

German version translated from original English

## TRITON TECHNICAL PAPER

# Die TRITON ‚REEFKEEPING‘ Verhältnisse

Ehsan Dashti<sup>1</sup> | Russell Kelley<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TRITON Applied  
Reef BioScience,  
Germany  
<sup>2</sup>BYOGUIDES,  
Townsville, Australia

### Vorwort

Die Praxis der Meerwasseraquaristik in geschlossenen Systemen hat sich erheblich verbessert seitdem genaue, kostengünstige ICP-Analysen von Meerwasser für den Aquarianer verfügbar wurden.

Die Ansicht, dass Riff-Systeme in erster Linie durch Anreicherung oder Verbrauch anorganischer Elemente verstanden werden können, ignoriert das komplexe Zusammenspiel zwischen organischer Chemie und der Biologie von Riffsystemen: Tiere, Pflanzen, Bakterien, Cyanobakterien und Pilze.

Um dieses Problem zu lösen, nutzen einige Aquarianer biochemische Verhältnisse (z.B. das Redfield Verhältnis) abgeleitet aus der Analyse von Plankton im offenen Ozean, als Richtlinie für das Verhalten von Meerwasser in geschlossenen Riffsystemen. Sie gehen davon aus, dass diese Verhältnisse einen positiven Effekt auf das System haben und ein gutes Verhältnis der Nährstoffe im Meerwasser darstellen.

Basierend auf der Auswertung einer großen Datenbank von Meerwasseranalysen in geschlossenen Riffsystemen, können wir diese Vermutung widerlegen. Stattdessen schlagen wir eine Reihe von Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorverhältnissen vor (Die TRITON-Verhältnisse) zur Anwendung in geschlossenen Riffsystemen.

Durch das Anwenden von N-DOC-Analysen (CHNS Elemental Analyzer), um die TRITON-Verhältnisse zu ermitteln, ist es nun möglich auf das Vorhandensein verschiedener Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen zu schließen.

Das Verhalten dieser Stoffe in bisher nicht gemessenen Stoffwechselwegen macht es möglich die Meerwasserchemie in geschlossenen Systemen zu steuern und bewusst zu beeinflussen für eine noch bessere Systemstabilität.

\* Hinweis: Der in den TRITON-Verhältnissen verwendete Phosphorwert stammt aus einer kürzlich durchgeführten ICP-Analyse.

German version translated from original English

## Einführung

Aquarianer, die sich mit der Haltung von Korallen in Riffsystemen beschäftigen, sind sich seit langem der Verbindung zwischen chemischen und biologischen Prozessen bewusst. Geringfügige Unterschiede zwischen den chemischen Stoffen und Verbindungen haben dabei das Potenzial zu einer signifikanten biologischen oder biochemischen Resonanz.

Ebenso müssen auch die Verhältnisse zwischen chemischen Stoffen und Nährstoffen berücksichtigt werden.

Ein grundlegendes Konzept in Bezug auf die organische Chemie des Meerwassers ist das Redfield-Verhältnis, wobei das molare Elementverhältnis von C: N: P meist aus Phytoplankton (106: 16: 1) betrachtet wird. Oberflächlich scheint es eine gute Idee zu sein, dieses Verhältnis in geschlossenen Systemen nachzuahmen und viele Aquarianer versuchen dies durch das Zuführen von Kohlenstoff- und Stickstoffquellen, ohne wirklich die Kettenreaktionen zu verstehen, die sie auslösen, und ohne die tatsächlich beteiligten chemischen Stoffe messen zu können.

In diesem Artikel berichten wir erstmals über die typischen Verhältnisse, die in geschlossenen Meerwassersystemen mittels moderner Meerwasseranalyse-Techniken gefunden wurden (im folgenden TRITON-Verhältnisse genannt).

## TRITON-Verhältnisse

Die TRITON-Verhältnisse sind ein nützliches Tool zur Fehlerbehebung für den modernen Riffaquarianer mit Zugang zu professionellen Labormessungen.

Bei richtiger Anwendung erlauben sie dem Aquarianer ein natürliches Gleichgewicht der im Meerwasser vorkommenden organischen Verbindungen zu erzeugen und zu erhalten. Dies führt zu einem besseren Verständnis des Systems und zu besseren Haltungsergebnissen.

