Meerwasser auf der ganzen Welt die gleichen Bestandteile in praktisch den gleichen Anteilen aufweisen. Dana Kester von der University of Rhode Island nannte dies später das erste Gesetz der Ozeanographie.

Ausgehend von dieser Erkenntnis wurden die Elemente je nach ihrer Konzentration und ihrer Rolle in den marinen Ökosystemen in Hauptelemente (Makroelemente) und Spurenelemente eingeteilt. Innerhalb der Spurenelemente können wir sie jedoch je nach ihrer Konzentration noch einmal in Neben- und Spurenelemente unterteilen.

Makroelemente sind Elemente, die in relativ hohen Konzentrationen (d. h.  $>1$  mg/L oder ppm) im Meerwasser vorkommen und für die biologischen Prozesse der Meeresorganismen unerlässlich sind.

Diese Elemente werden in größeren Mengen benötigt und spielen eine



entscheidende Rolle bei strukturellen und physiologischen Funktionen. Kalzium und Magnesium sind beispielsweise für die Skelettstruktur von Korallen und Muscheln wichtig, während Natrium und Chlorid für die osmotische Regulierung unerlässlich sind.

Spurenelemente kommen in sehr viel geringeren Konzentrationen vor als Makroelemente ( $< 1 \text{ mg/L}$ , aber typischerweise in sehr viel geringeren Mengen, d. h.  $< 200 \text{ } \mu\text{mol/L}$  oder ppb). Dennoch sind sie für die Gesundheit und das Funktionieren der Meeresökosysteme von wesentlicher Bedeutung.

Auch wenn Spurenelemente nur in extrem geringen Mengen benötigt werden, sind sie für die Stoffwechselprozesse von Meeresorganismen von entscheidender Bedeutung. Defizite oder Ungleichgewichte können zu einer Beeinträchtigung des Wachstums, der Fortpflanzung und der allgemeinen Gesundheit des Meereslebens führen.

Das H2P™-Dosiersystem von Reef Zlements konzentriert sich auf die kontinuierliche Versorgung mit optimierten Mengen an Makro- und Spurenelementen, um die besten Bedingungen für alle Tiere im Aquarium zu gewährleisten.

## Makroelemente

### Bor

Bor (B) ist ein Makroelement, das im Meerwasser als Borsäure und Borat vorkommt. Im Gegensatz zu Natrium, Chlorid, Magnesium, Schwefel und anderen Makroelementen hat es eine relativ geringe Konzentration von etwa  $4,5 \text{ mg/L}$ . Wie wir im Abschnitt über die Alkalinität gesehen haben, trägt Bor im Meerwasser zur Alkalinität bei und spielt durch seine Speziation zwischen Borsäure und Borat-Ionen eine wichtige Rolle bei der Regulierung des pH-Werts.

Korallenarten wie *Cladocora caespitosa* und andere zeigen eine starke Abhängigkeit des pH-Wertes von der Isotopenzusammensetzung des Bors. Diese Beziehung hilft den Korallen, den internen pH-Wert zu regulieren, der



für die Kalkbildung entscheidend ist.

Die Systematik der Borisotope zeigt, dass Korallen ihren internen pH-Wert hochregulieren können, um mit der Versauerung des Ozeans und dem niedrigeren pH-Wert fertig zu werden. Dieser Prozess ermöglicht es den Korallen, einen erhöhten pH-Wert in ihrer internen Kalzifizierungsflüssigkeit (pH<sub>cf</sub>) aufrechtzuerhalten, der für die Kalzifizierung selbst bei niedrigen Karbonat-Ionen-Konzentrationen entscheidend ist.

Experimente mit *Acropora* sp. zeigen, dass die Bor-Isotopenzusammensetzung in Korallenskeletten von Umweltfaktoren wie dem pCO<sub>2</sub>-Gehalt beeinflusst wird. Dies deutet darauf hin, dass Korallen Bor nutzen, um sich an wechselnde Umweltbedingungen anzupassen, was für ihr Überleben in sich verändernden Umgebungen unerlässlich ist.

Bor ist an der Stabilisierung von Molekülen und Zellmembranfunktionen beteiligt und beeinflusst die Nährstoffaufnahme und die allgemeine Gesundheit. Dies ist entscheidend für die Aufrechterhaltung der physiologischen Integrität der Korallen.

Bor ist auch an der bakteriellen Aktivität beteiligt und spielt eine Rolle beim Eisentransport in Meereslebewesen, indem es die Fe<sup>3+</sup> Sequestration durch die Meeresbakterien erleichtert.

Der pH-Wert des Aquarienwassers kann die Verfügbarkeit und Form von Bor beeinflussen. Bei höheren pH-Werten liegt Bor vor allem als Borat-Ion vor, das leichter in Korallenskelette und andere biologische Prozesse eingebaut wird. Die Anpassung des pH-Werts im Aquarium zur Optimierung der Borverfügbarkeit ist wichtig für die Erhaltung der Gesundheit der Korallen.

Doch während Bor in den richtigen Mengen nützlich ist, können höhere Konzentrationen schädlich sein. Studien an anderen Wasserorganismen, wie z. B. dem Fisch, haben gezeigt, dass erhöhte Borkonzentrationen zu einer Bioakkumulation führen und die Enzymaktivitäten und die Lipidperoxidation beeinträchtigen können. Diese Auswirkungen könnten sich auch auf Korallen und andere Riffbewohner auswirken, wenn die Borwerte nicht sorgfältig überwacht werden.





Darüber hinaus haben empirische Beobachtungen gezeigt, dass SPS bei einem angemessenen Borgehalt im Aquarienwasser helle und metallisch glänzende Farben zeigen. Ein Borgehalt zwischen 4,5 und 6 mg/L im Riffaquarium kann den pH-Wert verbessern und die Gesundheit der Korallen unterstützen, indem er die pH-Regulierung innerhalb der Korallen und ihre Stoffwechselprozesse fördert. Es ist jedoch wichtig, einen angemessenen pH-Wert zu überwachen und aufrechtzuerhalten, um sicherzustellen, dass Bor vorteilhaft bleibt und keine toxischen Werte erreicht.

Wenn die Borwerte zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems unter dem empfohlenen Bereich liegen, empfehlen wir die Verwendung von Reef Zlements Bor, um den Wert in Einklang mit den Empfehlungen zu bringen.

## Brom

Brom (Br) kommt im Meerwasser hauptsächlich in Form von Bromidionen (Br<sup>-</sup>) vor. Unter bestimmten Bedingungen kann Bromid jedoch zu anderen Bromspezies oxidiert werden, z. B. zu hypobromiger Säure (HBrO) und Bromgas (Br<sub>2</sub>). Diese Stoffe können mit organischen und anorganischen Verbindungen reagieren und so die chemische Zusammensetzung des Meerwassers beeinflussen.

Brom ist für die Bildung bestimmter biochemischer Verbindungen in Meeresorganismen, einschließlich Korallen, unerlässlich und ist an der Synthese von halogenierten organischen Verbindungen beteiligt, die verschiedene biologische Funktionen erfüllen können, darunter Abwehrmechanismen und Stoffwechselprozesse.

Bromidionen spielen eine entscheidende Rolle als Cofaktoren bei enzymatischen Reaktionen. So ist Bromid beispielsweise für das Enzym Peroxidasin erforderlich, um die Bildung von Sulfimin-Querverbindungen in Kollagen IV zu katalysieren, das für die strukturelle Integrität und Entwicklung von Geweben in Meeresorganismen unerlässlich ist.



Es wird auch angenommen, dass es eine gute LPS/SPS-Färbung und Gesundheit unterstützt, einschließlich des fluoreszierenden Effekts, den man bei Steinkorallen sieht. Brom kann die symbiotische Beziehung zwischen Korallen und Zooxanthellen (photosynthetische Algen) beeinflussen. Es wird vermutet, dass es den Prozess der Photosynthese unterstützt, der für die Energieversorgung der Koralle entscheidend ist.

Niedrige Bromkonzentrationen führen zum Verlust von Farbe und Wachstum, insbesondere bei Weichkorallen, Gorgonien und Schwämmen. Brom bewirkt den bei Steinkorallen beobachteten Fluoreszenz-Effekt, ist für die Blaufärbung von großer Bedeutung und spielt auch eine Rolle bei den Entgiftungsprozessen im Korallengewebe. Es hilft bei der Neutralisierung schädlicher Substanzen, die sich sonst anreichern und die Koralle schädigen könnten.

Die Bromidkonzentration im Meerwasser ist relativ stabil und liegt in der Regel bei 67 mg/L. Damit ist Bromid eines der häufigeren Halogenide in der Meeresumwelt, obwohl es in viel geringeren Konzentrationen als Chlorid vorkommt.

Die Aufrechterhaltung eines angemessenen Bromgehalts ist für die allgemeine Gesundheit und Vitalität von Korallenriffen von entscheidender Bedeutung. Die Überwachung und Anpassung des Bromgehalts in Riffaquarien sollte Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgewogenes und florierendes Ökosystem zu gewährleisten. Wenn der Bromgehalt zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems unter dem empfohlenen Bereich liegt, empfehlen wir die Verwendung von Reef Elements Bromine, um den Gehalt in Einklang mit den Empfehlungen zu bringen.



## Kalzium

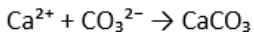
Kalzium (Ca) ist ein entscheidendes Element im Meerwasser, das für verschiedene biologische und chemische Prozesse unerlässlich ist. Es ist entscheidend für die Bildung von Skelettstrukturen in Meeresorganismen, insbesondere in Korallen, Mollusken und bestimmten Planktonarten. Kalzium steht auch in Wechselwirkung mit dem Karbonatsystem, um die Chemie des Meerwassers zu regulieren.

Der Kalziumgehalt ist entscheidend für die Gesundheit und das Wachstum von Steinkorallen, da er für den Prozess der Kalzifizierung, bei dem die Korallen ihr Kalziumkarbonat-Skelett aufbauen, unerlässlich ist. Schwankungen in der Kalziumkonzentration können das Wachstum der Korallen, die Skelettdichte und die Fähigkeit, ein Riff aufzubauen, erheblich beeinträchtigen.

Bei Korallen, die in Meerwasser mit geringerer Kalziumkonzentration aufgewachsen sind, wurden jedoch deutlich geringere Wachstumsraten und Skelettdichten festgestellt. Dies deutet darauf hin, dass Kalzium ein begrenzender Faktor für die Kalzifizierung der Korallen und die Integrität des Skeletts insgesamt ist.

Andererseits steigert eine erhöhte Kalziumkonzentration im Wasser die Kalziumbildung und die Photosynthese bei der Koralle *Galaxea fascicularis* deutlich. Im Einzelnen führte eine Erhöhung des Kalziumgehalts um 2,5 mmol/l zu einem 30-61%igen Anstieg des Kalziumeinbaus in das Skelett und zu einer 87%igen Steigerung der Photosynthese.

Calciumionen ( $\text{Ca}^{2+}$ ) verbinden sich mit Carbonationen ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) zu Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), das als Feststoff ausfällt. Dieser Prozess ist grundlegend für das Wachstum von Korallenskeletten und die Bildung von Schalen bei vielen Meeresorganismen.





Dennoch führt die übermäßige Konzentration von Kalziumionen ( $\text{Ca}^{2+}$ ) und Karbonationen ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) im Meerwasser zu einer Übersättigung, die eintritt, wenn diese Ionen das Löslichkeitsprodukt ( $K_{sp}$ ) von Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) überschreiten. Diese Bedingung begünstigt die Ausfällung von  $\text{CaCO}_3$  und führt zur Bildung von festem Calciumcarbonat. Um Ausfällungsprobleme zu vermeiden, ist es daher wichtig, dieses Konzept zu verstehen.

Das Löslichkeitsprodukt für Calciumcarbonat wird ausgedrückt als:

$$K_{sp} = [\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}]$$

Wenn  $K_{sp}$  einen bestimmten Wert erreicht, ist die Lösung übersättigt, und  $\text{CaCO}_3$  fällt aus.

Der Sättigungszustand von Kalziumkarbonat im Meerwasser wird durch  $\Omega$  dargestellt, das als das Verhältnis des Produkts der Konzentrationen von Kalzium- und Karbonationen zum Löslichkeitsprodukt von Kalziumkarbonat definiert ist:

$$\Omega = \frac{[\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}]}{K_{sp}}$$

$\Omega < 1$ : ungesättigt ( $\text{CaCO}_3$  neigt zum Lösen).

$\Omega = 1$ : Gesättigt (Gleichgewicht, keine Nettoausfällung oder -auflösung).

$\Omega > 1$ : Übersättigt ( $\text{CaCO}_3$  neigt zur Ausfällung).

Bedeutet aber  $\Omega > 1$  eine konstante Ausfällung?

Nun, nicht unbedingt, denn die tatsächliche Ausfällung von  $\text{CaCO}_3$  wird durch ein komplexes Zusammenspiel biologischer, chemischer und physikalischer Faktoren gesteuert. Diese Übersättigung wirkt wie eine



Stütze und sorgt dafür, dass Meeresorganismen, einschließlich Korallen, ihre Kalziumkarbonatstrukturen in einer stabilen Umgebung aufbauen und erhalten können.

Unter typischen Meeresbedingungen liegt der Sättigungszustand ( $\Omega$ ) für Aragonit (eine Form von  $\text{CaCO}_3$ ) oft bei etwa 3 und für Calcit (eine andere Form von  $\text{CaCO}_3$ ) kann er etwas höher sein, d. h. bei etwa 5 liegen. Diese Übersättigung zeigt an, dass das Wasser eine ausreichende Konzentration an Kalziumionen ( $\text{Ca}^{2+}$ ) und Karbonationen ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) aufweist, um die Ausfällung von  $\text{CaCO}_3$  zu unterstützen.

Wie wir sehen, kann ein höherer Kalziumgehalt für die Korallen von Vorteil sein. Es handelt sich dabei jedoch um ein feines Gleichgewicht zwischen maximaler Korallengesundheit, Wachstum und Ausfällung. Nichtsdestotrotz werden wir im Abschnitt über die empfohlenen Werte näher darauf eingehen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Aufrechterhaltung eines optimalen Kalziumspiegels für das Überleben und das Wachstum der Korallen in unseren Aquarien von entscheidender Bedeutung ist, und wir empfehlen daher, den Kalziumspiegel wöchentlich zu testen, entweder mit einem Testkit für zu Hause oder mit einem ICP-Test, um die idealen Werte einzuhalten.

## Chlor

Chlor (Cl) in Form von Chloridionen (Cl) ist der Hauptbestandteil des Meerwassers und trägt maßgeblich zu dessen Salzgehalt und Ionenstärke bei. Die Chloridkonzentration im Meerwasser beträgt in der Regel etwa 19.000 Milligramm pro Liter (mg/L). Die Konzentration kann je nach Standort und Tiefe leicht variieren, aber 19.000 mg/L ist ein allgemein akzeptierter Durchschnittswert für Meerwasser.

In Wechselwirkung mit anderen Ionen wie Natrium stabilisiert es die Meereschemie. Erhöhte Chloridwerte führen zu oxidativem Stress und Stoffwechselstörungen bei Meereslebewesen, darunter Krebstiere, Fische



und Zooplankton. Chlorid kann sich in Meeresorganismen bioakkumulieren und zu langfristigen ökologischen Auswirkungen führen, insbesondere in Gebieten mit hoher Chloridbelastung (z. B. in Küstennähe, wo Streusalz ins Meer gelangt).

Bestimmte Meeresbakterien weisen eine hohe Toleranz gegenüber Chlorid auf und tragen zum biologischen Abbau von Schadstoffen und zum Nährstoffkreislauf bei. Chloridionen interagieren mit anderen wichtigen Ionen und beeinflussen Prozesse wie Korrosion und Nährstoffkreisläufe. Abwässer aus der Meerwasserentsalzung können den Chloridgehalt erhöhen, was sich auf Korallenriffe auswirkt, indem sie eine teilweise Bleiche verursachen und die Kalziumbildungsrate verringern. Chlorid beeinträchtigt physiologische Prozesse in Meeresorganismen, wie die Enzymaktivität und die Osmoregulation, und kann die Aktivität der Kohlendioxidanhydrase in Meeresmikroalgen hemmen, was die Photosynthese beeinträchtigt.

Dennoch ist Chlorid für die Osmoregulation von entscheidender Bedeutung, da es Meeresorganismen dabei hilft, das Flüssigkeitsgleichgewicht unter unterschiedlichen Salzgehaltsbedingungen aufrechtzuerhalten. Es spielt eine Rolle im Nährstoffkreislauf und erleichtert den Transport und die Verfügbarkeit anderer wichtiger Nährstoffe. Chlorid trägt zur Stabilisierung der chemischen Umgebung des Meerwassers bei. In Korallen tragen Chloridionen zum Ionengleichgewicht bei und unterstützen die Kalkbildung und die Funktion der symbiotischen Algen.

Hohe Chloridkonzentrationen können jedoch toxisch sein und oxidativen Stress, Enzymhemmung und gestörte Stoffwechselprozesse in Meeresorganismen verursachen. Erhöhte Chloridwerte verringern die Biomasse und den Reichtum des Zooplanktons, was sich auf das Nahrungsnetz und die allgemeine Gesundheit des Ökosystems auswirkt. Chlorid reichert sich in Meeresorganismen an, was zu langfristigen ökologischen Auswirkungen und einer möglichen Biomagnifikation im Nahrungsnetz führt. Hohe Chloridkonzentrationen können zur Korallenbleiche beitragen, beeinträchtigen symbiotische Algen und verringern die Widerstandsfähigkeit der Korallen. Chlorid kann die Zusammensetzung und Funktion der mikrobiellen Gemeinschaft verändern,



was sich auf den Nährstoffkreislauf und die Gesundheit des Ökosystems auswirkt.

Erhöhte Chloridkonzentrationen hemmen das Wachstum und die photosynthetische Aktivität von Meeresalgen, was sich auf die Primärproduktivität auswirkt. Hohe Chloridkonzentrationen können auch die Enzymaktivität hemmen, was sich auf wichtige Stoffwechselprozesse wie die Glykolyse und die Proteinsynthese auswirkt.

Chlorid ist für marine Ökosysteme von wesentlicher Bedeutung, da es den Salzgehalt, den Nährstoffkreislauf und die Gesundheit der Meeresorganismen beeinflusst. Es ist jedoch von entscheidender Bedeutung, dass der Chloridspiegel im Gleichgewicht bleibt und vom Salzgehalt abhängt. Wenn die Chloridkonzentration von einem akzeptablen Bereich von etwa 18400 mg/L bis 19800 mg/L abweicht, empfehlen wir, den Salzgehalt zu überprüfen und bei Bedarf Wasserwechsel mit einem hochwertigen Salz wie dem D-D Dosing Solution Salz durchzuführen, um die Chloridkonzentration zu korrigieren.

## Fluor

Fluor (F) ist ein Element im Meerwasser, das eine wichtige Rolle in der Physiologie und Ökologie von Meeresorganismen spielt. Fluor liegt im Meerwasser hauptsächlich als Fluoridion (F<sup>-</sup>) vor. Sein geochemisches Verhalten wird durch die Ausfällung von Kalziumkarbonat und die Wechselwirkung mit anderen Mineralien beeinflusst, die als wichtige Mechanismen zur Entfernung von gelöstem Fluorid dienen.

Fluorverbindungen wie Kaliumfluorosilikat besitzen entzündungshemmende Eigenschaften, die den Korallen zugutekommen können. Fluor könnte die symbiotischen Algen (Zooxanthellen) in den Korallen unterstützen, indem es deren Stoffwechselprozesse und allgemeine Gesundheit fördert. Fluor beeinflusst den Nährstoffkreislauf und den Stoffwechsel in marinen Ökosystemen und kann so die Gesundheit und Produktivität von Korallenriffen fördern. Fluor hat bakterizide Eigenschaften, die schädliche mikrobielle Populationen unterdrücken und Korallen vor Infektionen schützen



können. Außerdem könnten Fluorverbindungen die Stressreaktionen von Korallen beeinflussen und ihnen helfen, mit Umweltveränderungen fertig zu werden. Fluorid reichert sich in den Exoskeletten und Knochen von Meeresorganismen an und hat langfristige ökologische Auswirkungen. Meeresschwämme wie *Halichondria moorei* enthalten signifikante Mengen an Fluor, die starke entzündungshemmende Eigenschaften haben. Studien zeigen unterschiedliche Fluoridkonzentrationen in Meeresalgen und Fischen mit unterschiedlichen Akkumulationsraten und potenziellen ökologischen Auswirkungen.

Fluor spielt in marinen Ökosystemen eine vielseitige Rolle, indem es den Nährstoffkreislauf sowie die Gesundheit und die Schutzmechanismen von Meeresorganismen, einschließlich Korallen, beeinflusst.

Dennoch können hohe Fluorkonzentrationen für Meeresorganismen toxisch sein und oxidativen Stress und Stoffwechselstörungen verursachen. Überschüssiges Fluorid hemmt das Wachstum und die photosynthetische Aktivität von Meeresalgen und Korallen. Die Bioakkumulation von Fluorid in Fischen kann zu oxidativem Stress, veränderter Enzymaktivität und Störungen des Fortpflanzungssystems führen. Meerwasser mit niedrigem pH-Wert und hohem Fluoridgehalt kann die Kalzifizierung von Korallen verringern und die photosynthetische Leistung von symbiotischen Algen beeinträchtigen.

Die Toxizität von Fluorid variiert bei Wasserorganismen, hemmt die Enzymaktivität und beeinträchtigt Stoffwechselprozesse wie Glykolyse und Proteinsynthese.

Hohe Fluoridkonzentrationen führen zu oxidativem Stress bei Meeresorganismen, einschließlich Korallen, was sich auf ihre Gesundheit und ihr Überleben auswirkt. Fluoridionen wirken als Enzymgifte, hemmen die Aktivität von Enzymen und stören Stoffwechselprozesse. Die Exposition gegenüber Fluorid führt zu Verhaltensänderungen bei Fischen, was auf neurotoxische Wirkungen hinweist. Fluorid kann die Zusammensetzung und Funktion der mikrobiellen Gemeinschaft verändern, was sich auf den Nährstoffkreislauf und die Gesundheit des Ökosystems auswirkt. Hohe Fluoridkonzentrationen hemmen das Wachstum und die





Stoffwechselfunktionen von Meeresschnecken, was die Widerstandsfähigkeit verringert und die Anfälligkeit gegenüber Stressfaktoren erhöht.

Die Aufrechterhaltung eines angemessenen Fluoridspiegels ist daher für die allgemeine Gesundheit und Vitalität der Aquarienbewohner unerlässlich. In Riffaquarien kann die Überwachung und Anpassung der Fluorwerte Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgewogenes und florierendes Ökosystem zu gewährleisten. Wenn zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems die Fluorwerte unter dem empfohlenen Bereich liegen, empfehlen wir die Verwendung von Reef Elements Fluor, um den Wert auf 1,5 mg/L anzugleichen.

## Magnesium

Magnesium (Mg) spielt im Meerwasser mehrere wichtige Rollen in biologischen und chemischen Prozessen. Es ist das dritthäufigste Ion im Meerwasser, nach Natrium (Na<sup>+</sup>) und Chlorid (Cl<sup>-</sup>), mit einer Konzentration von etwa 1.350 mg/L (etwa 55 mM).

Magnesium wirkt sich auf die Karbonatchemie des Meerwassers aus. Es kann mit Karbonat-Ionen Komplexe bilden, die den Sättigungszustand von Kalziumkarbonat-Mineralen wie Kalzit und Aragonit beeinflussen. Dies wiederum wirkt sich auf die Prozesse der Kalkbildung und der Auflösung von Karbonatsedimenten aus.

Magnesium kann die Ausfällung von Kalziumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>) hemmen, indem es in das Kristallgitter von Kalzit, einer der Polymorphe von Kalziumkarbonat, eingebaut wird, wodurch es weniger stabil und besser löslich wird. Dieser Prozess ist für die Aufrechterhaltung des Karbonatgleichgewichts im Meerwasser von großer Bedeutung. Wenn Mg<sup>2+</sup> Ca<sup>2+</sup> in den Karbonatmineralien ersetzt, wirkt sich dies auf die Löslichkeit und folglich auf die Verfügbarkeit von Karbonat-Ionen im Wasser aus. Diese Wechselwirkung trägt zur Aufrechterhaltung der pH-Stabilität bei, indem sie eine übermäßige Ausfällung von Kalziumkarbonat verhindert, die andernfalls die Pufferkapazität verringern würde.



