

SANGOKAI

Empfehlungen A-Z

Ratgeber für die riffaquaristische Praxis
(SEA-Z)

© *Jörg Kokott* (Autor)

Version v3.6.2_2020



SANGOKAI

Stand: 09.01.2020

Hinweis: Inhaltsverzeichnis jetzt auch mit untergruppierten Themen zur schnellen und effektiven Suche nach Großthemen (z.B. Filterung, Beleuchtung).

Aktualisierte und/oder verbesserte Themen:

Neu in dieser Version:

→ [Beleuchtung: Experimentelle Lichtumgebungen \(Modifikationen an Spektrum und Intensität\)](#)

→ [Wasseranalytik \(Meerwasser\)](#)

Inhaltsverzeichnis

.....	1
-A-.....	7
Adoptive Filtermethoden → Filterung und Filterkonzepte	7
Adsorptive und absorptive Filtermedien → Filterung und Filterkonzepte	7
Aktivkohle/Aktivkohlefilterung → Filterung und Filterkonzepte.....	7
Algenrefugium → Refugium.....	7
Alkalinität → Karbonathärte.....	7
-B-.....	7
Balling, Hans-Werner → Kalkhaushalt-Stabilisierung.....	7
Beleuchtung von Riffaquarien.....	7
Beleuchtungsarten und Lampentypen (HQI, T5, LED).....	7
Beleuchtungsdauer und Lichtprofile.....	10
Gesunde Lichtumgebung und Erläuterungen zum Blauanteil in der Beleuchtung.....	13
Experimentelle Lichtumgebungen (Modifikationen an Spektrum und Intensität).....	20
Historische Betrachtung der Beleuchtungsumgebung von 1980 bis heute.....	21
Experimentelle Lichtumgebungen als individuell-ästhetische Modifikationen.....	24
Grundlagenwissen zu Farben und fluoreszierenden Pigmenten in zooxanthellaten Korallen.....	27
Vorgehensweise bei der Umstellung auf eine experimentelle Lichtumgebung zur Fluoreszenzsteigerung.....	30
Angepasste Nähr- und Spurenstoffversorgung für experimentelle Lichtumgebungen.	36
Strahlungsstress/Oxidativer Stress.....	38
Mondlicht und Nachtbeleuchtung.....	38
Biopellets (Pelletfilter) → Filterung und Filterkonzepte.....	38
Bodengrund.....	38
Sediment- oder Sandbett-Systeme.....	39
Korngröße.....	40
Schichthöhe (Sandbetthöhe).....	41
Strömungsgeschwindigkeit über dem Sediment.....	43
Hartsubstrat-Systeme.....	45
Betrieb eines Riffaquariums ohne Bodengrund („bare-bottom“)......	47
-C-.....	47
Calciumgehalt.....	47
Cyanobakterien.....	48
-D-.....	48
Dinoflagellaten (als Plage und als Zooxanthellen).....	48
DSB/Deep Sand Bed (Tiefsandbett) → Bodengrund → Refugium.....	52
-E-.....	52
Einfahrphase → Start von Riffaquarien (Startphase).....	52
Eiweißabschäumer → Filterung und Filterkonzepte.....	52
-F-.....	52

<u>Filterung und Filterkonzepte.....</u>	<u>52</u>
<u>Förder-/Filterpumpen und effektives Durchfluss-Volumen.....</u>	<u>52</u>
<u>Eiweißabschäumer (engl. protein skimmer).....</u>	<u>55</u>
<u>Mechanische Filterung.....</u>	<u>58</u>
<u>Porengröße als relevanter Faktor für die Filterwirkung.....</u>	<u>59</u>
<u>Filterschwämme und Filterwatte.....</u>	<u>60</u>
<u>Filtersäcke (Filtersocken).....</u>	<u>62</u>
<u>Rollvliesfilter („Vliesfilter“).....</u>	<u>62</u>
<u>Biologische Filterwirkung in mechanischen Filtermedien (als Systemstörung).....</u>	<u>64</u>
<u>Adoptive Filtermethoden.....</u>	<u>69</u>
<u>Biopellets (Pelletfilter).....</u>	<u>70</u>
<u>Adsorptive und absorptive Filtermedien.....</u>	<u>72</u>
<u>Aktivkohle.....</u>	<u>74</u>
<u>Anionenadsorber (Phosphat-/Silikatadsorber).....</u>	<u>74</u>
<u>Zeolithe (Clinoptilolithe).....</u>	<u>74</u>
<u>Fischbesatz.....</u>	<u>74</u>
<u>Fluoreszenz/fluoreszierende Pigmente in Korallen → Grundlagenwissen zu Farben und fluoreszierenden Pigmenten in zooxanthellaten Korallen.....</u>	<u>74</u>
<u>-G-.....</u>	<u>74</u>
<u>Gestaltung von Riffaquarien.....</u>	<u>74</u>
<u>Gesamtdekorationsoberfläche (GDO).....</u>	<u>74</u>
<u>Expositionsfläche (EF, spezifische EF und unspezifische EF).....</u>	<u>79</u>
<u>Raumstruktur (RS).....</u>	<u>83</u>
<u>-H-.....</u>	<u>86</u>
<u>-I-.....</u>	<u>86</u>
<u>-J-.....</u>	<u>86</u>
<u>Jaubert -System → Bodengrund.....</u>	<u>86</u>
<u>-K-.....</u>	<u>87</u>
<u>Kalkhaushalt und Kalkhaushalt-Stabilisierung.....</u>	<u>87</u>
<u>Wasserwechsel als Möglichkeit zur zeitweisen Kalkhaushalt-Stabilisierung.....</u>	<u>88</u>
<u>Kalkwassermethode nach Peter Wilkens.....</u>	<u>89</u>
<u>Kalkreaktor (Calciumreaktor).....</u>	<u>90</u>
<u>Supplement-basierte Kalkhaushalt-Stabilisierung.....</u>	<u>91</u>
<u>Karbonathärte/Alkalinität/Säurebindungsvermögen.....</u>	<u>93</u>
<u>Kompensationsbiotope.....</u>	<u>96</u>
<u>-L-.....</u>	<u>99</u>
<u>-M-.....</u>	<u>99</u>
<u>Meersalz → Wasserwechsel.....</u>	<u>99</u>
<u>-N-.....</u>	<u>99</u>
<u>Nährstoffmangelsituationen.....</u>	<u>99</u>
<u>-O-.....</u>	<u>99</u>
<u>Ozonisierung/Ozongeräte.....</u>	<u>99</u>
<u>-P-.....</u>	<u>99</u>
<u>Phosphatadsorber → Filterung und Filterkonzepte.....</u>	<u>99</u>

Plankton (Bakterioplankton, Phytoplankton, Zooplankton) und Planktonersatzfutter.....	99
-Q-.....	99
-R-.....	100
Refugium (Pl.: Refugien).....	100
Algenrefugium/Makroalgenrefugium.....	102
Lebendgesteinrefugium.....	103
Sandbettrefugium.....	103
-S-.....	106
Start von Riffaquarien (Startphase).....	106
Strömungskonzepte.....	106
Strömung als physiologisch relevanter Umgebungsparameter.....	108
Strömungsarten (aktive und passive Strömung).....	109
Ausrichtung von Strömungspumpen.....	112
Closed-loop Strömungssysteme.....	115
Strömungsmangel.....	116
-T-.....	118
Technikbecken und Technik-Kompartimente.....	118
Kompartimentierung im Technikbecken als grundlegendes Funktionsprinzip.....	120
Abschäumer-Kompartiment.....	121
Technik-Kompartiment mit Einlauf-Kammer und ggf. mit Folge-Kompartiment.....	123
Durchfluss-Kompartiment (Gasaustausch-Kammer).....	126
Förderpumpen-Kompartiment (Klarwasser-Kammer).....	128
Positionierung adoptiver Filtermethoden (Zeolithfilterung, Biopellet-Filterung).....	129
-U-.....	131
UV-C Entkeimung mit UV-Anlagen.....	131
Korrekte Installation und Platzierung einer UV-Anlage.....	133
Akute Behandlung von Fischkrankheiten und Krankheitsprophylaxe mit UV-C.....	136
UV-C Entkeimung bei akuten Planktonblüten und dominanten Scheibenbelägen.....	137
Einsatz von UV-C beim Beckenneustart mit künstlichem Gestaltungsmaterial.....	138
-V-.....	139
-W-.....	139
Wasseranalytik (Meerwasser).....	139
Allgemeine Meerwasser-Zusammensetzung und korrekte Interpretation von Analyseprotokollen.....	139
Referenzwerte für physikalisch-chemische Parameter.....	146
Referenzwerte für Hauptkomponenten/Makroelemente (Inhaltsstoffe > 1 mg/L).....	147
Referenzwerte für Nebenkompontenten/Mikroelemente/Spurenstoffe (Inhaltsstoffe < 1 mg/L).....	148
Wasserwechsel.....	150
Optimales Meersalz.....	152
Export-Maßnahme für überschüssige (Schad-)Stoffe.....	154
Ergänzung von Haupt-, Spuren- und Mineralstoffen.....	157
Wasserwechsel als Maßnahme zur Ionenbalancierung.....	165
Wasserwechsel-Empfehlungen für den Einsteiger und zum Beckenneustart.....	176

<u>-X-</u>	177
<u>-Y-</u>	177
<u>-Z-</u>	177
<u>Zeolithfilterung → Filterung und Filterkonzepte</u>	177

-A-

Adoptive Filtermethoden → [Filterung und Filterkonzepte](#)

Adsorptive und absorptive Filtermedien → [Filterung und Filterkonzepte](#)

Aktivkohle/Aktivkohlefilterung → [Filterung und Filterkonzepte](#)

Algenrefugium → [Refugium](#)

Alkalinität → [Karbonathärte](#)

-B-

BALLING, HANS-WERNER → [Kalkhaushalt-Stabilisierung](#)

Beleuchtung von Riffaquarien

Beleuchtungsarten und Lampentypen (HQI, T5, LED)

Ein ganz bestimmter Lampentyp bzw. eine bestimmte Beleuchtungsart wird seitens SANGOKAI nicht bevorzugt empfohlen. Die Wahl der Beleuchtung hängt, wie im Weiteren erörtert wird, zum einen davon ab, welche Organismen gepflegt werden sollen, und dabei insbesondere, welche individuellen pflegerischen Ansprüche hinsichtlich z.B. der Ausfärbung und des Wachstums von Korallen bestehen. Zum anderen sind je nach Aquarienform und der dabei auszuleuchtenden Fläche entweder flächige Lampentypen, oder in anderen Fällen auch Spot-Leuchten besser geeignet.

Nach wie vor sind T5-Leuchtstoffröhren (auch T8-Röhren, die jedoch weitestgehend aus der aquaristischen Anwendung verschwunden sind) aufgrund ihres qualitativ sehr guten Spektrums, der homogenen bzw. diffusen Lichtverteilung und der damit verbundenen optimalen Ausleuchtung von Riffaquarien sehr effektive und vergleichsweise unproblematische Leuchtmittel. Insbesondere seit Mitte der 2000er Jahre wurde auf durchaus bemerkenswerte Art und Weise mit extrem farbigen SPS-Steinkorallen praktisch demonstriert, dass die T5-Beleuchtung über ein großes Potential verfügt, um ein Korallenriffaquarium langfristig auf höchstem Niveau erfolgreich zu beleuchten.

Voraussetzung dafür ist jedoch der regelmäßige Wechsel der Leuchtmittel (T5-Röhren), bei Blauröhren i.d.R. bereits nach sechs bis acht Monaten, bei weißen Röhren nach acht bis zehn, spätestens aber nach zwölf Monaten, je nach Qualitätsanspruch an das eigene Riffaquarium. SPS-Liebhaber tauschen ihre Röhren zur Erhaltung optimaler Ausfärbungen meist schon nach sechs bis acht Monaten aus. Für den Einsteiger in die Riffaquaristik ist eine klassische T5-Lampe nach wie vor eine sehr gute Wahl und es darf v.a. in der öffentlichen Diskussion um LED-Lampen

keinesfalls der Eindruck entstehen, das man mit einer T5-Leuchte nicht mehr auf dem aktuell modernsten Stand der Riffaquaristik arbeitet. Die T5-Beleuchtung ist und bleibt nach wie vor eine herausragende Beleuchtungsmethode für Korallenriffaquarien.

Auch die modernen LED-Lampen sind als alleinige Lichtquelle, in Kombination mit klassischen T5-Röhren auch als Hybrid-Version, eine sehr gut geeignete Beleuchtungsart, die mittlerweile im Beleuchtungssektor einen erheblichen Marktanteil erlangt hat. Vor allem kleine Nano-Riffaquarien sind heute mit kompakten LED-Lampen weitaus einfacher zu beleuchten als noch vor einigen Jahren mit T5-Lampen, die aufgrund ihrer Länge und Form z.B. über kleine Würfelbecken meist nie optimal passten. Daher werden Nano-Riffaquarien bereits seit einigen Jahren fast ausschließlich und erfolgreich mit LED-Lampen ausgestattet.

Die Gründe für den Erfolg von LED-Lampen sind das deutlich geringere Ausmaß in den qualitativen und quantitativen Veränderungen in der Lichtemission über die Zeit, eine je nach Lampentyp oft geringere Leistungsaufnahme (Stromverbrauch), die Möglichkeit zur elektronischen Dimmung der LEDs, sowie die vielfältigen Kombinations- und Steuerungsmöglichkeiten von LEDs, die Licht in verschiedenen spektralen Bereichen emittieren, wodurch eine ganz individuelle und gleichzeitig sehr umfassende und auf die Meerwasseraquaristik spezialisierte Lichtumgebung generiert werden kann. Als Nachteile müssen zum einen der hohe Anschaffungspreis v.a. von hochwertigen und vollständig regelbaren LED-Lampen, zum anderen die oftmals noch mangelhafte Lichtverteilung mit zu starken „Spot-Effekten“ insbesondere bei sehr günstigen Lampen genannt werden. Hochwertige LED-Lampen, v.a. die flächig konzipierten Versionen, haben mittlerweile eine exzellente Lichtverteilung, die der einer T5-Lampe kaum noch nachstehen.

Ein Aspekt, der bereits als Vorteil genannt wurde, ist gleichzeitig auch für die meisten LED-Lampen und insbesondere bei der Anwendung durch den Einsteiger ein Nachteil gegenüber z.B. T5-Lampen: die vielfältigen Einstellmöglichkeiten führen oftmals dazu, dass individuelle Emissionsspektren erzeugt werden, die als Lichtumgebung entweder zu anspruchsvoll und energiereich, oder sogar spektral völlig unbrauchbar für die Meerwasseraquaristik sind (z.B. zu hoher Rot- und Grünanteil). Über diese Aspekte wird in diesem Kapitel an verschiedenen Stellen intensiv diskutiert, v.a. im Kapitel zu den → [experimentellen Lichtumgebungen](#).

Bei all den genannten Vorteilen müssen also auch bestimmte Anforderungen an LED-Lampen gelten, die z.B. auch unter dem Stichpunkt → [Blauanteil in der Beleuchtung](#) näher erörtert werden. Die vielfältigen Einstellmöglichkeiten von LED-Lampen sind für die meisten Aquarianer Segen und Fluch zugleich. Auch wenn unter Verwendung sinnvoller LED-Einstellungen die individuellen Bedürfnisse je nach Hersteller und Lampe optimal für die gepflegten Korallen angepasst werden können, was ein großer Vorteil gegenüber der „statischen“ T5- oder HQI-Lampen ist, kann eine falsch eingestellte LED-Lampe das Riffaquarium in kurzer Zeit potentiell kritisch schädigen und chronischen Strahlungsstress erzeugen, mit negativen Auswirkungen auf das Korallenwachstum, auf die Korallengesundheit (Gewebeschäden), sowie auf die Entstehung und Ausbreitung unerwünschter Cyanobakterien und Mikroalgen (Dinoflagellaten, Goldalgen). Aus den oftmals unerfreulichen Erfahrungen der vergangenen Jahre im Rahmen unserer Beratung und

diagnostischen Beurteilung von Riffaquarien, die aufgrund von schlecht konzipierten und falsch eingestellten LED-Lampen kritische Korallenprobleme zeigten, geht die SANGOKAI Empfehlung v.a. für den Einsteiger hervor, wenn möglich in eine vollständig regelbare, hochwertige LED-Lampe zu investieren, die es ermöglicht, potentiell aggressive Lichtanteile wie z.B. UV-nahes violettes Licht, aber auch grünes und rotes Licht bei Bedarf komplett aus dem Spektrum zu nehmen.

Unabhängig von der Strahlungsqualität und -quantität, ist auch die Ausleuchtung von Aquarien mit LED-Lampen ein häufig auftretendes Problem, wie z.B. dunkle Zonen und schwarze Schatten im Randbereich, sowie wenig diffuses Licht, weshalb viele Anwender die Hybrid-Lösung mit zusätzlichen T5-Röhren bevorzugen, um die gesamte Aquariumfläche optimal auszuleuchten. Gleichzeitig kann über die LEDs der oft gewünschte „Kringeleffekt“ erzeugt werden, der allerdings bei manchen LED Lampen auch extrem stark und unruhig ist. Flächig konzipierte LED-Lampen (im Gegensatz zu LED-Spotlampen) sind zwar eine deutlich teurere, aber bei optimaler LED-Konfiguration und geeigneter Leistungsfähigkeit auch nahezu ebenbürtige Variante zur T5-Beleuchtung, die auch bei den meisten anspruchsvoll gefärbten SPS-Korallen vergleichbare Resultate hinsichtlich Wachstum und Färbung erzeugt.

HQI-Metaldampfstrahler (HQI-Brenner) können selbstverständlich ebenfalls verwendet werden, sofern zusätzlich auch T5 Röhren zur besseren Ausleuchtung und zur Erweiterung der Lichtqualität eingesetzt werden. Allerdings wird seitens der meisten Hersteller im Bereich der HQI Beleuchtung nicht weiter entwickelt und aufgrund der sinkenden Nachfrage auch weniger produziert. Gesetzliche Regelungen setzen dem Fortbestehen der HQI-Technologie langfristig möglicherweise ohnehin Grenzen.

Die Auswahl der geeigneten Beleuchtung für Riffaquarien hängt nach wie vor davon ab, welche Korallen und Tiere gepflegt werden sollen.

Für die Pflege von SPS-Steinkorallen kann eine klassische T5-Röhrenkombination mit möglichst vielen Röhren zur optimalen Ausleuchtung, eine T5/LED-Hybrid Lösung, oder eine reine LED-Lampe mit geeigneter LED-Konfiguration, hoher Strahlungsleistung sowie guter Ausleuchtung der gesamten Aquariumfläche genutzt werden. Für sog. „high-grade“ SPS-Becken mit anspruchsvollen und empfindlichen Korallen ist derzeit nach wie vor die T5-Beleuchtung in der Praxis eine günstige und v.a. zuverlässige Beleuchtungsart, sofern die Leuchtmittel in Abständen von 6-8 Monaten (v.a. Blauröhren) regelmäßig getauscht werden. Zur Ausprägung multipler Fluoreszenzen in SPS-Steinkorallen sind jedoch moderne und hochwertigste LED Lampen mit voller Regelmöglichkeit und einem umfangreichen Spektrum die bevorzugte Beleuchtungsart. Die meisten LPS- oder LPS/SPS Mischbecken sowie LPS/Weichkorallenbecken sind mit LED-Lampen, ggf. auch in Kombination mit T5-Röhren als Hybrid-Version zur Verbesserung der Beckenausleuchtung optimal beleuchtet. Hinsichtlich fluoreszierender Scheibenanemonen (z.B. *Ricordea*), Krustenanemonen (*Zoanthus*) und LPS-Korallen sind LED-Lampen durch ihren oftmals umfangreichen violetten und blauen Spektralbereich die bevorzugte Beleuchtungsart, v.a. auch für kleinere Nano-Riffaquarien.

Es ist mittlerweile in der riffaquaristischen Praxis auch in der Langzeitanwendung hinlänglich gezeigt, dass LED-Lampen bei einer sinnvoll konzeptionierten LED-Auswahl (Herstelleraufgabe) und einer darüber hinaus vernünftig gewählten LED-Konfiguration und Strahlungsleistung (Anwenderaufgabe) auch für reine SPS-Riffaquarien dauerhaft sehr gut funktionieren. Dabei erzielen sie hohe Wachstumsraten und eine optimale Farbausbildung selbst bei empfindlichen SPS Korallen. Vor allem die Ausarbeitung multipler fluoreszierender Pigmente (Chromoproteine) in einer einzigen Korallenkolonie ist v.a. erst im Rahmen der Entwicklung leistungsfähiger LED-Lampen mit einem umfassenden und gleichzeitig vollständig regelbaren Emissionsspektrum möglich geworden, was jedoch viel aquaristisches Wissen und Können voraussetzt (→ [experimentelle Lichtumgebungen](#)).

Beleuchtungsdauer und Lichtprofile

Die Beleuchtungsdauer sollte inklusive aller Dimmphasen (Gesamtbeleuchtungsdauer) zwischen 11 und 12 Stunden (h) betragen und 12 h nicht überschreiten. Nur sehr erfahrenen, professionellen Aquarianern sollte es vorbehalten sein, die Gesamtbeleuchtungsdauer bei Bedarf in problemfrei laufenden Riffaquarien ohne Strahlungsstresssymptome zur weiteren Verbesserung des Korallenwachstums oder der Korallenausfärbung auf eine Gesamtbeleuchtungsdauer von max. 13 h zu erhöhen (z.B. in kommerziellen Korallenzuchtanlagen). Für private Riffaquarien sind 12 Stunden Gesamtbeleuchtungsdauer inklusive der Dimmphasen als Maximum zu bevorzugen. Zeigen sich jedoch Probleme, z.B. mit einem zu geringen Nährstoffgehalt (vgl. → [Nährstoffmangelsituationen](#)), Iod-Mangel mit entsprechenden Mangelsymptomen, oder wenn Makro- und Mikroalgen (vgl. → [Dinoflagellaten](#) oder → [Cyanobakterien](#)) auftreten, sollte die Beleuchtungsdauer unbedingt wieder auf max. 12 h, besser sogar auf nur 11 h verringert werden, um das Aquariensystem zu entlasten. Dadurch gelangt weniger Strahlungsenergie ins Riffaquarium und somit ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten kritischer Strahlungsstresssituationen in der Korallenpflege verringert.