Die TRITON-Verhältnisse sind wie folgt:

- Das Verhältnis zwischen Stickstoff und Stickstoff aus Nitrat ( N : NO<sub>3</sub> / N )
- Das Verhältnis zwischen *Stickstoff - Kohlenstoff - Phosphor* \* ( N : C: P )
- Das Verhältnis zwischen anorganischem Kohlenstoff und organischem Kohlenstoff ( C(i): C(o) )
- Das Verhältnis zwischen *Stickstoff - Anorganischem Kohlenstoff - Organischem Kohlenstoff - Phosphor* ( N: C (i): C (o): P )

## Methode

Eine große Anzahl von Analysen wurde über ein Jahr bei TRITON mit einem CHNS Elementaranalysator (N-DOC) und ICP-OES (ICP) mit firmeneigenen Modifikationen von TRITON zur Verbesserung der Leistung bei Meerwasseranalysen durchgeführt.

Doppelproben N-DOC / ICP-Tests von Meerwasser aus folgenden Quellen sind durchgeführt worden:

- A. Proben von unserer globalen TRITON-Nutzerbasis.
- B. Proben von mehreren öffentlichen Aquarien.
- C. Proben von Projektpartnern Cairns Marine und Horniman Museum, London.

\* Hinweis: Der in den TRITON-Verhältnissen verwendete Phosphorwert stammt aus einer kürzlich durchgeführten ICP-Analyse.

German version translated from original English

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes stützt sich die Analysedatenbank auf 23000 Benutzer und mehr als 200 000 durchgeführte Tests von TRITON und ist die größte Analysedatenbank zum Verhalten von Meerwasser in geschlossene Riffsystemen, die jemals erstellt wurde.

Die Proben wurden unter Laborbedingungen zur Minimierung der Kontamination behandelt.

Keine Verdünnung oder Ansäuerung wurde verwendet und alle Proben wurden innerhalb von 3 Tagen und erneut nach 5 Tagen getestet

um sicherzustellen, dass es keine Veränderungen beim organischen Kohlenstoff gibt.

Probenröhrchen wurden auf ihre Eignung geprüft und die Methode für unverdünnte Proben validiert.

Die Daten wurden in eine Datenbank eingegeben um die TRITON-Verhältnisse zu berechnen und zum Vergleich der Ergebnisse zu visualisieren.

Die Daten wurden wöchentlich überprüft und mit biochemischen Beobachtungen des Probengebers abgestimmt.