Auf biochemischer Ebene ist Magnesium ein zentraler Bestandteil des Chlorophyllmoleküls, das für die Photosynthese in Meeresalgen, Phytoplankton und Korallen unerlässlich ist. Ohne Magnesium können diese Organismen keine Lichtenergie einfangen, um Nahrung und Sauerstoff zu produzieren.

Magnesium fungiert als Cofaktor für zahlreiche enzymatische Reaktionen in Meeresorganismen, einschließlich derjenigen, die an der DNA-Replikation, der RNA-Synthese und der Proteinsynthese beteiligt sind. Es ist unerlässlich für das ordnungsgemäße Funktionieren von Enzymen, die Stoffwechselprozesse regulieren.

Magnesium spielt auch eine Rolle bei den Biomineralisierungsprozessen von Meeresorganismen. Es kann die Bildung von Kalziumkarbonat-Skeletten in Korallen und die Schalenbildung bei Weichtieren beeinflussen. Korallenalgen verwerten Magnesium in ihren Kalkskeletten, wobei der Magnesiumverbrauch in Abhängigkeit von der Temperatur und der biologischen Kontrolle stark variiert.

Bei Korallen kann Magnesium die Geschwindigkeit der Ablagerung von Kalziumkarbonat beeinflussen. Während Kalziumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) der Hauptbestandteil des Korallenskeletts ist, kann das Vorhandensein von Magnesium im Meerwasser die Bildung von Kalzit, einer der Polymorphien von  $\text{CaCO}_3$ , hemmen und die Bildung von Aragonit fördern, das in der Meeresumwelt stabiler ist. Dies wirkt sich auf die Gesamtstruktur und Unversehrtheit der Korallen aus.

Magnesium ist ein lebenswichtiges Ion im Meerwasser, das bei biologischen, chemischen, geochemischen und ökologischen Prozessen eine vielseitige Rolle spielt. Es unterstützt die Gesundheit und das Funktionieren der marinen Ökosysteme, beeinflusst die Karbonatchemie und die Mineralisierungsprozesse und spielt eine entscheidende Rolle bei der Aufrechterhaltung der Stabilität und Produktivität der Meeresumwelt.

Sowohl niedrige als auch hohe Magnesiumkonzentrationen können sich negativ auf die Physiologie von Meerestieren, einschließlich Algen, Fischen, Anemonen und Korallen, auswirken. Die Aufrechterhaltung eines



angemessenen Magnesiumgehalts ist für die Gesundheit und Stabilität von Korallen von entscheidender Bedeutung. Bei Werten von 1000 mg/L oder darunter wird das Wachstum stark reduziert oder gestoppt. Angesichts der Auswirkungen auf die Karbonatchemie des Meerwassers wird es schwierig, einen angemessenen Kalzium- und Alkalinitätsgehalt aufrechtzuerhalten. Gleichzeitig wird die Färbung der Korallen stark beeinträchtigt, und LPS-Korallen beginnen abzusterben.

Andererseits können sich Werte über 1600 mg/L aus den bereits oben erläuterten Gründen potenziell auf die Wachstumsraten der Korallen und die Kalkbildung auswirken.

In Riffaquarien kann die Überwachung und Anpassung des Magnesiumspiegels Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgewogenes und florierendes Ökosystem zu gewährleisten. Wenn zu Beginn des H2P™-Dosiersystems der Magnesiumspiegel unter dem empfohlenen Bereich liegt, empfehlen wir die Verwendung von Reef Zlements Magnesium, um den Spiegel auf 1400 mg/L zu erhöhen.

## Kalium

Die Kalium (K)-Konzentration im Meerwasser ist relativ stabil und in allen Ozeanen der Welt gleich. Die typische Kaliumkonzentration im Meerwasser beträgt etwa 390 bis 400 mg/L.

Damit spielt Kalium eine entscheidende Rolle in der Meerwasserchemie und wirkt sich auf die Gesundheit und das Wachstum der Korallen aus. Es ist an verschiedenen physiologischen Prozessen beteiligt und kann die gesamte Ökosystemdynamik von Korallenriffen beeinflussen.

Die Kaliumisotope in biogenen Karbonaten aus dem Meer, einschließlich derer aus Korallen, weisen eine beträchtliche Variabilität auf. Diese Variabilität steht im Zusammenhang mit den Kaliumskelettphasen und deutet auf eine biologische Kontrolle des Kaliumeinbaus hin. Diese Phasenkontrolle führt zu erheblichen physiologischen Modifikationen der in kalkbildenden Organismen gespeicherten Umweltinformationen.



Kalium spielt auch eine wesentliche Rolle für die Gesundheit von Korallen und ihre symbiotischen Beziehungen mit Dinoflagellaten (*Symbiodinium* spp.). Ein Ungleichgewicht kann zu einer Störung der Symbiose und zur Korallenbleiche führen. Eine erhöhte Nährstoffverfügbarkeit, z. B. durch Kalium, kann zu einer höheren Symbiontendichte und damit zu einer besseren Färbung der Korallen führen. Liegt sie jedoch deutlich über den typischen Meerwasserwerten, kann sie die Immunreaktion der Wirtskoralle unterdrücken. Diese Unterdrückung kann die Anfälligkeit für Krankheiten und Stress erhöhen.

Kaliummangel im Meerwasser kann auch zu akuter Morbidität und Mortalität bei wirbellosen Meerestieren, Fischen und Korallen führen, da er deren physiologische Prozesse wie Osmoregulation und Membranpotenziale beeinträchtigt. Dies ist entscheidend für die Aufrechterhaltung der Gesundheit des Ökosystems Riffaquarium.

Der Kaliumgehalt beeinflusst die Aktivität wichtiger Enzyme in den Korallen. So können beispielsweise Veränderungen der Kaliumkonzentration die Aktivität der Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase beeinträchtigen, die für die Aufrechterhaltung der zellulären Homöostase in Korallen unerlässlich ist. Dennoch korreliert ein hoher Gehalt an Kaliumcyanid (KCN) in Korallen negativ mit der Häufigkeit von Indikatorarten. Dies deutet darauf hin, dass kaliumhaltige Verbindungen schädliche Auswirkungen auf Korallenökosysteme und die mit ihnen verbundenen Meereslebewesen haben können.

Aus diesen Gründen ist die Aufrechterhaltung eines angemessenen Kaliumspiegels für ein optimales Wachstum, einen optimalen Stickstoffstoffwechsel und eine optimale physiologische Funktion erforderlich.

Wenn zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems die Kaliumwerte unter dem empfohlenen Bereich liegen, empfehlen wir die Verwendung von Reef Zlements Potassium, um den Wert auf 420 mg/L zu bringen.



## Natrium (Natrium)

Natrium (Na) ist ein wichtiges Element im Meerwasser und spielt eine entscheidende Rolle für die physiologische und ökologische Dynamik von Meeresorganismen. Die Natriumkonzentration im Meerwasser beträgt etwa 10.800 mg/L. Damit ist Natrium das am häufigsten vorkommende Kation im Meerwasser und trägt wesentlich zum Gesamtsalzgehalt und zur Ionenzusammensetzung des Wassers bei.

Natriumchlorid wirkt sich auf Algen und Krustentiere aus, indem es das Algenwachstum reduziert und die Schwimgeschwindigkeit und Herzfrequenz von Krustentieren beeinträchtigt, was bei hohen Konzentrationen auf Toxizität hindeutet. Natriumchlorid beeinträchtigt auch die Aktivität der Kohlendensäureanhydrase in marinen Mikroalgen, wobei die Reaktionen artspezifisch sind. Bei Cyanobakterien verbessert die Überexpression eines  $\text{Na}^+/\text{H}^+$ -Antiporter-Gens die Salztoleranz und ermöglicht das Wachstum in hohen  $\text{NaCl}$ -Konzentrationen. Photosynthetische Bakterien wie *Rhodobacter sphaeroides* können beträchtliche Mengen Natrium aus dem Wasser entfernen, was ein Potenzial für die Bioremediation darstellt.

Natrium- und Chloridionen sind entscheidend für die Osmoregulation von Fischarten der Gezeitenzone und halten die Plasmakonzentration und den Wassergehalt des Körpers bei unterschiedlichen Salzgehalten aufrecht. Bei *Tilapia* hilft Natriumchlorid in der Nahrung bei der Salzwasserakklimatisierung, indem es die Plasmaosmolalität und die Aktivität der  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase in den Kiemen beeinflusst. Natrium- und Kaliumionen erzeugen in marinen Pilzen ein osmotisches Potenzial, wobei die Hyphenwand selbst bei hohen Salzkonzentrationen Kalium gegenüber Natrium bevorzugt.

Natriumionen sind für die Osmoregulation von Meeresorganismen, einschließlich Korallen, von entscheidender Bedeutung, da sie ihnen helfen, den Flüssigkeitshaushalt und die Zellfunktionen bei unterschiedlichen Salzgehalten aufrechtzuerhalten. Natrium erleichtert den Nährstoffkreislauf und unterstützt verschiedene biochemische Prozesse, die für die Gesundheit und Produktivität mariner Ökosysteme entscheidend sind. Die Überexpression von Natrium-verwandten Genen in Cyanobakterien erhöht



ihre Salztoleranz und ihr Wachstum, was die Primärproduktion in marinen Ökosystemen steigern könnte.

Hohe Natriumkonzentrationen können für Meeresorganismen giftig sein und oxidativen Stress, Enzyminhibition und gestörte Stoffwechselprozesse verursachen. Erhöhte Natriumwerte verringern die Biomasse und den Reichtum des Zooplanktons, was sich auf das Nahrungsnetz und die Gesundheit des Ökosystems insgesamt auswirkt. Natrium kann sich in Meeresorganismen bioakkumulieren, was zu langfristigen ökologischen Auswirkungen und einer möglichen Biomagnifikation im Nahrungsnetz führt. Hohe Natriumwerte können bei Korallen eine partielle Bleiche verursachen, die ihre symbiotischen Algen beeinträchtigt und die Widerstandsfähigkeit der Korallen verringert werden.

Natrium ist ein wichtiges Ion in marinen Ökosystemen, das die Osmoregulation, den Nährstoffkreislauf und die Gesundheit von Meeresorganismen, einschließlich Korallen, beeinflusst. Hohe Natriumkonzentrationen beeinträchtigen jedoch die Überlebensfähigkeit von Korallen und anderen Meeresorganismen und können die Ausbreitung von Cyanobakterien fördern. Die Aufrechterhaltung eines ausgewogenen Natriumgehalts zwischen 10.200 und 11.000 mg/L ist für die Stabilität und Widerstandsfähigkeit des Ökosystems unerlässlich. Wenn die Natriumkonzentration außerhalb dieses Bereichs liegt, empfehlen wir, den Salzgehalt zu überprüfen und Wasserwechsel mit einem hochwertigen Salz wie dem D-D Dosing Solution Salz durchzuführen, um die Natriumkonzentration zu korrigieren.

## Strontium

Der Strontiumgehalt (Sr) in den Ozeanen ist wichtig für das Verständnis der Meereschemie, der geologischen Geschichte der Ozeane und der Gesundheit von Meeresorganismen, einschließlich Korallen.

Der Strontiumgehalt im Meerwasser liegt im Allgemeinen zwischen 7,2 und 7,8 mg/L, wobei es erhebliche regionale Unterschiede gibt. Diese Werte werden durch natürliche Prozesse wie Einträge aus



Flüssen und hydrothermale Aktivitäten beeinflusst, die sich auch auf die Isotopenzusammensetzung des Strontiums im Meerwasser auswirken.

Strontium spielt eine wichtige Rolle in der Physiologie und Skelettentwicklung von Korallen. Seine Aufnahme in Korallenskelette und seine Wechselwirkung mit Umweltfaktoren wie Temperatur und Licht sind für das Verständnis der Gesundheit und der Wachstumsmuster von Korallen von entscheidender Bedeutung.

Die Aufnahme von Strontium in Korallen wird sowohl durch Licht als auch durch die Temperatur beeinflusst, wobei der Strontiumeinbau bei höheren Licht- und Temperaturbedingungen höher ist. Dies deutet darauf hin, dass Umweltvariablen eine wichtige Rolle beim Kalziumbildungsprozess und beim Strontiumeinbau spielen.

Der Strontiumgehalt des Korallenskeletts wird von physiologischen Faktoren beeinflusst, nicht nur von den Umweltbedingungen. So weisen beispielsweise verschiedene Korallengattungen selbst unter den gleichen Umweltbedingungen unterschiedliche Strontiumwerte auf, was auf eine artspezifische physiologische Kontrolle des Strontiumeinbaus hindeutet.

Strontium hat erhebliche Auswirkungen auf die Gesundheit der Korallen, indem es ihre Skelettstruktur und Wachstumsraten beeinflusst. Der Einbau von Strontium wird sowohl durch Umwelt- als auch durch physiologische Faktoren gesteuert, was es zu einem wesentlichen Element für das Verständnis der Widerstandsfähigkeit und der Umwelanpassungen von Korallen macht. Es hat sich gezeigt, dass die Einbauraten von  $\text{Sr}^{2+}$  in das Korallenskelett bei erhöhten Strontiumwerten und starkem Licht (bis zu  $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) deutlich höher sind und dass eine starke Korrelation zwischen der  $\text{Sr}^{2+}$ -Aufnahme und den Wachstumsraten der Korallen besteht.

Im Wesentlichen hat Strontium signifikante Auswirkungen auf die Gesundheit der Korallen, indem es ihre Skelettstruktur und Wachstumsraten beeinflusst. Die Aufrechterhaltung eines angemessenen Strontiumspiegels, der etwas über den natürlichen Werten liegt, ist daher ideal, um ein gutes und beschleunigtes Korallenwachstum zu fördern.

In Riffaquarien sollte die Überwachung und Anpassung des Strontiumspiegels,



wie bei anderen Elementen auch, Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgewogenes und blühendes Ökosystem zu gewährleisten. Wenn zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems die Strontiumwerte unter dem empfohlenen Bereich liegen, empfehlen wir die Verwendung von Reef Elements Strontium, um den Wert auf 10 mg/L zu bringen, da dies zu guten Wachstumsraten beiträgt.

## Schwefel

Schwefel (S) ist ein bedeutendes Element in der Chemie der Ozeane, das sowohl biologische als auch chemische Prozesse beeinflusst. Die Konzentration und die Formen von Schwefel im Ozean, wie Sulfat und organische Schwefelverbindungen, spielen eine entscheidende Rolle in den marinen Ökosystemen und den globalen biogeochemischen Kreisläufen.

Die Schwefelkonzentration im Meerwasser beträgt unter Berücksichtigung aller Schwefelformen (einschließlich Sulfat, Sulfid und anderer schwefelhaltiger Verbindungen) etwa 900 mg/L. Der größte Teil dieses Schwefelgehalts entfällt auf Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), das in Form von Sulfationen etwa 2.700 mg/L ausmacht.

Schwefel ist an der Photosynthese beteiligt, die für Phytoplankton und Korallen unerlässlich ist. Die Verfügbarkeit von Schwefel kann die metabolischen und katalytischen Aktivitäten dieser Organismen beeinflussen, was sich auf die Primärproduktion und die allgemeine Gesundheit der marinen Ökosysteme auswirkt.

Korallen produzieren hohe Konzentrationen von Dimethylsulfoniopropionat (DMSP) und dessen Abbauprodukt Dimethylsulfid (DMS), die eine entscheidende Rolle in der Physiologie der Korallen und bei Stressreaktionen spielen. Diese Schwefelverbindungen sind an der Thermoregulation, der Osmoregulation, der „Chemoattraktion“ und der antioxidativen Abwehr beteiligt.

Schwefelverbindungen wie DMSP und DMS beeinflussen jedoch die Zusammensetzung der korallenassoziierten mikrobiellen Gemeinschaften.





Bestimmte mit Korallen assoziierte Bakterien können diese Verbindungen abbauen, was sich auf die mikrobielle Dynamik auswirkt und möglicherweise eine Rolle für die Gesundheit und Widerstandsfähigkeit der Korallen spielt.

DMS und DMS wirken als Fänger reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) in Korallen und stellen einen antioxidativen Abwehrmechanismus dar, der den Korallen hilft, oxidativen Stress zu bewältigen, der durch Umweltveränderungen wie erhöhte Temperaturen und Lichtintensität verursacht wird. Schwefelmangel kann also die allgemeine Gesundheit der Korallen schwächen und sie anfälliger für Stressfaktoren machen. Die Produktion von DMS durch Korallen während Stressereignissen ist ein wichtiger Mechanismus zur Abschwächung von oxidativem Stress. Ein niedriger Schwefelgehalt kann diese Reaktion behindern und das Risiko von Korallenbleiche und -sterben erhöhen.

Der Schwefelkreislauf in Meeressedimenten wird in erster Linie durch die Sulfatreduktion angetrieben, die eine wichtige Energiequelle für Mikroben in anoxischen Umgebungen darstellt. Dieser Prozess ist eng mit anderen Elementkreisläufen wie Kohlenstoff, Stickstoff, Eisen und Mangan verwoben. Sulfatreduzierende Bakterien sind für den Abbau von organischem Material unverzichtbar und spielen eine wichtige Rolle in der Biogeochemie mariner Sedimente.

Die Sulfatreduktion durch Bakterien unter anaeroben Bedingungen führt zur Bildung von Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ), der als Metallsulfide ausfallen oder zu Sulfat reoxidieren kann. Dieser Prozess ist für den Schwefelkreislauf von entscheidender Bedeutung und wirkt sich auf den Kohlenstoffkreislauf aus, indem er Methanogene um Substrate verdrängt. Schwefelwasserstoff ist jedoch selbst in geringen Konzentrationen hochgiftig für Wasserorganismen wie Fische und Korallen. Er kann akute Morbidität und Mortalität verursachen, physiologische Prozesse stören und zu schweren gesundheitlichen Problemen führen. Daher ist es von größter Bedeutung, dass das Aquariensubstrat von organischem Detritus und Sand frei von anaeroben Bereichen gehalten wird, die Quellen dieses giftigen Gases sein können, das mit dem „Old-Tank-Syndrom“ in Verbindung gebracht wird.



Im Vergleich zu natürlichem Meerwasser kann sowohl ein erhöhter als auch ein verarmter Schwefelgehalt die Gesundheit der Korallen stark beeinträchtigen, indem er die Schwefelverwertung stört, die antioxidativen Systeme beeinträchtigt, die Strukturen der mikrobiellen Gemeinschaften verändert und die Fähigkeit der Korallen, auf Umweltstressoren zu reagieren, verringert. Er wirkt sich auch negativ auf das mikrobielle Biom in Aquarien aus, indem er die biogeochemischen Kreisläufe stört, die Effizienz von Biofiltern verringert und die Struktur der mikrobiellen Gemeinschaften verändert.

Die Aufrechterhaltung eines angemessenen Schwefelgehalts ist von entscheidender Bedeutung für die Gesundheit und Funktionalität der mikrobiellen Gemeinschaften, die für den Nährstoffkreislauf und die Abfallbeseitigung im Aquarium sowie für die Widerstandsfähigkeit und Nachhaltigkeit der Korallen unerlässlich sind.

Wenn die Schwefelwerte zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems unter dem empfohlenen Bereich liegen, empfehlen wir die Verwendung von Reef Zlements Sulphur, um den Wert auf 900mg/L zu bringen. Nichtsdestotrotz sollte die Überwachung und Anpassung der Schwefelwerte Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgeglichenes und blühendes Ökosystem zu gewährleisten.

## Spurenelemente

Die Ozeane sind ein riesiges Reservoir für die Elemente, die in sie gelangen, entweder durch den Niederschlag aus der Atmosphäre, durch den Zufluss aus Flüssen oder vom Ufer, aber auch durch Elemente, die aus dem Inneren der Erde stammen. Somit sind diese Reservoirs praktisch ein unerschöpflicher Vorrat an diesen Elementen.

Spurenelemente sind entscheidend für die Gesundheit und Nachhaltigkeit von Korallen und allen Tieren, die in den Ozeanen leben. Diese Elemente spielen eine wichtige Rolle bei verschiedenen biologischen und chemischen Prozessen im aquatischen Ökosystem, die sich auf die Korallen und das Meeresleben im Allgemeinen auswirken.



In unseren Aquarien haben wir jedoch keinen „unendlichen“ Vorrat an Elementen, da diese in ihrer Menge begrenzt sind und nur durch Verunreinigungen oder durch das, was wir in das Aquarium geben, zugeführt werden. Es ist daher äußerst wichtig, dass wir konstante und stabile Konzentrationen dieser Spurenelemente aufrechterhalten. Dies ist jedoch keine leichte Aufgabe, vor allem wegen der extrem begrenzten „Aufenthaltszeit“, die einige dieser Elemente haben, d. h. die Zeit, die diese Spurenelemente im Aquarienwasser verbringen, bevor sie entweder durch Ausfällung, Absorption, Oxidationsprozesse oder durch mechanische Filterung entfernt werden.

Einige Spurenelemente, wie Vanadium, können innerhalb weniger Stunden aus der Wassersäule entfernt werden, was sowohl auf biotische als auch auf abiotische Prozesse zurückzuführen sein kann. Daher ist es wichtig, eine Strategie wie die H2P™-Strategie von Reef Zlements anzuwenden, um eine stabile Versorgung mit diesen Spurenelementen zu gewährleisten.

## Barium

Im Atlantik schwanken die Bariumkonzentrationen (Ba) zwischen 8 und 14 µg/L von der Oberfläche bis in die Tiefe. Im Pazifischen Ozean liegen die Konzentrationen zwischen 8 und 31 µg/L, wobei sie mit zunehmender Tiefe stärker ansteigen als im Atlantik. Dennoch ist man sich einig, dass ein Wert von 10 µg/L eine akzeptable Konzentration für Meerwasseraquarien darstellt.

Barium gelangt vor allem durch Flusseinträge, atmosphärische Ablagerungen und unterseeische Grundwassereinleitungen in den Ozean. Es neigt dazu, sich in Meeressedimenten anzusammeln, insbesondere in Form von Baryt ( $\text{BaSO}_4$ ), und seine Verteilung wird von der biologischen Produktivität, der Zersetzung organischer Stoffe und dem Auftrieb beeinflusst.

Barium im Meerwasser beeinflusst die Gesundheit der Korallen und die biogeochemischen Kreisläufe in den Ökosystemen der Korallenriffe. Es wird in die Korallenskelette eingebaut, und seine Konzentration kann als Indikator für verschiedene Umweltbedingungen dienen.



Der Einbau von Barium in Korallenskelette wird von den Lichtverhältnissen beeinflusst. Bei wenig Licht nimmt der Bariumeinbau zu, was darauf hindeutet, dass die Verfügbarkeit von Licht das Ba/Ca-Verhältnis in Korallen beeinflussen kann. Das Ba/Ca-Verhältnis der Korallen wird auch durch die Temperatur beeinflusst. Studien zeigen, dass die Temperatur zwar den Bariumeinbau beeinflusst, die Kalzifizierungsrate jedoch keinen signifikanten Einfluss auf das Ba/Ca-Verhältnis hat. Dies deutet darauf hin, dass Temperatur und Licht die entscheidenderen Faktoren sind.

Die Verweildauer von Barium in Aquarien wird von mehreren Faktoren beeinflusst, darunter die Einbindung in Korallenskelette, die Wechselwirkung mit Sedimenten und Auflösungs- und Ausfällungszyklen. Obwohl die Studien keine genauen Angaben über die Verweildauer machen, deuten die Ergebnisse darauf hin, dass Barium in der Aquarienumgebung über längere Zeiträume aktiv bleibt und recycelt wird, insbesondere in Form von Partikeln wie Baryt (Bariumsulfat).

Ein niedriger Bariumgehalt kann das Wachstum und die Gesundheit von Korallen beeinträchtigen, indem er die biologischen Prozesse verändert, die den Bariumeinbau kontrollieren. Dies kann sich auf die allgemeine Widerstandsfähigkeit der Korallen gegenüber Umweltstressoren auswirken, da Barium in den Nährstoffkreislauf und andere lebenswichtige Prozesse eingebunden ist.

Ein niedriger Bariumgehalt kann diese Stressreaktionen verstärken und zu weiteren Abweichungen vom normalen Ba/Ca-Muster führen.