In der Natur ist die Tageslänge in den Tropen relativ konstant und unter Wasser durch den Einstrahlwinkel des Sonnenlichtes und der damit verbundenen Reflektion und Streuung bei flachem Einstrahlwinkel morgens und abends kürzer als über Wasser und beträgt ca. 11,5 Stunden.

Während des gesamten Beleuchtungszeitraumes ist es sinnvoll, eine Beleuchtungszusammensetzung (Licht-/Lampenemissionsspektrum) zu wählen, die sich über den Tagesverlauf qualitativ, d.h. hinsichtlich der spektralen Zusammensetzung, nicht oder nur geringfügig verändert. Das bedeutet, dass idealerweise das Licht mit dem gleichen Spektrum zu Tagesbeginn hochfährt, wie es über den übrigen Tag auch leuchten soll. Abends fährt es auch genauso wieder herunter. Dadurch müssen sich alle vom Licht abhängigen Organismen, v.a. die zooxanthellaten Korallen, im Tagesverlauf nicht auf unterschiedliche Beleuchtungsumgebungen anpassen und die Zooxanthellen können dadurch v.a. photosynthetisch effektiver arbeiten. Je konstanter und je gesünder die Strahlungsumgebung im Riffaquarium ist, desto leichter kann die absorbierte Strahlungsenergie in Wachstum umgesetzt werden. Zu starkes und zu energiereiches

Licht kann Strahlungsschutzmechanismen stärker ausprägen, so dass Wachstumsraten sinken und das Wachstum sogar gänzlich zum Erliegen kommen kann, einhergehend mit hohen Strahlungsschutzaufwendungen im Rahmen der physiologischen Möglichkeiten der Korallen/Zooxanthellen-Symbiose (vgl. → [Fluoreszenz](#) → [oxidativer Stress](#)).

In vielen Fällen wird dem Konzept einer einheitlichen Strahlungsumgebung im Gesamttagungsverlauf jedoch nicht entsprochen und mit sogenannten Blauphasen als Morgen- und Abendlicht spektral vom übrigen Tagesspektrum abweichend, nicht selten auch übertrieben lange beleuchtet. Insbesondere sehr lange Blauphasen, die länger andauern als 45-60 Minuten, können unter Umständen zu Strahlungsstress führen, v.a. abends, wenn die Photosysteme in den Zooxanthellen ausgelastet und das Korallengewebe mit Photosynthese-Sauerstoff übersättigt ist und → [oxidativer Stress](#) zu einem potentiell kritischen Problem werden kann. Daher sollten Blauphasen idealerweise gar nicht, oder nur kurzweilig über nur 30-45 Minuten angewendet werden. Wenn eine Blauphase eingerichtet wird, sollte auf sehr kurzwelliges Licht im Bereich von 390-420 nm idealerweise verzichtet werden. Blau bei ca. 420-430 nm (blaue T5-Röhren) und blaue LEDs mit einer Emission zwischen 450 – 480 nm (Royalblau, Blau) ist für eine kurze Blauphase deutlich weniger kritisch als ein UV-nahes violettes Licht, dass wie erörtert v.a. abends selbst in geringer Intensität zu oxidativen Stresszuständen führen, bzw. bestehende Stresszustände verstärken kann.

Vor allem für den Einsteiger empfiehlt es sich, die Strahlungsumgebung spektral möglichst gleich zu halten und auf Blauphasen zu verzichten. Erfahrene Aquarianer können mit kurzen Blauphasen zwischen 30 min. bis max. 1 Stunde unter Berücksichtigung der in diesem Kapitel erörterten Umstände arbeiten. Auch hier gilt als generelle Empfehlung, dass in akuten Problemfällen die Beleuchtungsumgebung so schonend und stressfrei wie möglich eingestellt werden sollte, was auch den Verzicht auf Blauphasen einschliesst.

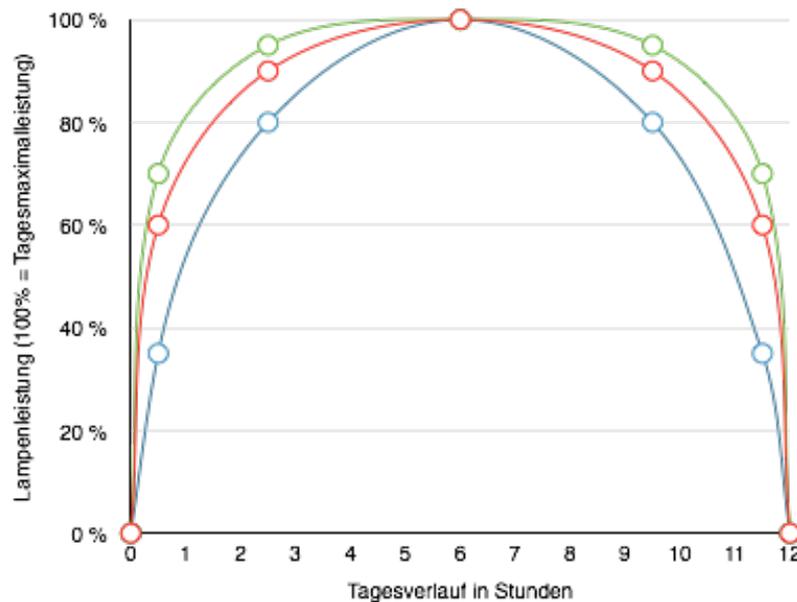
Ein exemplarischer Tagesverlauf über 11-11,5 Stunden ist im Folgenden dargestellt (anwendbar auf alle dimmbaren T5- und LED-Lampen). Dabei ist wichtig zu verstehen, dass die Tagesmaximalleistung (TML) von der Begrifflichkeit her nicht der maximalen technischen Lampenleistung entspricht bzw. entsprechen muss. LED Lampen können meist in ihrer Leistungsaufnahme geregelt werden, z.B. auf nur 60% der maximal technisch möglichen Lampenleistung. Eine Tagesmaximal-Leistung von 100% entspricht dann dieser individuell eingestellten technischen Lampenleistung.

Beispielprofil für 11,0 – 11,5 Stunden (h)

Dieser Profilverlauf ist für alle Meerwasseraquarien geeignet, vom Fischaquarium bis hin zum hoch spezialisierten Steinkorallenaquarium und berücksichtigt eine angemessene, d.h. nicht zu lange Dimmphase am Morgen sowie am Abend (regelbare Lampen vorausgesetzt). Für nicht regelbare Lampen entfallen die Dimmphasen entsprechend und es kommt sofort die maximale Lampenleistung zur Anwendung.

Sonnenaufgang von 0 → 60% der Tagesmaximalleistung (TML) innerhalb von 30-45 min.
 In den folgenden 2 h Erhöhung von 60 → 90% der TML
 In den darauf folgenden 3 h Erhöhung von 90 → 100% der TML (Tageshöchststand erreicht)
 Rückwärts über 3 h Absenkung von 100% → 90% der TML
 Zum Abend 2 h Absenkung von 90 → 60% der TML
 Sonnenuntergang von 60 → 0% innerhalb von 30-45 min.

Das folgende Diagramm zeigt einen idealisierten Tagesverlauf über 12 Stunden in drei Varianten (grüne, rote und blaue Kurve).



Die verschiedenen Kurven zeigen, dass die Zahlenwerte selbstverständlich veränderlich sind, z.B. beim Sonnenaufgang innerhalb von 30 min. von 0 → 60% (rote Kurve), von 0 → 70% (grüne Kurve) oder von 0 → 35%. Auch der Anstieg auf das mittägliche Plateau kann abweichend gestaltet werden, z.B. von 60 → 90% (rote Kurve) oder von 70 → 95% (grüne Kurve). Durch solche Modulationen können die Vor- und Nachmittage im Verlauf zur Tagesmaximalleistung steiler gestellt und das mittägliche Plateau abgeflacht werden. Die blaue Kurve zeigt einen Verlauf, der einen langsameren Anstieg und Abfall in der Strahlungsintensität aufweist und damit auch über den Gesamtbeleuchtungszeitraum weniger Strahlungsenergie in das Aquariensystem einbringt als der rote und grüne Verlauf. Ein solch moderates und weniger energiereiches Beleuchtungsprofil kann sinnvoll sein, wenn das Becken häufiger zu Nährstoffmangelsituationen neigt, auf eine neue Beleuchtung umgestellt wird, oder das Riffaquarium gerade neu gestartet wurde. Je konstanter ein Riffaquarium läuft und wenn das Korallenwachstum und die Ausfärbung gefördert werden sollen, kann der Beleuchtungsverlauf wie in den roten und grünen Kurven gezeigt, steiler gestellt werden. Nichtsdestotrotz sollte immer verstanden werden, dass die Strahlungsbelastung und somit auch die photosynthetische Auslastung der Zooxanthellen in den Korallen abends bei hohem pH-Wert und starker photosynthetischer Sauerstoffentwicklung im Korallengewebe (Hyperoxie) am

stärksten ist. Je länger die Gesamtbeleuchtungsdauer anhält, desto mehr Stoffwechselenergie müssen Korallen in die Strahlungsstressbewältigung (v.a. Bewältigung oxidativer Stresszustände) investieren, und desto wichtiger ist auch die stets optimale Verfügbarkeit nicht nur von Nährstoffen, sondern auch von physiologisch relevanten Elementen des Meerwassers (z.B. Kalium, Bor oder Iod). Diese Investitionen gehen oft auf Kosten des Korallenwachstums und können rasch dazu führen, dass verlängerte Lichtphasen zur Steigerung des Korallenwachstums genau das Gegenteil bewirken. Lange und v.a. aggressive Beleuchtungsphasen mit einer übertrieben langen Blauphase am Abend führen daher meist auch zu einem erhöhten Bedarf an den beispielhaft genannten Elementen, aber auch an Nährstoffen allgemein (Stickstoff, Phosphat, essentielle Spurenmetalle). Daher steigt in Strahlungsstresssituationen in vielen Fällen gleichzeitig auch die Wahrscheinlichkeit für eine akute → **Nährstoffmangelsituation** und für die Entstehung von Defiziten in der Meerwasserkomposition.

Bei einem Aquarium Neustart empfiehlt es sich, die Beleuchtungsdauer für die ersten 14 Tage zunächst nur mit 9 Stunden (h) täglich anzusetzen. Bei dem zügigen Korallenbesatz einige Tage nach dem Beckenstart spielt eine ausreichend lange Beleuchtung für die Gesunderhaltung der eingesetzten Korallen natürlich eine wichtige Rolle. Nach diesen ersten zwei Wochen kann die Beleuchtungsdauer dann im Abstand von z.B. 3 – 5 Tagen um jeweils 30 – 60 min. verlängert werden, so lange, bis eine maximale Beleuchtungsdauer von 11 h erreicht ist. Dieser 11 h Tag kann nun zunächst für einige Wochen beibehalten werden, bevor bei gutem und gesunden Korallenwachstum auf 11,5 h bis 12 h erhöht wird.

In Algen- oder Lebendgesteinrefugien wird oft eine 24 stündige Dauerbeleuchtung empfohlen, was insbesondere die Sporulation von *Caulerpa* Arten verhindern soll. Empfehlenswerter und für die Algen gesünder und auch wachstumsfördernder ist eine ebenfalls natürliche Beleuchtungsdauer von max. 12 Stunden, die jedoch invertiert zum Hauptbecken gesteuert werden kann → **Refugium**). Durch diese Invertierung (Umkehr) ergibt sich sowohl eine pH-Stabilisierung als auch eine verbesserte CO₂/O₂Verfügbarkeit durch die gleichzeitige CO₂-Freisetzung/O₂-Zehrung aus der nächtlichen Zellatmung (Respiration), respektive der photosynthetischen CO₂-Fixierung/O₂-Produktion in dem jeweils beleuchteten Teil des Riffaquariensystems. Wird das Algenrefugium jedoch in seiner Konkurrenz zu den Korallen zu stark, kann auch eine Verkürzung der Beleuchtungsdauer im Refugium auf z.B. nur 6-8 Stunden sinnvoll sein, damit den Korallen anteilig mehr Nährstoffe zur Verfügung stehen und die Wachstumsraten der Algen im Refugium begrenzt wird. Hier gilt es jedoch zu beachten, dass ein nur kurz beleuchtetes Refugium stärker respiriert (atmet) und dadurch sauerstoffzehrend sowie über die CO₂-Produktion pH-senkend auf das Gesamtaquarium wirkt und daher eine gute Belüftung des Refugiums notwendig ist.

Gesunde Lichtumgebung und Erläuterungen zum Blauanteil in der Beleuchtung

Der Anteil an kurzwelliger Violett- und Blaustrahlung im Emissionsspektrum einer für die Meerwasseraquaristik geeigneten Lampe ist ein wichtiger und oft kritisch falsch eingestellter

Parameter in der Riffaquaristik, der nicht nur Wachstumsstörungen in Korallen hervorrufen und die Korallengesundheit gefährden kann (vgl. → [Strahlungsstress/oxidativer Stress](#)), sondern oft auch für Probleme mit → [Cyanobakterien](#), → [Dinoflagellaten](#) (ausgestoßene Zooxanthellen), Goldalgen und auch mit Makroalgen (z.B. *Bryopsis*, *Cladophora*) verantwortlich ist.

Insbesondere für Einsteiger gilt, eine wachstumsfördernde und wenig strahlungsstressige Beleuchtungseinstellung zu wählen, um eine gesunde Entwicklung des Riffaquariums zu ermöglichen. In der Regel sind Einsteiger im riffaquaristischen Alltag mit so vielen Problem- und Fragestellungen aus verschiedenen Praxisbereichen konfrontiert (z.B. Überwachung der Aquariumtechnik, allgemeine Wasseranalytik, Kontrolle des Salzgehalts und der Wassertemperatur, Wasserwechsel, optimale Strömungseinstellung, richtige Fischfütterung, etc.), dass es für sie äußerst wichtig ist, sich auf eine gesunde Beleuchtungseinstellung hinsichtlich Spektrum und Intensität verlassen zu können, damit der komplexe Bereich Beleuchtung nicht auch noch zur zusätzlichen Belastung wird. Hier sind verschiedene bestimmende, respektive beratende Instanzen gefragt: zum einen der Lampenhersteller selbst, der die Lampe mit einer für den Einsteiger geeigneten Beleuchtungs-Grundeinstellung (preset) ausliefern sollte, weil davon auszugehen ist, dass die Lampe auch von einem Einsteiger genutzt wird. Entsprechend sollte auch ein gesundes und unproblematisches preset als werksseitige Grundeinstellung hinterlegt sein. Zum anderen die beratenden Fachhändler und auch die vielen Unterstützer aus dem privaten Bereich, die allesamt verstanden haben sollten, dass sie Einsteiger hinsichtlich der Beleuchtung äußerst rücksichtsvoll und konservativ beraten müssen, d.h. konkret, dass sie keine anspruchsvolle und energiereiche Beleuchtungseinstellung empfehlen, die zwar in einem high-end Aquarium eines erfahrenen Riffaquarianers funktioniert, aber jeden Einsteiger fachlich wie auch praktisch überfordert. In den meisten Fällen gehen Probleme im Einsteigerbereich darauf zurück, dass viele beratende und unterstützende Personen, sowohl in der Öffentlichkeit, als auch im privaten Gespräch, für den Einsteiger falsche Beleuchtungseinstellungen wählen und sich damit auch der erzeugten Probleme, v.a. bei Erkrankungen und gar Verlusten an den Tieren im Aquarium, mitschuldig machen. Einsteiger sollten bewusst auf eine gesunde Lichtumgebung zurückgreifen, so lange das Riffaquarium Schwankungen in verschiedenen Wasserwerten zeigt, ggf. auch Probleme mit Algen oder Bakterien bestehen, und die allgemeine Aquariumpraxis hier und da noch von zittriger Hand durchgeführt wird. Eine → [experimentelle Lichtumgebung](#) sollte dem erfahrenen Riffaquarianer vorbehalten sein, der fachlich auch dazu in der Lage ist, Strahlungsstress-Symptome richtig zu deuten und die Auswirkungen von Strahlungsstress durch geeignete Maßnahmen zu korrigieren.

In der Regel wird dem Blauanteil in der Beleuchtung eine große Bedeutung zugesprochen, weil dieser Strahlungsanteil die Photosynthese von marinen Algen und zooxanthellaten Korallen am stärksten anregt und damit den Energiestoffwechsel dieser photosynthetischen Organismen antreibt. Grundsätzlich ist das richtig. Darüber hinaus wird argumentiert, dass im Meer die Blaustrahlung den dominantesten Anteil am Strahlungsspektrum unter Wasser darstellt, weil sich langwellige Strahlungsanteile wie Rot, Gelb und Grün innerhalb weniger Meter Wassertiefe herausfiltern und nur kurzwelliges blaues und violette Licht tiefer ins Wasser einzudringen vermag

(bis zu 40-60 m). Das ist zwar grundsätzlich auch korrekt, allerdings wird dies oft falsch interpretiert (auch von vielen Herstellern von Aquariumlampen), denn mit zunehmender Wassertiefe nimmt gleichzeitig auch die Strahlungsintensität ab und das Licht wird im Zuge der Abnahme der Gesamtstrahlungsintensität deutlich schwächer, was sich aber in Aquariumlampen oft nicht widerspiegelt. Wir erzeugen in der Riffaquaristik teilweise deutlich zu hohe Strahlungsintensitäten im Blau- und Violettbereich, im guten Glauben, dass wir darüber die natürlichen Bedingungen im Korallenriff simulieren und den Korallen etwas Gutes tun würden. Dem ist jedoch nicht grundsätzlich so. Daher soll an dieser Stelle davor gewarnt werden, eine zu blaulastige Beleuchtung in hoher Intensität einzusetzen, v.a. im kurzwelligen UV-nahen Violet- und Tiefblaubereich (395-420 nm), wenn hinsichtlich der Photobiologie von zooxanthellaten Korallen wenig Wissen vorliegt und es gleichzeitig an individueller Erfahrung und Können in der Riffaquaristik allgemein mangelt (v.a. bei Einsteigern, vgl. oben). Im Kapitel → [experimentelle Lichtumgebung](#) wird zu diesem Thema spezifisches Wissen zur Verfügung gestellt. Mehr Informationen und weitere Zusammenhänge werden auch unter dem Stichwort → [Dinoflagellaten](#) gegeben. Ebenso wichtig sind die Erläuterungen zum → [Mondlicht](#), wenn dazu violette oder blaue Strahlungsanteile statt einer sinnvolleren schwachen Weißlichtquelle eingesetzt werden, was die Photosysteme der Zooxanthellen auch in der Dunkelphase weiter anregt und einen bestehenden akuten Strahlungsstresszustand abends nach einer langen Beleuchtungsphase aufrecht erhält.

Während viele Halogenmetalldampfbrenner (HQI-Brenner), v.a. die Lichtfarbe „daylight“, aber auch die meisten mit einer Farbtemperatur von 10.000 Kelvin (K) spezifizierten HQI-Brenner, einen zu geringen Blauanteil aufweisen und mit ergänzenden Leuchtstoffröhren (T5/T8) oder blauen LED-Leisten kombiniert werden müssen, ist der Blauanteil in T5-Röhren (je nach Kombination) und v.a. in LED-Lampen oft sehr hoch, nicht selten auch zu hoch. T5-Röhren haben einen dominanten Emissionspeak bei ca. 420-430 nm und sind im Vergleich zu royal blauen LEDs (ca. 450-460 nm) und blauen LEDs (470-480 nm) in der Blauemission kurzwelliger und damit auch energetisch wirkungsvoller. Gleichzeitig ist die Lichtemission aus T5-Röhren aber auch hervorragend diffus verteilt und damit insgesamt schonender zu bewerten.

Der blaue Strahlungsbereich (im weitesten Sinne 420-480 nm) im sichtbaren Lichtspektrum ist energiereicher als die langwelligen Cyan-, Grün-, Gelb- und Rotanteile (485-680 nm). Nur violettes Licht (385-420 nm) und die ultraviolette UV-A -Strahlung (315 - 385 nm) sind als potentiell relevante Strahlungsanteile in Aquarienlampen noch energiereicher und sollten daher idealerweise für den aquaristischen Einsteiger gar nicht, und generell nur in sehr geringen Strahlungsdosen kontrolliert eingesetzt werden. Dem Einsteiger und wenig erfahrenen Riffaquarianer sei an dieser Stelle empfohlen, sowohl auf violettes/aktinisches Licht im Bereich von 385-420 nm, als auch v.a. auf die an das sichtbare Licht bei 385 nm angrenzende UV-A Strahlung komplett zu verzichten. Verfügt eine Lampe über solche LEDs oder T5-Röhren (sog. aktinische T5-Röhren), ist es empfehlenswert, diese Kanäle zunächst auszuschalten, bzw. entsprechende Röhren gegen normale Blauröhren auszutauschen. Für den Einsteiger ist es immer praktisch sinnvoller, eine LED-Lampe zu nutzen, deren LEDs einzeln und individuell geregelt und bei Bedarf ausgeschaltet werden können, auch wenn genau solche Lampen vergleichsweise teuer sind.