### Vereinfachter Stickstoffkreislauf

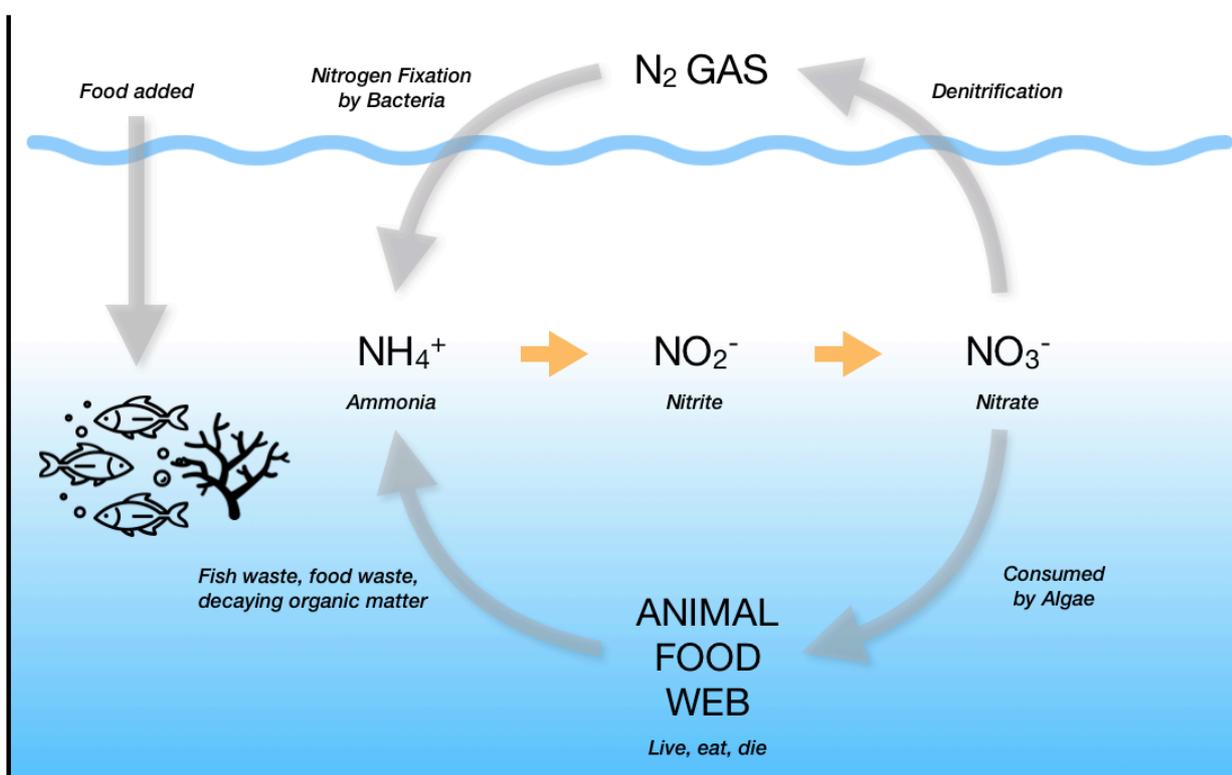


Abbildung 1 Vereinfachter Stickstoffkreislauf, wie er von vielen Aquarianern verstanden wird.

German version translated from original English

### Diskussion

Unsere Tests haben gezeigt, dass das Verhältnis von N: NO<sub>3</sub> / N sehr wichtig für das Verständnis des Stickstoff-Nährstoff-Zyklus in Meerwasseraquarien ist. Typischerweise konzentriert sich der Aquarianer beim Meerwasser-Stickstoffkreislauf auf

eine Reihe von Nitrifikationsreaktionen durch Bakterien  
- wie in Abbildung 1.

In Wirklichkeit jedoch spielen andere stickstoffhaltige organische Stoffe und Moleküle auch zunehmend eine sehr

### Detaillierter Stickstoffkreislauf

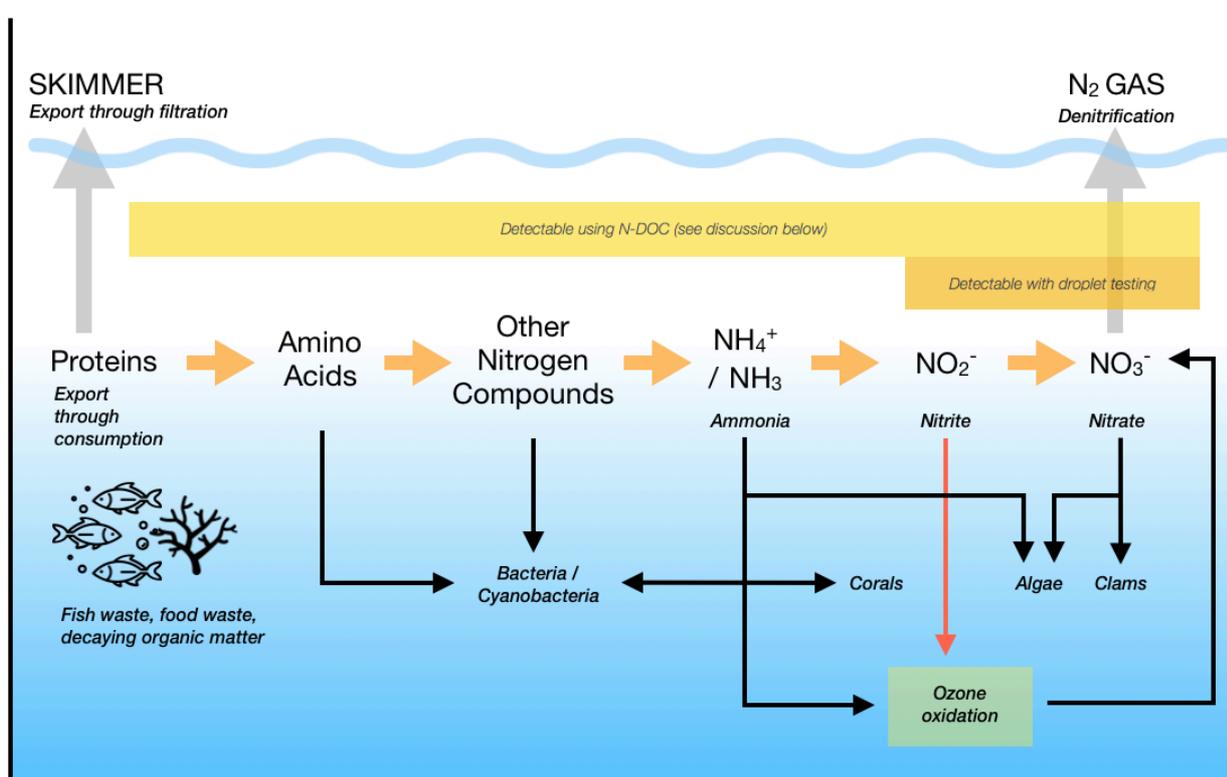


Abbildung 2 Schematische Darstellung eines detaillierten Stickstoffkreislaufs mit mikrobieller Nebenschleife