Wenn die Bariumwerte zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems unter dem empfohlenen Bereich liegen, empfehlen wir die Verwendung von Reef Zlements Barium, um den Wert auf 10 µg/L anzugleichen. Nichtsdestotrotz sollte die Überwachung und Anpassung des Bariumspiegels Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgewogenes und florierendes Ökosystem zu gewährleisten.



## Chrom

Chrom (Cr) ist ein Spurenelement im Meerwasser, das in zwei primären Oxidationsstufen vorliegt: dreiwertiges Chrom (Cr(III)) und sechswertiges Chrom (Cr(VI)). Seine Rolle in der Meeresumwelt und seine Auswirkungen auf Korallen sind komplex und werden durch sein chemisches Verhalten und seine Wechselwirkungen mit Meeresorganismen beeinflusst.

Die Speziation von Chrom hat Einfluss auf seine Bioverfügbarkeit und Toxizität. Cr(VI) ist aufgrund seiner stark oxidierenden Eigenschaften giftig, während Cr(III) in geringen Mengen ein essenzieller Nährstoff ist.

Korallen bauen Chrom in ihr Skelett ein, wobei die Cr-Isotope den Redoxzustand des umgebenden Meerwassers reflektieren können. Dreiwertiges Chrom (Cr(III)) gilt als essenzieller Nährstoff für Tiere und spielt eine wichtige Rolle bei der Förderung von Stoffwechselprozessen. Es ist am Lipidstoffwechsel und an der Aufrechterhaltung der Glukosehomöostase beteiligt, die für die Gesundheit und das Wachstum von Korallen entscheidend sind.

Obwohl es nur wenige direkte Studien an Korallen gibt, kann man davon ausgehen, dass ähnliche Mechanismen die Widerstandsfähigkeit der Korallen gegenüber Krankheitserregern und Umweltstressoren verbessern könnten. Eine verbesserte Immunfunktion kann zu einer besseren allgemeinen Gesundheit und Überlebensrate der Korallen beitragen.

Es hat sich gezeigt, dass dreiwertiges Chrom das Wachstum verschiedener Wasserorganismen fördert. Zwar gibt es nur wenige spezifische Studien über Korallen, doch ist es plausibel, dass angemessene Mengen an Cr(III) das Wachstum von Korallen durch eine verbesserte Stoffwechseleffizienz und Nährstoffverwertung fördern können. Dies kann zu gesünderen und robusteren Korallenkolonien führen.

Die Verweildauer von dreiwertigem Chrom (Cr(III)) in Riffaquarien wird durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst, darunter die Adsorption an Sedimenten und biologischen Materialien, biologische Reinigungsprozesse und die biologische Aufnahme durch Meeresorganismen. Dennoch wird



es bei richtiger Dosierung in kleinen Dosen extrem schnell aus dem Wasser entfernt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Chrom, insbesondere in seiner dreiwertigen Form (Cr(III)), mehrere positive Auswirkungen auf Korallen haben kann: Es wirkt als essenzieller Nährstoff, der Stoffwechselprozesse, Immunreaktionen und möglicherweise das Wachstum fördert.

Wenn der Chromgehalt zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems unter dem empfohlenen Bereich liegt, muss er nicht korrigiert werden, und die nachfolgende Versorgung ist zufriedenstellend. Dennoch sollte die Überwachung des Chromgehalts Teil einer umfassenderen Strategie zur Sicherstellung eines ausgewogenen und florierenden Ökosystems sein.

## **Kobalt**

Kobalt (Co) ist ein bio-essentielles Spurenelement im Meerwasser und spielt eine entscheidende Rolle in marinen Ökosystemen. Sein Einfluss auf Korallen und sein biogeochemischer Kreislauf sind von großer Bedeutung für das Verständnis der Umweltauswirkungen und der Gesundheit der Korallen.

Kobalt wird von Mangan-oxidierenden Bakterien aus dem Meerwasser entfernt und durch die Mineralisierung organischer Stoffe wiederverwertet. Dieser Prozess trägt zur Aufrechterhaltung des Kobaltgleichgewichts im Aquarium bei.

Kobalt ist ein lebenswichtiger Mikronährstoff für Meeresmikroben, da es ein Bestandteil von Vitamin B12 und verschiedenen Metalloenzymen ist, die zelluläre Prozesse katalysieren. Damit ist Kobalt für das Wachstum und den Stoffwechsel vieler Meeresorganismen unerlässlich.

Kobalt ist für das Wachstum bestimmter Algen und des Phytoplanktons von großer Bedeutung, die es aus dem Meerwasser aufnehmen und über das marine Nahrungsnetz recyceln. Die biologische Aufnahme von Kobalt hängt



von der Verfügbarkeit von Zink ab, da bestimmte Phytoplanktonarten in ihren Stoffwechselprozessen Zink durch Kobalt ersetzen können.

Kobalt ist wichtig für die Gesundheit der symbiotischen Algen (Zooxanthellen), die im Korallengewebe leben. Diese Algen betreiben Photosynthese und versorgen die Korallen mit wichtigen Nährstoffen und Energie.

Ein angemessener Kobaltgehalt kann die Photosyntheseleistung und die allgemeine Gesundheit dieser Algen verbessern und damit das Korallenwachstum fördern.

In den richtigen Konzentrationen kann Kobalt dazu beitragen, oxidativen Stress bei Korallen zu mindern, und unterstützt ihre Stoffwechselprozesse, indem es zur Synthese essenzieller Vitamine und Enzyme beiträgt. Dies kann ein gesundes Wachstum und eine gesunde Entwicklung fördern und die Widerstandsfähigkeit der Korallen gegenüber Umweltveränderungen erhöhen, was besonders wichtig ist, wenn die Korallen verschiedenen Stressfaktoren wie erhöhten Temperaturen und Verschmutzung ausgesetzt sind. So haben Forschungen an der weißen Garnele im Pazifik gezeigt, dass ein angemessener Kobaltgehalt die Aktivität antioxidativer Enzyme steigern kann, was sich möglicherweise auch bei Korallen positiv auswirkt.

Trotz seiner essenziellen Natur können erhöhte Kobaltkonzentrationen das Wachstum und die Photosyntheseleistung von Korallen beeinträchtigen. So hat sich beispielsweise gezeigt, dass eine Kobaltverschmutzung (d. h.  $>5 \mu\text{g/L}$ ) die Wachstumsraten von Korallenarten wie *Stylophora pistillata* und *Acropora muricata* um 28 % verringert und gleichzeitig ihre Photosystem-II-Effizienz beeinträchtigt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Kobalt im Meerwasser eine entscheidende Rolle für die Gesundheit und das Wachstum der Korallen spielt. Es steigert die Effizienz der Photosynthese in symbiotischen Algen, mildert oxidativen Stress, unterstützt Stoffwechselprozesse und hilft beim biogeochemischen Kreislauf der Nährstoffe. Diese Vorteile unterstreichen, wie wichtig die Aufrechterhaltung eines angemessenen Kobaltgehalts in der Meeresumwelt ist, um die Gesundheit und Widerstandsfähigkeit der Korallenökosysteme zu gewährleisten.



Wenn der Kobaltgehalt zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems unter dem empfohlenen Bereich liegt, muss er nicht korrigiert werden, und die anschließende Versorgung ist unbedenklich. Dennoch sollte die Überwachung des Kobaltgehalts Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgewogenes und florierendes Ökosystem zu gewährleisten.

## Kupfer

Kupfer (Cu) ist ein Spurenelement im Meerwasser, das für verschiedene biologische Prozesse unentbehrlich ist, in hohen Konzentrationen aber auch giftig sein kann. Seine Rolle und seine Auswirkungen auf das Meeresleben, insbesondere auf Korallen, sind komplex und vielschichtig.

Kupfer ist ein notwendiger Mikronährstoff für viele Meeresorganismen. Es ist an verschiedenen enzymatischen Prozessen beteiligt, unter anderem an denen der Atmung und der Photosynthese. So ist Kupfer beispielsweise ein Bestandteil der Cytochrom-c-Oxidase, die für die Zellatmung entscheidend ist.

Kupfer ist ein lebenswichtiger Mikronährstoff für das Meeresleben, einschließlich der Korallen. Es ist ein Cofaktor für wichtige Enzyme wie die Cytochrom-c-Oxidase (COX) und die Superoxiddismutase, die für die Zellatmung bzw. den antioxidativen Schutz entscheidend sind. Das ordnungsgemäße Funktionieren dieser Enzyme unterstützt die Gesundheit und Widerstandsfähigkeit der Korallen.

Symbiotische Algen (Zooxanthellen) im Korallengewebe benötigen Kupfer für photosynthetische Prozesse. Kupfer ist an der photosynthetischen Elektronentransportkette beteiligt, hilft bei der Energieerzeugung und trägt durch eine verbesserte Photosynthese zur Gesundheit und zum Wachstum der Korallen bei.

In niedrigen Konzentrationen ist Kupfer für das ordnungsgemäße Funktionieren der antioxidativen Enzyme unerlässlich. Die Superoxiddismutase, die Kupfer benötigt, hilft bei der Entgiftung reaktiver Sauerstoffspezies (ROS), die bei Stoffwechselprozessen und Umweltstress





entstehen, und schützt so die Korallen vor oxidativen Schäden.

Kupfer spielt eine Rolle im Kalzifizierungsprozess von Korallen, indem es Enzyme wie die Kohlensäureanhydrase und die Ca-ATPase beeinflusst. Diese Enzyme sind entscheidend für die Bildung von Kalziumkarbonatgerüsten, die für die Korallenstruktur und den Aufbau von Riffen unerlässlich sind.

Ein angemessener Kupfergehalt kann die Widerstandsfähigkeit der Korallen gegenüber Umweltstressoren erhöhen. So kann Kupfer den Korallen helfen, mit oxidativem Stress besser umzugehen, so dass sie ungünstigen Bedingungen wie Temperaturschwankungen und Umweltverschmutzung besser widerstehen können.

Kupfer hat antimikrobielle Eigenschaften, die dazu beitragen können, Korallen vor bestimmten Krankheitserregern zu schützen. Diese Schutzfunktion kann das Auftreten von Krankheiten in Korallenpopulationen verringern und so zur allgemeinen Gesundheit und Stabilität der Riffe beitragen.

Kupfer wirkt sich auf die symbiotische Beziehung zwischen Korallen und ihren Zooxanthellen aus. Studien haben gezeigt, dass Kupfer die Aktivität des Host Release Factor (HRF) und des Photosynthesis Inhibiting Factor (PIF) beeinträchtigen kann, die den Kohlenstoffstoffwechsel der Algen und die Freisetzung von Photosynthese regulieren und so zu einer ausgewogenen symbiotischen Beziehung beitragen.

In hohen Konzentrationen kann Kupfer jedoch schädlich sein, und die Exposition gegenüber erhöhten Kupferkonzentrationen führt bei Korallen zu oxidativem Stress. Dieser Stress kann zelluläre Strukturen, einschließlich DNA, Proteine und Lipide, schädigen. Die Koralle *Montastraea franksi* beispielsweise wies bei der Exposition gegenüber Kupfer erhebliche DNA-Schäden und veränderte Genexpressionsmuster auf.

Erhöhte Kupferkonzentrationen können auch die Ansiedlung und Entwicklung von Korallenlarven hemmen. Untersuchungen an *Acropora tenuis* ergaben, dass Kupferkonzentrationen über 42 µg/L den Erfolg der Larvenansiedlung erheblich beeinträchtigen.



Kupfer spielt in marinen Ökosystemen eine doppelte Rolle: Es ist ein notwendiger Mikronährstoff und gleichzeitig ein potenzieller Schadstoff, der zwar in Spuren für verschiedene biologische Prozesse unerlässlich ist, aber bei erhöhten Konzentrationen schädliche Auswirkungen auf Korallen haben kann, darunter oxidativer Stress, beeinträchtigte Photosynthese, geringerer Fortpflanzungserfolg und erhöhte Anfälligkeit für Bleiche. Die Wechselwirkung von Kupfer mit anderen Umweltstressoren kann diese negativen Auswirkungen noch verschlimmern. Die Überwachung des Kupfergehalts und das Verständnis seiner Auswirkungen auf die Korallen sind für die Erhaltung und Bewirtschaftung von Korallenriff-Ökosystemen von entscheidender Bedeutung.

Wenn der Kupfergehalt zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems unter dem empfohlenen Bereich liegt, muss er nicht korrigiert werden und die nachfolgende Versorgung ist ausreichend - mehr dazu weiter unten. Nichtsdestotrotz sollte die Überwachung des Kupfergehalts Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgewogenes und florierendes Ökosystem zu gewährleisten.

## Eisen

Eisen (Fe) ist ein entscheidendes Spurenelement im Meerwasser und spielt eine wichtige Rolle in der Physiologie und ökologischen Dynamik von Meeresorganismen, einschließlich Algen, Korallen und Mikroben.

Eisen ist ein essentieller Mikronährstoff für das Leben im Meer, der für Prozesse wie Photosynthese, Atmung, Stickstoffoxydation und DNA-Synthese notwendig ist. Sein Vorhandensein im Meerwasser ist entscheidend für die Gesundheit und das Funktionieren einer Vielzahl mariner Arten. Eisen durchläuft im Ozean verschiedene Kreisläufe, die durch Redoxreaktionen, Komplexbildung mit organischen Liganden und Wechselwirkungen mit anderen Metallen beeinflusst werden. Dieser Kreislauf beeinflusst seine Verfügbarkeit und Bioverfügbarkeit in der Meeresumwelt. Eisen gelangt aus verschiedenen Quellen in den Ozean, u. a. aus Flüssen, atmosphärischem Staub, hydrothermalen Schloten und küstennahen Abflüssen. Die Verteilung



von Eisen wird durch seine Komplexierung mit organischen Liganden und Partikeln beeinflusst.

Eisen ist entscheidend für das Wachstum und die Photosynthese des marinen Phytoplanktons. Es ist an der Chlorophyllsynthese und dem Funktionieren der photosynthetischen Elektronentransportketten beteiligt. In Regionen mit hohem Nährstoffgehalt und geringem Chlorophyllgehalt (HNLC) kann eine Eisenbegrenzung die Produktivität des Phytoplanktons erheblich verringern. Die Verfügbarkeit von Eisen kann sich auf die Zusammensetzung von Algengemeinschaften auswirken, da verschiedene Phytoplanktonarten einen unterschiedlichen Eisenbedarf haben und somit die Dynamik der Gemeinschaft beeinflussen.

Eisen ist lebenswichtig für die Gesundheit der symbiotischen Algen (Zooxanthellen) in Korallen. Diese Algen benötigen Eisen für die Photosynthese, und eine Eisenbegrenzung kann die photosynthetische Leistung und das Wachstum der Korallen verringern. Darüber hinaus kann eine Eisenbegrenzung die Auswirkungen von Wärmestress auf Korallen verstärken und möglicherweise zur Korallenbleiche beitragen. Eisen ist für den antioxidativen Schutz der Korallen unerlässlich, und sein Mangel kann die Anfälligkeit für oxidative Schäden erhöhen. Die Verfügbarkeit von Eisen wirkt sich auch auf die frühen Lebensstadien von Korallen aus, einschließlich des Befruchtungserfolgs und des Überlebens der Larven.

Meeresmikroben, einschließlich Bakterien und Archaeen, haben verschiedene Mechanismen zum Erwerb von Eisen entwickelt, wie die Produktion von Siderophoren - organische Moleküle, die Eisen binden und transportieren. Diese Mechanismen sind für das mikrobielle Wachstum und die Stoffwechselfunktionen von entscheidender Bedeutung. Mikroben spielen eine wichtige Rolle im biogeochemischen Kreislauf des Eisens und beeinflussen dessen Redoxzustand und Bioverfügbarkeit. Eisenoxidierende und eisenreduzierende Bakterien spielen bei diesen Prozessen eine Schlüsselrolle. Die Produktion von Siderophoren durch Meeresbakterien wie *Alteromonas* verbessert die Aufnahme von Eisen aus verschiedenen Quellen, darunter Mineralpartikel und organische Komplexe. Dieser Prozess unterstützt mikrobielle Gemeinschaften und beeinflusst die Eisendynamik



im Meer.

Eisen hat jedoch nicht nur Vorteile, denn ein Übermaß an Eisen kann bei Algen zu Toxizität führen und das Wachstum und die Stoffwechselfunktionen beeinträchtigen. Hohe Eisenkonzentrationen können die Photosynthese hemmen und zu oxidativem Stress bei Algen führen, was ihre allgemeine Gesundheit und Produktivität beeinträchtigt.

Eisen kann zur Bildung von schädlichen Algenblüten (HABs) beitragen, die Giftstoffe produzieren können. Diese Blüten können den Sauerstoff im Wasser verbrauchen und tote Zonen verursachen.

Erhöhte Eisenkonzentrationen können den thermischen Stress bei Korallen verschlimmern und so zur Korallenbleiche beitragen. Eisen kann das Wachstum von opportunistischen Krankheitserregern und schädlichen Algen fördern, die die Korallen verdrängen und überwuchern. Hohe Eisenkonzentrationen können sich auch negativ auf die Photosyntheseleistung der Zooxanthellen in Korallen auswirken. Dies kann die den Korallen zur Verfügung stehende Energie verringern und ihr Wachstum und ihre Widerstandsfähigkeit beeinträchtigen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Eisen ein kritisches Element im Meerwasser ist, das für das Wachstum und die physiologischen Funktionen von Algen, Korallen und Mikroben unerlässlich ist. Seine Verfügbarkeit beeinflusst die Primärproduktivität, die Struktur der Lebensgemeinschaften und den biogeochemischen Kreislauf in marinen Ökosystemen, doch kann ein Überschuss schädlich sein. Das Verständnis der Rolle von Eisen und seiner Wechselwirkungen mit Meeresorganismen ist entscheidend für das Verständnis der breiteren Dynamik der Gesundheit und Widerstandsfähigkeit der Ozeane. Durch seine grundlegende Beteiligung an wichtigen biologischen Prozessen unterstützt Eisen das komplizierte Netz des Lebens in der Meeresumwelt, was deutlich macht, wie wichtig die Aufrechterhaltung eines ausgewogenen Eisengehalts für die Gesundheit unserer Aquarien ist.

Wenn der Eisenspiegel zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems unter dem empfohlenen Bereich liegt, muss er nicht korrigiert werden, und



die nachfolgende Versorgung ist zufriedenstellend. Nichtsdestotrotz sollte die Überwachung des Eisenspiegels Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgewogenes und gedeihliches Ökosystem zu gewährleisten.

## Jod

Jod (I) ist ein essenzielles Spurenelement im Meerwasser und wahrscheinlich eines der wichtigsten. Es spielt eine bedeutende Rolle in der physiologischen und ökologischen Dynamik von Meeresorganismen, einschließlich Algen, Korallen und Mikroben.

Jod ist für verschiedene Meeresorganismen von entscheidender Bedeutung, angefangen bei Braunalgen, insbesondere Kelp, die Jod besonders gut speichern können. Dieses Element spielt eine zentrale Rolle in ihrem Stoffwechsel und ihren Abwehrmechanismen. Im Wasser haben oxidierte Formen von Jod, wie z. B. Jodat, bakterizide Eigenschaften und helfen bei der Kontrolle schädlicher mikrobieller Populationen. Obwohl das Phytoplankton die Jodspeziation nicht signifikant verändert, ist Jod an den Stoffwechselprozessen einiger Arten beteiligt und unterstützt deren Wachstum und biochemische Zusammensetzung.

Jod unterstützt auch die Gesundheit und den Stoffwechsel von Korallen und ist an ihren antioxidativen Abwehrmechanismen beteiligt.

Ein niedriger Jodgehalt kann auch eine große Herausforderung für marine Ökosysteme darstellen. Nährstoffmangel aufgrund eines niedrigen Jodgehalts kann das Wachstum und die Stoffwechselfunktionen von Meeresorganismen beeinträchtigen, insbesondere das Phytoplankton und die Makroalgen, wodurch die Primärproduktivität verringert wird. Jodmangel kann die antioxidativen Abwehrmechanismen von Korallen schwächen, wodurch sie anfälliger für oxidativen Stress und Bleichen werden.

Zu wenig Jod kann sich negativ auf das Wachstum und die Fortpflanzung von Korallen auswirken, was zu schwächeren Skelettstrukturen und geringerem Fortpflanzungserfolg führt. Darüber hinaus kann ein niedriger Jodgehalt die Anfälligkeit von Korallen und anderen Meeresorganismen für Krankheitserreger erhöhen. Jodmangel kann die biogeochemischen Kreisläufe in der Meeresumwelt stören und sich auf die allgemeine



Gesundheit und das Gleichgewicht des Aquariums auswirken.

Trotz seiner zahlreichen Vorteile können hohe Jodkonzentrationen für Meeresorganismen, einschließlich Algen und Korallen, giftig sein und ihr Wachstum und Überleben beeinträchtigen. Überschüssiges Jod kann biochemische Prozesse in Meeresalgen stören, was sich negativ auf ihr Wachstum und ihre Stoffwechselfunktionen auswirkt.

Erhöhte Jodkonzentrationen können zum Ausbleichen und zu verringerten Kalkbildungsraten führen.

Jod ist ein kritisches Element, das für das Wachstum und die physiologischen Funktionen von Algen, Korallen und Mikroben unerlässlich ist. Seine Verfügbarkeit beeinflusst die Primärproduktivität, die Struktur der Lebensgemeinschaften und den biogeochemischen Kreislauf in Meeresökosystemen. Das Gleichgewicht von Jod ist jedoch empfindlich, da sowohl Jodmangel als auch Jodüberschuss erhebliche Auswirkungen auf die Aquarienbewohner haben. Indem wir einen angemessenen Jodgehalt aufrechterhalten, können wir das komplizierte Netz des Lebens in unseren Aquarien unterstützen und die Gesundheit und Vielfalt ihrer Bewohner sicherstellen.

Wenn zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems die Jodwerte unter dem empfohlenen Bereich liegen, empfehlen wir die Verwendung von Reef Zlements Iodine, um den Wert auf 60 µg/L zu bringen. Nichtsdestotrotz sollte die Überwachung und Anpassung des Jodspiegels Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgewogenes und blühendes Ökosystem zu gewährleisten. Die Jodkonzentration sollte niemals unter 40 µg/L liegen, da sonst die Gefahr von STN und RTN bei Korallen besteht.

## Mangan

Mangan (Mn) ist ein essentielles Spurenelement im Meerwasser und spielt eine wichtige Rolle in der physiologischen und ökologischen Dynamik von Meeresorganismen, einschließlich Algen, Korallen und Mikroben.



Mangan ist für die Photosynthese in Meeresalgen und Phytoplankton von entscheidender Bedeutung und spielt eine Schlüsselrolle bei der Wasserspaltungsreaktion während der Photosynthese. Es fungiert auch als wesentliches Antioxidans, das die Meeresorganismen vor oxidativen Schäden schützt, indem es als Kofaktor für die Superoxiddismutase (SOD) fungiert, ein Enzym, das oxidativen Stress abschwächt.

Bei Korallen ist Mangan lebenswichtig für ihre Gesundheit und ihre Stoffwechselprozesse und unterstützt das Wachstum und die Skelettbildung. Mangan ist an den Prozessen des Nährstoffkreislaufs beteiligt, die von Meeresmikroben durchgeführt werden, und erleichtert verschiedene Redoxreaktionen, die für den mikrobiellen Stoffwechsel wichtig sind.

Außerdem unterstützt Mangan die Gesundheit der Zooxanthellen in den Korallen, die für die Energiegewinnung der Korallen durch Photosynthese unerlässlich sind.

Mangan hilft bei der Entgiftung von schädlichen Metallen wie Kupfer durch kompetitive Bindung und schützt so die Meeresorganismen vor Metalltoxizität. Es fördert auch die Zellvermehrung bei wirbellosen Meerestieren und unterstützt so deren Wachstums- und Regenerationsprozesse. Darüber hinaus spielt Mangan eine Rolle bei der Verstärkung der Immunreaktionen von Meeresorganismen und trägt so zu deren Abwehrmechanismen gegen Krankheitserreger bei.

Niedrige Manganwerte können zu Nährstoffdefiziten bei Meeresorganismen führen und deren Wachstum und Stoffwechselfunktionen beeinträchtigen. Besonders betroffen sind Phytoplankton und Makroalgen.