Es sei an dieser Stelle noch darauf hingewiesen, dass die Lichtfarben und die dazu gehörigen, hier angegebenen Wellenlängenbereiche fließend ineinander übergehen und sich in der Praxis (individuelles Lichtempfinden) nicht scharf abgrenzen. Ob man also z.B. eine Wellenlänge von 418 nm noch als Violett, oder schon als z.B. Tiefblau (engl. deep blue) klassifiziert, ist je nach Hersteller und Anwender oft unterschiedlich. Die hier angegebenen Klassifizierungen sind ebenso von individuellem Charakter und entsprechen nicht zwingend einer wissenschaftlich exakten Nomenklatur.

T5/T8-Röhren emittieren im blauen Wellenlängenbereich vor allem bei 420-450 nm, mit einem Hauptpeak bei ca. 420-430 nm, aktinische Röhren zusätzlich noch im violetten Spektrum bei ca. 390-410 nm. Demgegenüber weisen LED-Lampen verschiedene violette, royalblaue, blaue und blaugüne (cyan) LEDs auf und können je nach LED-Konfiguration daher in einem sehr umfassenden Wellenlängenbereich von 390-480 nm emittieren, zeigen aber meist eine Hauptemission im eher langwelligen Blaubereich bei 450-480 nm. Hier zeigt sich ein durchaus positiver Aspekt in T5/LED-Hybridlampen, bei denen sich das kurzwelligere 420-430 nm Blauspektrum der T5-Röhren geeignet mit dem langwelligeren Royalblau und Blau der LEDs bis hin zu einem Cyan bei 490-495 nm kombinieren lässt.

Bei LED-Lampen gilt es v.a. bei den „UV“/violetten LEDs zu beachten, dass diese im energiereichen und daher potentiell aggressiven Wellenlängenbereich von 385-415 nm emittieren und die deswegen nicht übertrieben stark eingesetzt werden sollten. Die royalblauen LEDs mit einer dominanten Wellenlänge von ca. 450-460 nm und blaue LEDs mit einer dominanten Wellenlänge von ca. 470-480 nm sind für Korallen (Zooxanthellen) photosynthetisch sehr gut nutzbar, während die violetten LEDs v.a. → [Fluoreszierende Pigmente](#) in Korallen erzeugen, die jedoch auch als potentiell kritisches Strahlungsbelastungssymptom interpretiert werden sollte, wenngleich sie für uns Aquarianer natürlich auch einen großen ästhetischen Aspekt in sich trägt. Neuere LED-Lampen dehnen den photosynthetisch nutzbaren Emissionsbereich sinnvollerweise noch um bestimmte Cyan-LEDs aus, die bei 490-495 nm gerade an der Grenze zu Grün emittieren. Da Zooxanthellen (Dinoflagellaten) durch die Kopplung ihrer Chlorophyll-Formen a und c mit dem Carotinoid Peridinin an große Proteinstrukturen (Peridinin-Chlorophyll-Protein Komplexe, kurz PCP-Komplexe) ein eher langwelliges photosynthetisches Aktionsspektrum zeigen, ist diese Neuerung in modernsten LED-Lampen sehr sinnvoll.

Einige LED-Hersteller argumentieren leider nach wie vor noch ausschliesslich mit Chlorophyll-Anregungen als alleinig für Korallen und ihre Zooxanthellen photosynthetisch geeignetes Licht, wobei sie sich v.a. an die Photobiologie von höheren Landpflanzen anlehnen, die mit unseren Ansprüchen in der Riffaquaristik allerdings wenig zu tun hat. Sogar Chlorophyll b, das ausschliesslich in Landpflanzen, aber nicht in marinen Algen vorkommt, wird von manchen Lampenherstellern in der Meerwasseraquaristik relevant genannt, was von mangelhaften Kenntnissen über marine Photobiologie zeugt. Das für die Zooxanthellen charakteristische Peridinin verändert die photosynthetische Nutzbarkeit des Lichts im marinen Lebensraum enorm, was in einer Riffaquariumbeleuchtung unbedingt bedacht werden muss.

Im Grünbereich zwischen 500-590 nm, der für Korallen photosynthetisch zwar eher weniger von Bedeutung, wenngleich auch nicht gänzlich unnützlich ist, absorbieren vor allem Rotalgen und Cyanobakterien durch deren spezifische Photosynthese-Pigmentgarnitur (Phycobilline) sehr effektiv. Ein hoher Grünanteil im generierten Lichtspektrum kann also hinsichtlich eines verstärkten Wachstums v.a. der unerwünschten Cyanobakterien potentiell problematisch sein, während natürlich z.B. die aquaristisch sehr erwünschten Kalkrotalgen (Corallinaceen) ebenfalls davon profitieren würden. Der Grünbereich im Lichtspektrum einer Riffaquariumbeleuchtung ist also ein zweiseitiges Schwert und sollte daher sehr gut kontrolliert sein. Im Falle einer bestehenden Cyanobakterien- oder Makroalgenproblematik sollte auf grüne LEDs im Spektrum vollständig verzichtet werden.

Grundsätzlich ist das Verständnis wichtig, dass Violett- und Blaustrahlung insgesamt die energiereichste Strahlung im sichtbaren Lichtspektrum ist. Violette Wellenlängen sind energiereicher als royalblaue Wellenlängen und diese sind wiederum energiereicher als das längerwellige Blau- und Cyan. Mit zu viel kurzwelliger Strahlung können die Photosysteme von Algen und Zooxanthellen gestresst werden, was ein häufiges Problem in der modernen und LED-dominierten Riffaquaristik ist, aber auch bei ungünstigen T5-Konstellationen auftritt, wenn der Anteil an Blauröhren und v.a. an aktinischen Röhren zu hoch ist.

Daher sind LED-Lampen sinnvoll, die eine vollständige Steuerung der einzelnen Wellenlängenbereiche ermöglichen, damit für das individuelle Aquarium Strahlungsstress minimiert werden kann.

Für die nachführenden Lampentypen empfehlen sich folgende Einstellungen, um eine physiologisch sinnvolle, d.h. gesunde und möglichst stressfreie Lichtumgebung zu erzeugen:

T5-Konstellationen

- Tageslicht-Röhren (Lichtfarbe „daylight“) im Verhältnis 1:1 mit Blauröhren (d.h. genau so viele weiße wie blaue Röhren). Die Tageslicht-Röhren sind heute in der Meerwasseraquaristik mehr oder weniger unüblich, das Tageslicht-Spektrum kommt jedoch in LED-Lampen vielfach wieder zur Anwendung.
- Kaltweiße T5-Röhren besitzen im Vergleich zu Tageslichtröhren einen erhöhten Blauanteil mit gleichzeitig geringeren Emissionen > 500 nm. Es gibt entsprechend der Möglichkeiten in der Röhren-Herstellung eine etwas wärmere und eine etwas kühlere Farbtemperatur, die von Herstellern i.d.R. auch als zwei verschiedene Röhren angeboten werden. Kaltweisse Röhren sollten in einer Lampe mit vier Röhren im Verhältnis 3:1 mit einer blauen Röhre kombiniert werden, d.h. drei kaltweisse Röhren und eine blaue Röhre. T5-Lampen mit sechs Röhren sollten mit vier kaltweißen und zwei blauen Röhren bestückt werden, eine T5-Lampe mit acht Röhren kann mit fünf kaltweissen Röhren und 3 blauen Röhren bestückt werden, usw. Eine 1:1 Kombination ist durchaus auch verbreitet und kann in gesunden Riffaquarien sehr gut funktionieren und die Farbausbildung v.a. in SPS fördern, setzt jedoch riffaquaristische Erfahrung, Verständnis über die Photobiologie in zooxanthellen Korallen und ein insgesamt

gesundes Riffaquariumsystem voraus. In Problembecken und für Einsteiger sollte bevorzugt das 3:1 Verhältnis zur Anwendung kommen.

- Blau/Rot- Kombinationsröhren, sog. „purple“-Röhren, die durch ihr gekoppeltes Violett/Blau- und Rotspektrum v.a. die Fluoreszenz und die Rot-Farbwiedergabe verstärken, sollten wenn erst ab einer Lampenkonfiguration mit mindestens sechs Röhren anteilig verbaut werden. Ab sechs Röhren kann eine „purple“ Röhre oder eine aktinische Röhre statt einer Blauröhre(!) eingesetzt werden, ab zwölf Röhren wahlweise auch zwei. Voraussetzung für den Einsatz dieser Röhren ist ein stabiles und gesundes Riffaquarium. In Problemsituationen sollte auf diesen Röhrentyp in jedem Fall verzichtet werden.

Wird der Anteil an Blauröhren in den beispielhaft genannten Kombinationen erhöht, kann es zu Strahlungsstress bei Korallen kommen und es steigt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Cyanobakterien und v.a. von → [Dinoflagellaten](#) in Folge des Ausstoßens von Zooxanthellen aus dem Korallengewebe. Daher sollten blaulastigere Varianten nur von sehr erfahrenen Riffaquarianern genutzt werden, und zwar in Riffbecken, die problemlos und ohne negative Symptome laufen. Auf die Anwendung von aktinischen und Blau/Rot-Kombinationsröhren sollten Einsteiger möglichst verzichten.

HQI-T5/T8 Konstellationen

Klassischerweise werden Halogenmetaldampfbrenner (HQI-Brenner) trotz ihrer teilweise unterschiedlichen Emissionsspektren in Farbtemperaturbereiche getrennt, was über die Angabe eines numerischen Wertes mit der Einheit Kelvin (K) erfolgt. Es werden 6.000 - 6.500K Tageslicht- („daylight“-) Brenner von sog. 10.000K, 12.000K und 14.000K Brennern unterschieden, sowie von reinen Blaubrennern, die als 20.000K Brenner v.a. in Nordamerika verbreitet waren. Mit Einzug der LEDs werden HQI-Lampen seit einigen Jahren zunehmend unpopulärer und verschwinden langsam aber sicher vom Markt, haben aber nach wie vor ihre Berechtigung und können sehr gute Ergebnisse liefern.

- 6.000 - 6.500K Brenner („daylight“-) Brenner müssen immer mit blauen T5- oder T8-Röhren kombiniert werden, mindestens mit zwei, besser sogar mit vier blauen Röhren. Wenn in einer HQI/T5-Hybrid Lampe noch mehr Röhren möglich sind, können dann auch kaltweiße Röhren dazu kombiniert werden, allerdings in einem Verhältnis von nicht mehr als eine weiße zu zwei blauen Röhren. Da Tageslicht-Brenner in der Meerwasseraquaristik so gut wie ausgestorben sind, wird an dieser Stelle aber nicht weiter darauf eingegangen. Für den Einsatz im Meerwasseraquarium empfiehlt sich grundsätzlich immer ein HQI-Brenner mit einer höheren Farbtemperatur als Tageslicht, z.B. ein 10.000K Brenner.
- 10.000K Brenner sollten wie die „daylight“ Brenner mit blauen Röhren kombiniert werden, weil der Blaubereich in diesen Brennern nur gering ausgeprägt ist, wenn auch deutlich mehr als im Vergleich zum Tageslichtbrenner. Ein 10.000K Brenner sollte mindestens mit zwei blauen Röhren, idealerweise mit vier blauen Röhren kombiniert werden.

- 12.000K und 14.000K Brenner zeigen einen schon erhöhten Blauanteil, der nur geringfügig mit zusätzlichen Blauröhren ergänzt werden sollte. Es empfiehlt sich v.a. bei 14.000K Brennern, diese mit kaltweißen Röhren zu kombinieren, damit der Blauanteil nicht zu hoch wird. Wenn eine Vierer- Röhrenkombination zur Verfügung steht, können zwei kaltweisse und zwei blaue Röhren zum 14.000K HQI Brenner ergänzt werden.

LED-Lampen

Eine allgemein gültige Konfiguration ist für LED-Lampen kaum möglich, weil je nach Hersteller und Modell nicht nur LEDs aus verschiedenen Spektralbereichen verbaut und in unterschiedlichen Kanälen gekoppelt werden, sondern die einzelnen LEDs bzw. LED-Kanäle auch unterschiedlich stark bestromt sind. Kaum eine LED-Lampe auf dem Markt ist gleich der Anderen. Es gelten an dieser Stelle auch die bereits weiter oben erläuterten Hinweise zu den verschiedenen Spektralanteilen im Licht und ihre physiologische bzw. photobiologische Bedeutung.

LED-Lampen werden sehr unterschiedlich und je nach Hersteller teils auch extrem energiereich bestückt, mit kurzweiliger Blaustrahlung im Bereich von 420 – 430 nm, violetter Strahlung bei 400-415 nm, UV-nahem Licht bei 385-400 nm, bis hin zu echter UV-A Strahlung < 385 nm. Viele Lampenhersteller verbauen im Sinne eines „Vollspektrums“ (der Begriff soll an dieser Stelle ohne Wertung verstanden werden) auch energieärmere langwellige Strahlung > 500 nm, d.h. der Bereich von Grün bis Rot und sogar Infrarot (was genau wie UV nicht mehr zum sichtbaren Lichtspektrum gehört). Diese Wellenlängen kommen im Korallenriff nur im Oberflächenbereich als Teil des natürlichen Sonnenspektrums vor und ihr Einsatz in höheren Intensitäten im Riffaquarium ist durchaus diskussionswürdig. Grün > 500 nm ist für Zooxanthellen eher weniger photosynthetisch wirksam, kann aber insbesondere von Rotalgen und Cyanobakterien genutzt werden, so dass dieser Emissionsbereich in hohen Intensitäten problematisch sein kann. LED-Lampen mit hohem Grün- und Rotanteil können jedoch für ein Algen- oder Lebendgesteinrefugium durchaus nützlich sein, um das Wachstum von Makroalgen, v.a. Rotalgen/Kalkrotalgen zu fördern. Im Hauptaquarium und generell im Rahmen der Korallenpflege sollten Grün und Rot sehr gut kontrolliert und nur in geringen Intensitäten eingesetzt werden.

Für die meisten LED Lampen ist es als allgemeine Empfehlung sinnvoll, den weißen und den langwelligen blauen LED-Anteil (460-480 nm) in etwa gleich hoch zu betreiben, und den royal blauen LED-Anteil 15-20% niedriger einzustellen, weil genau dieser Wellenlängenbereich energiereicher ist und in hoher Intensität v.a. bei punktueller Beleuchtung potentiell Strahlungsstress erzeugen kann, und zudem die weißen LEDs bereits eine Royalblau-Emission aufweisen. Kaltweiße LEDs basieren in der Herstellung auf einer Royalblau-LED und zeigen daher typischerweise bei ca. 450 nm baubedingt eine signifikante Strahlungsemission, weshalb der Anteil royal blauer LEDs in Relation zu den blauen LEDs in der Gesamtkonfiguration auch geringer ausfallen sollte. Wenn für eine bestimmte Lampe in dieser Konstellation das Licht zu hell/weiß ist, sollte nicht der Blauanteil weiter erhöht, sondern im Rahmen der Einstellmöglichkeiten stattdessen

bevorzugt der Weißkanal etwas zurückgefahren werden. Die Anpassung in diese Richtung ist sehr wichtig, andernfalls kann der zu hohe Blauanteil Strahlungsstress erzeugen.

Die royal blauen LEDs sollten nicht höher geregelt sein als die normal blauen LEDs, weil die Zooxanthellen durch ihre Chlorophyll-Peridinin-Kopplung in den Photosystemen eher im langwelligen Blau absorbieren. Für Einsteiger und LED-unerfahrene Anwender gilt die Empfehlung, bei violetten/“UV“ LEDs nur circa 10-20% der individuell möglichen Lampenleistung zu nutzen, um Strahlungsstresszustände in Korallen zu verhindern.

Es ist besser, eine neue LED Lampe zunächst kaltweiß einzustellen, ohne dabei einen auffällig starken Blaustich zu erzeugen. Wenn das Licht zu weiß erscheint, ist es wie bereits erörtert grundsätzlich besser, statt einer Erhöhung des Blauanteils den vorhandenen Weißanteil leicht zurück zu nehmen, um die Farbtemperatur des Lichts zu erhöhen. Mit der Zeit und wenn das Aquariensystem stabil läuft, kann dann v.a. der Anteil an Royalblau, sowie auch (wenn vorhanden) der violette Spektralbereich langsam etwas höher gefahren werden, solange das Aquariensystem nicht negativ darauf reagiert (vgl. dazu auch das Folgekapitel „experimentelle Lichtumgebungen“). Treten Strahlungsstress-Symptome auf, oder reagiert das Aquarium mit Dinoflagellaten oder Cyanobakterien, sollte die Intensität im royal blauen und violetten Bereich unbedingt wieder zurück genommen werden.

LED/T5-Hybrid-Lampen

Vergleiche hierzu die Angaben in den jeweiligen einzelnen Kategorien (T5-Lampen und LED-Lampen). Es ist anzuraten, zumindest die Röhren-Kombinationen so zu halten wie bei T5-Röhren empfohlen, d.h. in Kombination mit einer LED idealerweise eine gleichmäßige Kombination aus kaltweißen und blauen Röhren. Variationen im Blaubereich können dann ggf. über die LED-Konfiguration vorgenommen werden.

Experimentelle Lichtumgebungen (Modifikationen an Spektrum und Intensität)

In den bisherigen Erläuterungen zum Thema Licht und Riffaquariumbeleuchtung wurde die Notwendigkeit für eine gesunde und nicht stressige Lichtumgebung insbesondere für den Einsteigerbereich erläutert. Einsteiger mit wenig aquaristischer Erfahrung sollten unbedingt davon absehen, aggressive und strahlungsintensive Lichtumgebungen zu schaffen, und auch alle im Beratungsprozess involvierten Helfer sollten den Einsteiger dabei unterstützen, eine zunächst gesunde Lichteinstellung zu nutzen. Ein großes Problem entsteht v.a. dann, wenn sich Einsteiger an den individuellen Lichteinstellungen erfahrener Riffaquarianer als Vorbild orientieren und dabei ein sehr anspruchsvolles Licht weder kontrollieren, noch fachlich verstehen und nachvollziehen können.

Aber auch neu gestartete sowie frisch umgezogene Riffaquarien sollten nur mit großer Vorsicht und sehr schonend beleuchtet werden, um das labile Aquariumsystem nicht zu überlasten. Vor allem nach einem Beckenumzug oder einer Umgestaltung des Riffaquariums mit Austausch des

Gestaltungsmaterials ist es wichtig, die Strahlungsintensität deutlich zurück zu fahren und kurzwelliges Licht im Violett (390-410 nm) und im kurzwelligen Blau (410-420 nm) erst einmal zu reduzieren, auch wenn die Korallen vor dem Umzug, respektive Umbau, an das selbe Licht akklimatisiert waren. Alle biochemischen und auch ökologischen Umstellungen, einhergehend mit zum Teil starken Veränderungen im Nährstoff- und ggf. auch Schadstoffgehalt, sind auch für an ein aggressives Licht akklimatisierte Korallen zu stressig. In fast allen Fällen werden Korallen in einem umgezogenen oder umgestalteten Riffaquarium bei unverändert starker Lichteinstellung (Spektrum, Intensität, Beleuchtungsdauer) Zooxanthellen ausstoßen, d.h. es kann sehr schnell zur Vermehrung von → **Dinoflagellaten**, aber auch zu heftigen Planktonblüten oder Cyanobakterienplagen kommen, Korallen können ausbleichen und durch akuten Strahlungsstress kritisch geschädigt werden, bis hin zum irreversiblen Gewebeverlust und Tot. Um den Korallen genügend Zeit zu geben, sich an die neue Umgebung zu gewöhnen, muss v.a. die Strahlungsintensität (also die Lampenleistung) deutlich gesenkt werden. Hier empfehlenswert ist durchaus eine Verringerung der bisher bestehenden Strahlungsintensität um 40-50%, um die Korallen in ihrer 3-4 wöchigen Akklimatisationsphase im neuen bzw. umgezogenen Becken nicht zu überlasten.

Die im Weiteren vorgestellten experimentellen Lichtumgebungen und Modifikationen am Lichtspektrum sowie an der Lichtintensität sind also sowohl für neu gestartete, als auch für gerade umgezogene oder massiv umgebaute Riffaquarien nicht geeignet. Auch der Einsteiger sollte sich hiervon zunächst praktisch distanzieren, soll sich aber dennoch an dieser Stelle dazu ermutigt fühlen, die hier behandelten Informationen in Ruhe zu lesen und nach und nach zu erlernen.

Historische Betrachtung der Beleuchtungsumgebung von 1980 bis heute

In der natürlichen Umgebung tropischer Korallenriffe steht die Sonne sehr hoch im Zenit und hat damit einen günstigen Einfallwinkel in das üblicherweise sehr klare, transparente Meerwasser und kann unter optimalen Bedingungen in eine Wassertiefe von bis zu 100 m vordringen. Dieser Tiefenbereich von der Oberfläche abwärts bis ca. 100 m wird in der Meeresbiologie als photische Zone definiert, innerhalb der Photosynthese treibende Organismen wie Pflanzen, Algen und phototrophe (sich von Licht ernährende) Bakterien leben können. Die photische Zone geht in die aphotische (Dunkel) Zone, in die gar kein natürliches Sonnenlicht mehr vorzudringen vermag, fließend über. Je nach Trübstoffgehalt und Aufkommen von Planktonorganismen kann das Sonnenlicht jedoch auch in oberflächennahen Regionen stark abgeschwächt werden, sowohl durch Reflektion und Streuung, als auch durch die Lichtabsorption der Photosynthesepigmente des Phytoplanktons. Dadurch lässt sich in Korallenriffen nie eine einheitliche Strahlungsumgebung darstellen, weder für eine spezifische geographische Region, noch für eine bestimmte Zeit, weil sich auch innerhalb der Tropen saisonale Unterschiede z.B. im Plankton- oder Trübstoffgehalt ergeben, z.B. beeinflusst durch wechselnde ozeanische Strömungen und sich ändernde Wetterverhältnisse.