\* Hinweis: Der in den TRITON-Verhältnissen verwendete Phosphorwert stammt aus einer kürzlich durchgeführten ICP-Analyse.

**German version translated from original English**

wichtige Rolle in kleineren geschlossenen Systemen.

Zum Beispiel:

Proteine zerfallen erst in Aminosäuren, dann in Ammoniak / Ammonium ( $\text{NH}_4 / \text{NH}_3$ ) bevor sie schließlich zu  $\text{NO}_3$  werden, durch die bekannten Oxidationsreaktionen  
- siehe Abbildung 2.

Es ist wichtig zu beachten, dass das  $\text{NH}_4$  (mittlerer Stickstoff-Kreislauf) bioverfügbarer und energiereicher ist als Nährstoff für Bakterien, als das  $\text{NO}_3$  am Ende der Kette.

Folglich haben diese Organismen oder organischen Reaktionen das Potenzial die Meerwasser-Chemie von geschlossenen Riffsystemen zu beeinflussen und zwar zusätzlich zu der besser bekannten Nitrifikation durch Bakterien, die traditionell durch Tröpfchentest am Ende der Kette als  $\text{NO}_3$  gemessen wird.

In der Tat ist die Messung von  $\text{NO}_3$  allein nur die Messung der "Reste" von Stickstoff im organischen System, nachdem alles andere an Stickstoff bio-reagiert oder verbraucht wurde.

Es ist seit langem bekannt, dass überschüssiges organisches Material zu hohen Nährstoffen und Problemen wie Bakterien, Cyanobakterien und Algen führen kann.

Traditionell wird überschüssiges Bio-Material wie Proteine mit einem Eiweißabschäumer entfernt. Allerdings ist die Annahme, dass durch das Halten von Nährstoffen auf einem "niedrigen" Niveau und das alleinige Messen von  $\text{NO}_3$  zur Aufrechterhaltung des Systemzustands, ebenfalls zu allgemein und einfach gehalten. Es berücksichtigt nur einen Teil der Abläufe.

Trotz des Einsatzes von Eiweißabschäumern, setzt sich die Stoffwechselkette aus den in Abbildung 2 gezeigten biochemischen Reaktionen, unsichtbar und vom Aquarianer nicht gemessen, fort. Es ist wichtig zu verstehen, dass diese Reaktionen nicht unbedingt zur Veränderung des  $\text{NO}_3$ -Wertes führen oder diesen beeinflussen. So kann es möglich sein eine nährstoffreiche Umgebung zu erzeugen, die nicht als solche sichtbar ist durch eine  $\text{NO}_3$ -Messung.

TRITON hat sich zum Ziel gesetzt dieses Problem zu lösen, durch Forschung zum Verständnis von Stickstoff-Nährstoff-Kreisläufen im Detail. Unsere grosse Meerwasseranalysen-Datenbank hilft uns deren Einfluss auf das Verhalten von geschlossenen Meerwasser-Systemen besser zu verstehen.

Das Endziel ist es zu "Sollwerten" zu gelangen, die dem Aquarianer helfen die Systemstabilität aufrecht zu erhalten, optimal für Korallenwachstum und Gesundheit bei gleichzeitiger Hemmung der Entwicklung unerwünschter biologischer Reaktionen wie von Bakterien, Cyanobakterien und Algen.

Aus dieser Arbeit konnte das Verhältnis zwischen der wichtigsten messbaren organischen und anorganischen chemischen Stoffe abgeleitet und beschrieben werden, typisch für stabile gesunde Riffsysteme - die TRITON-Verhältnisse.