Manganmangel kann sich negativ auf die photosynthetische Leistung von Meeresalgen und Korallen-Phytoplankton auswirken, was zu einer geringeren Energieproduktion führt.

Zu wenig Mangan kann die Skelettbildung und strukturelle Integrität von Korallen beeinträchtigen, was zu schwächeren und brüchigeren Korallenskeletten führt. Es kann auch die antioxidativen Abwehrmechanismen von Meeresorganismen schwächen. Niedrige Mangankonzentrationen stören die von Meeresmikroben durchgeführten



Prozesse des Nährstoffkreislaufs und wirken sich auf die gesamte marine Biogeochemie und die Gesundheit der Ökosysteme aus.

Trotz seiner Bedeutung können hohe Mangankonzentrationen für Meeresorganismen giftig sein, oxidativen Stress verursachen und Stoffwechselfunktionen beeinträchtigen. Überschüssiges Mangan kann das Immunsystem von Meeresorganismen unterdrücken, was ihre Fähigkeit, Infektionen zu bekämpfen, verringert und ihre Anfälligkeit für Krankheiten erhöht.

Erhöhte Mangankonzentrationen können bei wirbellosen Meerestieren neuromuskuläre Störungen verursachen, die sich auf ihre Bewegungen und ihr Verhalten auswirken. Hohe Mangankonzentrationen können bei Korallen Gewebeschäden verursachen, die zum Aufblähen und Absterben des Korallengewebes führen. Mangantoxizität kann zelluläre Prozesse in Meeresorganismen stören, was zu Apoptose, Zellzyklus-Stillstand und anderen schädlichen Auswirkungen führen kann.

Überschüssiges Mangan kann die bakterizide Kapazität von Meeresorganismen beeinträchtigen und damit ihre Fähigkeit, schädliche mikrobielle Populationen zu kontrollieren. Das Wissen um die Verweilzeit von Mangan im Meerwasser, auch in Aquarien, ist wichtig für die Steuerung des Mangangehalts. Die Verweilzeit von Mangan ist relativ kurz und liegt je nach Umweltbedingungen und mikrobieller Aktivität zwischen einigen Stunden und einigen Tagen. Mangan durchläuft einen schnellen Wechsel zwischen gelösten und partikulären Formen, der durch biologische und chemische Prozesse beeinflusst wird.

Mangan ist ein kritisches Element im Meerwasser, das für das Wachstum und die physiologischen Funktionen von Algen, Korallen und Mikroben unerlässlich ist, weshalb eine konstante Versorgung des Aquariums wichtig ist.

Ähnlich wie bei anderen Spurenelementen ist es nicht notwendig, den Manganwert zu korrigieren, wenn er zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems unter dem empfohlenen Bereich liegt, und die nachfolgende Versorgung ist ausreichend - mehr dazu weiter unten. Nichtsdestotrotz





sollte die Überwachung des Manganspiegels Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgewogenes Ökosystem zu gewährleisten.

## Molybdän

Molybdän (Mo) ist ein essentielles Spurenelement im Meerwasser und spielt eine wichtige Rolle in der physiologischen und ökologischen Dynamik von Meeresorganismen, einschließlich Algen, Korallen und Mikroben. Das Verständnis der positiven und negativen Auswirkungen von Molybdän auf diese Organismen ist entscheidend für das Verständnis seines Gesamteinflusses auf das Ökosystem Aquarium.

Die Konzentration von Molybdän im Meerwasser ist relativ einheitlich und liegt typischerweise zwischen 9 und 13 µg/L (Mikrogramm pro Liter). Molybdän ist ein zentraler Bestandteil der Nitrogenase, eines Enzyms, das für die Stickstoffextraktion in Bakterien entscheidend ist. Bei diesem Prozess wird Stickstoff in eine für Meeresorganismen nutzbare Form umgewandelt, was die Produktivität steigert. Außerdem ist Molybdän ein Bestandteil der Nitratreduktase, eines Enzyms, das an der Reduktion von Nitrat zu Nitrit beteiligt ist, einem Schlüsselschritt im Stickstoffkreislauf.

Die Verfügbarkeit von Molybdän unterstützt das Wachstum und die Stoffwechselfunktionen des Phytoplanktons, das für die Primärproduktion in marinen Ökosystemen von entscheidender Bedeutung ist. Bei Korallen ist Molybdän lebenswichtig für ihre Gesundheit und ihre Stoffwechselprozesse und trägt zur Skelettbildung und zur Widerstandsfähigkeit gegenüber Umweltbelastungen bei. Molybdän erleichtert auch verschiedene Redoxreaktionen, die für den mikrobiellen Stoffwechsel wichtig sind, und unterstützt die von den Meereselementen durchgeführten Prozesse des Nährstoffkreislaufs.

Eine geringe Verfügbarkeit von Molybdän kann die Stickstoffextraktion in Bakterien hemmen, was zu einem geringeren Stickstoffeintrag in stickstofflimitierten marinen Ökosystemen führt. Molybdänmangel kann die Wachstumsraten von stickstofffixierenden Bakterien und Phytoplankton verlangsamen und sich negativ auf die Primärproduktivität auswirken.



Ein zu hoher Molybdängehalt kann die Prozesse des Nährstoffkreislaufs stören und sich auf die allgemeine Gesundheit und das Gleichgewicht des Ökosystems auswirken.

Trotz seiner wichtigen Rolle können hohe Konzentrationen von Molybdän für Meeresorganismen giftig sein, oxidativen Stress verursachen und Stoffwechselfunktionen beeinträchtigen. Die Aufnahme von Molybdän kann durch Sulfat, das im Meerwasser reichlich vorhanden ist, gehemmt werden, was die biologische Verfügbarkeit von Molybdän einschränken und Prozesse wie die Stickstoffoxydation beeinträchtigen kann. Veränderungen des Molybdät-Verhältnisses können den Redox-Stoffwechsel und die Lebensfähigkeit bestimmter Mikroalgen beeinträchtigen und sich auf ihr Wachstum und Überleben auswirken.

Die Verweildauer von Molybdän im Meerwasser, auch in Aquarien, kann variieren, wird aber im Allgemeinen durch seinen schnellen Wechsel zwischen gelösten und partikulären Formen beeinflusst. Die Umweltbedingungen und die mikrobielle Aktivität spielen ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Bestimmung der Verweildauer, aber es handelt sich um ein Element, das sich nicht langsam abbaut.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Molybdän ein kritisches Element im Meerwasser ist, das für das Wachstum und die physiologischen Funktionen von Algen, Korallen und Mikroben unerlässlich ist. Seine Verfügbarkeit beeinflusst die Primärproduktivität, die Struktur der Lebensgemeinschaften und den biogeochemischen Kreislauf in marinen Ökosystemen. Das Gleichgewicht von Molybdän ist jedoch empfindlich, wobei sowohl sein Mangel als auch sein Überschuss erhebliche Auswirkungen auf das Leben im Meer haben. Das Verständnis der Rolle von Molybdän und seiner Wechselwirkungen mit Meeresorganismen ist entscheidend für das Verständnis der allgemeinen Dynamik der Gesundheit und Widerstandsfähigkeit der Ozeane. Durch die Aufrechterhaltung eines angemessenen Molybdänspiegels können wir das komplizierte Netz des Lebens in der Meeresumwelt unterstützen und die Gesundheit und Vielfalt unserer Ozeane gewährleisten.

Wenn zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems die



Molybdänwerte unter dem empfohlenen Bereich liegen, empfehlen wir die Verwendung von Reef Zlements Molybdän, um den Wert auf 15 µg/L zu bringen, was zwar eine etwas höhere Konzentration als natürliches Meerwasser ist, aber zu der höheren Stickstoffreduktion beiträgt, die in Aquarien benötigt wird. Nichtsdestotrotz sollte die Überwachung und Anpassung des Jodgehalts Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgewogenes und florierendes Ökosystem zu gewährleisten.

## Nickel

Nickel (Ni) ist ein essentielles Spurenelement im Meerwasser und spielt eine wichtige Rolle in der physiologischen und ökologischen Dynamik von Meeresorganismen, einschließlich Algen, Korallen und Mikroben.

Nickel ist für verschiedene enzymatische Prozesse in Meeresmikroben von entscheidender Bedeutung und unterstützt den Stoffwechsel essenzieller Nährstoffe. Es unterstützt das Wachstum und die Stoffwechselfunktionen des Phytoplanktons, das für die Primärproduktion in marinen Ökosystemen unerlässlich ist. Bei Korallen spielt Nickel eine wichtige Rolle für ihre Gesundheit und ihre Stoffwechselprozesse, es unterstützt die Skelettbildung und sorgt für Widerstandsfähigkeit gegenüber Umweltbelastungen.

Eine geringe Nickelverfügbarkeit kann bei Meeresorganismen zu Nährstoffdefiziten führen und ihr Wachstum und ihre Stoffwechselfunktionen beeinträchtigen. Dieser Mangel wirkt sich insbesondere auf Phytoplankton und Makroalgen aus und verringert die Primärproduktivität. Eine zu hohe Nickelkonzentration kann auch den mikrobiellen Nährstoffkreislauf stören, was sich auf die allgemeine Gesundheit und das Gleichgewicht des Ökosystems im Aquarium auswirkt.

Obwohl Nickel essentiell ist, können hohe Konzentrationen für Meeresorganismen giftig sein (typischerweise über 5 µg/L), oxidativen Stress verursachen und Stoffwechselfunktionen beeinträchtigen. Erhöhte Nickelwerte können die Photosynthese von Meeresalgen



hemmen, was die Primärproduktivität verringert und das Nahrungsnetz beeinträchtigt. Hohe Nickelkonzentrationen können auch bei Korallen Gewebeschäden verursachen, die zum Ausbleichen und Absterben führen.

Die Nickelkonzentration im Meerwasser schwankt, liegt aber im Allgemeinen bei Konzentrationen  $<1 \mu\text{g/L}$  und wird von Faktoren wie der Wasserchemie und der biologischen Aktivität beeinflusst.

Nickel ist ein kritisches Element im Meerwasser, das für das Wachstum und die physiologischen Funktionen von Algen, Korallen und Mikroben unerlässlich ist. Seine Verfügbarkeit beeinflusst die Primärproduktivität, die Struktur der Lebensgemeinschaften und den biogeochemischen Kreislauf in marinen Ökosystemen. Das Gleichgewicht von Nickel ist jedoch empfindlich, wobei sowohl sein Mangel als auch sein Überschuss erhebliche Auswirkungen auf das Leben im Meer haben. Das Verständnis der Rolle von Nickel und seiner Wechselwirkungen mit Meeresorganismen ist entscheidend für das Verständnis der allgemeinen Dynamik der Gesundheit und Widerstandsfähigkeit der Ozeane. Durch die Aufrechterhaltung angemessener Nickelwerte können wir das komplizierte Netz des Lebens in der Meeresumwelt unterstützen und die Gesundheit und Vielfalt unserer Ozeane sicherstellen.

Wenn zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems die Nickelwerte unter dem empfohlenen Bereich liegen, empfehlen wir die Verwendung von Reef Zlements Nickel, um den Wert auf  $2,5 \mu\text{g/L}$  zu bringen, was zwar eine etwas höhere Konzentration als natürliches Meerwasser ist, aber zu den Stoffwechselfunktionen der Korallen beiträgt. Nichtsdestotrotz sollte die Überwachung und Anpassung des Nickelgehalts Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgewogenes und florierendes Ökosystem zu gewährleisten.

## Rubidium

Rubidium (Rb) ist ein Spurenelement, das im Meerwasser vorkommt



und eine Rolle in der physiologischen und ökologischen Dynamik von Meeresorganismen, einschließlich Algen, Korallen und Mikroben, spielt.

Rubidium wird von Meeresorganismen aufgenommen und ist an ihren Stoffwechselprozessen beteiligt, obwohl seine spezifischen Funktionen nicht so gut untersucht sind wie die anderer Spurenelemente. Die Verfügbarkeit von Rubidium unterstützt das Wachstum und die Stoffwechselfunktionen des Phytoplanktons und trägt zur Primärproduktion im Ökosystem bei. In der Natur ist Rubidium vorhanden und kann eine Rolle bei ihren Stoffwechselprozessen und der Skelettbildung spielen, da anekdotisch durch empirische Beobachtungen Farbveränderungen festgestellt wurden.

Eine geringe Rubidiumverfügbarkeit kann zu Nährstoffdefiziten bei Meeresorganismen führen und deren Wachstum und Stoffwechselfunktionen beeinträchtigen. Besonders betroffen sind Phytoplankton und Makroalgen, was die Primärproduktivität verringern und sich auf das gesamte marine Nahrungsnetz auswirken kann.

Die Rubidiumkonzentration im Meerwasser liegt im Allgemeinen bei etwa 120 µg/L und ist relativ gleichmäßig über die verschiedenen Meeresregionen und -tiefen verteilt. Diese Gleichmäßigkeit trägt dazu bei, die Stabilität der Meeresökosysteme zu erhalten, indem sie für ein konstantes Vorkommen dieses Spurenelements sorgt.

Rubidium ist zwar nicht so gut erforscht wie einige andere Spurenelemente, spielt aber eine Rolle für das Wachstum und die physiologischen Funktionen von Algen, Korallen und Mikroben. Seine Verfügbarkeit kann sich auf die Primärproduktivität, die Struktur der Lebensgemeinschaften und den biogeochemischen Kreislauf in marinen Ökosystemen auswirken.

Ähnlich wie bei anderen Spurenelementen muss der Rubidiumspiegel zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems nicht korrigiert werden, und die anschließende Versorgung ist ausreichend.



## Selen

Selen (Se) im Meerwasser spielt eine wichtige Rolle in der Physiologie und Ökologie von Meeresorganismen wie Algen, Korallen und Mikroben.

Selen kommt in erster Linie als Selenit, Selenat und organisches Selen vor, wobei organisches Selen in den Oberflächengewässern und Selenit/Selenat in den tieferen Gewässern des Ozeans dominiert. In Küstengewässern kommen auch organische Formen wie Seleno-Aminosäuren vor. Durch die Methylierung durch Mikroorganismen entstehen flüchtige Selenverbindungen, die für den biogeochemischen Kreislauf von Selen entscheidend sind. Selen ist für das Wachstum von Phytoplankton und Zooxanthellen unerlässlich. Das Phytoplankton bevorzugt Selenit gegenüber Selenat und baut es in Proteine und Aminosäuren ein.

Selen stärkt die antioxidativen Abwehrkräfte und schützt die Meeresorganismen, einschließlich der Korallen, vor oxidativen Schäden. Es unterstützt das Wachstum und die Stoffwechselfunktionen von Seetang, Korallen und Phytoplankton. Selen in Mikroalgen fördert das Wachstum und die Produktion wertvoller Verbindungen, während sein Vorkommen in marinen Biofilmen das Wachstum von Mikroorganismen unterstützt.

Hohe Selenkonzentrationen können toxisch sein und oxidativen Stress und Stoffwechselstörungen in Meeresorganismen verursachen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Selen für das Wachstum und die Stoffwechselfunktionen von Meeresorganismen von entscheidender Bedeutung ist und sich auf die Produktivität, die Struktur der Lebensgemeinschaft und den biogeochemischen Kreislauf auswirkt. Die Aufrechterhaltung eines ausgewogenen Selenspiegels ist für die Gesundheit und Widerstandsfähigkeit der marinen Ökosysteme



von entscheidender Bedeutung und sichert die Vielfalt und Gesundheit unserer Ozeane.

Wenn der Selengehalt zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems unter dem empfohlenen Bereich liegt, muss er nicht korrigiert werden und die nachfolgende Versorgung ist ausreichend - mehr dazu weiter unten. Nichtsdestotrotz sollte die Überwachung des Selenspiegels Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgewogenes und florierendes Ökosystem zu gewährleisten.

## Silizium

Silizium (Si) spielt eine entscheidende Rolle für die physiologische und ökologische Dynamik von Meeresorganismen, insbesondere von Kieselalgen und Schwämmen.

Silizium ist wesentlich für das Wachstum und die Produktivität mariner Kieselalgen, die wesentlich zur marinen Primärproduktion und zum Kohlenstoffkreislauf beitragen. Kieselalgen wandeln gelöstes Silizium in biogene Kieselsäure um und tragen so zum ozeanischen Silizium- und Kohlenstoffkreislauf bei. Die Regeneration von biogenem Silizium ist für die Versorgung der Kieselalgen mit gelöstem Silizium entscheidend, wobei mikrobielle Aktivität eine grundlegende Rolle in diesem Prozess spielt. Einige Meeresalgen akkumulieren beträchtliche Mengen an Silizium, was den Wettbewerb zwischen den Phytoplanktonarten beeinflussen kann.

Schwammskelette dienen als bedeutende Siliziumsenke im Ozean und tragen zum globalen Siliziumkreislauf bei. Schwämme und Radiolarien erleichtern die Einlagerung von Silizium durch ihre kieselsäurehaltigen Skelette, wobei Schwämme aufgrund ihrer Auflösungsresistenz besonders wirksam sind.

Die Anreicherung mit Silizium erhöht die Cadmiumtoleranz bei marinen Kieselalgen, indem sie eine bessere Silizierung der Zellwände fördert, was die Bewältigung der Cadmiumtoxizität erleichtert. Silizium beeinflusst auch die Expression von Metalltransportern und hilft so bei der



Entgiftung von Metallen. Die Verfügbarkeit von Silizium wirkt sich auf die Metallempfindlichkeit von Diatomeen aus, wobei siliziumarme Diatomeen eine geringere Toleranz gegenüber Metallen wie Cadmium, Kupfer und Blei aufweisen.

Silizium unterstützt das Wachstum und die strukturelle Integrität von Korallen, indem es zu ihrer Skelettbildung beiträgt. Es spielt eine Rolle im Nährstoffkreislauf der Korallenökosysteme und fördert das Wachstum von Kieselalgen und anderen siliziumabhängigen Organismen, die für die Produktivität der Riffe entscheidend sind. Silizium trägt zur Verbesserung der Stressresistenz von Korallen bei, indem es ihre antioxidativen Abwehrkräfte stärkt und ihnen hilft, mit oxidativem Stress und anderen Umweltbelastungen fertig zu werden. Darüber hinaus beeinflusst Silizium die Gesundheit der symbiotischen Algen in den Korallen, indem es deren Photosyntheseleistung und Gesamtproduktivität unterstützt.

Siliziummangel im Meerwasser beeinträchtigt das Wachstum und die Gesundheit von Kieselalgen, was zu einer geringeren Primärproduktivität führt und sich auf das gesamte marine Nahrungsnetz auswirkt. Dieser Mangel macht Kieselalgen auch anfälliger für Schadstoffe wie Mikroplastik und begünstigt Virusinfektionen, was ihre Sterblichkeitsrate erhöht und den Silizium- und Kohlenstoffkreislauf beeinträchtigt. Hohe Konzentrationen von Silizium-Nanopartikeln können für andere marine Mikroalgen giftig sein und zu Wachstumshemmungen und Zellschäden führen. Eine gestörte Siliziumverfügbarkeit kann die Metallempfindlichkeit mariner Kieselalgen verändern und sie anfälliger für Metalltoxizität machen.

Silizium ist ein wichtiges Element für marine Ökosysteme, das die Primärproduktivität, den Nährstoffkreislauf und die Gesundheit von Meeresorganismen beeinflusst. Obwohl ein gewisser Siliziumbedarf im Aquarium besteht, enthalten namhafte Salzmarken Silizium in höheren Mengen als im Meer, und eine Siliziumergänzung ist nicht erforderlich, außer in besonderen Fällen, die nicht in den Rahmen dieses Handbuchs fallen. Es wird empfohlen, den Siliziumgehalt zwischen 100µg/L und 300µg/L zu halten, um ein gesundes Ökosystem im Aquarium zu erhalten und gleichzeitig die Kieselalgenblüte/Ausbreitung zu minimieren.





## Vanadium

Vanadium (V) ist ein bedeutendes Spurenelement im Meerwasser und spielt eine äußerst wichtige Rolle in der physiologischen und ökologischen Dynamik von Meeresorganismen, einschließlich Algen, Korallen und Mikroben. Es ist das zweithäufigste Übergangsmetall im Meerwasser und kommt hauptsächlich als Vanadat (V) vor. Sein Gehalt schwankt mit den Jahreszeiten und Redoxbedingungen, was sich auf seine Bioverfügbarkeit auswirkt. Vanadium durchläuft einen Redoxzyklus zwischen Vanadat (V) und Vanadyl (IV), wobei anoxische Bedingungen die Reduktion zu Vanadyl fördern.

Dieses Element spielt eine wichtige Rolle in marinen Makroalgen, wo vanadiumabhängige Haloperoxidasen Halogenierungsreaktionen erleichtern. Verschiedene Bakterien nutzen Vanadiumverbindungen zur Stickstoff-oxidation und Bioremediation und tragen so zum Nährstoffkreislauf bei.

Vanadium stärkt die antioxidativen Abwehrkräfte von Meeresorganismen und schützt so vor oxidativen Schäden, auch bei Korallen. Es unterstützt Wachstum und Entwicklung, insbesondere bei Korallen, und spielt eine Rolle im Nährstoffkreislauf, was Riffaquarien zugutekommt. Von Vanadium abhängige Enzyme verbessern die Stoffwechselfunktionen und die photosynthetische Leistung in symbiotischen Algen. Vanadiumverbindungen sind nützlich bei der Bioremediation, der Verringerung der Toxizität von Schadstoffen und der Verbesserung von Stressreaktionen, Gewebereparatur, Immunfunktionen und symbiotischen Beziehungen in Korallen.

Trotz seiner Vorteile in hohen Konzentrationen ist Vanadium jedoch toxisch und verursacht oxidativen Stress und Stoffwechselstörungen. Eine Exposition gegenüber hohen Konzentrationen kann zu einer Entwicklungstoxizität bei



Meeresembryonen führen, indem es wichtige Enzyme hemmt und eine Bioakkumulation mit langfristigen ökologischen Auswirkungen verursacht. Vanadium kann die Kalziumaufnahme stören und die Biomineralisierung und Skelettbildung beeinträchtigen.

Die Verweildauer von Vanadium im Meerwasser hängt von seinem Redoxzustand und den Bedingungen ab. Im Allgemeinen hat es eine lange Verweildauer, die oft von mehreren Jahren bis zu Jahrzehnten reicht, was auf komplexe biogeochemische Kreisläufe und Wechselwirkungen mit Partikeln zurückzuführen ist.

Vanadium ist ein wichtiges Spurenelement im Ökosystem des Aquariums, das die Primärproduktivität, den Nährstoffkreislauf und die Gesundheit der Meeresorganismen beeinflusst. Seine Verfügbarkeit und sein Gleichgewicht sind für die Aufrechterhaltung der Gesundheit und Widerstandsfähigkeit des Ökosystems unerlässlich.

Wenn der Vanadiumgehalt zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems unter dem empfohlenen Bereich liegt, muss er nicht korrigiert werden, und die nachfolgende Versorgung ist zufriedenstellend - mehr dazu weiter unten. Nichtsdestotrotz sollte die Überwachung des Vanadiumgehalts Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgewogenes und florierendes Ökosystem zu gewährleisten.

## Zink

Zink (Zn) ist ein Spurenelement, das eine entscheidende Rolle in der physiologischen und ökologischen Dynamik von Meeresorganismen, einschließlich Algen, Korallen und Mikroben, spielt.

Zink kommt im Meerwasser hauptsächlich als freies Ion und in Komplexen mit organischen und anorganischen Liganden vor. Es ist an verschiedenen biogeochemischen Prozessen beteiligt und beeinflusst die Chemie wichtiger Elemente wie Phosphor und Silizium. Zink kommt in gelösten und partikulären Formen vor, wobei die Bioverfügbarkeit vom pH-Wert, dem Salzgehalt und dem Vorhandensein organischer Stoffe abhängt. Zink



ist für das Wachstum von Phytoplankton unerlässlich, da es als Cofaktor in Enzymen fungiert, die am Kohlenstoff- und Phosphorzyklus beteiligt sind. In oligotrophen Gewässern weist Zink ein nährstoffähnliches Profil auf, wobei die Konzentrationen aufgrund von biologischer Aufnahme und Recycling mit der Tiefe abnehmen.