Allgemein gilt jedoch, dass die Strahlungsintensität in tropischen Korallenriffen bei klarem Himmel sehr hoch ist, oftmals bis weit über 1000 μmol Photonen pro m^2 und Sekunde (Photonenflussdichte, PFD, aquaristisch oft als „PAR-Wert“ bezeichnet) an der Wasseroberfläche und innerhalb der ersten Meter Wassertiefe bei glasklarem Wasser. Ein ganz besonders intensives

Lichtszenario entsteht dann, wenn das Riffdach küstennaher Riffe bei extremen Tiden bei Ebbe für einige Stunden teilweise oder gar ganz trocken fällt und die Riffdachbewohner der Sonnenstrahlung einschließlich UV-B und UV-A in voller Stärke ausgesetzt sind.

In der älteren Meerwasseraquaristikliteratur der 1980er und 1990er Jahre, in der Halogenmetalllampen (HQI) i.d.R. als potenteste Beleuchtungsart für ein Meerwasseraquarium dargestellt wurden, sind solche Extremfälle gerne angeführt worden, um zu verdeutlichen, dass eine Aquariumlampe für die Meerwasseraquaristik sehr stark sein sollte, um der natürlichen Lichtumgebung möglichst nahe zu kommen. Zu dieser Zeit wurde über spektrale Zusammenhänge über und unter Wasser zwar diskutiert, jedoch waren Messmöglichkeiten außerhalb wissenschaftlicher Untersuchungen weder im Aquaristik-Fachhandel, schon gar nicht im privaten Haushalt möglich. Damals war die Kombination aus HQI-Tageslichtbrenner und blauen T8-Röhren Stand der Dinge, wenn es um die Pflege „lichtbedürftiger“ Steinkorallen ging, d.h. aus der industriellen Anwendung entlehnte Beleuchtungstechniken, die zwar durchaus sehr strahlungsintensiv, hinsichtlich ihres Spektrums aber für die Meerwasseraquaristik gar nicht spezifisch optimiert waren. Die mit HQI und zusätzlichen Blauröhren geschaffenen Strahlungsintensitäten und die dabei erzeugten Lichtspektren können in dem hier darzustellenden Zusammenhang durchaus als gesunde Lichtumgebung eingestuft werden, weil der Anteil an Blaustrahlung im Vergleich zu den heute modernen aquaristischen Leuchtmitteln relativ betrachtet schwächer war und ganz kurzwelliges, UV-nahes violettes Licht i.d.R. fehlte. Dazu kommt, dass zwar mit einer HQI Lampe innerhalb des zentralen Strahlungskegels eine sehr hohe punktuelle Intensität generiert werden konnte, die Intensität außerhalb des Zentrums des Lichtkegels aber sehr schnell signifikant schwächer wurde. Strahlungsanteile wie UV-A und das sehr aggressive UV-B waren nur bei Modifikation der HQI-Lampen (Entfernen der UV-Schutzscheibe) möglich, was jedoch aufgrund der dann sehr hohen Intensität v.a. im UV-B Bereich in der Regel immer zu heftigen Verbrennungen an den Korallen führte.

Nichtsdestotrotz haben wir - und darum wird der Zusammenhang in Ausführlichkeit in dieser geschichtlichen Betrachtung auch erörtert - bis heute, v.a. in Europa und speziell in Deutschland, eine gewisse antrainierte Neigung, über Meerwasseraquarien sehr hohe Lichtintensitäten anzuwenden, weil man, salopp formuliert, früher nie genug Licht haben konnte. Allerdings waren die uns zur Verfügung stehenden Lichtspektren weniger kurzwellig, als wir es heute mit modernen Lampen generieren können. Es sei schon jetzt vorweg genommen, dass Lichtspektrum und Lichtintensität keine zwei völlig getrennt voneinander diskutierbaren Beleuchtungsparameter sind, ergänzt noch um die → **Beleuchtungsdauer**, die in einem eigenen Thema ausgiebig behandelt wird.

Mit der Weiterentwicklung im Bereich der T5-Beleuchtung (in Deutschland eingeführt durch Oliver Pritzel, ATI-Aquaristik, Hamm) war es dann in den 2000er Jahren möglich, bedingt durch den geringeren Röhrendurchmesser (5/8 Zoll = 16 mm), relativ betrachtet mehr Röhren über eine bestimmte Aquariumfläche zu bringen, als es mit den fast doppelt so dicken T8-Röhren (1/8 Zoll = 25,4 mm) möglich war. In den verschiedenen zur Verfügung stehenden T5-Röhren war zudem nicht nur der Lichtstrom und damit der Lichtoutput höher als in T8-Röhren, sondern es waren auch

weitaus mehr Spektralanteile kombinierbar, auch im kurzwelligen violetten und aktinischen Bereich, so dass bei der Umstellung von HQI/T8 auf eine flächige und gleichmäßig starke T5 Beleuchtung erste Strahlungsstressprobleme auftraten, insbesondere in älteren Meerwasseraquarien, die jahrelang nur HQI- und/oder T8-Licht gewohnt waren. Primär waren diese Strahlungsstresszustände dadurch verursacht, dass das Licht durch die sehr nah über der Wasseroberfläche platzierten T5-Röhren an sich schon stärker und zudem auch spektral anspruchsvoller war. Allerdings zeigte sich auch ein sekundärer Effekt, der der Weiterentwicklung der allgemeinen Strömungs- und Filtertechnik mit leistungsfähigen Geräten geschuldet war, die bei dem ebenfalls zu konstatierendem höheren Korallenbesatz in den Aquarien (aus Korallenfarmen verfügbar) und bei gleichzeitig oft auch geringerem Fischbesatz, zu dieser Zeit die ersten publizierten Nährstoffmangelsituationen hervorbrachten, die einen Strahlungsstresszustand nochmals verstärkten.

Die Umstellung auf die ersten LED-Lampen ungefähr in 2010, mit sehr blaulastigen Spektren, und darüber hinaus zu diesem Zeitpunkt extrem schlecht verteiltem Licht mit teilweise punktueller Spot-Beleuchtung, kam in Deutschland das bereits geschilderte Problem ganz massiv zum Tragen, dass die meisten Aquarianer gewohnt waren, Lampen auf Volllast zu betreiben. Mit den punktuellen LEDs und den aggressiven Spektren insbesondere im Blau- und Violettbereich, traten die ersten Totalausfälle im Korallenbesatz auf, so dass sich schnell erste Stimmen meldeten, die der neuen Technologie LED den Sargnagel einschlugen und die Meinung verbreiteten, dass eine dauerhafte Pflege von Korallen, v.a. von Steinkorallen, mit LEDs nicht möglich sei. Erst die technischen Verbesserungen in der Lichtstreuung und -verteilung, teils noch in der Hybrid-Anwendung mit den gewohnten und bekannten T5-Röhren, brachten dann relativ schnell die ersten Erfolge auch in der langfristigen Pflege und Nachzucht von Korallen, sofern verstanden wurde, dass die kurzwelligen Strahlungsanteile in Kombination mit der generellen Blaulastigkeit im Gesamtspektrum der LED-Lampen nur kontrolliert und in Maßen eingesetzt werden können.

Zum aktuellen Zustand ergibt sich aber immer noch weitläufig das Problem, dass die meisten Aquarianer ihre LED-Lampen auf Volllast betreiben, erstens, weil man es in der älteren Geschichte der Meerwasseraquaristik immer so gewohnt war (auch unter T5, die meistens keine regelbaren Vorschaltgeräte hatten und damit nur an und aus geschaltet werden konnten), zweitens aber auch, weil es eine mentale Befriedigung darstellt, wenn man auch das Maximum der Lampenleistung anwenden kann, weil es die Lampe eben her gibt. Der zweitgenannte Aspekt ist an dieser Stelle sehr wichtig, weil es viele Aquarianer unbefriedigt lässt, wenn ihre Lampe nur auf 70% Leistung läuft, und es einen Reiz ausübt, den Leistungsregler noch weiter nach oben zu schieben, was jedoch in Anlehnung an die hohe Leistungsfähigkeit moderner LED-Lampen schnell dazu führt, dass die Korallen Strahlungsstresszustände nicht mehr kontrollieren und neutralisieren können.

Es gilt also heute unbedingt darauf zu achten, dass nicht nur das Spektrum kontrolliert eingesetzt wird, sondern auch verstanden wird, dass hohe Lichtintensitäten bei gleichzeitig aggressiven kurzwelligen Spektren in den meisten Fällen kontraproduktiv sind. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden die Zusammenhänge zu diesem Thema ausgiebig behandelt und im Detail erklärt.

Experimentelle Lichtumgebungen als individuell-ästhetische Modifikationen

Zunächst sollen in dieser Einleitung in das Thema experimentelle Lichtumgebungen die Hintergründe erläutert werden, weshalb die Beleuchtung von vielen Riffaquarianern überhaupt z.B. strahlungsintensiv und bewusst kurzwellig-aggressiv mit hohem Energiegehalt eingestellt wird, was den Einsteiger verwundern sollte, wenn es doch eigentlich darum geht, ein Riffaquarium über lange Zeit gesund und erfolgreich zu pflegen.

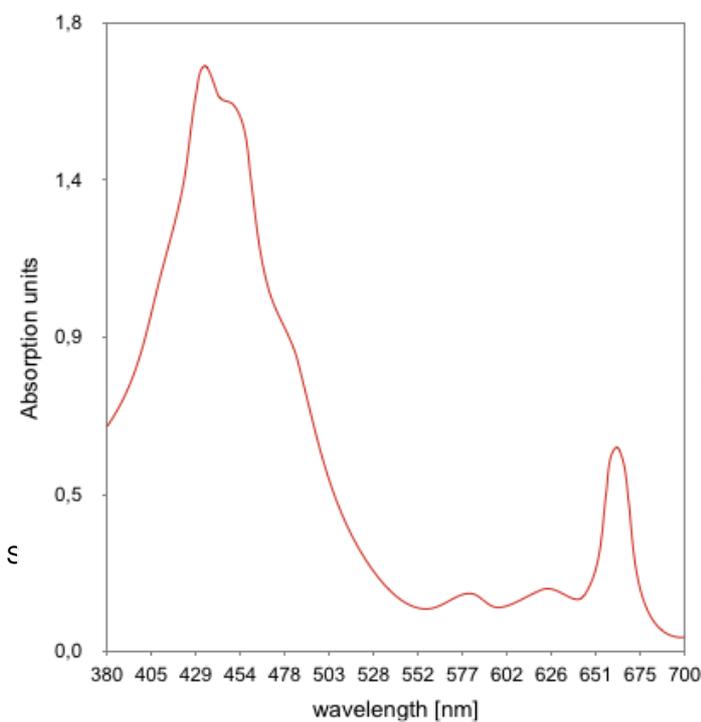
In der Aquaristik, sowohl Süß-, als auch Meerwasseraquaristik, spielt Licht vorrangig eine zentrale Rolle in der Energiebereitstellung für die Photosynthese, von Pflanzen im Süßwasser, und von zooxanthellaten Korallen und gewünschten Kalkrotalgen im Meerwasser. Zwar sind Korallen Tiere, die selbst mit Licht nicht als Energiequelle arbeiten können. Allerdings ergibt sich über das Zusammenleben mit den einzelligen Symbiosealgen (Zooxanthellen) im Korallengewebe eine funktionale Verknüpfung zur pflanzlichen Lebensweise, die den Energiegehalt des sichtbaren Lichts photosynthetisch nutzt, um diese Energie in Wachstum, Vermehrung (Reproduktion) sowie in Regenerationsprozessen (z.B. nach Verletzung) umzusetzen. Symbiotische Korallen können also in der Aquaristik funktionell durchaus hinsichtlich ihrer Pflegeansprüche als Pflanze betrachtet werden, auch wenn es Tiere sind.

Wir haben also in erster Linie den Anspruch, ein Licht für das Meerwasseraquarium bereitzustellen, das von den symbiotischen Korallen, aber auch von Kalkrotalgen optimal genutzt werden kann, was ganz einfach betrachtet bedeutet, dass die Lichtenergie möglichst vollständig in Wachstum umgesetzt werden kann. Starkes Korallenwachstum ist äquivalent zum Pflanzenwachstum im Süßwasseraquarium der primäre ökologische Schlüsselfaktor, unerwünschte Algen durch eine Raum- und Nährstoffkonkurrenz zu verdrängen.

Die spezielle Pigmentgarnitur der Zooxanthellen gibt uns vor, wie das Licht idealerweise zusammengesetzt sein muss, um für die Photosynthese der Symbiosealgen wirkungsvoll zu sein. Zooxanthellen in Korallen und *Tridacna* Arten (Riesenmuscheln) gehören zu den → [Dinoflagellaten](#), die neben Chlorophyll a und c ein für sie typisches Carotinoid namens Peridinin besitzen.

Chlorophyll und Peridinin verbinden sich in sog. PCP-Komplexen (Peridinin-Chlorophyll-Protein-Komplexe) und bilden zusammen den Hauptteil der Photosynthese-Pigmentgarnitur in den Lichtsammlerkomplexen, in denen das zur Photosynthese genutzte Licht eingefangen (absorbiert) wird.

Während die Chlorophylle typischerweise sowohl blaues (ca. 430 nm), als auch rotes Licht (ca. 670 nm) absorbieren und Grün und



Gelb fast vollständig reflektieren (daher sind Pflanzen mit hohem Chlorophyllgehalt grün), zeigt Peridinin eine starke Absorption im blau-grünen und grünen Wellenlängenbereich zwischen 470-530 nm (was in der Kombination mit Chlorophyll in den Zooxanthellen eine braungelbe Farbe reflektiert). Vergleiche dazu das abgebildete Absorptionsspektrum (Zooxanthellen-Extraktion in Aceton aus *Acropora millepora*, J. Kokott).

Innerhalb der Zellen (*in vivo*) und dort in den PCP-Komplexen ergibt sich jedoch im Vergleich zu Absorptionsspektren, die sich in Extrakten außerhalb der lebenden Zellen (*in vitro*) messen lassen, leichte Abweichungen in den messbaren Absorptionsmaxima. Je nach Proteinstruktur und Pigmentverteilung kann sich die photosynthetische Zelle auf bestimmte spektrale Umgebungsbedingungen ein- bzw. umstellen, was als „chromatische Adaption“ bezeichnet wird. Durch Anpassungen im Gehalt und in der Verteilung der verschiedenen Photosynthesepigmente kann also die Nutzbarkeit des bestehenden Lichtes in einem gewissen Rahmen von den Pflanzenzellen modifiziert werden.

Nichtsdestotrotz haben sich vor allem Algen in marinen Ökosystemen evolutiv stärker auf blaues und blau-grünes Licht spezialisiert, weil Rot relativ schnell mit zunehmender Wassertiefe vom Meerwasser herausgefiltert wird, während z.B. höhere Pflanzen (Land- und Wasserpflanzen) auch rotes Licht über die Chlorophylle a und b sehr gut nutzen. Rot spielt im Meerwasser eher eine photosynthetisch untergeordnete Rolle, weil die Absorption von Blaustrahlung sehr stark und Rot oft nicht vorhanden ist. Spezialisierte Rot-Pigmente, sog. Phytochrome, die in den Zellen von Pflanzen, Algen und Cyanobakterien als Rezeptoren und Signalgeber agieren, spielen für Pflanzen insgesamt (z.B. bei höheren Pflanzen für die Keimung, Blattbildung, etc.), aber auch in marinen Algen und Cyanobakterien eine wichtige Rolle, weil sie je nach Rotanteil im Licht photosynthetische Abläufe regulieren und steuern. Ein hoher Anteil an Rot im Lichtspektrum kann vom Phytochrom-System als Anzeiger dafür stehen, dass die Alge/Zooxanthelle innerhalb der Wassersäule sehr nah an der Oberfläche wächst, also in einer sehr strahlungsreichen Umgebung, für die es eine andere photosynthetische Anpassung benötigt als in einer tieferen Wasserumgebung, in der die Lichtintensität deutlich niedriger ist. Aquaristisch wurde dies bereits als Hypothese formuliert, dass Korallen in einer Lichtumgebung mit hohem Rotanteil davon ausgehen, dass die Lichtintensität sehr hoch ist, die Photosynthese also runter geregelt wird, was jedoch den tatsächlichen Bedürfnissen der Korallen nicht zwingend entspricht. Schon vor vielen Jahren wurden aquaristische Untersuchungen an Korallen durchgeführt, die überwiegend zu dem Ergebnis kamen, dass Korallen unter Rotstrahlung entweder schlecht wachsen, oder sogar Schäden erleiden. Nicht umsonst sind viele Lampenhersteller davon weg gegangen, starke Rotemissionen in ihre LED Lampen zu verbauen. Im Rahmen experimenteller Lichtumgebungen ist Rot also ein für uns potentiell kritischer Wellenlängenbereich, mit dem sehr vorsichtig gearbeitet werden muss.

Zur Förderung der Photosynthese in zooxanthellaten Korallen eignet sich folglich eine Lampeneinstellung, die sowohl blaues Licht im Bereich von 430-470 nm, aber auch gemäß der Peridinin-Absorption langwelligeres blau-grünes Licht bei 470-500 nm und grünes Licht bei 500-max. 530 nm anbietet, was heute mit Cyan-LEDs und anteiligen grünen LEDs sehr gut möglich ist.

T5-Röhren zeigen typischerweise in diesem Cyan- und Grünbereich eine Lücke, die entsprechend konzipierte LED-Lampen ausfüllen können (vgl. dazu auch → [Gesunde Lichtumgebung](#)).

Auch wenn wir hinsichtlich der hier dargestellten spektralen Anforderungen an eine gute Photosynthese-Anregung der Zooxanthellen theoretisch außer Blau, Blaugrün und Grün bis max. 530 nm nicht viel mehr anbieten müssten, bedeutet das Fehlen von langwelligem Grün, Gelb und Rot, also Wellenlängenbereiche, die z.B. auch von weißen T5-Röhren oder weißen LEDs emittiert werden, im Gesamtspektrum ein Verlust an Farbwiedergabe. Die Farbigkeit des Riffaquariums, v.a. grüne, gelbe und rote Farben der Fische, Kalkrotalgen und andere Pigmente, die eine Farbe durch Lichtreflektion erzeugen, wäre also stark eingeschränkt, wenn man das Lampenspektrum nur auf Blau und Blaugrün reduzieren würde. Aber auch das Helligkeitsempfinden für den Aquarianer selbst ist beeinträchtigt, weil das menschliche Auge, das in der Netzhaut v.a. Grün- und Rot-Rezeptoren und weniger Blaurezeptoren aufweist, bei gänzlichem Fehlen von Grün, Gelb und Rot das Aquarium dunkel erscheinen ließe und bestimmte Details für den Betrachter schlecht sichtbar wären. Entsprechend arbeiten wir seit jeher in der Aquaristik mit Weißlicht, dem ein blaulastiges Ergänzungsspektrum (z.B. Blauröhren, bzw. blaue LEDs) hinzugefügt wird. Erst mit LEDs wurde es möglich, innerhalb einer Lampe ein ganz individuelles und für die Meerwasseraquaristik optimiertes Lampenspektrum durch geeignete Kombinationen verschiedener LEDs so zu konzipieren, dass das Licht ausgewogen blaulastig und weiß zugleich ist. Je nach Lampe sind hier Optionen geboten, nicht nur Weiß und Blau getrennt voneinander elektronisch exakt zu steuern, sondern auch andere Wellenlängenbereiche wie Violett, Grün und Rot separat hinzuzufügen oder (je nach Lampenmodell) auch auszuschalten.

Dadurch ergeben sich vielfältige Möglichkeiten für eine individuelle Modifikation von Lampenspektren, weil es manche Aquarianer eher hell und lagunenartig mögen, andere Aquarianer aber lieber Tiefwasserbiotop betrachten, die durch einen geringeren Weißanteil dunkler erscheinen und keine gelblichen Einfärbungen hervorbringen, wie es eine Weißlichtquelle erzeugen würde.

Aus den genannten Nachteilen eines nur für die Photosynthese optimierten Lichtspektrums aus blauer und blaugrüner Strahlung, zeigt sich ganz klar, dass das mangelnde Wahrnehmungsvermögen von kurzwelliger Blaustrahlung durch das menschliche Auge von vielen Aquarianern dadurch ausgeglichen wird, dass die Lampenintensität möglichst hoch eingeregelt wird, damit das Aquarium für den Betrachter noch ansprechend hell erscheint. Eine solche Kombination aus ausschließlich kurzwelliger, aber gleichzeitig hoch intensiver Bestrahlung führt schnell zu einer Überlastung der Photosysteme in den Zooxanthellen (vergl. dazu das Thema → [Strahlungsstress/oxidativer Stress](#) in diesem Kapitel) und zur potentiellen Schädigung von Korallen. In der Regel ergänzt sich gleichzeitig das Auftreten von ausgestoßenen Zooxanthellen (→ [Dinoflagellaten](#)), Cyanobakterien, chronischem Nährstoffmangel und ggf. auch dauerhafter Defizite im Iod- und Kaliumgehalt im Meerwasser. **Eine blaulastige Beleuchtung darf und kann nicht dadurch für das menschliche Auge sichtbar gemacht werden, in dem die Lampenintensität unkontrolliert hoch gefahren wird, weil das die Photosysteme der Zooxanthellen zu stark auslastet und potentiell Strahlungsstress erzeugt.** In der Natur wird

ein rein blaues Spektrum nur in Wassertiefen unterhalb von 30 m auftreten, also in einem Tiefenbereich, der gleichzeitig auch nur noch als Schwachlichtzone bezeichnet werden kann, mit Photonenflussdichten, die deutlich $< 250 \mu\text{mol}$ Photonen pro m^2 und Sekunde betragen. Dieser Zusammenhang sollte als Grundregel für experimentelle Lichtumgebungen befolgt werden, wenn es darum geht, kurzwellige Strahlung anzubieten, aber gleichzeitig auf hohe Strahlungsintensitäten zu verzichten. Im aktuellen Zeitalter kann man durchaus sehr schnell zu viel Licht haben.