German version translated from original English

## Stickstoff & Stickstoff aus Nitrat

### (N: NO<sub>3</sub> / N)

#### TRITON-Verhältnis in Mol... 1: 3

Das TRITON-Verhältnis (N - NO<sub>3</sub> / N) zeigt wie viel Stickstoff in NO<sub>3</sub> gebunden ist und wie viel als andere Stickstoffverbindungen vorliegt. Für den Aquarianer kann dieses Verhältnis genutzt werden:

- Zur Beurteilung der Leistung (Größe oder Effizienz) von Eiweißabschäumern.
- Zur Beurteilung von Überschüssen wie Ammonium / Aminosäuren aufgrund schlechter Nährstoffkontrolle oder Blinddosierung von Kohlenstoff- und Stickstoffquellen.
- Zum Verständnis der Ursache von Ausbrüchen: Bakterien, Cyanobakterien und Algen.

Beibehalten des TRITON-Verhältnisses (N - NO<sub>3</sub> / N) bei

1: 3 sichert ein wettbewerbsfähiges Gleichgewicht zwischen den verschiedenen Lebensformen und hält Cyanobakterien, die Stickstoff sehr gut verstoffwechseln, unter Kontrolle. Ein besseres Verständnis für dieses Verhältnis hat das Potenzial dem Aquarianer noch mehr Kontrolle zu liefern und ist ein Schwerpunkt der laufenden Forschung bei TRITON.

## Stickstoff, Kohlenstoff und Phosphor \*

### (N: C: P)

#### TRITON-Verhältnis in Mol... 147: 12400: 1

Das bekannteste 'Nährstoffverhältnis' unter Aquarianern - besonders in der Meerwasseraquaristik.

Viele Aquarianer kennen das Redfield-Verhältnis (1 Mol P: 16 Mol N: 106 Mol C) (siehe Einleitung oben) und verwenden es als Richtlinie für Meerwasseraquarien.

Dies ist eine potenziell schädliche Praxis gefördert von irreführendem Marketing und einem schlechten Verständnis der Wissenschaft der Biochemie / Chemie in der Aquarienbranche.

Das Redfield-Verhältnis ist ein stöchiometrisches Maß, abgeleitet aus Analysen von Phytoplankton-Biomasse im offenen Ozean - nicht des Meerwassers selbst.

Wichtig ist, dass bei Redfield zwischen anorganischen und organischen Kohlenstoffen nicht unterschieden wird, deshalb sollte es nicht auf Meerwasser in Riffaquarien als geschlossenem System angewendet werden.

Redfield als Richtlinie würde einen Sollwert von ca. 0,24 mg / l für anorganischen Kohlenstoff (rund 117-mal weniger als Riff-Meerwasser) bedeuten. Auch auf den organischen Kohlenstoff angewendet würde es 10-mal niedrigere Werte bedeuten als im Riff-Meerwasser nachgewiesen.

Das Redfield-Verhältnis für Stickstoff und Phosphor müsste hier auch neu überdacht werden, dieses variiert stark in nährstoffarmen Umgebungen wie im Fall der Korallenriffe!

\* Hinweis: Der in den TRITON-Verhältnissen verwendete Phosphorwert stammt aus einer kürzlich durchgeführten ICP-Analyse.

German version translated from original English

Auch der Austrag von Nährstoffen in Riffaquarien muss nicht ausgeglichen und einheitlich sein oder einem Verhältnis unterliegen.

Stickstoff und Phosphat können voneinander getrennt exportiert werden z.B. mittels Denitrifikation, Abschäumer oder Phosphatadsorber.

Unter Verwendung eines modifizierten CHNS-Elementaranalysators hat TRITON Analysen an Proben aus geschlossenen Meerwassersystemen aus der ganzen Welt durchgeführt. Hiermit wurden die entsprechenden Sollwertverhältnisse für N-C-P in Meerwasser in geschlossenen Riffsystemen zum ersten Mal bestimmt.

Dieses Verhältnis ist ein großer Durchbruch im Verständnis für die moderne Meerwasseraquaristik.

Die Aufrechterhaltung des TRITON-Verhältnisses für N-C-P ist die Grundlage einer ausgewogenen Wasserchemie in Meerwasseraquarien und beeinflusst grundlegend sogar ein natürliches und gutes Aussehen eines Aquariums.

Eine Abweichung von diesem Verhältnis kann sich ungünstig auf Korallenwachstum und Gesundheit auswirken und kann zu Problemen mit Bakterien / Cyanobakterien führen, auch wenn andere chemische Parameter (z.B. ICP-Analyse) sich in einem normalen Rahmen befinden.