Zink dient als Cofaktor für die alkalische Phosphatase, die für den Phosphorerwerb in Meeresorganismen, einschließlich Korallen, von entscheidender Bedeutung ist. Es steht in Wechselwirkung mit anderen Metallen wie Kupfer und Cadmium und beeinflusst deren Toxizität und Bioverfügbarkeit. Zink spielt eine wichtige Rolle in mikrobiellen Ökosystemen, indem es den Abbau gelöster organischer Stoffe (DOM) unterstützt und die mikrobiellen Gemeinschaften strukturiert. Meeresorganismen wie Krebse und Schnecken können Zink bioakkumulieren, was zu potenziell toxischen Effekten führt.

Zink stärkt die antioxidativen Abwehrkräfte von Meeresorganismen, einschließlich Korallen, und schützt sie so vor oxidativen Schäden. Es unterstützt das Wachstum und die Entwicklung von Korallen, indem es als Cofaktor für Enzyme wirkt, die an Stoffwechselprozessen beteiligt sind. Zinkabhängige Enzyme unterstützen verschiedene biochemische Reaktionen, die für die Gesundheit und Widerstandsfähigkeit der Korallen notwendig sind. Zink spielt eine Rolle im Nährstoffkreislauf in Korallenökosystemen, unterstützt Zooxanthellen und kann die Photosyntheseleistung der symbiotischen Algen verbessern, was die Energieproduktion und Gesundheit der Korallen fördert. Zink moduliert die Stressreaktionen von Korallen und hilft ihnen, mit Umweltveränderungen fertig zu werden und Stressauswirkungen zu verringern. Es unterstützt die Gewebereparatur und -regeneration und fördert so die Erholung der Korallen von Schäden. Zink stärkt die Immunfunktionen und hilft den Korallen, sich gegen Infektionen und Krankheiten zu wappnen. Es unterstützt die symbiotischen Beziehungen zwischen Korallen und ihren Algen, die für die Gesundheit und Widerstandsfähigkeit der Korallen entscheidend sind. Zinkabhängige Enzyme tragen zur Widerstandsfähigkeit der Korallen und ihrer Anpassungsfähigkeit an veränderte Bedingungen bei.



Andererseits können hohe Zinkkonzentrationen für Meeresorganismen giftig sein und oxidativen Stress und Störungen des Stoffwechsels verursachen. Ein Übermaß an Zink kann das Wachstum des Phytoplanktons und die Photosyntheseleistung hemmen und so die Primärproduktivität beeinträchtigen. Die Bioakkumulation von Zink in Meeresorganismen kann zu toxischen Effekten, einschließlich oxidativem Stress und Stoffwechselstörungen, führen. Hohe Konzentrationen können oxidativen Stress auslösen, der die Gesundheit und das Überleben von Korallen beeinträchtigt. Zink kann die Kalziumaufnahme beeinträchtigen und die Biomineralisierung und Skelettbildung stören. Es kann die Zusammensetzung und Funktion der mikrobiellen Gemeinschaft verändern und den Nährstoffkreislauf beeinträchtigen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Zink für Aquarienökosysteme von entscheidender Bedeutung ist, da es den Nährstoffkreislauf und die Gesundheit von Meeresorganismen, einschließlich Korallen, beeinflusst. Seine Verfügbarkeit und sein Gleichgewicht sind für die Erhaltung der Gesundheit und Widerstandsfähigkeit des Ökosystems von entscheidender Bedeutung.

Wenn zu Beginn der Verwendung des H2P™-Dosiersystems der Zinkgehalt unter dem empfohlenen Bereich liegt, empfehlen wir die Verwendung von Reef Elements Zinc, um den Wert auf 5 µg/L zu bringen. Nichtsdestotrotz sollte die Überwachung und Anpassung des Zinkgehalts Teil einer umfassenderen Strategie sein, um ein ausgewogenes und florierendes Ökosystem zu gewährleisten.

## Nährstoffe

Nährstoffe spielen eine entscheidende Rolle für die Gesundheit und Stabilität von Riffaquarien. Sie beeinflussen das Wachstum von Korallen, Algen und dem gesamten mikrobiellen Ökosystem. Der richtige Umgang mit Nährstoffen wie gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC), Stickstoff, Phosphor und Spurenelementen ist entscheidend für die Aufrechterhaltung eines ausgewogenen Milieus, das die vielfältigen Lebensformen in einem



Riffaquarium unterstützt.

Das Verständnis der Nährstoffe, ihrer Bedeutung und ihrer Auswirkungen ist der Schlüssel zu einem richtigen Nährstoffmanagement, das das Korallenwachstum fördert, die Algenvermehrung kontrolliert und ein gesundes mikrobielles Gleichgewicht aufrechterhält.

### **Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)**

Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) ist ein entscheidender Bestandteil des marinen Nährstoffkreislaufs und spielt eine wichtige Rolle in Riffökosystemen. Er besteht aus im Wasser gelösten organischen Molekülen, die aus einer Vielzahl von Quellen stammen, darunter der Zerfall von pflanzlichen und tierischen Stoffen, Ausscheidungen von Meeresorganismen und die Auswaschung organischer Verbindungen aus terrestrischen Quellen. Im Falle von Aquarien stammt er hauptsächlich aus Futtermitteln, Futterergänzungsmitteln und Kohlenstoffdosen, während ein kleinerer Teil aus Umweltverschmutzungen stammt, die den Hausstaub ausmachen (z. B. abgestorbene Hautzellen, Rückstände aus Kleidung und Möbeln, Haare, Pollen und Feinstaub aus der Außenluft).

DOC kommt Riffaquarien zugute, indem er als lebenswichtige Energie- und Kohlenstoffquelle für heterotrophe Bakterien und andere Mikroorganismen dient und so den mikrobiellen Kreislauf unterstützt, der DOC in Biomasse umwandelt, die von höheren trophischen Ebenen verbraucht wird. Es fördert die Gesundheit der Korallen, indem es den Stoffwechsel der Korallen und ihrer symbiotischen Algen beeinflusst und den Korallen hilft, ihren Stoffwechselbedarf bei geringer photosynthetischer Aktivität zu decken. Außerdem enthält DOC organische Verbindungen, die als chemische Signale wirken und das Verhalten und die Physiologie von Meeresorganismen beeinflussen.

Ein Übermaß an DOC kann jedoch tiefgreifende negative Auswirkungen haben. Er kann zu einer Nährstoffanreicherung oder Eutrophierung führen und das übermäßige Wachstum von Algen und Cyanobakterien fördern, die den Korallen Licht und Platz streitig machen. Ein hoher DOC-Gehalt kann die mikrobielle Aktivität anregen, den Sauerstoffverbrauch



erhöhen und möglicherweise zu hypoxischen Bedingungen führen, die für aerobe Organismen schädlich sind. Erhöhte DOC-Werte können auch das Wachstum pathogener Bakterien fördern, was die Wahrscheinlichkeit von Krankheitsausbrüchen bei Korallen erhöht. Darüber hinaus können Veränderungen der DOC-Konzentration die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften verändern, was sich auf den Nährstoffkreislauf und die allgemeine Gesundheit des Riffs auswirkt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass DOC für Riffökosysteme von wesentlicher Bedeutung ist, da er Nährstoffe liefert und die Gesundheit der Korallen unterstützt. Ein zu hoher DOC-Gehalt kann jedoch Eutrophierung, Sauerstoffmangel und eine erhöhte Krankheitsanfälligkeit verursachen. Daher sind eine moderate Kohlenstoffdosierung und eine gute Pflege der Schlüssel zur Aufrechterhaltung eines ausgewogenen DOC-Gehalts.

## Nitrat

Erhöhte Nitratwerte stellen zwar ein erhebliches Problem für die Gesundheit der Korallen dar, doch sind Nitrate auch wichtige Nährstoffe für Korallen und andere Meeresorganismen. In ausgewogenen Konzentrationen tragen Nitrate zur allgemeinen Gesundheit und zum Wachstum von Korallen bei, indem sie eine wichtige Stickstoffquelle darstellen, die für die Synthese von Aminosäuren und Proteinen sowohl in Korallen als auch in ihren symbiotischen Algen, den Zooxanthellen, erforderlich ist.

Ein moderater Nitratgehalt unterstützt den Stoffwechsel der Zooxanthellen und fördert die Photosynthese und die Produktion organischer Verbindungen, die den Korallen Energie liefern. Angemessene Nitratkonzentrationen tragen zur Aufrechterhaltung der symbiotischen Beziehung zwischen Korallen und Zooxanthellen bei und fördern das Wachstum und die Widerstandsfähigkeit der Korallen. Darüber hinaus können Nitrate das Wachstum nützlicher mikrobieller Gemeinschaften innerhalb des Korallenholobionts anregen und so zum Nährstoffkreislauf und zur allgemeinen Gesundheit des Riffs beitragen.

Umgekehrt können Umgebungen mit übermäßig niedrigen Nitratwerten die



Gesundheit der Korallen beeinträchtigen. Nitratmangel kann das Wachstum und die Photosyntheseleistung der Zooxanthellen einschränken, wodurch den Korallen weniger Energie zur Verfügung steht. Dies kann zu einem verkümmerten Wachstum, einer geringeren Reproduktionsrate und einer erhöhten Anfälligkeit für Umweltstressoren führen. In einer nitratarmen Umgebung haben Korallen möglicherweise Schwierigkeiten, mit anderen Organismen um begrenzte Nährstoffe zu konkurrieren, was ihre allgemeine Widerstandsfähigkeit schwächt.

Trotz der wichtigen Rolle von Nitraten kann ein hoher Nitratgehalt schädliche Auswirkungen auf Korallen haben. Hohe Nitratkonzentrationen können das empfindliche Gleichgewicht stören, das für die Gesundheit der Korallen notwendig ist.

Erhöhte Nitratwerte stimulieren das Wachstum und die Dichte von Zooxanthellen. Dies kann zwar die Photosynthese fördern, führt aber zu einem Ungleichgewicht, bei dem die Zooxanthellen mehr verfügbares  $\text{CO}_2$  für die Photosynthese verbrauchen. Dadurch verringert sich das für die Kalziumbildung der Korallen verfügbare  $\text{CO}_2$ , was zu einem geringeren Skelettwachstum und schwächeren Korallenstrukturen führt. Hohe Nitratwerte beeinträchtigen direkt die Kalzifizierung der Korallen. Die erhöhte  $\text{CO}_2$ -Aufnahme durch Zooxanthellen für die Photosynthese lässt den Korallen weniger  $\text{CO}_2$  für die Bildung ihrer Kalziumkarbonat-Skelette. Im Laufe der Zeit kann dies zu dünneren, brüchigeren Skeletten führen, was die Korallen anfälliger für physische Schäden macht und ihre Wachstumsraten insgesamt verringert.

In Verbindung mit erhöhten Temperaturen kann ein hoher Nitratgehalt die Korallenbleiche verschlimmern. Die Bleiche tritt auf, wenn die symbiotische Beziehung zwischen Korallen und Zooxanthellen zusammenbricht, in der Regel aufgrund von Stressfaktoren wie erhöhten Temperaturen, Korallen-transport, erhöhter Lichtexposition usw.

Erhöhte Nitratwerte tragen zu diesem Stress bei, indem sie den oxidativen Stress im Korallengewebe verstärken, ihren aeroben Spielraum verringern und sie anfälliger für Bleiche machen. Hohe Nitratwerte wirken sich auf die Korallenphysiologie aus, indem sie den Nährstoffkreislauf



innerhalb des Korallenholobionten stören. Dieses Ungleichgewicht kann Stoffwechselprozesse stören, die Energiebereitstellung für Wachstum und Fortpflanzung verringern und die Fähigkeit der Koralle zur Regulierung ihrer inneren Umgebung beeinträchtigen. Diese physiologischen Störungen können Korallen schwächen und ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber Umweltstressoren verringern.

Um die nachteiligen Auswirkungen erhöhter Nitratwerte abzumildern, sind wirksame Strategien für das Nährstoffmanagement unerlässlich. Eine Fütterung, die sicherstellt, dass das Futter schnell aufgefressen wird und sich nicht im Wasser zersetzt, hilft bei der Kontrolle des Nitratgehalts. Eine Überfütterung kann zu einem Überschuss an Nährstoffen im Aquarium führen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Aufrechterhaltung optimaler Nitratwerte entscheidend für die Gesundheit der Korallen und die allgemeine Stabilität des Riffaquariums ist. Während Nitrate essentielle Nährstoffe sind, die das Korallenwachstum und die Stoffwechselfunktionen unterstützen, erhöhen erhöhte Werte die Zooxanthellen-Dichte, reduzieren das Skelettwachstum, verschlimmern die Bleiche und verändern die physiologischen Reaktionen der Korallen. Durch ein effektives Nährstoffmanagement können Aquarianer diese nachteiligen Auswirkungen abmildern und gesündere und widerstandsfähigere Korallen fördern.

## Phosphat und Orthophosphat

Phosphat ( $\text{PO}_4$ ) ist ein Ion, das aus einem Phosphoratom besteht, das von vier Sauerstoffatomen in einer tetraedrischen Anordnung umgeben ist.

Phosphat ist ein wichtiger Nährstoff in Riffaquarien, vor allem in Form von Orthophosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) oder besser gesagt als löslicher reaktiver Phosphor (SRP), der eine wichtige Rolle für die Gesundheit und das Wachstum von Korallen spielt. Er ist für verschiedene biologische Prozesse unentbehrlich, und sowohl ein zu hoher als auch ein zu niedriger Phosphatgehalt kann das Wachstum der Korallen, die Skelettdichte und die allgemeine Gesundheit des Riffs beeinträchtigen.





Phosphate sind für zahlreiche zelluläre Funktionen notwendig, darunter die Synthese von Nukleinsäuren und ATP, die für die Energieübertragung und -speicherung in allen lebenden Organismen unerlässlich sind. In ausgewogenen Konzentrationen unterstützen Phosphate den Stoffwechselbedarf von Korallen und ihren symbiotischen Algen, den Zooxanthellen, und fördern die Photosynthese und die Energieproduktion. Ein Phosphatmangel kann jedoch ebenso schädlich sein wie ein Überschuss. Bei Korallen kann Phosphatmangel zu Ausbleichen und verringerten Wachstumsraten führen. Korallen, die einem unausgewogenen Stickstoff-Phosphor-Verhältnis ausgesetzt sind, zeigen schwerwiegende symbiotische Störungen, einen Verlust an Biomasse und Bleiche, was darauf hindeutet, dass Phosphat für die Aufrechterhaltung gesunder symbiotischer Beziehungen mit Zooxanthellen und die Verhinderung von Bleiche entscheidend ist.

Hohe Phosphatwerte hemmen die Bildung des Korallenskeletts, indem sie den Prozess der Aragonit- $\text{CaCO}_3$ -Bildung stören, der für die Entwicklung des Korallenskeletts entscheidend ist. Untersuchungen an jungen *Acropora digitifera* haben gezeigt, dass erhöhte Phosphatwerte sowohl *in vitro* als auch *in vivo* die Aragonitbildung hemmen, was zu schwächeren und weniger dichten Korallen führt. In Kombination mit erhöhten Temperaturen und einem niedrigen pH-Wert bedeuten hohe Phosphatwerte eine weitere Belastung für die Korallen. Studien deuten darauf hin, dass solche kombinierten Stressfaktoren die Phosphataufnahme und die Photosynthese verringern, was die negativen Auswirkungen auf die Gesundheit der Korallen noch verschlimmert. Die kombinierte Wirkung von thermischem Stress und hohen Phosphatwerten kann zu erhöhtem oxidativem Stress und verringerten Kalzifizierungsraten führen. Erhöhte Nährstoffwerte, einschließlich Phosphat, können zur Eutrophierung führen und Algenblüten fördern, die mit den Korallen um Licht und Platz konkurrieren. Diese Konkurrenz kann die Kalzifizierungsraten der Korallen und ihre allgemeine Gesundheit beeinträchtigen. Der übermäßige Algenwuchs beschattet nicht nur die Korallen, sondern produziert auch allelopathische Verbindungen, die das Wachstum und Überleben der Korallen hemmen. Phosphatstress beeinträchtigt die Photosynthese der symbiotischen Algen in Korallen. Bei



Acropora-Arten hat sich gezeigt, dass ein erhöhter Phosphatgehalt die Photosyntheseeffizienz und die Dichte der Zooxanthellen verringert und sich damit auf die allgemeine Gesundheit und Widerstandsfähigkeit der Koralle auswirkt.

Um die nachteiligen Auswirkungen erhöhter Phosphatwerte abzumildern, sind wirksame Nährstoffmanagementstrategien unerlässlich. Die Aufrechterhaltung eines optimalen Phosphatgehalts ist entscheidend für die Gesundheit der Korallen und die allgemeine Stabilität der Ökosysteme in Riffaquarien.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Phosphate zwar essentielle Nährstoffe sind, die das Wachstum und die Stoffwechselfunktionen der Korallen unterstützen, dass aber erhöhte Werte die Bildung von Korallenskeletten hemmen, Stressfaktoren verstärken und Algenblüten fördern können, während Phosphatmangel zu Bleiche und reduziertem Korallenwachstum führen kann. Durch die Umsetzung wirksamer Strategien für das Nährstoffmanagement können Aquarianer und Naturschützer diese negativen Auswirkungen abmildern und gesündere und widerstandsfähigere Korallenriffe fördern.

Bevor wir jedoch zum Schluss kommen, ist es wichtig zu verstehen, dass es verschiedene Arten von Phosphat gibt, darunter Orthophosphat, Pyrophosphat, Polyphosphat und organisch gebundenes Phosphat. Bei der Verwendung eines ICP-Tests zur Messung von Phosphat ist zu beachten, dass ein ICP-Gerät Phosphor misst, der dann mathematisch in Phosphat umgewandelt wird, und nicht direkt Phosphat, das Gesamtphosphat und nicht Orthophosphat darstellt, die Form von Phosphat, die mit Heimtestsätzen gemessen werden kann. Mit einer anderen Analysetechnik wie der Kolorimetrie unter Verwendung eines UV/Vis-Spektralphotometers kann ein professionelles Labor wie das ICP-Labor von Reef Elements jedoch eine genaue Messung des Orthophosphats vornehmen.



## Aminosäuren

Aminosäuren sind grundlegende organische Verbindungen, die für die Gesundheit und das Wachstum von Korallen entscheidend sind. Diese Bausteine von Proteinen sind für verschiedene physiologische Prozesse im Korallengewebe und für ihre symbiotischen Beziehungen mit Zooxanthellen unerlässlich.

Aminosäuren sind die Grundbausteine der Proteine, die für die Struktur und Funktion des Korallengewebes unerlässlich sind. Sie sind am Aufbau des Skeletts, an der Gewebereparatur und an enzymatischen Aktivitäten beteiligt und unterstützen das Wachstum und die Entwicklung der Korallen. Aminosäuren tragen zum Wachstum von Korallenpolypen und zur Ausdehnung des gesamten Gewebes bei und spielen eine Rolle bei der Produktion der organischen Matrix, die für die Ablagerung von Kalziumkarbonat erforderlich ist, das für das Skelettwachstum entscheidend ist.

Aminosäuren können auch verstoffwechselt werden, um Energie für verschiedene zelluläre Prozesse bereitzustellen, insbesondere wenn die fotosynthetisch gewonnene Energie der Zooxanthellen unzureichend ist. Sie helfen den Korallen, mit Umweltstressoren wie Temperaturschwankungen, UV-Strahlung und Umweltverschmutzung fertig zu werden, indem sie Stressproteine und Antioxidantien synthetisieren, bei der Gewebereparatur helfen und die Widerstandsfähigkeit gegenüber körperlichen Verletzungen und Krankheiten erhöhen.

Aminosäuren spielen eine entscheidende Rolle im Nährstoffaustausch zwischen Korallen und ihren symbiotischen Zooxanthellen. Die Korallen versorgen die Zooxanthellen mit Kohlendioxid und Nährstoffen, während die Zooxanthellen die Korallen durch Photosynthese mit Glucose, Glycerin und Aminosäuren versorgen.

Aminosäuren beziehen die Korallen aus verschiedenen Quellen. Die heterotrophe Ernährung mit Plankton und organischem Material stellt eine reichhaltige Quelle für Aminosäuren dar, insbesondere in nährstoffarmen Gewässern. Korallen können auch gelöste freie Aminosäuren direkt



aus dem umgebenden Meerwasser aufnehmen, was durch spezielle Transportmechanismen in ihren Epithelzellen erleichtert wird. Symbiotische Zooxanthellen produzieren nicht-essentielle Aminosäuren als Nebenprodukte der Photosynthese, die auf die Koralle übertragen werden.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, den Korallen eine leicht verfügbare Quelle essenzieller Aminosäuren zu bieten, die in Gefangenschaft, z. B. in einem Aquarium, begrenzt sein können. Eine übermäßige Zufuhr von Aminosäuren kann jedoch zu einem Nährstoffgleichgewicht führen, das unerwünschtes Algenwachstum fördert und sich negativ auf die Wasserqualität auswirkt. Ein hoher Gehalt an gelösten organischen Verbindungen, einschließlich Aminosäuren, kann die organische Belastung des Wassers erhöhen, so dass eine sorgfältige Filtration und regelmäßige Wasserwechsel erforderlich sind, um optimale Bedingungen zu schaffen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Aminosäuren für die Gesundheit und das Wachstum von Korallen unverzichtbar sind, da sie als Bausteine von Proteinen dienen, Stoffwechselprozesse unterstützen, Stressreaktionen fördern und symbiotische Beziehungen erleichtern. Das Verständnis ihrer Quellen und Funktionen kann Riffaquarianern und Meeresbiologen helfen, florierende Korallenökosysteme zu erhalten und zu fördern.

## Vitamine

Vitamine sind essenzielle organische Verbindungen, die bei verschiedenen physiologischen Prozessen in Korallen wie Wachstum, Fortpflanzung, Immunfunktion und allgemeine Gesundheit eine wichtige Rolle spielen. Als Coenzyme oder Vorstufen für wichtige Stoffwechselreaktionen sind Vitamine für Korallen ebenso wichtig wie für andere Organismen.

Vitamine tragen wesentlich zum Wachstum und zur Entwicklung der Korallen bei. Vitamin C ist entscheidend für die Kollagensynthese, die für die strukturelle Integrität des Korallengewebes und -skeletts unerlässlich ist, und hilft bei der Heilung und Wiederherstellung von Gewebe. Vitamin D ist zwar bei Korallen weniger gut untersucht, man nimmt jedoch an,



dass es am Kalziumstoffwechsel und an der Skelettbildung beteiligt ist, was seiner Rolle bei Wirbeltieren entspricht.

Für die Immunfunktion sind die Vitamine unverzichtbar. Vitamin C wirkt als Antioxidans und schützt das Korallengewebe vor oxidativem Stress, der durch Umweltfaktoren wie UV-Strahlung, Umweltverschmutzung und Krankheitserreger verursacht wird. In ähnlicher Weise trägt Vitamin E dazu bei, die Zellmembranen vor oxidativen Schäden zu schützen und damit das Immunsystem der Korallen zu unterstützen.

Vitamine spielen auch eine entscheidende Rolle bei der Photosynthese und der Symbiose. Vitamin B12 ist wichtig für den Stoffwechsel der symbiotischen Zooxanthellen, die Photosynthese betreiben und den Korallenwirt mit Nährstoffen versorgen und so die Gesundheit und das Wachstum dieser Symbionten unterstützen.

Für die Fortpflanzung ist Vitamin A von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung der Gameten und das Wachstum der Larven, und es spielt eine Rolle bei der zellulären Entwicklung und Vermehrung. Folsäure (Vitamin B9) ist wichtig für die DNA-Synthese und die Zellteilung, was während der Entwicklung und Ansiedlung der Korallenlarven von entscheidender Bedeutung ist.

Vitamine helfen auch bei der Stressbewältigung und -erholung. Die Vitamine C und E helfen den Korallen, sich von physischen Schäden und Umweltbelastungen zu erholen, indem sie die antioxidativen Abwehrkräfte stärken und die Gewebereparatur fördern.