Während die Anregung der Photosynthese als primäres Ziel einer Aquariumbeleuchtung bis jetzt sehr umfangreich erläutert wurde, spielt in der Meerwasseraquaristik auch die Verknüpfung von kurzwelliger Strahlung mit farbigen Fluoreszenzpigmenten in den Korallen eine zweite, für die meisten Aquarianer oft sogar wichtigere Rolle. Detaillierte Informationen zu diesen farbigen Pigmenten, zu ihrer chemischen Beschaffenheit und ihren möglichen biologischen Funktionen, folgen im weiteren Verlauf in einem eigenen Unterkapitel. An dieser Stelle sei vorweg genommen, dass sehr viele Korallen und Anemonen optisch ansprechende Farben entwickeln, die aus einer ästhetischen Betrachtung heraus die Meerwasseraquaristik so speziell und für den Betrachter attraktiv machen.

Die meisten Korallenfarbpigmente, sog. Chromoproteine, sind fluoreszierend und reagieren, je nach Pigment, auf Anregungen im kurzwelligen Bereich zwischen UV-A, Violett und Tiefblau bis ca. 430 nm, aber auch auf längerwellige Emissionen z.B. im Grünbereich unter Erzeugung z.B. von Gelb-, Orange- und Rotfluoreszenzen. Dabei absorbieren diese Pigmente die angebotene Strahlung und senden ein längerwelliges farbiges Fluoreszenzlicht in die Umgebung zurück. Weil diese Fluoreszenzstrahlung nicht so strahlungsstark ist wie die Reflektionsstrahlung bei einer starken Lichtintensität, kommen sie in einer blaulastigen Lichtumgebung besonders gut zur Geltung, wenn das Aquarium, wie bereits erläutert wurde, dem menschlichen Auge dunkler erscheint und die Fluoreszenzen gleichzeitig optisch stärker zur Geltung kommen.

Experimentelle Modifikationen am Lichtspektrum werden also gerne angewendet, um die Produktion von Fluoreszenzpigmenten in den Korallen anzuregen, und um diese Fluoreszenzen besser sichtbar zu machen.

Grundlagenwissen zu Farben und fluoreszierenden Pigmenten in zooxanthellaten Korallen

Wenngleich in vielen Dokumentationen zum Thema Korallenriff die symbiontischen Algen (Zooxanthellen) vieler tropischer Korallen als farbgebend genannt werden, gehen tatsächlich bunte Korallenfarben aus den Korallen selbst hervor und stammen nicht von den Zooxanthellen. Die photosynthetische Pigmentgarnitur der Zooxanthellen bewirkt zwar eine braune Grundfarbe, wie man sie z.B. in den meisten Lederkorallen sieht, allerdings sind die Photosynthesepigmente der Zooxanthellen nicht verantwortlich für die roten, grünen, blauen oder gelben Farben, die vor allem Steinkorallen so bunt machen.

Tatsächlich sind die farbigen Pigmente der Korallen chemisch gar nicht mit den Pflanzenpigmenten ihrer Symbiosealgen verwandt. Korallen bilden, je nach ihrer genetischen Konstitution, farbige Proteine (Eiweiße), sog. Chromoproteine (vom griech. *chroma*, Farbe), die innerhalb des Korallengewebes eingelagert werden. Als 1995 ein solches Chromoprotein aus der pink gefärbten Steinkoralle *Pocillopora damicornis* isoliert, chemisch genauer untersucht und „Pocilloporin“ genannt wurde, fiel in Folgeuntersuchungen die sehr starke Ähnlichkeit zu einem grün fluoreszierenden Protein (GFP, engl. Green Fluorescent Protein) auf, das man in der Hydrozoen-Qualle *Aequorea victoria* bereits im Jahre 1962 Jahre entdeckt hatte (hierfür wurde aufgrund der Bedeutung dieser Entdeckung für zellbiologische Verfahren im Jahre 2008, also 46 Jahre später, der Nobelpreis an den Entdecker OSAMU SHIMOMURA und Mitarbeiter verliehen).

Die namensgebende und wesentliche Eigenschaft des grün fluoreszierenden Proteins (GFP) ist, dass es kurzwellige UV-A Strahlung oder UV-nahes, violettes Licht absorbiert, und in eine längerwellige, d.h. energieärmere, grüne Fluoreszenz umwandelt. Fluoreszenz ist also eine Strahlung, die nach Aufnahme (Absorption) von Lichtquanten (Energie) durch ein Pigment wieder von dem selben Pigment in die Umgebung zurück gestrahlt wird. Wichtig zu verstehen ist, dass dabei der Energiegehalt der absorbierten Lichtstrahlung nicht zu 100% erhalten bleibt, was bedeuten würde, dass ein absorbiertes violettes Licht auch wieder als violettes Fluoreszenzlicht abgestrahlt werden würde, was jedoch nicht der Fall ist. Vielmehr geht ein gewisser Energiebetrag als Wärme verloren, d.h., dass die Fluoreszenzstrahlung stets energieärmer und damit längerwellig ist, als die ursprünglich absorbierte Strahlung. Im Falle des GFP verringert sich also der Energiegehalt, der ursprünglich aus der UV-A oder violetten Strahlung absorbiert wurde soweit, dass nur noch der Energiegehalt des grünen Lichts erhalten bleibt und dieses grüne Licht als Fluoreszenz abgestrahlt wird.

Allerdings gibt es auch eine Gruppe nicht-fluoreszierender GFP-ähnlicher Proteine, zu der auch das bereits genannte „Pocilloporin“ aus den verschiedenen pink gefärbten *Pocillopora* und *Seriatopora* Arten zählt, von denen wir aus eigener Beobachtung im Aquarium wissen, dass es sich hier um sog. „plakative“ (Wortprägung aus Vorträgen und Artikeln durch JÖRG KOKOTT in den Jahren 2002 – 2004, u.a. in Sindelfingen 2002) Pigmente handelt, die keine Fluoreszenz erzeugen, wie sie aus Krusten- und Scheibenanemonen, LPS und SPS bekannt sind.

Bis heute wurden in wissenschaftlichen Untersuchungen sehr viele verschiedene GFP-ähnliche Proteine in Korallen und anderen Anthozoen und auch Hydrozoen nachgewiesen und identifiziert, die uns aus den farbigen Korallen in der Aquaristik bekannt sind. Die allermeisten haben fluoreszierende Eigenschaften, nur wenige sind nicht-fluoreszierend („plakativ“). Es gibt jedoch auch Korallenarten, oder auch individuelle Tiere, die in ihrer Erbsubstanz keine Informationen zur Synthese farbiger Chromoproteine besitzen und demnach nur die braune Färbung der Zooxanthellen zeigen, z.B. viele Lederkorallen und andere Weichkorallen. Diese Tiere können unter keinen Umständen durch Modifikationen in der Lichtumgebung zur Farbbildung angeregt werden, weil sie über keine genetischen Informationen dazu verfügen.

Zu den biologischen Funktionen der farbigen Pigmente in Korallen wurde in wissenschaftlichen Publikation zunächst v.a. eine Sonnenschutzfunktion („engl. Sunscreen“) angenommen. Daraufhin prägte sich eine Zeit lang in der aquaristischen Literatur die falsche Annahme, es handele sich bei diesen Pigmenten um sog. UV-Schutzpigmente, die vor allem die sehr gefährliche UV-B Strahlung von den Korallen fern halten würden. Allerdings ist UV-Strahlung für uns Menschen nicht sichtbar und daher farblos, was bedeuten würde, dass wir ein Pigment, das UV-B oder UV-A Strahlung absorbiert bzw. reflektiert, gar nicht farblich wahrnehmen würden. Es wäre schlichtweg unsichtbar. Tatsächlich gibt es mit sog. Mycosporin-ähnlichen Aminosäuren (MAAs) innerhalb der Zooxanthellen UV-Schutzverbindungen, die je nach Typ UV-B und UV-A Strahlung absorbieren. Diese werden von den Zooxanthellen selbst synthetisiert und nicht von den Korallen. Ein gewisser Teil dieser MAAs werden auch von den Zooxanthellen in das umgebende Korallengewebe transloziert (übergeben), so dass innerhalb des Korallengewebes ein UV-Schutz vor den Zooxanthellen etabliert werden kann. Die farbigen Chromoproteine, die teilweise zwar auch im langwelligen UV-A im Grenzbereich zum sichtbaren Licht absorbieren, größtenteils aber eben nur im sichtbaren Licht, und daraus eine für uns sichtbare, farbige Fluoreszenzstrahlung erzeugen, haben jedoch keine wirkliche UV-Schutzfunktion. Dennoch wird und wurde vermutet, dass die Chromoproteine im Korallengewebe einen Sonnenschirm bilden, in dem sie sich oberhalb der Zooxanthellen im Korallengewebe arrangieren um einen gewissen Teil der Strahlungsenergie von den Zooxanthellen abzuhalten.

Neben der Sonnenschutzfunktion machte eine weitere, sogar schon ältere Publikation Aufsehen, in der festgestellt wurde, dass ganze Chromoprotein-Bündel in einer Tiefwasserkoralle unterhalb der Zooxanthellen im Korallengewebe eingelagert sind und möglicherweise als Lichtverstärker wirken. In größeren Wassertiefen stehen alle lichtbedürftigen Organismen vor der existentiellen Herausforderung, möglichst alle Lichtenergie, die noch zur Verfügung steht, einzufangen und photosynthetisch zu nutzen. Licht, das von den Zooxanthellen im Gewebe ihrer Korallenwirte nicht absorbiert werden konnte, z.B. auch sehr kurzwelliges Violett und UV-A Strahlung, kann dann von den Chromoprotein-Globuli aufgenommen und als photosynthetisch verwertbare Fluoreszenzstrahlung (PAR-Strahlung) wieder in Richtung der Zooxanthellen zurück geworfen werden. Dadurch wird für die Zooxanthellen eine erneute Chance generiert, diese zunächst nicht nutzbare Lichtenergie photosynthetisch zu verwerten.

Abgesehen von den unmittelbar strahlungs- bzw. lichtbezogenen Funktionen, die seit der biochemischen Entdeckung der „Pocilloporine“ letztlich auch keine völlig schlüssige Erklärung für deren Existenz im Korallengewebe boten, konnten jüngere wissenschaftliche Untersuchungen eine weitere und vermutlich wesentlich bedeutsamere Funktion aufdecken. Neben der Absorption von Licht und der dabei auftretenden Fluoreszenzen besitzen die Chromoproteine auch Antioxidans-Eigenschaften, die z.B. oxidative Stresszustände durch reaktive Sauerstoffverbindungen (sog. ROS, „reactive oxygen species“) neutralisieren (z.B. Wasserstoffperoxid). Gerade in der strahlungsintensiven Lichtumgebung in den oberen Zonen des Korallenriffes ist die Photosynthese der Zooxanthellen sehr schnell gesättigt, was bedeutet, dass keine weitere Strahlung mehr photosynthetisch im Sinne einer vollwertigen Energie-Transformation genutzt werden kann.

Vielmehr ist das Gewebe der Korallen stark mit Photosynthese-Sauerstoff angereichert, der sich von den Zooxanthellen ausgehend auch ins Korallengewebe ausbreitet. Dadurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit drastisch, dass die von den Photosynthesepigmenten absorbierte Strahlungsenergie auf den gebildeten Sauerstoff übertragen wird und die aggressiven und „energiegeladenen“ ROS-Sauerstoffformen entstehen, die irreversible Schäden in den Zellen und im Gewebe der Koralle anrichten können. Zwar stehen zur Neutralisation solcher oxidativer Stresszustände innerhalb der Zellen verschiedene Mechanismen zur Verfügung, allerdings scheinen darüber hinaus auch die farbigen Chromoproteine im Korallengewebe eine wichtige Rolle als „Quencher“ (Löcher) zu spielen, und zwar nicht nur in Bezug auf Lichtstress, sondern auch ganz typisch sichtbar in z.B. geschädigten Bereichen der Korallen nach einer mechanischen Verletzung. Insbesondere in Verletzungsregionen und im hier wieder stattfindenden Wachstumsbereich ergeben sich sehr oft sichtbare farbliche Veränderungen im Vergleich zum übrigen Korallengewebe, was darauf hindeutet, dass die Chromoproteine auch unabhängig von der jeweiligen Lichtumgebung eine Rolle in der allgemeinen Stressabwehr und in angelehnten Reparaturmechanismen spielen. Dieses Phänomen kann vor allem in der Korallenzucht bei sehr kleinen Korallenablegern gezeigt werden, mit zum Teil sehr stark und vielfältig ausgeprägten Farben in durch Fragmentation geschädigtem Korallengewebe.

Vorgehensweise bei der Umstellung auf eine experimentelle Lichtumgebung zur Fluoreszenzsteigerung

Es ist äußerst wichtig zu verstehen, dass sich die photo-physiologischen Anpassungen auf Veränderungen in der Lichtumgebung in symbiontischen Korallen im Vergleich zu marinen Algen und Cyanobakterien langsamer einstellen. Nicht selten erstreckt sich die Strahlungsakklimatisation über einen Zeitraum von drei bis vier Wochen oder gar länger, weil sich die symbiontische Beziehung zwischen Koralle und ihren Zooxanthellen je nach Art und Intensität der Veränderungen neu justieren muss. Innerhalb der komplexen Korallen-Zooxanthellen-Symbiose kontrolliert die Koralle in einem gesunden Symbiose-Zustand ihre Zooxanthellen, wodurch sie in der Lage ist, energiereiche Photosynthese-Assimilate von den Zooxanthellen zu erhalten und die Populationsdichte der Zooxanthellen im Korallengewebe zu regulieren. Veränderungen in der Lichtumgebung können die Regulation der Zooxanthellen durch die Korallen stören, was Anpassungen durch die Koralle erfordert, die einige Zeit in Anspruch nehmen können.

Die Herstellung (Synthese) der farbigen Korallenpigmente (Chromoproteine) ist immer ein energieaufwändiger Prozess, was voraussetzt, dass die Koralle auch auf die energiereichen Photosynthese-Produkte ihrer Zooxanthellen zurückgreifen kann. Eine Störung der Photosynthese-Leistung der Zooxanthellen durch eine *ad hoc* Umstellung in der Lichtumgebung führt also automatisch auch zu einer Veränderung des Energiebudgets im Korallenenergiestoffwechsel. Die Koralle erhält dann nicht nur weniger Stoffwechselenergie aus ihren Zooxanthellen, wodurch sie im Energiebudget und damit auch unmittelbar z.B. in ihrem Wachstums- und Regenerationspotenzial gestört wird, sondern wird sich in einer gleichzeitig aggressiven und kurzweiligen Lichtumgebung auch nicht mehr ausreichend gegen einsetzenden Strahlungsstress schützen können. Die Produktion von Chromoproteinen setzt immer Energiereserven, und je nach Nährstoffgehalt im

Wasser auch ausreichende Rohstoffe für den Baustoffwechsel voraus. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die Koralle in dieser Situation irreversible Schäden erleidet, ist äußerst groß, vor allem dann, wenn sofort auch kurzwellige Strahlungsanteile wie UV-nahes violettes und kurzwelliges blaues Licht (also das Spektrum zwischen ca. 390-420 nm) intensiviert werden. Leider werden in vielen Fällen in einer Lichtumstellung sofort auch diese aggressiven Wellenlängenbereiche in LED Lampen hochgefahren, nicht selten sogar sofort auf Maximum gestellt, wovon an dieser Stelle vorwegnehmend dringend abgeraten werden muss.

Im Folgenden wird eine kontrollierte und möglichst schonende Vorgehensweise bei der Umstellung auf eine experimentelle Lichtumgebung in LED Lampen zur Förderung der Korallenfluoreszenz vorgestellt, die über getrennt voneinander regelbare Farbkanäle verfügen. Lampen, die über eine automatisierte Regelung der Farbtemperatur gesteuert werden, fallen aus diesem Schema heraus und sollten vorsichtig über eine ausreichend lange Zeit schrittweise blaulastiger bzw. in der Farbtemperatur kälter eingestellt werden, wobei darauf geachtet werden muss, dass die Strahlungsintensität gleichzeitig nicht zu hoch ist. Je aggressiver das Licht ist, desto geringer sollte die Gesamtstrahlungsintensität zunächst sein, bzw. umso höher sollte die Lampe über der Wasseroberfläche aufgehängt werden. In Abhängigkeit vom individuellen Können des Aquarianers und der aquaristischen Erfahrung, bietet die hier dargestellte Vorgehensweise dennoch keine Garantie dafür, dass Probleme im gesamten Aquariumsystem ausgeschlossen werden können. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass aggressive und kurzwellige Lichtumgebungen immer vom Aquarianer kontrolliert und verstanden werden müssen und für Einsteiger in das Hobby nicht geeignet sind.

Eine wichtige Voraussetzung für die Umstellung auf eine neue Lichtumgebung ist ein stabiles Aquariumsystem, das ohne Stress-Symptome dauerhaft gut funktioniert. Dies betrifft sowohl die optimale Meerwasser-Zusammensetzung, die keine Defizite in den Hauptkomponenten aufweisen darf, den Iod- und Spurenmetallgehalt, sowie auch den Nährstoffhaushalt. In einer Nährstoffdefizit- oder sogar Mangelsituation sind Veränderungen in der Beleuchtung, v.a. hin zu einer aggressiven Lichtumgebung, absolut kontraproduktiv. Eine aktuelle Laboranalyse ist vor der Umstellung immer sinnvoll, um diese Voraussetzungen faktisch überprüfen zu können (vgl. dazu auch das Kapitel → [Allgemeine Meerwasser-Zusammensetzung und korrekte Interpretation von Analyseprotokollen](#)).

Die hier zu erläuternde Vorgehensweise bei der Umstellung auf eine experimentelle Lichtumgebung zur Steigerung der Fluoreszenzwirkung in Korallen umfasst mindestens zwei Phasen. In Phase 1 wird die Anpassung der Photosynthese-relevanten Lichtumgebung hin zu einer weniger weißen, gleichzeitig blaulastigeren Beleuchtung initiiert, die für die Sichtbarkeit von Fluoreszenzen förderlich ist. Dies betrifft in Kanal-spezifisch regelbaren LED Lampen die Hauptkanäle Weiß, Blau und Royalblau. Dadurch wird gewährleistet, dass die Photosyntheseleistung der Zooxanthellen und die Symbiose-Regulation durch die Korallen aufrecht erhalten werden kann, und es zu keinen gravierenden Störungen im Energiebudget der Koralle kommt. Erst nach dieser Anpassung erfolgt in Phase 2 eine Intensivierung des UV-nahen

violetten Lichts, also der kurzwelligen Strahlungsanteile im Bereich 395-420 nm, um die Koralle anzuregen, vermehrt fluoreszierende Chromoproteine zu bilden, was dann zu diesem Zeitpunkt möglich ist, weil die Koralle dafür auch auf ausreichende Energiereserven in einer angepassten und funktionierenden Koralle-Zooxanthellen-Symbiose zurückgreifen kann. In einer möglichen Phase 3 können je nach Bedarf und Zielsetzung und der gegebenen technischen Möglichkeiten in einer jeweiligen Lampe grüne und rote Anteile im Lichtspektrum vorsichtig ergänzt werden.

Um bei Bedarf auf eine Kontrollmöglichkeit über alle Veränderungen zurückgreifen zu können, sei an dieser Stelle ein Logbuch empfohlen, in das die Anpassungen im Licht, aber auch alle Wasseranalysen, v.a. zu den Parametern Nitrit/Nitrat, Phosphat, Salinität, Calciumgehalt und Karbonathärte, mit Datum und Uhrzeit eingetragen werden. Dadurch können Entwicklungen im Aquariumssystem optimal nachvollzogen und negative Auswirkungen frühzeitig erkannt werden.

Phase 1 wird einen Zeitraum von vier bis sechs Wochen umfassen, je nach dem, wie stark sich die Umstellung vom Ausgangszustand unterscheidet. Zunächst sollte innerhalb der ersten zwei Wochen langsam und schrittweise, z.B. in 5% Schritten alle 3 Tage, der Weißlichtkanal gesenkt werden, ohne gleichzeitig den Anteil an blauen oder royalblauen Strahlungsanteilen zu erhöhen. Auch alle übrigen LED Anteile, wie das kurzwellige UV-nahe und violette Spektrum, sowie grüne und rote Anteile, bleiben in dieser Phase unverändert. In welchem Ausmaß die Verringerung des Weißanteils stattfindet, ist natürlich dem Anwender selbst überlassen und fällt je nach Ausgangseinstellung unterschiedlich stark aus. Es gilt unbedingt darauf zu achten, wie die Korallen und das gesamte Aquariumssystem auf die Anpassungen im Licht reagiert.

Dadurch, dass zunächst nur Weißlicht reduziert wird, sinkt die Gesamtstrahlungsintensität, d.h., den Zooxanthellen steht weniger photosynthetisch aktive Strahlung zur Verfügung als vor der Umstellung, was dazu führt, dass die Photosysteme den Anteil an Lichtsammel pigmenten hoch regeln, und zwar im Bereich des nun zur Verfügung stehenden blaulastigen Spektrums, in dem neben weniger Grün und Rot v.a. auch anteilig weniger Royalblau aus den kaltweißen LEDs enthalten ist. Um eine ausreichend gute Farbwiedergabe zu erhalten, sollte weißes Licht jedoch nie vollständig ausgeschaltet werden, weil das Aquarium dadurch auch für den Betrachter zu dunkel wird. In der Regel ist eine Anpassung des Weißkanals auf ca. 50% der möglichen Lampenleistung empfehlenswert. Dadurch wirkt das Gesamtlicht zwar blaulastig, jedoch bleibt ein gewisses Maß an Farbwiedergabe erhalten.