## Anorganischer und organischer Kohlenstoff

### (C / i: C / o)

#### TRITON-Verhältnis in Mol... 9: 1

Dieses neue Verhältnis wird dem Aquarianer unbekannt sein, denn bis jetzt war es ihm nicht möglich getrennt von einander anorganische und organische Kohlenstoffe zu betrachten. N-DOC-Tests bieten ein neues hochauflösendes Werkzeug zum Verständnis des Verhaltens von Kohlenstoffverbindungen in Riffaquarien.

Der Hauptzweck dieses Verhältnisses ist die Messung des Einflusses von anorganischen Kohlenstoffzusätzen unter der Präsenz von organischen Kohlenstoffen um zu erkennen wie effektiv diese verstoffwechselt werden.

Die Werte sollten möglichst ausgeglichen sein, da die anorganische Kohlenstoffversorgung sehr wichtig, wenn nicht einer der wichtigsten Parameter, in der Riffaquaristik ist. Es liefert nicht nur die Carbonat-Ionen, die für das Kalkskelett bei Steinkorallen, Schnecken und Muscheln benötigt werden, sondern auch CO<sub>2</sub> (als H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) für die Photosynthese.

German version translated from original English

## Stickstoff, anorganischer Kohlenstoff, organischer Kohlenstoff und Phosphor \*

**(P: C (i): C (o): N)**

**TRITON-Verhältnis in Mo... 1: 11150: 1250: 147**

Dieses TRITON-Verhältnis ist ein optimiertes Maß für geschlossene Riffsysteme. Es weicht von den Werten aus der Natur ab, die bekanntermaßen mit Breitengrad, Tiefe und sogar Jahreszeit variieren können.

Dieses Verhältnis nutzt wieder die Kapazität des N-DOC-Tests zur Unterscheidung zwischen anorganischen und organischen Formen von Kohlenstoff und ist ein leistungsstarkes Werkzeug zur Fehlerbehebung bei bestimmten Problemen, wie schlechtes Korallenwachstum und/oder Färbung.

Zum Beispiel wenn der C(o)- und C(i)- Wert niedrig sind, aber der N- und P-Wert eher hoch, dann kann ein Erdalkalimetall / organisches Kohlenstoffsalz wie Calciumacetat das Ungleichgewicht wieder beheben.

Hier werden durch das Einbringen des Salzes die Nährstoffe aufgrund des Acetat-Stoffwechsels gesenkt und die C(i) durch selbigen gehoben da sich  $H_2CO_2 / HCO_3$  aus  $CO_2$  bildet.

Hinweis: Dies wäre nicht der Fall, wenn der C(o)-Wert höher wäre.

Die Zugabe könnte in diesem Fall zu Problemen führen.

## TRITON-Verhältnisse herstellen und erhalten

Basierend auf den typischen Abweichungen, die wir in unseren N-DOC-Analysen gemessen haben, hat TRITON Ergänzungsmittel zur Unterstützung beim Herstellen und Erhalten der TRITON-Verhältnisse entwickelt.

Diese Ergänzung und Beratung basiert auf den Testergebnissen und die Dosierung ist speziell auf die Größe und den Verbrauch des Aquariums zugeschnitten.

Hinweis: Der in den TRITON Verhältnissen verwendete Phosphorwert wird durch eine kürzlich durchgeführte ICP-Analyse ermittelt.

### Fazit

Mit der Entwicklung des N-DOC-Tests hat der Aquarianer endlich Zugang zu einem kostengünstigen und effektiven Weg das Vorhandensein der wichtigsten organischen Stoffe im Riffaquarien-System zu erkennen und zu messen.

Die Entwicklung der TRITON-Verhältnisse liefert dabei einen leistungsfähigen neuen Rahmen für das Verständnis dieser Stoffe und der optimalen Bedingungen für das Korallenwachstum und deren Gesundheit.

Gleichzeitig verhindert es unerwünschte Wechselwirkungen zwischen Nährstoffen, Bakterien, Cyanobakterien und Algen in geschlossenen Systemen.

Die TRITON-Verhältnisse machen bisher missverständene und nicht gemessene Nährstoffpfade sichtbar.

Zusammen mit der ICP-Technologie helfen sie dem modernen Aquarianer Teil einer neuen Ära der Aquaristik zu werden - informiert und wissenschaftlich fundiert.

\* Hinweis: Der in den TRITON-Verhältnissen verwendete Phosphorwert stammt aus einer kürzlich durchgeführten ICP-Analyse.