Korallen beziehen Vitamine aus verschiedenen Quellen: Sie fangen natürlich planktonische Organismen, die reich an Vitaminen und anderen wichtigen Nährstoffen sind. Sie können auch gelöste Vitamine direkt aus dem Meerwasser aufnehmen, das aus den Ausscheidungen von Meeresorganismen, der Zersetzung organischer Stoffe und terrestrischem Eintrag stammt. Symbiotische Zooxanthellen im Korallengewebe können bestimmte Vitamine synthetisieren und an ihre Wirtskorallen weitergeben, so dass eine wechselseitige Beziehung entsteht, die für die Gesundheit der Korallen unerlässlich ist. Es hat sich als vorteilhaft



erwiesen, eine leicht verfügbare Vitaminquelle bereitzustellen, die in Gefangenschaftsumgebungen wie einem Aquarium begrenzt sein kann.

Eine Überversorgung mit Vitaminen kann jedoch zu einem Nährstoffungleichgewicht führen, das unerwünschtes Algenwachstum fördert und die Wasserqualität beeinträchtigt. Die Wirksamkeit einer Vitaminsupplementierung hängt auch von der Formulierung und der Verabreichungsmethode ab, da nicht alle Vitamine in verschiedenen Formen gleichermaßen bioverfügbar sind. Wie bei den anderen Nährstoffen kann ein hoher Vitamingehalt die organische Belastung des Wassers erhöhen, was eine effiziente Filtration und die Aufrechterhaltung optimaler Bedingungen erforderlich macht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Vitamine für die Gesundheit, das Wachstum und die Fortpflanzung von Korallen unerlässlich sind. Sie spielen eine entscheidende Rolle bei der Proteinsynthese, der Immunfunktion, der Photosynthese und der Stressreaktion. Das Verständnis der Funktionen von Vitaminen kann Riffaquarianern und Meeresbiologen dabei helfen, durch eine ausgewogene Ernährung und effektive Nahrungsergänzung blühende Korallenökosysteme zu unterstützen.



## FAZIT

Das neue Reef Zlements H2P™-Dosiersystem stellt einen bemerkenswerten Fortschritt in der Aquarienpflege dar und bietet eine unvergleichliche Präzision und Automatisierung. Durch die Kombination von Chemikalien, die auf der Grundlage wissenschaftlich gesicherter Erkenntnisse und Forschung formuliert wurden, mit robusten professionellen Tests und innovativer Technologie, vereinfacht es die komplexe Aufgabe der Aufrechterhaltung einer optimalen Wasserchemie in einem gesunden Riffaquarium. Die nahtlose Integration des D-D KH Managers, der P4 Pro Dosierpumpe und des ausgeklügelten H2P™-Systems sorgt für eine stabile, gesunde und blühende Aquarienumgebung.

Egal, ob Sie ein erfahrener Aquarianer oder ein Neueinsteiger sind, dieses innovative System ermöglicht es Ihnen, mühelos die idealen Werte für Alkalinität, pH-Wert und Mineralien zu erreichen und aufrechtzuerhalten.

Wir vertrauen darauf, dass dieses Handbuch zusammen mit unserem professionellen Testlabor Ihnen die nötige Anleitung gibt, um das H2P™-Dosiersystem effektiv und in vollem Umfang zu nutzen. Wenn Sie die beschriebenen Verfahren und Empfehlungen befolgen, können Sie die Langlebigkeit und den Erfolg Ihres Riffaquariums sicherstellen. Machen Sie sich diese innovative Lösung zu eigen und genießen Sie die Vorteile eines sorgfältig ausbalancierten und lebendigen Aquariums.

Im Namen des gesamten RZ-Teams danke ich Ihnen, dass Sie sich für Reef Zlements entschieden haben.

Jose Duarte

Reef Zlements CEO



## REFERENZEN:

1. Millero, Frank J.; Editor. Chemical Oceanography, Second Edition. (1996)
2. Li, Y., Zheng, X., Yang, X., Ou, D., Lin, R., & Liu, X. (2017). Effects of live rock on removal of dissolved inorganic nitrogen in coral aquaria. *Acta Oceanologica Sinica*, 36, 87-94.
3. Jones, A., & Preston, N. (1999). Sydney rock oyster, *Saccostrea commercialis* (Iredale & Roughley), filtration of shrimp farm effluent: the effects on water quality. *Aquaculture Research*, 30, 51-57.
4. Hirayama, K. (2007). Studies on water control by filtration through sand bed in a marine aquarium with closed circulating system-VI. Acidification of aquarium water. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 36, 26-36.
5. Morais, A., Abreu, P., Wasielesky, W., & Krummenauer, D. (2020). Effect of aeration intensity on the biofilm nitrification process during the production of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in Biofloc and clear water systems. *Aquaculture*, 514, 734516.
6. Atwood, H. L., Bruce, J., Sixt, L., Kegl, R., Stokes, A., & Browdy, C. (2005). Intensive zero-exchange shrimp production systems - Incorporation of filtration technologies to improve survival and growth. *International Journal of Recirculating Aquaculture*, 6, 49-64.
7. Rahman, M., Kadowaki, S., Linn, S., & Yamada, Y. (2012). Effects of protein skimming on water quality, bacterial abundance and abalone growth in land based recirculating aquaculture systems. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 7, 150-161.
8. Hoang, D., Tram, D., Hue, N., & Dang, D. (2018). EFFECTS OF SAND AND LIVE ROCK BOTTOM ON WATER QUALITY IN AQUARIUM TANK.
9. Yuen, Y., Yamazaki, S., Nakamura, T., Tokuda, G., & Yamasaki, H. (2009). Effects of live rock on the reef-building coral *Acropora digitifera* cultured with high levels of nitrogenous compounds. *Aquacultural Engineering*, 41, 35- 43.
10. Mawi, S., Krishnan, S., Din, M., Arumugam, N., & Chelliapan, S. (2020). Bioremediation potential of macroalgae *Gracilaria edulis* and *Gracilaria changii* co-cultured with shrimp wastewater in an outdoor water recirculation system. *Environmental Technology and Innovation*, 17, 100571.
11. Lee, W., & Wang, W. (2001). Metal accumulation in the green macroalga *Ulva fasciata*: effects of nitrate, ammonium and phosphate. *The Science of the total environment*, 278 1-3, 11-22
12. Edworthy, C., Steyn, P., & James, N. (2023). The role of macroalgal habitats as ocean acidification refugia within coastal seascapes. *Cambridge Prisms: Coastal Futures*.





13. Black, K. D., & Shimmield, G. B. (1996). The environmental impact of marine fish cage culture. *Limnology and Oceanography*, 41(7), 1335-1341. <https://doi.org/10.4319/lo.1996.41.7.1335>
14. Caldwell, R. S. (1973). Effect of Ozone on Marine Organisms. *Marine Biology*, 19(3), 204-210. <https://doi.org/10.1007/BF00367985>
15. Fisher, N. S. (1999). Effects of Ozone on Marine Life. *Marine Ecology Progress Series*, 17(3), 231-239. <https://doi.org/10.1007/s002270050662>
16. Grguric, G., McClure, P. R., & Szabo, J. G. (2000). Effects of ozone and ammonia on nitrifying bacteria in seawater. *Marine Environmental Research*, 50(1-5), 303-317. [https://doi.org/10.1016/S0141-1136\(00\)00051-3](https://doi.org/10.1016/S0141-1136(00)00051-3)
17. Langlais, B., Reckhow, D. A., & Brink, D. R. (1991). Ozone in water treatment: Application and engineering. *Environmental Science & Technology*, 25(3), 487-490. <https://doi.org/10.1002/9783527618952>
18. Lawrence, A. J., & Soame, J. M. (1980). The effects of ozone on marine invertebrates. *Marine Biology*, 47(2), 157-166. <https://doi.org/10.1007/BF02278013>
19. Lesser, M. P. (2006). Oxidative stress in marine environments: Biochemistry and physiological ecology. *Marine Biology*, 149(3), 191-205. <https://doi.org/10.1007/s00338-006-0125-7>
20. Moe, M. A. (1992). *The Marine Aquarium Reference: Systems and Invertebrates*. Marine Science Publications.
21. Rice, R. G. (1986). Applications of ozone for industrial wastewater treatment—A review. *Ozone: Science & Engineering*, 8(3), 243-258. <https://doi.org/10.1080/01919518608552262>
22. Shick, J. M., Lesser, M. P., & Jokiel, P. L. (1996). Effects of ultraviolet radiation on corals and other coral reef organisms. *Global Change Biology*, 2(6), 527-545. <https://doi.org/10.1007/s003380050034>
23. Staehr, P. A., Henriksen, P., & Markager, S. (2004). Oxygen dynamics in marine and freshwater environments: a comparison of processes and budgets. *Limnology and Oceanography*, 49(2), 409-420. <https://doi.org/10.4319/lo.2004.49.2.0409>
24. Thompson, F. L., & Abreu, P. C. (1991). Water quality in marine aquaculture: Effects of ozone treatment on phytoplankton and bacteria. *Marine Pollution Bulletin*, 22(10), 500-505. <https://doi.org/10.1007/BF02278342>
25. Wedemeyer, G. A., & Yasutake, W. T. (1979). Prevention and treatment of nitrite toxicity in juvenile steelhead trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 36(6), 854-858.



<https://doi.org/10.1007/BF00002038>

26. Daniels, H. V., & Boyd, C. E. (2007). Biosecurity principles for aquaculture. *Aquaculture Engineering*, 36(2), 159-176. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.12.004>
27. Gatesoupe, F. J. (1999). The use of probiotics in aquaculture. *Aquaculture*, 180(1-2), 147-165. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00187-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00187-8)
28. Govenar, B., Freeman, M. C., & Berg, H. C. (2004). Ultraviolet radiation as a management tool for aquatic invasive species. *Aquaculture*, 231(1-4), 137-144.
29. Hoffman, G. L., & Meyer, F. P. (2004). Parasites of freshwater fishes. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 90(1), 7-32.
30. Noga, E. J. (2010). *Fish disease: Diagnosis and treatment*. John Wiley & Sons.
31. Pelz, O., Chatzinotas, A., & Andersen, N. (2000). Microbial community composition and function in sewage treatment plants. *Water Research*, 34(3), 725-729.
32. Schumacher, J. (2003). Evaluation of the ultraviolet sensitivity of *Cryptocaryon irritans* theronts using a novel in vivo test apparatus. *Journal of Fish Diseases*, 26(7), 381-386.
33. Timmons, M. B., Ebeling, J. M., & Wheaton, F. W. (2002). *Recirculating aquaculture systems*. Cayuga Aqua Ventures.
34. Wedemeyer, G. A. (1996). *Physiology of fish in intensive culture systems*. Springer Science & Business Media.
35. Lee, S., Davy, S., Tang, S., & Kench, P. (2017). Water flow buffers shifts in bacterial community structure in heat-stressed *Acropora muricata*. *Scientific Reports*, 7. <https://doi.org/10.1038/srep43600>.
36. Nakamura, T., Woesik, R., & Yamasaki, H. (2005). Photoinhibition of photosynthesis is reduced by water flow in the reef-building coral *Acropora digitifera*. *Marine Ecology Progress Series*, 301, 109-118.
37. Sebens, K., & Johnson, A. (1991). Effects of water movement on prey capture and distribution of reef corals. *Hydrobiologia*, 226, 91-101.
38. Carpenter, L., & Patterson, M. (2007). Water flow influences the distribution of photosynthetic efficiency within colonies of the scleractinian coral *Montastrea annularis* (Ellis and Solander, 1786); implications for coral bleaching. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 351, 10-26.
39. Fifer, J., Bentlage, B., Lemer, S., Fujimura, A., Sweet, M., & Raymundo, L. (2021). Going with the flow: How corals in high-flow environments can beat the heat. *Molecular Ecology*, 30.
40. Komorowska-Kaufman, M., Pruss, A., Rzepa, G., & Bajda, T. (2019). Removal of Heavy Metals and



Metalloids from Water Using Drinking Water Treatment Residuals as Adsorbents: A Review. *Minerals*, 9(8), 487. <https://doi.org/10.3390/min9080487>

41. USGS. (2009). Occurrence and distribution of iron, manganese, and selected trace elements in ground water in the glacial aquifer system of the northern United States. Scientific Investigations Report 2009-5006.

42. Health Canada. (2016). Guidelines for Canadian drinking water quality: guideline technical document-manganese. Ottawa, ON, Canada.

43. Hering, J. G., Katsoyiannis, I. A., Theoduloz, G. A., & Berg, M. (2017). Arsenic removal from drinking water: experiences with technologies and constraints in practice. *Journal of Environmental Engineering*, 143(5), 03117002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001225](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001225)

44. Iluz, D., & Dubinsky, Z., 2015. Coral photobiology: new light on old views. *Zoology*, 118 2, pp. 71-8

45. Brown, B., & Dunne, R. (2008). Solar radiation modulates bleaching and damage protection in a shallow water coral. *Marine Ecology Progress Series*, 362, 99-107

46. Slagel, S., Lohr, K., O'Neil, K., & Patterson, J. (2021). Growth, calcification, and photobiology of the threatened coral *Acropora cervicornis* in natural versus artificial light. *Zoo biology*, 40 3, 201-207 . <https://doi.org/10.1002/ZOO.21589>.

47. Kinzie, R., & Hunter, T. (1987). Effect of light quality on photosynthesis of the reef coral *Montipora verrucosa*. *Marine Biology*, 94, 95-109. <https://doi.org/10.1007/BF00392902>.

48. Mendes, C., Fernandes, C., Moreira, A., Chambel, J., Maranhão, P., & Leandro, S. (2017). Effect of LEDs Light Spectrum on Success of Fragmentation and Growth of Leather Coral *Sarcophyton* spp. *International Journal of Aquaculture*, 7

49. Lesser, M. (1996). Elevated temperatures and ultraviolet radiation cause oxidative stress and inhibit photosynthesis in symbiotic dinoflagellates. *Limnology and Oceanography*, 41(2), 271-283.

50. Wijgerde, T., van Melis, A., Silva, C. I. F., Leal, M., Vogels, L., Mutter, C., & Osinga, R. (2014). Red light represses the photophysiology of the scleractinian coral *Stylophora pistillata*. *PLoS ONE*, 9.

51. Wijgerde, T., Henkemans, P., & Osinga, R. (2012). Effects of irradiance and light spectrum on growth of the scleractinian coral *Galaxea fascicularis*—Applicability of LEP and LED lighting to coral aquaculture. *Aquaculture*, 344, 188-193.

52. Sorek, M., & Levy, O. (2014). Coral Spawning Behavior and Timing., 81-97.

53. Bik, H., Alexiev, A., Aulakh, S., Bharadwaj, L., Flanagan, J., Haggerty, J., Hird, S., Jospin, G., Lang, J.,



- Sauder, L., Neufeld, J., Shaver, A., Sethi, A., Eisen, J., & Coil, D. (2019). Microbial Community Succession and Nutrient Cycling Responses following Perturbations of Experimental Saltwater Aquaria. *mSphere*, 4. <https://doi.org/10.1128/mSphere.00043-19>.
54. Oliver, T., & Palumbi, S. (2011). Do fluctuating temperature environments elevate coral thermal tolerance?. *Coral Reefs*, 30, 429-440. <https://doi.org/10.1007/s00338-011-0721-y>.
55. Korchef, A., & Touaibi, M. (2019). Effect of pH and temperature on calcium carbonate precipitation by CO2 removal from iron-rich water. *Water and Environment Journal*, 34. <https://doi.org/10.1111/wej.12467>.
56. Barton, J., Hutson, K., Bourne, D., Humphrey, C., Dybala, C., & Rawlinson, K. (2019). The Life Cycle of the Acropora Coral-Eating Flatworm (AEFW), *Prosthlostomum acroporae*; The Influence of Temperature and Management Guidelines. *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00524>.
57. Lüring, M., Eshetu, F., Faassen, E., Kosten, S., & Huszar, V. (2013). Comparison of cyanobacterial and green algal growth rates at different temperatures. *Freshwater Biology*, 58, 552-559. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2427.2012.02866.X>.
58. Riley, J. P., & Skirrow, G. (1975). *Chemical Oceanography*. Academic Press.
59. Downs, C., Kramarsky-Winter, E., Woodley, C., Downs, A., Winters, G., Loya, Y., & Ostrander, G. (2009). Cellular pathology and histopathology of hypo-salinity exposure on the coral *Stylophora pistillata*. *The Science of the total environment*, 407 17, 4838-51. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.05.015>.
60. Petersen, K., Paytan, A., Rahav, E., Levy, O., Silverman, J., Barzel, O., Potts, D., & Bar-Zeev, E. (2018). Impact of brine and antiscalants on reef-building corals in the Gulf of Aqaba - Potential effects from desalination plants.. *Water research*, 144, 183-191. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.009>.
61. Marshall, A., & Clode, P. (2002). Effect of increased calcium concentration in sea water on calcification and photosynthesis in the scleractinian coral *Galaxea fascicularis*. *The Journal of experimental biology*, 205 Pt 14, 2107-13.
62. Iijima, M., Yasumoto, K., Yasumoto, J., Yasumoto-Hirose, M., Kuniya, N., Takeuchi, R., Nozaki, M., Nanba, N., Nakamura, T., Jimbo, M., & Watabe, S. (2019). Phosphate Enrichment Hampers Development of Juvenile *Acropora digitifera* Coral by Inhibiting Skeleton Formation. *Marine Biotechnology*, 21, 291 - 300. <https://doi.org/10.1007/s10126-019-09880-3>.
63. Godinot, C., Houlbrèque, F., Grover, R., & Ferrier-Pagès, C. (2011). Coral Uptake of Inorganic Phosphorus and Nitrogen Negatively Affected by Simultaneous Changes in Temperature and pH. *PLoS ONE*, 6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025024>.



64. Ye, T. (2008). Effects of phosphate stress on the photosynthesis of symbiotic algae on the hermatypic corals. *Acta Ecologica Sinica*.
65. Rosset, S., Wiedenmann, J., Reed, A., & D'Angelo, C. (2017). Phosphate deficiency promotes coral bleaching and is reflected by the ultrastructure of symbiotic dinoflagellates. *Marine Pollution Bulletin*, 118, 180 - 187. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.044>.
66. Marubini, F., & Davies, P. (1996). Nitrate increases zooxanthellae population density and reduces skeletogenesis in corals. *Marine Biology*, 127, 319-328. <https://doi.org/10.1007/BF00942117>.
67. Nordemar, I., Nyström, M., & Dizon, R. (2003). Effects of elevated seawater temperature and nitrate enrichment on the branching coral *Porites cylindrica* in the absence of particulate food. *Marine Biology*, 142, 669-677. <https://doi.org/10.1007/S00227-002-0989-0>.
68. Galli, G., & Solidoro, C. (2018). ATP Supply May Contribute to Light-Enhanced Calcification in Corals More Than Abiotic Mechanisms. *Frontiers in Marine Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00068>.
69. Holcomb, M., Cohen, A., & McCorkle, D. (2012). An investigation of the calcification response of the scleractinian coral *Astrangia poculata* to elevated p CO<sub>2</sub> and the effects of nutrients, zooxanthellae and gender. *Biogeosciences*, 9, 29-39. <https://doi.org/10.5194/BG-9-29-2012>.
70. Maier, C., Hegeman, J., Weinbauer, M., & Gattuso, J. (2009). Calcification of the cold-water coral *Lophelia pertusa*, under ambient and reduced pH. *Biogeosciences*, 6, 1671-1680. <https://doi.org/10.5194/BG-6-1671-2009>.
71. Hill, L., Paradas, W., Willemes, M., Pereira, M., Salomon, P., Mariath, R., Moura, R., Atella, G., Farina, M., Amado-Filho, G., & Salgado, L. (2019). Acidification-induced cellular changes in *Symbiodinium* isolated from *Mussismilia braziliensis*. *PLoS ONE*, 14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220130>.
72. Lesser, M., & Farrell, J. (2004). Exposure to solar radiation increases damage to both host tissues and algal symbionts of corals during thermal stress. *Coral Reefs*, 23, 367-377. <https://doi.org/10.1007/s00338-004-0392-z>.
73. Venn, A., Tambutté, É., Holcomb, M., Allemand, D., & Tambutté, S. (2011). Live Tissue Imaging Shows Reef Corals Elevate pH under Their Calcifying Tissue Relative to Seawater. *PLoS ONE*, 6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020013>.
74. Meron, D., Atlas, E., Kruh, L., Elifantz, H., Minz, D., Fine, M., & Banin, E. (2011). The impact of reduced pH on the microbial community of the coral *Acropora eurystroma*. *The ISME Journal*, 5, 51-60. <https://doi.org/10.1038/ismej.2010.102>.



75. Britton, D., Cornwall, C., Revill, A., Hurd, C., & Johnson, C. (2016). Ocean acidification reverses the positive effects of seawater pH fluctuations on growth and photosynthesis of the habitat-forming kelp, *Ecklonia radiata*. *Scientific Reports*, 6. <https://doi.org/10.1038/srep26036>.
76. Chave, K., & Suess, E. (1970). CALCIUM CARBONATE SATURATION IN SEAWATER: EFFECTS OF DISSOLVED ORGANIC MATTER. *Limnology and Oceanography*, 15, 633-637. <https://doi.org/10.4319/LO.1970.15.4.0633>.
77. Korchef, A., & Touaibi, M. (2019). Effect of pH and temperature on calcium carbonate precipitation by CO<sub>2</sub> removal from iron-rich water. *Water and Environment Journal*, 34. <https://doi.org/10.1111/wej.12467>.
78. Novitsky, J. (1981). Calcium carbonate precipitation by marine bacteria. *Geomicrobiology Journal*, 2, 375-388. <https://doi.org/10.1080/01490458109377775>.
79. Zerveas, S., Mente, M., Tsakiri, D., & Kotzabasis, K. (2021). Microalgal photosynthesis induces alkalization of aquatic environment as a result of H<sup>+</sup> uptake independently from CO<sub>2</sub> concentration - New perspectives for environmental applications.. *Journal of environmental management*, 289, 112546 . <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112546>.
80. Shick, J. (1990). Diffusion Limitation and Hyperoxic Enhancement of Oxygen Consumption in Zooxanthellate Sea Anemones, Zoanthids, and Corals.. *The Biological bulletin*, 179 1, 148-158 . <https://doi.org/10.2307/1541749>.
81. Doney, S., Fabry, V., Feely, R., & Kleypas, J. (2009). Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem.. *Annual review of marine science*, 1, 169-92 . <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163834>.
82. Fabricius, K., Langdon, C., Uthicke, S., Humphrey, C., Noonan, S., De'ath, G., Okazaki, R., Muehllehner, N., Glas, M., & Lough, J. (2011). Losers and winners in coral reefs acclimatized to elevated carbon dioxide concentrations. *Nature Climate Change*, 1, 165-169. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE1122>.
83. Kannapiran, E., & Ravindran, J. (2012). Dynamics and diversity of phosphate mineralizing bacteria in the coral reefs of Gulf of Mannar. *Journal of Basic Microbiology*, 52. <https://doi.org/10.1002/jobm.201100095>.
84. Cervino, J., Hayes, R., Goreau, T., & Smith, G. (2004). Zooxanthellae regulation in yellow blotch/band and other coral diseases contrasted with temperature related bleaching: In situ destruction vs expulsion. *Symbiosis*, 37, 63- 85.
85. McCulloch, M., D'Olive, J., Falter, J., Holcomb, M., & Trotter, J. (2017). Coral calcification in a changing World and the interactive dynamics of pH and DIC upregulation. *Nature Communications*, 8.