Nachdem der Weißanteil innerhalb der ersten zwei Wochen vom ursprünglichen Wert gesenkt wurde, kann damit begonnen werden, den Blaukanal im langwelligen Blau/Cyan-Bereich (470-495 nm) vorsichtig zu erhöhen, sofern dieser Kanal nicht schon vorher höher eingestellt war und keine weitere Erhöhung mehr möglich ist. Eine Erhöhung um 5% alle 3-4 Tage ist für die meisten Lampen und Riffaquarien möglich. Dadurch, dass sich die Zooxanthellen im Rahmen der Reduzierung des Weißlichtanteils auf ein spektral blaulastigeres Spektrum einstellen konnten, ist jetzt während der Erhöhung des Blauanteils die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer spontanen und v.a. übermäßig starken Überforderung der Pigmentsysteme in den Zooxanthellen reduziert, sofern die Erhöhung des langwelligen Blaubereichs schrittweise und langsam erfolgt, um

Strahlungsstress durch Überstrahlung zu vermeiden. Royalblau sollte weiterhin unverändert bleiben (wenn Blau schon vor der Absenkung des Weißanteils bereits maximal eingeregelt war, kann natürlich sofort mit der Intensivierung des Royalblau Kanals gestartet werden, siehe nächster Abschnitt). Die Erhöhung des Blauanteils nach der Reduzierung des Weißanteils sollte sich ebenfalls mindestens über zwei Wochen ausdehnen, unter ständiger Kontrolle des Aquariumsystems. Wenn Probleme mit den Korallen auftreten, z.B. eine deutliche Aufhellung (partiell oder auch flächig) oder gar ein Ausbleichen des Korallengewebes, Freisetzung von Dinoflagellaten oder starke Cyanobakterienbildung, sollten die Lichteinstellungen wieder in die vorherige Richtung zurück korrigiert werden.

Nach der Erhöhung der langwelligen Blau- und Cyan-Anteile kann abschließend in Phase 1 der Anteil von Royalblau im Spektrum innerhalb von zwei bis drei Wochen vorsichtig erhöht werden. Royalblau ist kurzwelliger und damit energiereicher als Cyan und Blau, weshalb hier nochmals eine größere Aufmerksamkeit für Veränderungen im Aquariumsystem gelten sollte. Während in Anlehnung an die Hinweise zum Stichwort → [gesunde Lichtumgebung](#) empfohlen wurde, Royalblau 15-20% unterhalb des Blaukanals einzuregeln, kann im Rahmen der experimentellen Lichteinstellung in den meisten LED Lampen Blau und Royalblau auf gleichem Niveau eingeregelt werden. Äquivalent zur Senkung des Weißkanals und Erhöhung des Blaukanals kann auch für Royalblau eine schrittweise Erhöhung um 5% alle 3-4 Tage gut funktionieren. Je nach vorheriger Einstellung kann jedoch die Steigerung von Royalblau auch gerne mehr Zeit in Anspruch nehmen als nur 14 Tage. Es gilt kein Zwang, Phase 1 innerhalb von 6 Wochen abzuschliessen.

Ohne bis hierhin die kurzwelligen Spektralbereiche zu verändern bzw. diese zu steigern, ist durch die Modifikation des Weiß-Blau-Verhältnisses bereits ein deutlich blaulastiges und ggf. auch energiereicheres Spektrum erreicht. In welchem Rahmen, bzw. in welcher Intensität diese Modifikation möglich ist, stellt sich von Riffaquarium zu Riffaquarium unterschiedlich dar. Je nach Lampenleistung und v.a. auch in Abhängigkeit von der Anzahl an eingesetzten Lampen über einer bestimmten Wasseroberfläche, können in einigen Fällen deutlich früher Strahlungsüberschuss-Symptome auftreten, als es in anderen Aquarien möglich ist, was bedingt, dass mit geringeren, individuell sinnvollen Intensitäten gearbeitet werden muss. Keinesfalls muss eine Lampe in den Blau- und Royalblau-Kanälen auf Vollast laufen, insbesondere dann nicht, wenn zusätzlich, wie sogleich für Phase 2 erörtert wird, mit kurzwelligen UV-nahen violetten und tiefblauen Spektralanteilen gearbeitet wird.

Phase 2 setzt voraus, dass das Riffaquarium nach der Modifikation des Weiß-Blau-Verhältnisses während Phase 1 keine Strahlungsstresssymptome zeigt, d.h., dass vor allem keine Gewebeveränderungen (starkes Aufhellen, Ausbleichen, Farbverlust, schlechtes Polypenbild, ggf. sogar Gewebeschäden), aber auch keine Symptome im Gesamtaquarium, wie z.B. Dinoflagellaten, Goldalgen, Fadenalgen oder Cyanobakterien, auftreten. Es ist durchaus möglich und bei sehr intensiven Lichteinstellungen auch typisch, dass zwar eine Farbzunahme in den Korallen stattfindet, diese aber auf Kosten des Wachstums geht. Wachstumsraten können also durchaus nicht untypisch für experimentelle Lichtumgebungen abnehmen, was auch Anpassungen

in der Kalkhaushalt Stabilisierung notwendig macht und auch zu Veränderungen im Nährstoffhaushalt (Stickstoff/Nitrat und Phosphat) führen kann.

Ziel in Phase 2 ist die Anreicherung des Lichtspektrums mit kurzwelligen Spektralanteilen im UV-nahen violetten Bereich, die insbesondere die Fluoreszenzbildung in Steinkorallen anregen soll. Wie bereits im Rahmen des Grundlagenwissens zu farbigen Pigmenten und Fluoreszenzproteinen in Korallen erörtert wurde, wird für diese Pigmente nicht nur eine unmittelbare Strahlungsschutzfunktion diskutiert („light screening“), sondern v.a. auch eine Neutralisation von reaktiven Sauerstoffverbindungen, die im Rahmen der überschüssigen Photosynthese-Sauerstoffbildung durch die Zooxanthellen im Korallengewebe auftreten können („quenching“). Dies muss im aquaristischen Sinne auch entsprechend verstanden werden, dass wir mit den hier angesprochenen Strahlungsanteilen genau solche Stresszustände bewusst herbeiführen. Wenn wir die Koralle entsprechend belasten, muss das zur Anwendung kommende Strahlungsspektrum auch genau verstanden und kontrolliert werden.

Die Anreicherung des Spektrums mit UV-nahem Violett bei 390-410 nm und Tiefblau bei ca. 410-420 nm muss also absolut kontrolliert und unter ständiger Aufsicht erfolgen. Spontaner Farbverlust, schlechtes Polypenbild, Ausbleichen des Gewebes und das Ausstoßen von Dinoflagellaten sind eindeutige Symptome, die darauf hinweisen, dass die Koralle nicht mehr dazu in der Lage ist, die Stresszustände zu beherrschen. Möglicherweise sind diese Symptome auch mit anderen Problemen im Aquariumsystem verknüpft, z.B. an eine nicht optimale Meerwasser-Zusammensetzung, an ein akutes Iod-Defizit oder an Nährstoff-Probleme. Entsprechend dürfen kurzwellige Strahlungsanteile auch nicht mehr zur Anwendung kommen, bzw. es muss insgesamt eine Absenkung in der Strahlungsenergie erfolgen, zur Not auch dadurch, dass die Lampen deutlich höher über der Wasseroberfläche platziert werden bzw. die Gesamtintensität der Lampe verringert wird.

Äquivalent zur Phase 1 sollte zu Beginn der Phase 2 zuerst nur das tiefblaue Licht zwischen 410-420 nm, sofern es separat regelbar ist (was nicht jede Lampe anbietet), langsam erhöht werden. Wenn noch UV-nahes violettes Licht in einem separaten Kanal zur Verfügung steht, wird dies zunächst unverändert niedrig oder sogar ganz ausgeschaltet bleiben. Erst, wenn die Anreicherung des Spektrums mit tiefblauem Licht auf den abgezielten Wert erfolgt ist, kann ein dann noch zur Verfügung stehender UV-naher violetter Kanal zwischen 390-410 nm genau so langsam und kontrolliert hinzugefügt werden. Hierbei ist es sinnvoll, nur auf bestimmte definierte Etappen zu erhöhen, z.B. auf 25%, 50%, 75% und ggf. 100% (sofern das Aquarium damit zurecht kommt), und nach Einstellung eines tiefblauen Kanals auf diese Etappe den noch kurzwelligeren UV-nahen violetten Kanal hinterher zu ziehen. Wenn beide Kanäle dann auf 25% arbeiten, kann die nächste Stufe (z.B. 50%) angepasst werden, auch hier wieder zuerst der tiefblaue Kanal, danach der violette Kanal. Eine derart schonende Akklimatisierung an die energiereichen Strahlungsbereiche ist notwendig, um eine Überlastung der Koralle-Zooxanthellen-Symbiose zu verhindern. Da die meisten LED Lampen eine deutlich geringere Anzahl an kurzwelligen LEDs im Vergleich zu Weiß, Blau und Royalblau aufweisen, ist eine Steigerung von 5-10% pro Woche i.d.R. gut möglich. Auch hier gilt, dass diese kurzwelligen Kanäle nicht der lampentechnischen Möglichkeiten entsprechend

auf Volllast betrieben werden müssen, um ein entsprechendes Resultat in der Korallenfarbigkeit zu erreichen.

Eine starke Anreicherung des verwendeten Spektrums mit sehr kurzwelligem Licht macht es je nach Ausgangsintensität in der Regel notwendig, die Strahlungsleistung der Lampen insgesamt zu reduzieren. Praktisch kann dies mit einem Quantum-Meter, das die Photonenflussdichte (PFD, aquaristisch oft auch „PAR-Wert“ genannt) bestimmt, auch im Aquarium gemessen und angepasst werden. Photonenflussdichten ab $400 \mu\text{mol Photonen pro Quadratmeter und Sekunde} (\mu\text{mol m}^{-2} \text{sek}^{-1})$ werden in ökophysiologischen Experimenten als Starklicht definiert und sind für die meisten Riffaquarien und für ein gesundes Korallenwachstum auch absolut ausreichend. Viele moderne LED Lampen erzeugen unterhalb der Wasseroberfläche Photonenflussdichten von 700 bis zu über $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sek}^{-1}$ und damit einen Intensitätsbereich, der von vielen Riffaquarianern in seiner Wirkung unterschätzt wird. Eine moderate PFD von $300\text{-}400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sek}^{-1}$ in der Mitte der Wassersäule (Beckenhöhe) ist für die aquaristische Anwendung aggressiver Wellenlängen i.d.R. völlig ausreichend, d.h., dass die meisten LED Lampen gar nicht mit ihrer technischen Maximalleistung betrieben werden müssen. Das senkt nicht nur den Stromverbrauch, sondern verlängert durch eine geringere Wärmeentwicklung auch die Haltbarkeit und Lebensdauer der LEDs. Wenn bis zur Anreicherung des Strahlungsspektrums mit kurzwelligem Licht mit höheren Intensitäten gearbeitet wurde, kann eine Absenkung der Intensität, zum Beispiel durch ein Höherhängen der Lampe, oder durch aktives Herunterregeln der Lampenleistung, hilfreich sein, um den Korallen Akklimatisationsmöglichkeiten auch an sehr kurzwelliges Licht zu bieten. In Bodennähe wird dabei eine PFD von ca. $150\text{-}200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sek}^{-1}$ und von ca. $600\text{-}700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sek}^{-1}$ unter der Wasseroberfläche erreicht, was aber sehr von der jeweiligen Aquariumlampe und deren Lichtverteilung abhängig ist und nur eine ungefähre Empfehlung darstellt.

Es empfiehlt sich, Phase 2 auf mehrere Wochen auszudehnen, um die Korallen optimal und in einem erträglichen Rahmen an ihr Leistungsvermögen zur Fluoreszenzausbildung zu bringen, und dabei die angesetzte Strahlungsintensität (messbar als Photonenflussdichte, PFD) kontrolliert auf ein moderates Niveau anzupassen. Dabei dürfen zwischenzeitlich auftretende Stress-Symptome an den Korallen, aber auch Effekte auf das Aquariumsystem selbst (Dinoflagellaten, Cyanobakterien, Algenbildung, etc.) nicht ignoriert werden. Viele Aquarianer wollen unbedingt das gleiche Leistungsmaximum ihrer Lampen erreichen, wie es ein anderer Aquarianer schafft (meistens auch sehr bekannte und erfahrene professionelle Aquarianer, die ihre Lichteinstellungen publiziert haben). Hier muss auf die Individualität eines jeden Aquariums Rücksicht genommen werden. Sobald solche Symptome auftreten, muss das Licht wieder zurück gestuft werden, so lange, bis die entsprechenden Symptome abklingen.

Ab einem bestimmten Strahlungsniveau können in Korallen keine weiteren Verbesserungen mehr hinsichtlich Farbauscheidung und Fluoreszenz erreicht werden und es tritt nicht selten ein gegenteiliger Effekt auf, der durch Wachstumsstagnation und Deformationen in der Wuchsform sichtbar wird, und gleichzeitig oft auch wieder Farbverlust zur Folge haben kann. Hier ist es dann wichtig, auf ein Lichtniveau zurückzugreifen, das für die eigene Farbzielsetzung qualitativ

ausreichend ist und gleichzeitig die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Wachstumsstörungen gering hält.

Nachdem in Phase 2 das kurzwellige Lichtspektrum dem Gesamtlampenspektrum ergänzt wurde, kann bei Bedarf auch eine vorsichtige Intensivierung der Photonenflussdichte (PFD) erfolgen. Moderne und hochwertige LED Lampen erzeugen an der Wasseroberfläche unter Volllast nicht selten PFDs $> 1000 \mu\text{mol}$ Photonen pro m^2 und Sekunde, je nachdem, wie hoch sie über der Wasseroberfläche installiert sind. Eine solche Intensität muss vom Aquarianer und vom Aquarium selbst aber unter größter pflegerischer Aufsicht beherrscht werden und stellt keinesfalls eine Empfehlung dar. Solche energiereichen Strahlungsintensitäten werden von den allermeisten Aquarien kaum über eine Gesamtbeleuchtungsdauer von 12 Stunden ertragen, weshalb inkl. aller Dimmphasen ein Zeitraum von 10- max. 11 h sinnvoller ist. Zudem können mögliche Wolkensimulations-Programme in der Lampensteuerung in einer Starklichtumgebung wichtig sein, um eine partielle Entlastung der Photosysteme zu bieten.

An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass es nicht darum geht, das Maximum an Lichtleistung aus einer Aquariumbeleuchtung heraus zu kitzeln, sondern darum, ein farbiges Leistungsniveau zu erreichen, das den individuellen Ansprüchen genügt und gleichzeitig einen symptomfreien Aquariumbetrieb aufrecht erhält. Alle erfolgreichen Aquarianer, die mit experimentellen Lichtbedingungen arbeiten, haben verstanden, dass Spektrum und Intensität immer zusammengehörige Lichtparameter sind, die für das individuelle Aquarium optimal eingestellt werden müssen. Unter Zuhilfenahme einer messtechnischen Intensitätsbestimmung der Photonenflussdichte (PFD) im Aquarium kann auf sinnvolle Art und Weise eine energiereiche, kurzwellige Spektralzusammensetzung etabliert werden, ohne dabei die Gesamtstrahlungsintensität zu hoch anzusetzen. Eine moderate PFD von $300\text{-}400 \mu\text{mol}$ Photonen pro m^2 und sek. in der Beckenmitte ist i.d.R. absolut ausreichend, um eine gute Farbausprägung in SPS-Korallen zu erreichen, während LPS-Korallen in Bodennähe sogar mit $150\text{-}200 \mu\text{M}$ gut ausgelastet sind. Höhere Intensitäten als $400 \mu\text{M}$ müssen ganz individuell beherrscht und für das eigene Aquarium langsam gesteigert und getestet werden.

Angepasste Nähr- und Spurenstoffversorgung für experimentelle Lichtumgebungen

Im Rahmen der Modifikationen am Lichtspektrum treten i.d.R. schnell Veränderungen im Nährstoffhaushalt, im Kalkhaushalt sowie auch im Spurenstoffbereich auf, ganz besonders bei dem sehr dynamischen Parameter Iod. Iod wirkt nicht nur regulatorisch in verschiedenen Stoffwechselwegen, sondern kann auch eine Schutzfunktion gegenüber reaktiven Sauerstoffverbindungen übernehmen, weshalb z.B. Braunalgen teils große Mengen an Iod akkumulieren. Es gilt neben den vielen anderen Meerwasserinhaltsstoffen in der aquaristischen Pflege darauf zu achten, dass der Iodgehalt möglichst konstant hoch bei $60\text{-}70 \mu\text{g/L}$ liegt, und einen Grenzwert von $40 \mu\text{g/L}$ nicht dauerhaft unterschreitet, was idealerweise über ICP-OES Analysen regelmäßig kontrolliert werden sollte.

Besondere Aufmerksamkeit muss dem Nährstoffhaushalt gelten, der nicht nur dem Baustoffwechsel der Korallen die notwendigen Grundbausteine liefert (v.a. Stickstoff und Phosphor), sondern auch über gelöste organische Nährstoffe den Energiestoffwechsel mit schnell verfügbaren Wirkstoffen versorgt, unabhängig von der Produktion von Photosynthese-Assimilaten der Zooxanthellen, die ebenfalls in den Korallenstoffwechsel eingeschleust werden.

Die Produktion von farbigen Chromoproteinen ist, wie bereits an anderer Stelle erläutert wurde, von der ständigen Verfügbarkeit aller relevanter Nährelemente und von energiereichen Nährstoffen abhängig. Bevor mit einer experimentellen Lichtumgebung gearbeitet wird, muss eine entsprechend wirksame Nährstoffversorgung etabliert sein. Das SANGOKAI System bietet mit dem BASIS-System eine Grundversorgung, die auf das gesamte Aquariumsystem abzielt und auch die mikrobiologischen Prozesse ankurbelt und langfristig etabliert. Darüber hinaus bieten das HED SPS-System und das NRG-System (je nach Korallenbesatz) eine Folgeversorgung, die für experimentelle Lichtumgebungen sehr gut geeignet ist, um eine bevorzugt Korallen-spezifische Nährstoffversorgung zu ermöglichen.

Stickstoff und Phosphor (als Phosphat) sind für Wachstum, Regeneration und Reproduktion essentielle Nährelemente, die im Aquariumwasser nicht fehlen dürfen. Hohe Strahlungsintensitäten und v.a. die Kombination mit sehr energiereicher kurzwelliger Strahlung, erhöhen über die Steigerung der Strahlungsschutz-Aktivität in den Korallen, aber auch über die Synthese von farbigen Pigmenten (Chromoproteinen) gleichzeitig auch den Nährstoffbedarf des Riffaquariums. Auf Veränderungen im Nährstoffgehalt bei gleichzeitig steigendem Strahlungsstress muss also versorgungstechnisch reagiert werden. Nicht selten fallen z.B. der Nitrat- und auch der Phosphatgehalt schnell auf ein nicht mehr nachweisbares Niveau, was nicht grundsätzlich bedeutet, dass eine Mangelsituation vorliegt, was aber unter Umständen eine aktive Nährstoffzufuhr im Sinne einer Düngung notwendig macht.

Auch wenn die Chromoproteine der Korallen selbst keine Metalle in ihrer Molekularstruktur enthalten, sind die physiologisch relevanten Spurenmetalle Eisen, Mangan, Molybdän, Zink, Vanadium, Nickel, Kupfer sowie Chrom und Cobalt entweder an der Synthese der Chromoproteine beteiligt, oder sind sekundär in angeschlossenen Stoffwechselwegen aktiv. Daher ist auch die Versorgung des Riffaquariums mit diesen Spurenmetallen essentiell wichtig, was im SANGOKAI System über die Komponente #2 im BASIS, respektive im HED SPS- und NRG-System erfolgt. Ein Defizit an Spurenmetallen kann im kritischen Fall nicht nur schlechte Farbergebnisse hervorrufen, sondern auch irreversible Schäden im und am Korallengewebe hervorrufen.

Alle genannten Aspekte der Riffaquariumversorgung müssen bereits im laufenden Betrieb des Riffaquariums etabliert sein, wenn experimentelle Lichtumgebungen zur Anwendung kommen, und es ist Aufgabe des Anwenders, auf Veränderungen insbesondere im Nährstoffgehalt zu reagieren. Nicht nachweisbare Nähr- oder Spurenwerte in Analysen bedeuten zwar nicht grundsätzlich, dass auch ein Mangel besteht (ein Mangel wäre nur im Aquarium selbst sichtbar, kann aber nicht aus einer Analyse unmittelbar als qualitative Aussage abgeleitet werden), aber es gibt den Hinweis darauf, dass eine Versorgung angepasst und ggf. erhöht werden muss.

Strahlungsstress/Oxidativer Stress

In Bearbeitung

Mondlicht und Nachtbeleuchtung

Simuliertes Mondlicht ist, wenngleich es viele wissenschaftlich belegte regulatorische Effekte des Mondes auf die Natur gibt, nicht unbedingt notwendig und kann bei falscher Anwendung auch gravierende Nachteile haben. Wenn eine Mondlichtsimulation benutzt wird, dann sollte es unbedingt eine sehr schwache weiße Lichtquelle sein, die die Reflektion natürlichen Sonnenlichts durch den Mond auch tatsächlich darstellt. Der Mond strahlt nicht spektral monochromatisch in Blau, sondern reflektiert ein spektral umfänglicheres Licht der Sonne.