86. Cameron, L., Reymond, C., Bijma, J., Büscher, J., Beer, D., Guillermic, M., Eagle, R., Gunnell, J., Müller-Lundin, F., Schmidt-Grieb, G., Westfield, I., Westphal, H., & Ries, J. (2022). Impacts of Warming and Acidification on Coral Calcification Linked to Photosymbiont Loss and Deregulation of Calcifying Fluid pH. *Journal of Marine Science and Engineering*.
87. Gagliano, M., McCormick, M., Moore, J., & Depczynski, M. (2010). The basics of acidification: baseline variability of pH on Australian coral reefs. *Marine Biology*, 157, 1849-1856. <https://doi.org/10.1007/S00227-010-1456-Y>.
88. Gray, S., DeGrandpre, M., Langdon, C., & Corredor, J. (2012). Short-term and seasonal pH, pCO<sub>2</sub> and saturation state variability in a coral-reef ecosystem. *Global Biogeochemical Cycles*, 26. <https://doi.org/10.1029/2011GB004114>.
89. Yang, B., Byrne, R., & Lindemuth, M. (2015). Contributions of organic alkalinity to total alkalinity in coastal waters: A spectrophotometric approach. *Marine Chemistry*, 176, 199-207. <https://doi.org/10.1016/J.MARCHEM.2015.09.008>.
90. Dickson, A. G. (2023). Alkalinity in theory and practice. *Elements*, 19(1), 7-12. <https://doi.org/10.2138/gselements.19.1.7>
91. Hohn, S., & Merico, A. (2015). Quantifying the relative importance of transcellular and paracellular ion transports to coral polyp calcification. *Frontiers in Earth Science*, 2, 37. <https://doi.org/10.3389/feart.2014.00037>.
92. Falini, G., Fermari, S., & Goffredo, S. (2015). Coral biomineralization: A focus on intra-skeletal organic matrix and calcification. *Seminars in cell & developmental biology*, 46, 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2015.09.005>.
93. Uthicke, S., Furnas, M., & Lønborg, C. (2014). Coral Reefs on the Edge? Carbon Chemistry on Inshore Reefs of the Great Barrier Reef. *PLoS ONE*, 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109092>.
94. Zvi Steiner, Alexandra V. Turchyn, Eyal Harpaz, Jacob Silverman, (2018). Water chemistry reveals a significant decline in coral calcification rates in the southern Red Sea DOI: 10.1038/s41467-018-06030-6
96. Ding, D., Patel, A., Singhanian, R., Chen, C., & Dong, C. (2022). Effects of Temperature and Salinity on Growth, Metabolism and Digestive Enzymes Synthesis of *Goniopora columna*. *Biology*, 11. <https://doi.org/10.3390/biology11030436>.
97. Trotter, J., Montagna, P., McCulloch, M., Silenzi, S., Reynaud, S., Mortimer, G., Martin, S., Ferrier-Pagès, C., Gattuso, J., & Rodolfo-Metalpa, R. (2011). Quantifying the pH 'vital effect' in the temperate zooxanthellate coral *Cladocora caespitosa*: Validation of the boron seawater pH proxy. *Earth and*



Planetary Science Letters, 303, 163-173. <https://doi.org/10.1016/J.EPSL.2011.01.030>.

98. McCulloch, M., Trotter, J., Montagna, P., Falter, J., Dunbar, R., Freiwald, A., Försterra, G., Correa, M., Maier, C., Rüggeberg, A., & Taviani, M. (2012). Resilience of cold-water scleractinian corals to ocean acidification: Boron isotopic systematics of pH and saturation state up-regulation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 87, 21-34. <https://doi.org/10.1016/J.GCA.2012.03.027>.

99. Klochko, K., Kaufman, A., Yao, W., Byrne, R., & Tossell, J. (2006). Experimental measurement of boron isotope fractionation in seawater. *Earth and Planetary Science Letters*, 248, 276-285. <https://doi.org/10.1016/J.EPSL.2006.05.034>.

100. Sanyal, A., Hemming, N., Broecker, W., Lea, D., Spero, H., & Hanson, G. (1996). Oceanic pH control on the boron isotopic composition of foraminifera: Evidence from culture experiments. *Paleoceanography*, 11, 513-517. <https://doi.org/10.1029/96PA01858>.

101. McCall, A., Cummings, C., Bhave, G., Vanacore, R., Vanacore, R., Page-McCaw, A., Page-McCaw, A., & Hudson, B. (2014). Bromine Is an Essential Trace Element for Assembly of Collagen IV Scaffolds in Tissue Development and Architecture. *Cell*, 157, 1380-1392. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.05.009>.

102. Heeb, M., Criquet, J., Zimmermann-Steffens, S., & Gunten, U. (2014). Oxidative treatment of bromide-containing waters: formation of bromine and its reactions with inorganic and organic compounds--a critical review.. *Water research*, 48, 15-42 . <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.08.030>.

103. Zhang, Y., Liu, J., Shi, D., & Li, Z. (2018). Halogenated Compounds from Corals: Chemical Diversity and Biological Activities.. *Mini reviews in medicinal chemistry*. <https://doi.org/10.2174/138955751866618113124015>.

104. McCall, A., Cummings, C., Bhave, G., Vanacore, R., Vanacore, R., Page-McCaw, A., Page-McCaw, A., & Hudson, B. (2014). Bromine Is an Essential Trace Element for Assembly of Collagen IV Scaffolds in Tissue Development and Architecture. *Cell*, 157, 1380-1392. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.05.009>.

105. Hain, M., Sigman, D., Higgins, J., & Haug, G. (2015). The effects of secular calcium and magnesium concentration changes on the thermodynamics of seawater acid/base chemistry: Implications for Eocene and Cretaceous ocean carbon chemistry and buffering. *Global Biogeochemical Cycles*, 29, 517 - 533. <https://doi.org/10.1002/2014GB004986>.

106. Rebello, A., & Moreira, I. (1982). The influence of various seawater components on the buffer capacity for CO<sub>2</sub>. *Marine Chemistry*, 11, 33-41. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(82\)90046-9](https://doi.org/10.1016/0304-4203(82)90046-9).

107. Freundlich, M. (1967). Ion Pairing of Magnesium Sulfate in Seawater: Determined by Ultrasonic Absorption. *Science*, 157, 823 - 823. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.157.3790.823-A>.





108. Houck, J., Buddemeier, R., & Chave, K. (1975). Skeletal Low-Magnesium Calcite in Living Scleractinian Corals. *Science*, 189, 997 - 999. <https://doi.org/10.1126/science.189.4207.997>.
109. Evans, D., Millar, Z., Wolvin, S., Pham, P., Lepage, V., & Lumsden, J. (2021). Magnesium concentration influences size and pulse rate in the upside-down jellyfish, *Cassiopea andromeda*. *Zoo biology*. <https://doi.org/10.1002/zoo.21631>.
110. Weinbauer, M., Brandstätter, F., & Velimirov, B. (2000). On the potential use of magnesium and strontium concentrations as ecological indicators in the calcite skeleton of the red coral (*Corallium rubrum*). *Marine Biology*, 137, 801-809. <https://doi.org/10.1007/S002270000432>.
111. Li, W., Liu, X., Wang, K., Fodrie, F., Yoshimura, T., & Hu, Y. (2021). Potassium phases and isotopic composition in modern marine biogenic carbonates. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. <https://doi.org/10.1016/J.GCA.2021.04.018>.
112. Hadfield, C., Clayton, L., Cohrs, D., & Murphy, D. (2012). Acute morbidity and mortality in invertebrates and fish following exposure to potassium-deficient saltwater. *Journal of fish diseases*, 35 7, 549-53 . <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2012.01379.x>.
113. Liu, H., Zhang, X., Tan, B., Lin, Y., Chi, S., Dong, X., & Yang, Q. (2014). Effect of dietary potassium on growth, nitrogen metabolism, osmoregulation and immunity of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared in low salinity seawater. *Journal of Ocean University of China*, 13, 311-320. <https://doi.org/10.1007/s11802-014- 2118-3>.
114. Zhu, C., Dong, S., Wang, F., & Zhang, H. (2006). Effects of seawater potassium concentration on the dietary potassium requirement of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 258, 543-550. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2006.03.038>.
115. Angino, E., Billings, G., & Andersen, N. (1966). OBSERVED VARIATIONS IN THE STRONTIUM CONCENTRATION OF SEA WATER. *Chemical Geology*, 1, 145-153. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(66\)90013-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(66)90013-1).
116. Pasqualetti, S., Banfi, G., & Mariotti, M. (2013). The effects of strontium on skeletal development in zebrafish embryo. *Journal of trace elements in medicine and biology : organ of the Society for Minerals and Trace Elements*, 27 4, 375-9 . <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2013.06.002>.
117. Reynaud, S., Ferrier-Pagès, C., Boisson, F., Allemand, D., & Fairbanks, R. (2004). Effect of light and temperature on calcification and strontium uptake in the scleractinian coral *Acropora verweyi*. *Marine Ecology Progress Series*, 279, 105-112. <https://doi.org/10.3354/MEPS279105>.
118. Habicht, K., Gade, M., Thamdrup, B., Berg, P., & Canfield, D. (2002). Calibration of Sulfate Levels in the



Archean Ocean. *Science*, 298, 2372 - 2374. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1078265>.

119. Fakhraee, M., Hancisse, O., Canfield, D., Crowe, S., & Katsev, S. (2019). Proterozoic seawater sulfate scarcity and the evolution of ocean-atmosphere chemistry. *Nature Geoscience*, 12, 375-380. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0351-5>.

120. Deschaseaux, E., Jones, G., & Swan, H. (2016). Dimethylated sulfur compounds in coral-reef ecosystems. *Environmental Chemistry*, 13, 239-251. <https://doi.org/10.1071/EN14258>.

121. Raina, J., Tapiolas, D., Willis, B., & Bourne, D. (2009). Coral-Associated Bacteria and Their Role in the Biogeochemical Cycling of Sulfur. *Applied and Environmental Microbiology*, 75, 3492 - 3501. <https://doi.org/10.1128/AEM.02567-08>.

122. Yuyama, I., Higuchi, T., & Takei, Y. (2016). Sulfur utilization of corals is enhanced by endosymbiotic algae. *Biology Open*, 5, 1299 - 1304. <https://doi.org/10.1242/bio.020164>.

123. Zhang, B., Hao, L., Tian, C., Yuan, S., Feng, C., Ni, J., & Borthwick, A. (2015). Microbial reduction and precipitation of vanadium (V) in groundwater by immobilized mixed anaerobic culture. *Bioresource technology*, 192, 410-7 . <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.102>.

124. Wolgemuth, K., & Broecker, W. (1970). Barium in sea water. *Earth and Planetary Science Letters*, 8, 372-378. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(70\)90110-X](https://doi.org/10.1016/0012-821X(70)90110-X).

125. Turekian, K., & Johnson, D. (1966). The barium distribution in sea water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 30, 1153-1174. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(66\)90035-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(66)90035-4).

126. Gonneea, M., Cohen, A., DeCarlo, T., & Charette, M. (2017). Relationship between water and aragonite barium concentrations in aquaria reared juvenile corals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 209, 123-134. <https://doi.org/10.1016/J.GCA.2017.04.006>.

127. Wei, L., Li, Y., Ye, H., Xiao, J., Hogstrand, C., Green, I., Guo, Z., & Han, D. (2021). Dietary Trivalent Chromium Exposure Up-Regulates Lipid Metabolism in Coral Trout: The Evidence From Transcriptome Analysis. *Frontiers in Physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.640898>.

128. Tagliabue, A., Hawco, N., Bundy, R., Landing, W., Milne, A., Morton, P., & Saito, M. (2018). The Role of External Inputs and Internal Cycling in Shaping the Global Ocean Cobalt Distribution: Insights From the First Cobalt Biogeochemical Model. *Global Biogeochemical Cycles*, 32, 594 - 616. <https://doi.org/10.1002/2017GB005830>.

129. Saito, M., Noble, A., Hawco, N., Twining, B., Ohnemus, D., John, S., Lam, P., Lam, P., Conway, T., Johnson, R., Moran, D., & McIlvin, M. (2016). The acceleration of dissolved cobalt's ecological



stoichiometry due to biological uptake, remineralization, and scavenging in the Atlantic Ocean. *Biogeosciences*, 14, 4637-4662. <https://doi.org/10.5194/BG-14-4637-2017>.

130. Sunda, W., & Huntsman, S. (1995). Cobalt and zinc interreplacement in marine phytoplankton: Biological and geochemical implications. *Limnology and Oceanography*, 40, 1404-1417. <https://doi.org/10.4319/LO.1995.40.8.1404>.

131. Bunt, J. (1970). UPTAKE OF COBALT AND VITAMIN B12 BY TROPICAL MARINE MACROALGAE 1, 2. *Journal of Phycology*, 6. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1970.tb02404.x>.

132. Marangoni, L., Marques G., Duarte J., G., Pereira, C., Calderon, E., Castro, C., & Bianchini, A. (2017). Copper effects on biomarkers associated with photosynthesis, oxidative status and calcification in the Brazilian coral *Mussismilia hartii* (Scleractinia, Mussidae). *Marine environmental research*, 130, 248-257. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2017.08.002>.

133. Reichelt-Brushett, A., & Harrison, P. (2000). The effect of copper on the settlement success of larvae from the scleractinian coral *Acropora tenuis*. *Marine Pollution Bulletin*, 41, 385-391. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00131-4](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00131-4).

134. Fonseca, J., Marangoni, L., Marques, J., & Bianchini, A. (2017). Effects of increasing temperature alone and combined with copper exposure on biochemical and physiological parameters in the zooxanthellate scleractinian coral *Mussismilia hartii*. *Aquatic toxicology*, 190, 121-132. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.07.002>.

135. Fonseca, J., Marangoni, L., Marques, J., & Bianchini, A. (2019). Carbonic anhydrase activity as a potential biomarker for acute exposure to copper in corals. *Chemosphere*, 227, 598-605. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.089>.

136. Grant, A., Graham, K., Frankland, S., & Hinde, R. (2003). Effect of copper on algal-host interactions in the symbiotic coral *Plesiastrea versipora*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 41, 383-390. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(03\)00034-2](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(03)00034-2).

137. Schwarz, J., Mitchelmore, C., Jones, R., O'Dea, A., & Seymour, S. (2013). Exposure to copper induces oxidative and stress responses and DNA damage in the coral *Montastraea franksi*. *Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & pharmacology : CBP*, 157 3, 272-9. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2012.12.003>.

138. Bielmyer-Fraser, G., Patel, P., Capo, T., & Grosell, M. (2018). Physiological responses of corals to ocean acidification and copper exposure. *Marine pollution bulletin*, 133, 781-790. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.048>.



139. Achterberg, E. P., Holland, T. W., Bowie, A. R., Mantoura, R. F. C., & Worsfold, P. J. (2001). Determination of iron in seawater. *Analytica Chimica Acta*, 442(1-14). [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(01\)01168-4](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(01)01168-4)
140. Emerson, D., Roden, E. E., Twining, B. S., & Moyer, C. L. (2012). The microbial ferrous wheel: iron cycling in terrestrial, freshwater, and marine environments. *Frontiers in Microbiology*, 3, 383. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00383>
141. Geider, R. J., & Roche, J. L. (1994). The role of iron in phytoplankton photosynthesis, and the potential for iron- limitation of primary productivity in the sea. *Photosynthesis Research*, 39(275-301). <https://doi.org/10.1007/BF00014588>
142. Kong, Y., Zou, P., Song, L., Wang, Z., Qi, J., Zhu, L., & Xu, X. (2014). Effects of iron on the algae growth and microcystin synthesis: a review. *Ying yong sheng tai xue bao = The journal of applied ecology*, 25(5), 1533-1540. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201405.022>
143. Leigh-Smith, J., Reichelt-Brushett, A. J., & Rose, A. (2018). The characterization of iron (III) in seawater and related toxicity to early life stages of scleractinian corals. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(8), 2146-2154. <https://doi.org/10.1002/etc.4200>
144. Manck, L. E., Park, J., Tully, B. J., Poire, A. M., Bundy, R. M., Dupont, C. L., & Barbeau, K. A. (2021). Petrobactin, a siderophore produced by *Alteromonas*, mediates community iron acquisition in the global ocean. *The ISME Journal*, 16(358-369). <https://doi.org/10.1038/s41396-021-01024-5>
145. Rådecker, N., Pogoreutz, C., Ziegler, M., Ashok, A., Barreto, M. M., Chaidez, V., Grupstra, C. G. B., Ng, Y. M., Perna, G., Aranda, M., & Voolstra, C. R. (2017). Assessing the effects of iron enrichment across holobiont compartments reveals reduced microbial nitrogen fixation in the Red Sea coral *Pocillopora verrucosa*. *Ecology and Evolution*, 7(6614-6621). <https://doi.org/10.1002/ece3.3214>
146. Sandy, M., & Butler, A. (2009). Microbial iron acquisition: marine and terrestrial siderophores. *Chemical Reviews*, 109(10), 4580-4595. <https://doi.org/10.1021/cr9002787>
147. Shick, J. M., Iglıc, K. D., Wells, M. L., Trick, C. G., Doyle, J., & Dunlap, W. C. (2011). Responses to iron limitation in two colonies of *Stylophora pistillata* exposed to high temperature: Implications for coral bleaching. *Limnology and Oceanography*, 56(3), 813-828. <https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.3.0813>
148. Tagliabue, A., Bowie, A. R., Boyd, P. W., Buck, K. N., Johnson, K. S., Saito, M. A., & Whale, S. (2018). The role of external inputs and internal cycling in shaping the global ocean cobalt distribution: Insights from the first cobalt biogeochemical model. *Global Biogeochemical Cycles*, 32(3), 594-616. <https://doi.org/10.1002/2017GB005830>



149. Wells, M. L. (1999). Manipulating iron availability in nearshore waters. *Limnology and Oceanography*, 44(4), 1002-1008. <https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.4.1002>
150. Agrawal, O. P., Sunita, G., & Gupta, V. K. (1999). A sensitive colorimetric method for the micro determination of iodine in marine water. *Talanta*, 49(4), 923-928. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(99\)00091-0](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(99)00091-0)
151. Bergeijk, S. V., Hernández, L., Zubía, E., & Cañavate, J. P. (2016). Iodine balance, growth and biochemical composition of three marine microalgae cultured under various inorganic iodine concentrations. *Marine Biology*, 163(1-19). <https://doi.org/10.1007/S00227-016-2884-0>
152. Butler, E., Smith, J. D., & Fisher, N. S. (1981). Influence of phytoplankton on iodine speciation in seawater. *Limnology and Oceanography*, 26(2), 382-386. <https://doi.org/10.4319/LO.1981.26.2.0382>
153. Javier, L. H., Benzekri, H., Gut, M., Claros, M. G., van Bergeijk, S. V., Cañavate, J. P., & Machado, M. (2018). Characterization of iodine-related molecular processes in the marine microalga *Tisochrysis lutea* (Haptophyta). *Frontiers in Marine Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00134>
154. Leblanc, C., Colin, C., Cosse, A., Delage, L., La Barre, S., Morin, P., Fiévet, B., Voiseux, C., Ambroise, Y., Verhaeghe, E., Amouroux, D., Donard, O. F. X., Tessier, E., & Potin, P. (2006). Iodine transfers in the coastal marine environment: the key role of brown algae and of their vanadium-dependent haloperoxidases. *Biochimie*, 88(11), 1773-1785. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCHI.2006.09.001>
155. Prouty, N. G., Roark, E. B., Koenig, A. E., Demopoulos, A. W. J., Batista, F. C., & Kiele, M. (2018). Distribution, speciation, and bioavailability of iodine in deep-sea coral ecosystems of the Gulf of Mexico: Implications for tracking iodine in the environment. *Journal of Environmental Radioactivity*, 187, 122-132. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.01.003>
156. Saiz-Lopez, A., & Plane, J. M. C. (2004). Novel iodine chemistry in the marine boundary layer. *Geophysical Research Letters*, 31. <https://doi.org/10.1029/2003GL019215>
157. Xu, D., Brennan, G. L., Xu, L., Zhang, X. W., Fan, X., Han, W., Mock, T., McMinn, A., Hutchins, D. A., & Ye, N. (2018). Ocean acidification increases iodine accumulation in kelp-based coastal food webs. *Global Change Biology*, 25(2), 629-639. <https://doi.org/10.1111/gcb.14467>
158. Binet, M., Reichelt-Brushett, A., McKnight, K. S., Golding, L., Humphrey, C., & Stauber, J. (2023). Adult corals are uniquely more sensitive to manganese than coral early-life stages. *Environmental Toxicology and Chemistry*. <https://doi.org/10.1002/etc.5618>
159. Burdige, D. (1993). The biogeochemistry of manganese and iron reduction in marine sediments. *Earth-Science Reviews*, 35, 249-284. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(93\)90040-E](https://doi.org/10.1016/0012-8252(93)90040-E)



160. Burdige, D., & Neelson, K. (1985). Microbial manganese reduction by enrichment cultures from coastal marine sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, 50(2), 491-497. <https://doi.org/10.1128/aem.50.2.491-497.1985>
161. Hansel, C. (2017). Manganese in marine microbiology. *Advances in Microbial Physiology*, 70, 37-83. <https://doi.org/10.1016/bs.ampbs.2017.01.005>
162. Hernroth, B., Tassidis, H., & Baden, S. (2019). Immunosuppression of aquatic organisms exposed to elevated levels of manganese: From global to molecular perspective. *Developmental and Comparative Immunology*. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2019.103536>
163. Klinkhammer, G. P., & Bender, M. L. (1980). The distribution of manganese in the Pacific Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, 46, 361-384. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(80\)90051-5](https://doi.org/10.1016/0012-821X(80)90051-5)
164. Oweson, C., & Hernroth, B. (2009). A comparative study on the influence of manganese on the bactericidal response of marine invertebrates. *Fish & Shellfish Immunology*, 27(3), 500-507. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2009.07.001>
165. Oweson, C., Li, C., Söderhäll, I., & Hernroth, B. (2010). Effects of manganese and hypoxia on coelomocyte renewal in the echinoderm, *Asterias rubens* (L.). *Aquatic Toxicology*, 100(1), 84-90. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2010.07.012>
166. Oweson, C., Sköld, H., Pinsino, A., Matranga, V., & Hernroth, B. (2008). Manganese effects on haematopoietic cells and circulating coelomocytes of *Asterias rubens* (Linnaeus). *Aquatic Toxicology*, 89(2), 75-81. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2008.05.016>
167. Sköld, H., Baden, S., Looström, J., Eriksson, S. P., & Hernroth, B. (2015). Motoric impairment following manganese exposure in asteroid echinoderms. *Aquatic Toxicology*, 167, 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.07.016>
168. Stauber, J., & Florence, T. (1985). Interactions of copper and manganese: A mechanism by which manganese alleviates copper toxicity to the marine diatom, *Nitzschia closterium* (Ehrenberg) W. Smith. *Aquatic Toxicology*, 7, 241-254. [https://doi.org/10.1016/0166-445X\(85\)90042-6](https://doi.org/10.1016/0166-445X(85)90042-6)
169. Summer, K., Reichelt-Brushett, A., & Howe, P. (2019). Toxicity of manganese to various life stages of selected marine cnidarian species. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 167, 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.09.116>
170. Sunda, W., Huntsman, S., & Harvey, G. (1983). Photoreduction of manganese oxides in seawater and its geochemical and biological implications. *Nature*, 301, 234-236. <https://doi.org/10.1038/301234A0>



171. Barros, M. P., Hollnagel, H., Glavina, A., Soares, C., Ganini, D., Dagenais-Bellefeuille, S., Morse, D., & Colepicolo, P. (2013). Molybdate ratio affects redox metabolism and viability of the dinoflagellate *Lingulodinium polyedrum*. *Aquatic Toxicology*, 142-143, 195-202. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2013.08.012>
172. Binet, M., Reichelt-Brushett, A., McKnight, K. S., Golding, L., Humphrey, C., & Stauber, J. (2023). Adult corals are uniquely more sensitive to molybdenum than coral early-life stages. *Environmental Toxicology and Chemistry*. <https://doi.org/10.1002/etc.5618>
173. Burdige, D., & Neelson, K. (1985). Microbial manganese reduction by enrichment cultures from coastal marine sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, 50(2), 491-497. <https://doi.org/10.1128/aem.50.2.491-497.1985>
174. Cole, J., Howarth, R., Nolan, S., & Marino, R. (1986). Sulfate inhibition of molybdate assimilation by planktonic algae and bacteria: some implications for the aquatic nitrogen cycle. *Biogeochemistry*, 2, 179-196. <https://doi.org/10.1007/BF02180194>
175. Glass, J., Axler, R., Chandra, S., & Goldman, C. (2012). Molybdenum limitation of microbial nitrogen assimilation in aquatic ecosystems and pure cultures. *Frontiers in Microbiology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00331>
176. Howarth, R., & Cole, J. (1985). Molybdenum Availability, Nitrogen Limitation, and Phytoplankton Growth in Natural Waters. *Science*, 229, 653-655. <https://doi.org/10.1126/science.229.4714.653>
177. Klinkhammer, G. P., & Bender, M. L. (1980). The distribution of manganese in the Pacific Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, 46, 361-384. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(80\)90051-5](https://doi.org/10.1016/0012-821X(80)90051-5)
178. Marino, R., Howarth, R., Chan, F., Cole, J., & Likens, G. (2003). Sulfate inhibition of molybdenum-dependent nitrogen fixation by planktonic cyanobacteria under seawater conditions: a non-reversible effect. *Hydrobiologia*, 500, 277-293. <https://doi.org/10.1023/A:1024641904568>
179. Bolter, E., Turekian, K., & Schutz, D. (1964). The distribution of rubidium, cesium and barium in the oceans. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 28, 1459-1466. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(64\)90161-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(64)90161-9)
180. Papadopoulou, C., & Kaniyas, G. (1977). Tunicate species as marine pollution indicators. *Marine Pollution Bulletin*, 8, 229-231. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(77\)90431-3](https://doi.org/10.1016/0025-326X(77)90431-3)
181. Petersen, K., Paytan, A., Rahav, E., Levy, O., Silverman, J., Barzel, O., Potts, D., & Bar-Zeev, E. (2018). Impact of brine and antiscalants on reef-building corals in the Gulf of Aqaba - Potential effects from desalination plants. *Water Research*, 144, 183-191. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.009>