Blaue Mondlichter sind allerdings im Handel sehr häufig anzutreffen, weil das menschliche Auge Blaustrahlung weniger gut rezeptieren kann und es uns daher dunkel und im Wohnraum nachts nicht störend, für viele Aquarianer sogar ästhetisch erscheint. In diesem Zusammenhang müssen wir aber berücksichtigen, dass insbesondere die Photosysteme von Algen und zooxanthellaten Korallen ihr rezeptorisches Maximum vor allem im Blaubereich haben, und Blaustrahlung daher als „hell“ wahrnehmen, auch wenn die Intensität relativ niedrig ist. Das bedeutet, dass selbst eine geringe Blauemissionen, die ein Mondlicht abstrahlt, dazu führen kann, dass die Photosysteme von Algen und Zooxanthellen nicht zur Ruhe kommen und dauerbelastet werden. Das kann photophysiologicalen Stress (→ [Strahlungsstress](#)) verursachen, was die Korallenwachstumsrate senken und sogar im Falle von → [Nährstoffmangelsituationen](#) weitaus größere Schäden verursachen kann. Darüber hinaus steigt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Problemen mit Dinoflagellaten (stressbedingt ausgestoßene Zooxanthellen) und Cyanobakterien.

Es gilt daher die Empfehlung, auf ein blaues Mondlicht zu verzichten und wenn überhaupt nur eine schwache Weißlichtquelle als Nachtbeleuchtung zu nutzen. Ein weißes Mondlicht ist für alle Organismen im Riffaquarium schonender und kann dann auch Vorteile haben, um Fische, v.a. Neuzugänge ohne Schlafplatz, aber auch schreckhafte und springfreudige Fische wie einige Grundeln oder Lippfische schonender in die Nachtruhe zu bringen. Es ist ausreichend, die weiße Mondlichtphase auf 1-2 Stunden nach Sonnenuntergang zu beschränken.

Biopellets (Pelletfilter) → [Filterung und Filterkonzepte](#)

Bodengrund

Der Bodengrund ist definitionsgemäß ein Abschluss- oder Abdeckmaterial für den Aquarienboden und erfüllt zunächst vordergründig einen ästhetischen Zweck als Dekorationsmaterial, spielt aber auch für die Pflege bodenlebender Tiere eine wichtige Rolle als deren Lebensraum und stellt daher auch ein eigenes Biotop innerhalb des Riffaquariums dar. Der Begriff sagt jedoch nichts über das Material aus, das zum Einsatz kommen kann. Typischerweise werden im Meerwasseraquarium kalkhaltige Sande (natürlicher aragonitischer Korallensand oder calcitische Sande) verschiedener Körnungen (0,5 - 2 mm) oder auch feiner Korallenbruch (3 - 5 mm) genutzt. Grober Korallenbruch (> 10 mm Korn-/Bruchgröße) kann auch auf den Boden gemörtelt werden, so dass ein steiniger

Aquariengrund, ein sog. Hartsubstrat entsteht, das auch mit Korallen besetzt werden kann. Auch Mischformen aus Sand- und Hartsubstrat innerhalb eines Beckens sind möglich.

Der Bodengrund ist Teil der Gesamtdekorationsoberfläche (siehe → [Gestaltung von Riffaquarien](#)) und ist unabhängig von seiner dekorativen Funktion auch eine biologisch aktive Komponente und hat einen mehr oder weniger großen Einfluss auf das Gesamtaquariensystem und damit auch auf die Aquarienpflege.

Das SANGOKAI System gibt bezüglich des Bodengrundes keine spezifischen Vorgaben, allerdings werden im Weiteren noch einige grundsätzliche Dinge erörtert, die entscheidend dafür sein können, ob sich ein bestimmter Bodengrund positiv oder negativ auf das Gesamtaquariensystem auswirkt. Auch die Erläuterungen zum Sandbettrefugium → [Refugium](#) sind hierbei wichtig.

Der Bodengrund ist als Teil der Aquariengestaltung zunächst eine individuelle Entscheidung des Riffaquarianers hinsichtlich einer ästhetischen Wirkung, die erzeugt werden soll. Darüber hinaus ist ein Bodengrund oftmals Voraussetzung für die Pflege bodennah oder im Boden lebender Organismen (z.B. für sich nachts eingrabende Fische oder höhlenbauende Grundeln oder Krebstiere u.a.). Wer einen Bodengrund einrichten möchte, kann dies also seitens des SANGOKAI Systems gerne und jederzeit tun, solange der Bodengrund gepflegt und kontrolliert wird und auch richtig konzipiert ist.

Wichtig ist jedoch zu wissen, welchen Einfluss ein Bodengrund auf das Riffaquariumsystem ausüben kann, v.a. hinsichtlich der Gesamtdekorationsoberfläche (GDO, siehe → [Gestaltung von Riffaquarien](#)) und der darauf stattfindenden mikrobiellen Aktivität.

Im Folgenden werden die zwei grundsätzlich voneinander unterscheidbaren Bodengrund-Typen näher beschrieben und diskutiert, das Sediment-/Sandbett-System und das Hartsubstrat-System.

Sediment- oder Sandbett-Systeme

Wird Sand oder feinkörniger Korallenbruch als Bodengrundmaterial gewählt, spricht man von einem Sediment- oder Sandbettssystem. Das Sediment bildet innerhalb des Riffaquariums ein eigenes Biotop, das eine typische Organismengemeinschaft aus Sandbewohnern wie Sandschnecken, Würmern, grabenden Seesternen und anderen Tieren, darunter auch eine mitunter enorme Vielzahl von Mikroben und Kleinstlebewesen, beherbergt.

Ein Sandbettssystem erhöht also potentiell die Organismen- und Artenvielfalt im Riffaquarium und steht daher auch im Einklang mit dem Funktionsprinzip des SANGOKAI Systems. Allerdings muss, wie auch bei einem → [Refugium](#), darauf geachtet werden, dass jedes Biotop auch eine Konkurrenz zu den anderen Biotopen, d.h. auch zu den Korallen erzeugen kann, in dem es den Gesamtnährstoffbedarf im Riffaquariumsystem erhöht und in einer → [Nährstoffmangelsituation](#) mitunter äußerst kompetitiv essentielle Nährstoffe aus dem Wasser entfernen kann. Diese stehen dann dem Korallenstoffwechsel im schlechtesten Fall nicht mehr in ausreichender Menge zur Verfügung, was eine irreversible Schädigung der Korallen zur Folge haben kann.

Da der eingebrachte Bodengrund im Riffaquarium über keine Stell- bzw. Regelgröße gesteuert werden kann (wie z.B. im Bypass-Betrieb von Refugien), muss das Sandbettsystem sehr gut geplant und hinsichtlich seiner Wirkung in der aquaristischen Alltagspraxis regelmäßig beobachtet und gepflegt werden.

Es wird aufgrund der komplexen Wirkungen und der mitunter auch negativen Auswirkung eines schlecht konzipierten Bodengrundsystems davon abgeraten, viel und üppig Bodengrund in das Riffaquarium selbst einzubringen. Größere Sandmengen, wie z.B. bei einem DSB-System, sollte nur in einem externen Sandbettrefugium etabliert werden und nie im Hauptaquarium. Das Thema → [Refugium](#) wartet mit der Unterkategorie *Sandbettrefugium* mit sehr vielen weiteren Empfehlungen auf und erläutert die korrekte Planung und Konstruktion eines solchen Refugiums.

Drei allgemeine Parameter, die im Folgenden erörtert werden, sind für die Funktions- und Wirkungsweise eines Sandbettsystems von entscheidender Bedeutung: die **Korngröße**, die **Schichthöhe** (Sandbetthöhe) und die **Strömungsgeschwindigkeit** über dem Sediment.

Korngröße

Je feiner ein Sand ist, desto mehr kann er sich unter einem gegebenen Wasserdruck und durch Auflösungsvorgänge bei niedrigen pH-Werten im Sediment verdichten. Entsprechend der Verdichtung bei feinen Korngrößen ist das wassergefüllte Lückensystem zwischen den Körnern klein. Allerdings gilt, je feiner die Körnung, desto größer ist die Gesamtoberfläche des Sandbettsystems, d.h. auch die biologische Aktivität kann mit zunehmender Siedlungsoberfläche im Sediment ansteigen, was allerdings noch von anderen Faktoren wie dem Nährstoffgehalt und der Materialbeschaffenheit bzw. der Materialoberfläche abhängig ist.

Der Vorteil eines kleinen Lückensystems ist, dass partikuläre Ablagerungen wie Futterreste oder auch abgestorbenes organisches Material nicht so schnell in das Sandbett eindringen und sich darin ablagern können. Sandbettsysteme mit geringeren Korngrößen sind dadurch normalerweise nicht zu stark biologisch aktiv, zumindest nicht, wenn das Sandbettsystem noch relativ jung und unbelastet ist (unter 1,5 – 2 Jahren).

Der Nachteil eines kleinen Lückensystems ist jedoch der nur langsame Wasser- und Gasaustausch und eine damit verbundene Trägheit des Sandbettsystems bei der Gleichgewichtseinstellung mit der über dem Sediment stehenden Wassersäule. Diese Wassersäule ist sauerstoffreich (oxisch), während das Sediment v.a. bei einer hohen organischen Belastung und einer damit verbundenen mikrobiellen Sauerstoffzehrung sauerstoffarm (hypoxisch) und sogar sauerstofffrei (anoxisch) sein kann.

Die jeweiligen Stoffwechselabläufe im Sediment sind dabei sehr unterschiedlich: *aerob* an der sauerstoffhaltigen bzw. sauerstoffexponierten Sedimentoberfläche und *anaerob* im sauerstofffreien Inneren des Sediments. Dadurch bildet sich ein starker Gradient zwischen den beiden Lebensräumen, was bei plötzlichen und starken mechanischen Störungen des Sediments durch Graben, Aufwühlen oder Absaugen mitunter kritische Probleme im Riffaquariumsystem verursachen kann (Freisetzung von Schwefelwasserstoff sowie spontane Redox- und pH-

Sprünge). Die hier dargestellten Szenarien beziehen sich vor allem auf sehr feine Sedimente und Korngrößen im Bereich von 500 µm (0,5 mm) bis ca. 2 mm Körnung.

Je gröber ein Sand ist, desto weniger wahrscheinlich ist die Verdichtung des Sediments. Das Lückensystem wird deutlich größer und nimmt mit steigender Korngröße zu. Das bedeutet, dass sich relativ schnell organische partikuläre Ablagerungen entwickeln können, die durch einen hohen Sauerstoffeintrag über den Wasseraustausch im Lückensystem auch schnell mikrobiell degradiert und mineralisiert werden können. Daraus entstehen nicht selten signifikante Mengen Nitrat und Phosphat, die wieder in die Wassersäule ausgespült werden und sich im Wasser anreichern. Dieses für Riffaquarien aus den 1980er Jahren typische Verhalten entsteht vor allem bei groben Korngrößen (Korallenbruch) zwischen 5 - 15 mm Körnung. Aufgrund dieses negativen Effekts bezüglich der Nitrat- und Phosphatentstehung wird bereits seit den 1990er Jahren, v.a. aber seit der 2000er Jahre auf grobe Körnungen für den Bodengrund verzichtet. Sie werden allenfalls in geringen Mengen hinzugefügt, um z.B. kanalbauenden Alpheiden oder auch Brunnenbauern entsprechendes Baumaterial für Höhlen und unterirdische Gänge zur Verfügung zu stellen.

Schichthöhe (Sandbetthöhe)

Wenn die Korngröße gewissermaßen die erste Dimension eines Sandbettsystems darstellt, dann ist die Schichthöhe die zweite Dimension, die wiederum die mögliche Wirkung der ersten Dimension verstärken oder auch abschwächen kann.

Mit zunehmender Schichthöhe steigt insgesamt die bereits erörterte Gradientenbildung an, v.a. in Bezug auf Nährstoffgehalt und Sauerstoffgehalt. Je tiefer eine Sedimentschicht ist, desto weniger Sauerstoff steht in der Tiefe zur Verfügung, d.h. ein Sediment wird ab einer bestimmten Schichttiefe zunächst hypoxisch (sauerstoffarm) und dann anoxisch (sauerstofffrei), mit hier jeweils mehr oder weniger stark ausgeprägten aeroben und anaeroben Stoffwechselaktivitäten. Da diese Aktivitäten Nährstoffe, wie z.B. organischen Kohlenstoff oder auch organischen Stickstoff benötigen, spielt unabhängig von der Sauerstoffumgebung in der Tiefe auch der Nährstoffeintrag über das Lückensystem eine wichtige Rolle. Ansonsten wird ein Sediment bei einer Unterversorgung mit Nährstoffen biologisch inaktiv.

Da bei feinen Körnungen die Sedimentverdichtung v.a. mit zunehmender Tiefe schneller und wahrscheinlicher eintritt, kann man davon ausgehen, dass eine hohe und feine Sedimentschicht relativ schnell biologisch inaktiv wird. Es macht also wenig Sinn, feine Körnungen sehr hoch zu schichten (> 7-8 cm), weil das eingesetzte Material im unteren Bereich des Sandbetts größtenteils nutzlos ist, und dies nicht nur finanzielle Mittel sondern auch wertvolles Wasservolumen verschwendet, das im Aquariumsystem z.B. als Schwimmraum nützlicher wäre.

Im Gegensatz dazu kann bei groben Körnungen eine biologische Aktivität noch bis tief in das Sediment stattfinden, weil die Sauerstoff- und Nährstoffgradienten länger werden. Im oberen Bereich ist das Sediment bis mehrere cm tief durchgängig oxisch und arbeitet komplett aerob. Darunter entsteht ein ausgeprägter hypoxischer Bereich mit sinkendem Sauerstoffgehalt, der ebenfalls aerobe Stoffwechselaktivität aufweist, ggf. aber schon bestimmte mikrobielle Vorgänge mit hohem Sauerstoffbedarf ausschließt. Unter dieser Schicht folgt dann erst tiefer im Sediment die tatsächlich anoxische Grenzschicht und die anaerobe Zone.

Bekanntermaßen kann unter anaeroben Voraussetzungen auch ein bakterieller Abbau von Nitrat (Denitrifikation) stattfinden. Ein grobes Lückensystem mit einer Nitrat-Produktion im aeroben oberen Bereich kann also auch potentiell einen anaeroben Nitrat-Abbau in den tieferen anoxischen Sedimentschichten nachziehen. Allerdings muss dafür sichergestellt sein, dass nicht nur alle für die Denitrifikation wichtigen Nährstoffe (organischer Kohlenstoff und reduzierter Stickstoff als „Wachstums-Stickstoff“) vorhanden sind, sondern v.a., dass der Transportweg des Wassers auch in Richtung der Sediment-Tiefe geht, und es nicht zu einer Ausspülung des Lückensystems in den oberen Sedimentschichten kommt, wodurch Nitrat zurück in die Wassersäule transportiert werden würde. Genau hier liegt die Schwierigkeit in der Praxis, die Strömungsrichtung im Sediment zu beeinflussen und zu kontrollieren, v.a. bei einem großen Lückensystem mit viel Bewegungsraum für das Wasser. Im Riffaquarium selbst ist die Strömung über dem Sediment durch die eingesetzten Strömungspumpen meistens deutlich zu hoch und v.a. zu turbulent und erzeugt genau diesen negativen Effekt, den es zu vermeiden gilt. Ein solches Sandbett wird also vornehmlich die aerobe Nitrifikation zum Ausdruck bringen und weniger bis kaum eine möglicherweise vom Aquarianer erhoffte denitrifizierende Wirkung haben.

Es ist also wichtig, dass man ein solches Sediment-Konzept mit grober Korngröße und hoher Schichthöhe nur in einem gut kontrollierbaren, strömungsschwachen Bypass-Sandbettrefugium (→ **Refugium**) installiert, und keinesfalls im Hauptbecken.

Ein solches Konzept war bzw. ist (wenngleich in privaten Riffaquarien kaum noch appliziert) das Sandbettsystem nach JEAN JAUBERT aus Frankreich aus den 1980er Jahren, das groben Korallenbruch (10-15 mm Körnung) sehr hoch (20-30 cm) schichtete und darüber einen durchaus effektiven Abbau von Nitrat verzeichnete.

Das **JAUBERT-System** nutzte auch ein für Kontrollzwecke eingesetztes *Plenum* unterhalb des Sandbettes, also eine ca. 2-3 cm hohe Wasserschicht unterhalb des Korallenbruchs, aus dem Wasser zur Probenahme aus einem Steigrohr entnommen werden konnte. Gleichmaßen konnte über dieses Steigrohr auch das gesamte Sedimentsystem mit Sauerstoff gesättigt werden, indem man kontinuierlich Wasser aus dem unten gelegenen *Plenum* absaugte und dadurch sauerstoffreiches Wasser in das Sandbettsystem hinein und durch es hindurch zog. Allerdings war diese Möglichkeiten zur Justierung über das Plenum mehr oder weniger eine Verspieltheit seitens JAUBERT, zumal es teilweise Tage und manchmal Wochen dauerte, bis das JAUBERT-System wieder komplett anaerob denitrifizierend arbeitete. Allerdings bot sich bei einer akuten Stickstoffmangelsituation die spontane Möglichkeit, den biologischen Nitrat-Abbau sofort zu stoppen, um das System nicht kontraproduktiv zu belasten, was bei den damals ständig viel zu hohen Nitratwerten in den Riffaquarien der 1980er Jahre aber nur eher selten der Fall war.

Das JAUBERT-System zeigt beispielhaft eine durchaus funktionstüchtige Variante für die Kombination aus grober Körnung und hoher Schichthöhe, die allerdings nur deshalb funktionierte, weil es im Bypass mit relativ geringer Bestromung betrieben wurde.

Im Hauptbecken dagegen wird eine grobe Körnung und eine dazu kombinierte hohe Schichthöhe fast immer negative Auswirkungen auf das Riffaquariumsystem haben, weil die Turbulenz in den Wassermassen im Bereich der oberen Sedimentschichten immer auch Lückensystemwasser ausspült. Daher wird von dieser Kombination nicht nur für das SANGOKAI System, sondern grundsätzlich abgeraten.

Strömungsgeschwindigkeit über dem Sediment

Der mehrfach angesprochene Eintrag von Sauerstoff und von Nährstoffen in das Sandbettssystem, sowie die Verteilung innerhalb der oberen Sandschichten, hängt maßgeblich davon ab, wie viel Wasser in das Sediment einströmt. Damit das Sandbett soweit vor mechanischen Störungen und Umschichtungen bewahrt bleibt, erfolgt die Bestromung idealerweise laminar, in paralleler Richtung oder in ganz flachem und in Richtung des Sediments abgeschrägtem Winkel. Das führt dazu, dass Wasser in das Sediment aktiv hineingedrückt wird. Eine turbulente und vertikal auf das Sediment wirkende Strömung würde eine Verwirbelung des Sandbetts und eine Verfrachtung von Sandmassen bewirken. Eine solche idealisierte laminare und gleichmäßig parallel gerichtete Bestromung wird im Hauptaquarium allerdings nur schwer möglich sein. In unterschiedlichen Bereichen des Riffaquariums variiert die Strömungsrichtung, die Strömungsgeschwindigkeit, genauso wie die Strömungsart (turbulent, laminar), und zwar sowohl in Abhängigkeit von der übrigen Dekoration sowie der Korallen als Strömungsbrecher, als auch von der Wirkung der jeweils eingesetzten Pumpen selbst. Daher kann ein Bodengrund im Riffaquarium kaum einheitlich funktionieren oder wirken.

Möchte man eine biologische Wirkung über das Sandbettssystem erzielen, muss das Sandbett in einem kontrollierten und definierten Sandbettrefugium → [Refugium](#) untergebracht werden, weil nur hier eine gleichmäßige Strömungsverteilung ohne den Einfluss von Steindekoration und Korallen möglich ist.

Die Strömung ist als Parameter zur Steuerung und damit zur Pflege eines Bodengrundes äußerst wichtig, aber im Hauptbecken wie erläutert sehr schwer zu steuern. Als dritte hier erörterte Dimension, liefert sie dem Sandbettssystem Sauerstoff und Nährstoffe, wirkt aber in Abhängigkeit von den ersten beiden Dimensionen Korngröße und Schichthöhe jeweils sehr unterschiedlich.

Je feiner die Körnung des Sediments ist, desto höher muss die Strömungsgeschwindigkeit über dem Sediment sein, damit der Verdichtung entgegengewirkt und das kleine Lückensystem mit Sauerstoff und Nährstoffen angereichert werden kann. Umgekehrt gilt, je niedriger die Strömungsgeschwindigkeit bei einer feinen Körnung ist, desto wahrscheinlicher und schneller wird das Sediment mit zunehmender Tiefe biologisch inaktiv. Allerdings sind der Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit bei feinen Sedimenten schnell Grenzen gesetzt, weil die Strömung die Sedimentoberfläche abträgt und Sandmassen verfrachtet. Auch dieser Umstand trägt dazu bei, dass schlecht beströmbare, feinkörnige Sandbettssysteme schnell biologisch inaktiv werden und sich Schichthöhen von > 5 cm kaum lohnen und > 7-8 cm schlichtweg für eine biologische Aktivität nutzlos sind.

Im Hauptbecken wird bei starker Beströmung feiner Sand schnell aufgewirbelt und bleibt selten dort liegen, wo der Riffaquarianer ihn gerne hätte. Daher wird empfohlen, die Strömungsausrichtung im Rahmen des → [Strömungskonzepts](#) so zu optimieren, dass die Pumpen eine maximal lange Strömungsverteilung entwickeln können, die sehr lange das Wasser bewegt, bevor sie an einer Scheibe reflektiert und dadurch passiv wird. Ist der Strömungsweg vorher lang, ist die passive Rückströmung entlang des Bodens gleichmäßiger verteilt und weniger turbulent. Natürlich sind größere und v.a. lange rechteckige Riffaquarien diesbezüglich einfacher einzustellen als kleine, vor allem würfelförmige Becken, in denen die Scheiben sich sehr nah gegenüber stehen. Teilweise nutzen manche Riffaquarianer daher auch Mischformen aus Sediment- und Hartsubstrat-Bodengrund.