182. Riley, J. P., & Tongudai, M. (1966). Caesium and rubidium in sea water. *Chemical Geology*, 1, 291-294. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(66\)90025-8](https://doi.org/10.1016/0009-2541(66)90025-8)
183. Smith, R. C., Pillai, K. C., Chow, T. J., & Folsom, T. (1965). Determination of rubidium in seawater. *Limnology and Oceanography*, 10(2), 226-232. <https://doi.org/10.4319/LO.1965.10.2.0226>
184. Cutter, G., & Bruland, K. (1984). The marine biogeochemistry of selenium: A re-evaluation. *Limnology and Oceanography*, 29, 1179-1192. <https://doi.org/10.4319/LO.1984.29.6.1179>
185. Wrench, J. (1983). Organic selenium in seawater: levels, origins and chemical forms. *Marine Chemistry*, 12, 237. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(83\)90099-3](https://doi.org/10.1016/0304-4203(83)90099-3)
186. Cooke, T., & Bruland, K. (1987). Aquatic chemistry of selenium: evidence of biomethylation. *Environmental Science & Technology*, 21, 1214-1219. <https://doi.org/10.1021/ES00165A009>
187. Vandermeulen, J., & Foda, A. (1988). Cycling of selenite and selenate in marine phytoplankton. *Marine Biology*, 98, 115-123. <https://doi.org/10.1007/BF00392666>
188. Harrison, P., Yu, P., Thompson, P., Price, N. M., & Phillips, D. (1988). Survey of selenium requirements in marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 47, 89-96. <https://doi.org/10.3354/MEPS047089>
189. Gobler, C., Lobanov, A. V., Tang, Y., Turanov, A., Zhang, Y., Doblin, M., Taylor, G., Sañudo-Wilhelmy, S., Grigoriev, I., & Gladyshev, V. (2013). The central role of selenium in the biochemistry and ecology of the harmful pelagophyte, *Aureococcus anophagefferens*. *The ISME Journal*, 7, 1333-1343. <https://doi.org/10.1038/ismej.2013.25>
190. Trevisan, R., Delapetra, G., Mello, D. F., Arl, M., Schmidt, É. C., Latini, A., & Dafre, A. L. (2011). Selenium in water enhances the antioxidant defenses induced by copper in gills of the brown mussel *Perna perna*. *Aquatic Toxicology*, 101(1), 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2010.09.003>
191. Yan, X., Zheng, L., Chen, H., Lin, W., & Zhang, W. (2004). Enriched accumulation and biotransformation of selenium in the edible seaweed *Laminaria japonica*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(21), 6460-6464. <https://doi.org/10.1021/JF040195K>
192. Zheng, Y., Li, Z., Tao, M., Li, J., & Hu, Z. (2017). Effects of selenite on green microalga *Haematococcus pluvialis*: Bioaccumulation of selenium and enhancement of astaxanthin production. *Aquatic Toxicology*, 183, 21-27. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.12.008>
193. Mitchell, K., Lima, A. T., & Van Cappellen, P. (2019). Selenium in buoyant marine debris biofilm. *Marine Pollution Bulletin*, 149, 110562. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110562>
194. Gobi, N., Vaseeharan, B., Rekha, R., Vijayakumar, S., & Faggio, C. (2018). Bioaccumulation, cytotoxicity





- and oxidative stress of the acute exposure selenium in *Oreochromis mossambicus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 162, 147-159. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.070>
195. Chiarelli, R., Martino, C., Roccheri, M., & Cancemi, P. (2021). Toxic effects induced by vanadium on sea urchin embryos. *Chemosphere*, 274, 129843. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129843>
196. Han, T., Fan, H., & Wen, H. (2018). Dwindling vanadium in seawater during the early Cambrian, South China. *Chemical Geology*. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMGEO.2018.05.022>
197. Kustin, K., Mcleod, G. C., Gilbert, T. R., & Briggs, B. R. (1983). Vanadium and other metal ions in the physiological ecology of marine organisms. *Biometals*, 5, 3-12. <https://doi.org/10.1007/BFB0111305>
198. Meina, E. G., Niyogi, S., & Liber, K. (2020). Investigating the mechanism of vanadium toxicity in freshwater organisms. *Aquatic Toxicology*, 229, 105648. <https://doi.org/10.1016/J.AQUATOX.2020.105648>
199. Miramand, P., Guary, J., & Fowler, S. (1981). Uptake, assimilation, and excretion of vanadium in the shrimp, *Lysmata seticaudata* (Risso), and the crab, *Carcinus maenas* (L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 49, 267-287. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(81\)90076-9](https://doi.org/10.1016/0022-0981(81)90076-9)
200. Pessoa, J., Garrimba, E., Santos, M. F. A., & Santos-Silva, T. (2015). Vanadium and proteins: Uptake, transport, structure, activity and function. *Coordination Chemistry Reviews*, 301, 49-86. <https://doi.org/10.1016/J.CCR.2015.03.016>
201. Rehder, D. (2013). The future of/for vanadium. *Dalton Transactions*, 42(33), 11749-11761. <https://doi.org/10.1039/c3dt50457c>
202. Rehder, D. (2015). The role of vanadium in biology. *Metallomics*, 7(5), 730-742. <https://doi.org/10.1039/c4mt00304g>
203. Rehder, D. (2019). A role for vanadium in ascidians and in marine algae. *Journal of Oceanography and Marine Research*. <https://doi.org/10.35248/2572-3103.19.7.190>
204. Schiffer, S., & Liber, K. (2017). Toxicity of aqueous vanadium to zooplankton and phytoplankton species of relevance to the athabasca oil sands region. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 137, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.10.040>
205. Suzuki, S., Kimura, M., Agusa, T., & Rahman, H. (2012). Vanadium accelerates horizontal transfer of tet(M) gene from marine *Photobacterium* to *Escherichia coli*. *FEMS Microbiology Letters*, 336(1), 52-56. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2012.02653.x>
206. Barnett, J. P., Millard, A., Ksibe, A. Z., Scanlan, D., Schmid, R., & Blindauer, C. (2012). Mining genomes of marine cyanobacteria for elements of zinc homeostasis. *Frontiers in Microbiology*, 3, 142. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00142>



org/10.3389/fmicb.2012.00142

207. Bielmyer, G. K., Bullington, J., Decarlo, C., Chalk, S., & Smith, K. J. (2012). Effects of salinity on acute toxicity of zinc to two euryhaline species of fish, *Fundulus heteroclitus* and *Kryptolebias marmoratus*. *Integrative and Comparative Biology*, 52(6), 753-760. <https://doi.org/10.1093/icb/ics045>
208. Corinaldesi, C., Marcellini, F., Nepote, E., Damiani, E., & Danovaro, R. (2018). Impact of inorganic UV filters contained in sunscreen products on tropical stony corals (*Acropora* spp.). *The Science of the Total Environment*, 637-638, 1279-1285. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.108>
209. Gobi, N., Vaseeharan, B., Rekha, R., Vijayakumar, S., & Faggio, C. (2018). Bioaccumulation, cytotoxicity and oxidative stress of the acute exposure selenium in *Oreochromis mossambicus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 162, 147-159. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.070>
210. Janssen, D. J., & Cullen, J. (2015). Decoupling of zinc and silicic acid in the subarctic northeast Pacific interior. *Marine Chemistry*, 177, 124-133. <https://doi.org/10.1016/J.MARCHEM.2015.03.014>
211. Jorge, M. B., Silva, K., Wood, C. (2012). Oxidative stress parameters and antioxidant response to sublethal waterborne zinc in a euryhaline teleost *Fundulus heteroclitus*: protective effects of salinity. *Aquatic Toxicology*, 110-111, 187-193. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2012.01.012>
212. Kim, T., Obata, H., Gamo, T., & Nishioka, J. (2015). Sampling and onboard analytical methods for determining subnanomolar concentrations of zinc in seawater. *Limnology and Oceanography: Methods*, 13. <https://doi.org/10.1002/lom3.10004>
213. Niyogi, S., Blewett, T., Gallagher, T., Fehsenfeld, S., & Wood, C. (2016). Effects of salinity on short-term waterborne zinc uptake, accumulation and sub-lethal toxicity in the green shore crab (*Carcinus maenas*). *Aquatic Toxicology*, 178, 132-140. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.07.012>
214. Seto, M., Wada, S., & Suzuki, S. (2013). The effect of zinc on aquatic microbial ecosystems and the degradation of dissolved organic matter. *Chemosphere*, 90(3), 1091-1102. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.014>
215. Shaked, Y., Xu, Y., Leblanc, K., & Morel, F. (2006). Zinc availability and alkaline phosphatase activity in *Emiliania huxleyi*: Implications for Zn-P co-limitation in the ocean. *Limnology and Oceanography*, 51(1). <https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1.0299>
216. Sunda, W., & Huntsman, S. (1995). Cobalt and zinc interreplacement in marine phytoplankton: Biological and geochemical implications. *Limnology and Oceanography*, 40(8), 1404-1417. <https://doi.org/10.4319/LO.1995.40.8.1404>



217. Wahyono, I. B., Muslim, M., Suseno, H., Suryono, C. A., & Pujiyanto, A. (2023). Bioaccumulation of zinc by *Portunus pelagicus*: Nuclear application techniques that use radiotracer  $^{65}\text{Zn}$  to study influence of concentration of Zn in seawater. *Maritime Technology and Research*. <https://doi.org/10.33175/mtr.2024.266903>
218. Yung, M. M., Wong, S. W. Y., Kwok, K. W., Liu, F. Z., Leung, Y., Chan, W., Li, X. Y., Djurišić, A., & Leung, K. (2015). Salinity-dependent toxicities of zinc oxide nanoparticles to the marine diatom *Thalassiosira pseudonana*. *Aquatic Toxicology*, 165, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.05.015>
219. Carpenter, R. (1969). Factors controlling the marine geochemistry of fluorine. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 33, 1153-1167. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(69\)90038-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(69)90038-6)
220. Pankhurst, N., Boyden, C. R., & Wilson, J. (1980). The effect of a fluoride effluent on marine organisms. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 23, 299-312. [https://doi.org/10.1016/0143-1471\(80\)90072-0](https://doi.org/10.1016/0143-1471(80)90072-0)
221. Camargo, J. A. (2003). Fluoride toxicity to aquatic organisms: a review. *Chemosphere*, 50(3), 251-264. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00498-8](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00498-8)
222. Gregson, R. P., Baldo, B., Thomas, P., Quinn, R., Bergquist, P. R., Stephens, J. F., & Horne, A. R. (1979). Fluorine is a major constituent of the marine sponge *Halichondria moorei*. *Science*, 206, 1108-1109. <https://doi.org/10.1126/science.206.4422.1108>
223. Masoud, M., El-Sarraf, W., Harfoush, A., & El-Said, G. (2006). The effect of fluoride and other ions on algae and fish of coastal water of Mediterranean Sea, Egypt. *American Journal of Environmental Sciences*, 2, 49-59. <https://doi.org/10.3844/AJESP.2006.49.59>
224. Mukhopadhyay, D., Priya, P., & Chattopadhyay, A. (2015). Sodium fluoride affects zebrafish behaviour and alters mRNA expressions of biomarker genes in the brain: Role of Nrf2/Keap1. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 40(2), 352-359. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.07.003>
225. Chae, Y., Kim, D., & An, Y. (2016). Effect of fluoride on the cell viability, cell organelle potential, and photosynthetic capacity of freshwater and soil algae. *Environmental Pollution*, 219, 359-367. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.063>
226. McClymont, A., Arnott, S., & Rusak, J. (2022). Interactive effects of increasing chloride concentration and warming on freshwater plankton communities. *Limnology and Oceanography Letters*, 8. <https://doi.org/10.1002/lol2.10278>
227. Roy, J. W. (2019). Endobenthic organisms exposed to chronically high chloride from groundwater discharging along freshwater urban streams and lakeshores. *Environmental Science & Technology*.



<https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02288>

228. Megaw, J., Buseti, A., & Gilmore, B. (2013). Isolation and characterisation of 1-alkyl-3-methylimidazolium chloride ionic liquid-tolerant and biodegrading marine bacteria. *PLoS ONE*, 8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060806>
229. Petersen, K., Paytan, A., Rahav, E., Levy, O., Silverman, J., Barzel, O., Potts, D., & Bar-Zeev, E. (2018). Impact of brine and antiscalants on reef-building corals in the Gulf of Aqaba - Potential effects from desalination plants. *Water Research*, 144, 183-191. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.009>
230. Dionisio-Sese, M., & Miyachi, S. (1992). The effect of sodium chloride on carbonic anhydrase activity in marine microalgae. *Journal of Phycology*, 28. <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1992.00619.x>
231. Greco, D. A., Arnott, S., Fournier, I., & Schamp, B. (2021). Effects of chloride and nutrients on freshwater plankton communities. *Limnology and Oceanography Letters*, 8. <https://doi.org/10.1002/lol2.10202>
232. Fu, D., Zhang, Q., Fan, Z., Qi, H., Wang, Z., & Peng, L. (2019). Aged microplastics polyvinyl chloride interact with copper and cause oxidative stress towards microalgae *Chlorella vulgaris*. *Aquatic Toxicology*, 216, 105319. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.105319>
233. Evans, D. (1967). Sodium, chloride and water balance of the intertidal teleost, *Xiphister atropurpureus*. I. Regulation of plasma concentration and body water content. *The Journal of experimental biology*, 47 3, 513-7
234. Chen, F., Ma, J., Zhong, Z., Liu, H., Miao, A., Zhu, X., & Pan, K. (2023). Silicon limitation impairs the tolerance of marine diatoms to pristine microplastics. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c09305>
235. Kranzler, C. F., Krause, J., Brzezinski, M., Edwards, B., Biggs, W. P., Maniscalco, M., McCrow, J., Van Mooy, B. V., Bidle, K., Allen, A., & Thamatrakoln, K. (2019). Silicon limitation facilitates virus infection and mortality of marine diatoms. *Nature Microbiology*. <https://doi.org/10.1038/s41564-019-0502-x>
236. Lehtimäki, M., Sinkko, H., & Tallberg, P. (2016). The role of oxygen conditions in the microbial dissolution of biogenic silica under brackish conditions. *Biogeochemistry*, 129, 355-371. <https://doi.org/10.1007/s10533-016-0237-1>
237. Fuhrman, J., Chisholm, S., & Guillard, R. (1978). Marine alga *Platymonas* sp. accumulates silicon without apparent requirement. *Nature*, 272, 244-246. <https://doi.org/10.1038/272244A0>
238. Maldonado, M., López-Acosta, M., Sitjà, C., García-Puig, M., Galobart, C., Ercilla, G., & Leynaert, A.



- (2019). Sponge skeletons as an important sink of silicon in the global oceans. *Nature Geoscience*. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0430-7>
239. Ma, J., Zhou, B., Tan, Q., Zhang, L., & Pan, K. (2019). The roles of silicon in combating cadmium challenge in the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *Journal of Hazardous Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121903>
240. Zhou, B., Ma, J., Chen, F., Zou, Y., Wei, Y., Zhong, H., & Pan, K. (2020). Mechanisms underlying silicon-dependent metal tolerance in the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *Environmental Pollution*, 262, 114331. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114331>
241. López-Acosta, M., Leynaert, A., & Maldonado, M. (2016). Silicon consumption in two shallow-water sponges with contrasting biological features. *Limnology and Oceanography*, 61. <https://doi.org/10.1002/Lno.10359>
242. Kristiansen, S., & Hoell, E. (2002). The importance of silicon for marine production. *Hydrobiologia*, 484, 21-31. <https://doi.org/10.1023/A:1021392618824>
243. Morse, D. (1999). Silicon biotechnology: Harnessing biological silica production to construct new materials. *Trends in Biotechnology*, 17, 230-232. [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(99\)01309-8](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(99)01309-8)
244. Haas, A. F., Fairoz, M. F., Kelly, L. W., Nelson, C. E., Dinsdale, E. A., Edwards, R. A., Giles, S., Hatay, M., Hisakawa, N., Knowles, B., Lim, Y. W., Maughan, H., Pantos, O., Roach, T. N., Sanchez, S. E., Silveira, C. B., Sandin, S., Smith, J. E., & Rohwer, F. (2016). Global microbialization of coral reefs. *Nature Microbiology*, 1(6), 1-7. <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2016.42>
245. Bednarz, V. N., Grover, R., & Ferrier-Pagès, C. (2020). Elevated ammonium delays the impairment of the coral- dinoflagellate symbiosis during labile carbon pollution. *Aquatic Toxicology*, 218, 105360.
246. Cárdenas, A., Neave, M. J., Haroon, M. F., Pogoreutz, C., Rådecker, N., Wild, C., Gärdes, A., & Voolstra, C. R. (2017). Excess labile carbon promotes the expression of virulence factors in coral reef bacterioplankton. *Nature News*. <https://www.nature.com/articles/ismej2017142>
247. Baird, A. H., Madin, J. S., Álvarez-Noriega, M., & Madin, E. M. P. (2012). Effects of Nutrients and Suspended Sediment on Coral Growth. *Marine Ecology Progress Series*, 461, 235-245.
248. Kline, D. I., Kuntz, N. M., Breitbart, M., Knowlton, N., & Rohwer, F. (2006). Role of elevated organic carbon levels and microbial activity in coral mortality. *Marine Ecology Progress Series*, 314, 119-125.
249. Fabricius, K. E. (2005). Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review



and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 50(2), 125-146.

250. Marubini, F., & Davies, P. S. (1996). Nitrate increases zooxanthellae population density and reduces skeletogenesis in corals. *Marine Biology*, 127(2), 319-328.

251. Wiedenmann, J., D'Angelo, C., Smith, E. G., Hunt, A. N., Legiret, F. E., Postle, A. D., & Achterberg, E. P. (2013). Nutrient enrichment can increase the susceptibility of reef corals to bleaching. *Nature Climate Change*, 3(2), 160-164.

252. Wooldridge, S. A. (2009). Water quality and coral bleaching thresholds: formalising the linkage for the inshore reefs of the Great Barrier Reef, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 58(5), 745-751.

253. Allemand, D., Tambutté, É., Zoccola, D., & Tambutté, S. (2011). Coral calcification, cells to reefs. *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition*, 119-150. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0114-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0114-4_8)

254. Falkowski, P. G., Dubinsky, Z., Muscatine, L., & McCloskey, L. (1993). Population control in symbiotic corals. *Bioscience*, 43(9), 606-611. <https://doi.org/10.1126/science.259.5099.187>

255. Ferrier-Pagès, C., Rottier, C., Béraud, E., & Levy, O. (2010). Experimental assessment of the feeding effort of three scleractinian coral species during a thermal stress: Effect on the rates of photosynthesis. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 390(2), 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2010.05.007>

256. Grover, R., Maguer, J.-F., Allemand, D., & Ferrier-Pagès, C. (2008). Uptake of dissolved free amino acids by the scleractinian coral *Stylophora pistillata*. *Journal of Experimental Biology*, 211(6), 860-865. <https://doi.org/10.1242/jeb.015487>

257. Houlbrèque, F., & Ferrier-Pagès, C. (2009). Heterotrophy in tropical scleractinian corals. *Biological Reviews*, 84(1), 1-17. <https://doi.org/10.1017/S1464793108004665>

258. Rodrigues, L. J., & Grottoli, A. G. (2006). Lipid storage changes in response to bleaching events in two Pacific coral species. *Limnology and Oceanography*, 51(1), 595-602. [https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1\\_part\\_2.0595](https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0595)

259. Sebens, K. P., Vandersall, K. S., Savina, L. A., & Graham, K. R. (1996). Zooplankton capture by two scleractinian corals, *Madracis mirabilis* and *Montastrea cavernosa*, in a field enclosure. *Marine Biology*, 127(2), 303-317. <https://doi.org/10.1007/BF00349100>

260. Shiah, F. K., & Ducklow, H. W. (1994). Temperature and substrate regulation of bacterial abundance, production, and specific growth rate in Chesapeake Bay, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 103, 297-308. <https://doi.org/10.3354/meps103297>



261. Sorokin, Y. I. (1973). On the feeding of some scleractinian corals with bacteria and dissolved organic matter. *Marine Biology*, 19(4), 329-341. <https://doi.org/10.1007/BF00368023>
262. Baker, A. C. (2003). Flexibility and specificity in coral-algal symbiosis: Diversity, ecology, and biogeography of Symbiodinium. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34, 661-689. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132417>
263. Banaszak, A. T., & Trench, R. K. (1995). Effects of ultraviolet (UV) radiation on marine microalgal-invertebrate symbioses. I. Response of the algal symbionts in culture and in hospite. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 194(3), 233-250. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(95\)80006-8](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(95)80006-8)
264. Benavides, M., Houlbrèque, F., Camps, M., Lorrain, A., Grosso, O., & Bonnet, S. (2018). Diazotrophic symbioses between marine diatoms and bacteria drive biogeochemical cycling. *Nature Communications*, 9(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04447-1>
265. Dykens, J. A., & Shick, J. M. (1982). Oxygen production by endosymbiotic algae controls superoxide dismutase activity in their animal host. *Nature*, 297(5868), 579-580. <https://doi.org/10.1038/297579a0>
266. Falkowski, P. G., Dubinsky, Z., Muscatine, L., & McCloskey, L. (1993). Population control in symbiotic corals. *Bioscience*, 43(9), 606-611. <https://doi.org/10.1126/science.259.5099.187>
267. Ferrier-Pagès, C., Rottier, C., Béraud, E., & Levy, O. (2011). Experimental assessment of the feeding effort of three scleractinian coral species during a thermal stress: Effect on the rates of photosynthesis. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 390(2), 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2010.12.027>
268. Harrison, P. L., & Wallace, C. C. (1990). Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian corals. *Ecosystems of the World*, 25, 133-207.
269. Le Tissier, M. D. A. (1988). The role of heterotrophic nutrition in the physiology of the coral-zooxanthella symbiosis. *Marine Biology*, 98(3), 259-267. <https://doi.org/10.1007/BF00301961>
270. Sammarco, P. W., & Risk, M. J. (1990). Large-scale patterns in internal bioerosion of Porites: Cross continental shelf trends on the Great Barrier Reef. *Marine Ecology Progress Series*, 59, 145-156. <https://doi.org/10.3354/meps059145>
271. Shiah, F. K., & Ducklow, H. W. (1994). Temperature and substrate regulation of bacterial abundance, production, and specific growth rate in Chesapeake Bay, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 103, 297-308. <https://doi.org/10.3354/meps103297>



272. Sorokin, Y. I. (1973). On the feeding of some scleractinian corals with bacteria and dissolved organic matter. *Marine Biology*, 19(4), 329-341. <https://doi.org/10.1007/BF00368023>

273. Szmant-Froelich, A., Reutter, M., & Riggs, L. (1980). Sexual reproduction of *Favia fragum* (Esper): Lunar patterns of gametogenesis, embryogenesis and planulation in Puerto Rico. *Bulletin of Marine Science*, 30(3), 583-591.

274. Yamamoto, Y., Hara, K., & Hara, T. (2001). Inhibitory effects of vitamin E on growth of cultured cancer cells: Is the inhibition due to the antioxidant activity? *Cancer Research*, 61(5), 1513-1518.

H2P™ Dosiersystem Version 1.0

Copyright © 2024 von Reef Zlements

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert, verbreitet oder übertragen werden, außer für die Verwendung kurzer Zitate in einer Buchrezension oder in einer wissenschaftlichen Zeitschrift.