Je gröber die Körnung und desto größer dadurch auch das Lückensystem im Sediment ist, desto tiefer kann die Strömung in das Sediment eintreten, d.h., desto geringer kann die Strömungsgeschwindigkeit über dem Sediment ausfallen (wobei dadurch auch die Sedimentationsrate steigt, s.u.). Wenn die Strömung über einem solchen Sediment sehr hoch ist, dann muss die Schichthöhe ebenfalls sehr hoch sein, sofern das Sediment dazu dienen soll, auch anaerob zu arbeiten. Ansonsten wird das gesamte Sedimentsystem mit Sauerstoff versorgt und kann dadurch nur aerob verstoffwechseln. Über eine starke Beströmung wird allerdings auch der Effekt der Ausspülung von aerob produziertem Nitrat oder Phosphat begünstigt. Daher soll hier nochmals davor gewarnt werden, grobe Körnungen mit hoher Schichthöhe im Riffaquarium einzusetzen. Eine zu schwache Beströmung führt aber immer dazu, dass sich eine hohe Sedimentationsrate ergibt und sich partikuläres Material im Bodengrund absetzt und das Lückensystem dadurch ungünstig z.B. auch mit organischem Material (Mulm) beladen wird.

Die SANGOKAI Empfehlungen für den Bodengrund leiten sich aus den bis hierhin vorliegenden detaillierten Erörterungen ab. Grundsätzlich wird dazu geraten, im Hauptbecken selbst auf ein komplexes Sandbettsystem (z.B. DSB oder Jaubert) zu verzichten, weil es nicht ausreichend gut kontrolliert werden kann. In diesem Zusammenhang soll die Entstehung eines starken Gradienten zwischen Sediment und der darüber stehenden Wassersäule minimiert werden.

Daher sollte das Sandbettsystem flach ausfallen und komplett mit Sauerstoff gesättigt sein und aerob arbeiten. Ein solches Sandbett ist einfacher zu kontrollieren, weil es nicht so komplex arbeiten kann, und auch schneller und ohne Probleme wieder entfernt oder ausgetauscht werden kann. Die Schichthöhe sollte 1-2 cm betragen, und 2- max. 3 cm nicht überschreiten, sofern keine andere Notwendigkeit besteht, den Sand höher zu schichten (grabende Fische wie z.B. Brunnenbauer, etc.).

Feiner Sand mit ca. 1,5-2 mm Körnung eignet sich nicht nur optisch besser für die Aquariengestaltung, sondern lagert bei einer ausreichenden Gesamtströmung im Becken auch weniger partikuläres Material ein, so dass die aerobe Bildung und Freisetzung von Nitrat oder Phosphat geringer ausgeprägt ist als bei gröberem Material. Feinerer Sand wirkt wiederum zu stark verdichtend und wird auch schneller verwirbelt, daher sind Körnungen < 1 mm wenig praktisch, aber natürlich nicht grundsätzlich verboten. Der Verdichtungsgrad ist aber sehr hoch und kann dazu führen, dass die Feinsedimente verklumpen und zementieren.

Größere Körnungen sollten weitestgehend bei Bedarf nur anteilig und in geringen Mengen eingesetzt werden. Die Schichthöhe für Korallenbruch (Körnungen > 5 mm), wenn er denn unbedingt eingesetzt werden muss, sollte maximal 1 cm hoch sein, um die Ablagerung von partikulären Stoffen so gering wie möglich zu halten. Keinesfalls sollte eine grobe Körnung mit einer hohen Schichthöhe kombiniert werden, was ausführlich erläutert wurde.

Als Material empfiehlt sich für das SANGOKAI System bevorzugt toter aragonitischer Korallensand mit einer Körnung von 1,5 – 2 mm, weniger geeignet calcitischer Sand, der pH-sensitiver ist und schneller zur Anreicherung von Feinabrieb und Mulm neigt und der somit auch nach idealerweise einem Jahr frühzeitig getauscht werden sollte. Die verschiedenen belebten Sandsorten zeigen im praktischen Betrieb nicht selten eine zu hohe biologische Aktivität und können sich mitunter konkurrierend auf das Riffaquariumsystem auswirken und zu viele Nährstoffe umsetzen, die den Korallen dann nicht mehr zur Verfügung stehen. Daher geht die Empfehlung tendenziell eher zu totem Sand, was aber nicht grundsätzlich davon abhalten soll, belebten Sand gleichermaßen erfolgreich zu nutzen. Letztlich ist der Bodengrund, wie im Eingangssatz in diesem Kapitel bereits erläutert, in erster Linie auch Dekorationsmaterial.

Ein Sandbettsystem im Hauptaquarium sollte nicht nur im SANGOKAI System, sondern in jedem Riffaquarium nach 1,5 - 2 Jahren komplett ausgetauscht werden. Im Laufe dieser Zeit reichert es z.B. ausgefällte oder von Adsorbentien abgeriebene Feinstpartikeln an und auch abgestorbenes Zellmaterial von Bodenmikroben oder Häutungen von Krebsen führen nach und nach zu einer Vermulmung. Mit zunehmendem Alter können dann auch Probleme mit Cyanobakterien oder anderen Mikroalgen häufiger werden.

Ein flacher und komplett oxischer Bodengrund kann relativ einfach und zügig abgesaugt und durch neuen ersetzt werden. Allerdings sollte zunächst nur ein kleiner Bereich abgesaugt werden, um zu prüfen, wie die unteren Bodengrundsichten ausschauen und ob das schnelle Absaugen des Bodengrundes potentielle Gefahren für das Riffaquarium birgt. Wenn hier ein Verdacht besteht, sollte der Sand in mehreren Etappen abgesaugt werden, mit einer Pause zwischen den Intervallen von ca. 2-3 Tagen. Nachdem der Bodengrund nach 1-2 Wochen komplett entfernt wurde, kann neues Material in einem Schwung eingebracht werden.

Hartsubstrat-Systeme

Im Gegensatz zu den Sediment-Systemen sind Hartsubstrat-Systeme keine mechanisch beweglichen Systeme. Während sich Sand durch die Strömung oder den Einfluss von z.B. grabenden Organismen bewegen und umschichten kann, ist das Hartsubstrat statisch und verändert sich im Verlauf der aquaristischen Praxis daher so gut wie nicht, wenn man Veränderungen der Oberfläche durch Bewuchs, Abrieb oder Bruch außen vor lässt.

Genau aus diesem Grund wird ein Bodengrund auch als Hartsubstrat eingesetzt, weil viele Riffaquarianer eine sehr strömungsintensive Umgebung schaffen wollen, die Sand unkontrollierbar im Becken verwirbelt und verteilen würde. Es können aber auch ausschließlich gestalterische Gründe vorliegen, z.B. bei der Umsetzung eines Riffaquariumprojekts mit architektonischem

Gestaltungsansatz, das ein Riffdach oder ein Riffplateau nachbilden soll, das auch im natürlichen Korallenriff in der Regel frei von Sedimenten ist.

Das Hartsubstrat kann mehr oder weniger stark strukturiert sein. Einfach gemörtelte Böden sind ganz eben oder zeigen nur ein feineres Relief. Solche unstrukturierten Böden werden oft mit Sand bedeckt, so dass dem Hartsubstrat letztlich nur die Aufgabe zukommt, den Sand etwas besser zu fixieren. Dabei ist je nach Schichthöhe des Sediments der Hartboden biologisch inaktiv, oder entwickelt eine biologische Aktivität, die mehr oder weniger derjenigen der darüber liegenden Sandschicht entspricht.

Andere Hartsubstrat-Böden sind mit Korallensand oder Korallenbruch beklebt bzw. beschichtet, so dass sich nur ein optischer Effekt eines Sandbodens ergibt.

In manchen Gestaltungsprojekten, v.a. bei den genannten Riffplateaus, werden die Hartsubstrate mit verschiedenen großen Steinchen, Steinfragmenten (Brocken) bis hin zu größeren Steinen beklebt, so dass sich ein natürlich aussehendes Gesteinsplateau entwickelt. Hier sind dem Gestalter keine Grenzen gesetzt.

Ein Hartsubstrat-System verhält sich hinsichtlich seiner aquarienbiologischen Wirkung genauso wie die übrige Riffgestaltung, d.h., sie ist immer biologisch aktiv. Da es ein statisches Gestaltungselement ist, kann es von sehr vielen verschiedenen Organismen besiedelt werden. Die Biofilm-Bildung spielt hier eine sehr große Rolle, weil diese sich in Abhängigkeit von der Gesamtdekorationsoberfläche (GDO, vgl. → [Riffaquariengestaltung](#)) mitunter stark auf den Nährstoffbedarf wie auch auf den Mineralstoffbedarf des Beckens auswirkt. Die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von → [Nährstoffmangelsituationen](#), v.a. in der Startphase eines neuen Riffbeckens, ist in Hartsubstrat-Systemen signifikant höher. Wachsende Kalkrotalgen oder andere kalkabscheidende Organismen wie Kalkschwämme steigern auch den Kalkbedarf, was auch eine effektive Methode zur → [Kalkhaushalt-Stabilisierung](#) voraussetzt.

Darüber hinaus hat jede statische Gestaltung auch Einfluss auf die Beströmung, so dass dem → [Strömungskonzept](#) im Zusammenhang mit Hartsubstrat-Systemen eine wichtige Rolle zukommt. Vor allem die bodennahe passive Rückströmung kann bei strukturreichen Böden derart stark verlangsamt und geblockt werden, dass zur Etablierung einer ausreichend hohen Strömungsverteilung und Strömungsleistung im Vergleich zu einem Sandbett-System bei gleicher Gestaltung mehr und/oder leistungsfähigere Pumpen notwendig sind. Das gilt es bei der Planung eines neuen Riffaquariumprojekts zu berücksichtigen.

Ein stark strukturiertes Hartsubstrat-System kann sehr gut mit Korallen oder anderen sessilen Wirbellosen besetzt werden, was auch ein entscheidender Punkt für die Planung eines solchen Bodengrunds sein muss. In der Regel sind die Korallen hier sehr gut sowohl Licht und Strömung exponiert. Allerdings tragen die Korallen mit ihrem Wachstum und ihrer Wuchsform stark zur gestalterischen Wandlung des Hartsubstrats bei, wodurch sich auch das Strömungsmuster bzw. die Strömungsverteilung im Becken insgesamt verändert. Eine regelmäßige Überprüfung des → [Strömungskonzepts](#) ist mind. einmal, besser sogar zwei- bis dreimal im Jahr zwingend

notwendig. Zwischen den Korallen können sehr schnell Strömungslücken entstehen, die über die Zeit auf dem Hartsubstrat Mulm und organische Depots ansammeln. Dieser Mulm- und Depotbildung muss nicht nur durch eine abwechslungsreiche und starke Strömung entgegengewirkt werden, sondern es sollte in regelmäßigen Abständen aktiv abgesaugt und ggf. auch mit einer separaten Pumpe „ausgeblasen“ werden, weil das Hartsubstrat im Gegensatz zu einem Sediment nicht aus dem laufenden Aquarium entfernt und erneuert werden kann. Eine Depotbildung gilt es unbedingt zu verhindern. Hier liegt der größte Nachteil eines Hartsubstrats, wenn es schlecht beströmt wird und zudem nicht regelmäßig abgesaugt bzw. aktiv mit einer Pumpe von Mulm und Ablagerungen befreit wird. Eine Einlagerung von organischem Material kann einerseits dazu führen, dass Nitrat oder Phosphat an das Wasser abgegeben werden, und, was i.d.R. für den Pfleger weitaus unerfreulicher ist, es kann dauerhaft von Cyanobakterien und Algen besiedelt werden, die man auch nicht durch allgemeine Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität kontrollieren kann. Die Entscheidung für ein Hartsubstrat sollte also immer erst nach gründlicher Überlegung und ausreichender Planung getroffen werden.

Wird das Hartsubstrat nicht mit Korallen besetzt, kann es sehr schwer kontrollierbar sein, weil sich unter bestimmten Umgebungsbedingungen auch andere unerwünschte Organismen, z.B. Fadenalgen oder Cyanobakterien ansiedeln. Starkes Licht und ein hoher Nährstoffgehalt tragen stark dazu bei, dass ein solches Becken im Bodenbereich veralgt. Daher sollte das Hartsubstrat-System nicht nur aus gestalterischer/architektonischer Sicht sinnvoll geplant werden, sondern v.a. auch hinsichtlich der Besiedlung mit Korallen oder anderen gewünschten Organismen, die eine Raum- und Nährstoffkonkurrenz und damit eine ökologische Kompetitivität erzeugen.

Im SANGOKAI System ist jede → [Riffaquariengestaltung](#) recht, solange sie sinnvoll und gründlich geplant, gut durchgeführt und langfristig gepflegt wird. Daher ist auch das Hartsubstrat-System für SANGOKAI Riffaquarien eine durchaus interessante Gestaltungsart für den Bodengrund. Aber es gelten die hier erläuterten Hinweise bezüglich der bei Hartsubstrat-Systemen bestehenden höheren Anforderungen hinsichtlich Mineralstoff- und Nährstoffversorgung sowie bezüglich des Strömungskonzepts und der mögliche kritische Nachteil bei einer Depotbildung durch mangelhafte Pflege.

Betrieb eines Riffaquariums ohne Bodengrund („bare-bottom“)

IN BEARBEITUNG

-C-

Calciumgehalt

Der Gehalt an gelösten Calcium-Ionen im Meerwasser ist in der riffaquaristischen Praxis ein äußerst dynamischer Parameter, weil Calcium sowohl biogen durch den Aufbau von Skelettmaterial von Korallen und Muscheln verbraucht wird, als auch chemisch ausgefällt werden kann, z.B. durch eine zu hohe → [Karbonathärte](#) oder durch einen zu hohen pH-Wert.

Der Calciumgehalt kann mit handelsüblichen Titrationstests oder auch in ausgewiesenen Meerwasser-Analytik-Laboratorien bestimmt werden und sollte regelmäßig - für Einsteiger und wenig erfahrene Riffaquarianer mindestens einmal pro Woche - überprüft werden.

Der Calciumgehalt (Ca-Gehalt) sollte bei einer anzustrebenden Salinität von 35 psu (practical salinity unit/ bzw. g/kg oder Promille, Dichte ca. 1,0235 g/cm³ bei 25°C) zwischen 415-425 mg/L liegen. Höher als 430 mg/L sollte der Calciumgehalt nicht ansteigen, um die Wahrscheinlichkeit für die chemische Fällungen von Carbonaten (d.h. für die Absenkung der Karbonathärte) nicht zu erhöhen. Der Ca-Gehalt sollte auch nicht unter 400 mg/L sinken, um eine ausreichend gute Verfügbarkeit für biogene Verbrauchsmechanismen (z.B. Steinkorallen- oder Kalkrotalgenwachstum) aufrecht zu erhalten. Es bestehen mehrere Möglichkeiten zur Erhöhung und Stabilisierung des Calciumgehalts im Rahmen der → [Kalkhaushalt-Stabilisierung](#), die vom Riffaquarianer erlernt und im riffaquaristischen Alltag beherrscht werden müssen.

Besteht ein Defizit im Calciumgehalt, muss dieses Defizit schnellstmöglich ausgeglichen werden. Empfehlungen oder Hinweise darauf, dass dies nur etappenweise über einen bestimmten Zeitraum von mehreren Tagen verteilt zu tun ist, sind nicht sinnvoll und können dazu führen, dass ein kritisches Defizit gar nicht rechtzeitig ausgeglichen werden kann. Hierbei ist lediglich wichtig zu verstehen, dass der einmalige Ausgleich eines großen Defizits die Wahrscheinlichkeit dafür erhöht, dass die Karbonathärte absinkt. Es ist also notwendig, nach der Anpassung des Calciumgehalts die → [Karbonathärte](#) zu überprüfen und diese ggf. wieder anzugleichen. Ein Calciumdefizit sollte also innerhalb von 12-24 h vollständig ausgeglichen sein, dabei sind Einzeldosierungen z.B. von 10-20 mg/L pro 2 Stunden unproblematisch.

Cyanobakterien **IN BEARBEITUNG**

-D-

Dinoflagellaten (als Plage und als Zooxanthellen)

Dinoflagellaten sind einzellige Mikroalgen, die sich dadurch auszeichnen, dass Sie zwei sog. Flagellen (Geißeln) besitzen, mit denen sie sich aktiv fortbewegen können. Bekannt sind Dinoflagellaten bei Riffaquarianern vor allem als extrem schwer zu kontrollierende Plage (oft im Aquaristikjargon als „Braune Pest“ bezeichnet). Im Gegensatz zu den im Habitus ähnlich aussehenden, aber weniger problematischen mattenbildenden braunen Kieselalgen (veraltet „Diatomeen“), können Dinoflagellaten weitaus aggressiver sein und breiten sich auch auf gesunden und lebenden Biofilmen und im Extremfall sogar auf lebenden Korallen aus und können dabei großen Schaden anrichten.

Viele Dinoflagellaten sind nicht nur (wie für Pflanzen typisch) photosynthetisch aktiv (*autotroph*), sondern können auch auf eine räuberische Ernährungsweise umschalten, bei der sie sich von

anderen Einzellern und Mikroben (heterotroph) ernähren. Man bezeichnet solche Dinoflagellaten als mixotroph, d.h. sie können sowohl autotroph, wie auch heterotroph in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen leben.

Jedes tropische Korallenriffaquarium beherbergt Dinoflagellaten in Form von Zooxanthellen, die innerhalb der symbiontischen (zooxanthellaten) Korallen im Gewebe Photosynthese treiben und weitestgehend von den Korallen reguliert sind. Problematisch können diese Zooxanthellen aber v.a. dann werden, wenn ihre Wirtspartner sie ausstoßen und an die Umgebung, also das Riffaquarium, abgeben.

Es ist wissenschaftlich nachgewiesen, dass sich ausgestoßene Zooxanthellen je nach genetischer Konstitution nach kurzer Akklimatisationsphase, in der sie sich dann auch wieder begeißeln und die typisch oval-kugelige Form und „Autoscooter“-ähnliche Schwimmweise annehmen (in der Koralle sind sie nicht begeißelt und kreisrund), neben ihrer photosynthetischen Aktivität auch in heterotropher Lebensweise ausserhalb des Wirtes ernähren und vermehren können. Genau in dieser sonderlichen Fähigkeit ist die Problemursache für die meisten Dinoflagellaten-Plagen zu suchen.

Mit dieser, im Folgenden näher diskutierten Diagnostik in der Hinterhand, bietet sich aber auch die Grundlage für eine langfristig erfolgreiche Verdrängung und Problemlösung, die primär darauf abzielen muss, die Korallengesundheit zu fördern. Im Weiteren sollen die hier relevanten Aspekte erörtert werden.

Beleuchtung als primäre Ursache für Dinoflagellaten-Plagen

Das Ausschleusen von Zooxanthellen aus dem Korallengewebe ist oft die Folge von Strahlungsstress. Versagen in einer zu strahlungsintensiven Umgebung die Abwehrmechanismen gegen Strahlungsstress (sowohl in den Zooxanthellen, als auch in den Korallen, die z.B. durch farbige Chromoproteine sich und ihre Zooxanthellen zu schützen versuchen (→ **fluoreszierende Pigmente**), dann überlastet die photosynthetisch absorbierte Strahlungsenergie die Photosysteme der Zooxanthellen. Da die Photosynthese sehr viel Sauerstoff produziert, kann die absorbierte Energie auf Sauerstoff übertragen werden, wodurch gefährliche reaktive Sauerstoffverbindungen entstehen können. Diesen Zustand nennt man oxidativen Stress.

Auch gegen oxidativen Stress haben Zooxanthellen, v.a. aber auch die Korallen entsprechende Schutzmechanismen entwickelt, um reaktive Sauerstoffverbindungen zu neutralisieren (zu „quenchen“). Aber insbesondere lang anhaltender, d.h. chronischer Strahlungsstress (durch eine falsche Beleuchtungseinstellung) führt dazu, dass auch diese Abwehrmechanismen irgendwann den Stresszustand unzureichend kontrollieren und die reaktiven Sauerstoffverbindungen nicht mehr kompensieren können.

Wird eine solche kritische Situation erreicht, entleert die Koralle ihr Gewebe mehr oder weniger stark von den Zooxanthellen, damit sich die in den Algen angesammelten gefährlichen reaktiven Sauerstoffverbindungen nicht in das Korallengewebe freisetzen und die Koralle schädigen können. Dadurch verliert die Koralle zwar ihren nahrungsproduzierenden Partner, bzw. einen Großteil davon, aber diese Entleerung, die man bei sehr starkem oder fast vollständigem Verlust auch als

Korallenbleiche (engl. „coral bleaching“) bezeichnet, wird im akuten Zustand in Kauf genommen, um durch die gefährlichen reaktiven Sauerstoffverbindungen nicht selbst in größere Mitleidenschaft gezogen zu werden.

An dieser Stelle müssen wir festhalten, dass die Zooxanthellen im Korallengewebe extrem stark durch die Koralle reguliert sind, d.h., dass sie nicht auf ihre volle metabolische Leistungsfähigkeit zurückgreifen können und dadurch auch nicht über ein vergleichbares Potential für Wachstum und Zellteilung verfügen, wie in einem frei lebenden Zustand ausserhalb des Wirtes. Während viele ausgestoßene Zooxanthellen vermutlich tatsächlich früher oder später absterben, können sich einige Zooxanthellen aber auch ausserhalb ihres Wirtes eigenständig entwickeln und sich dabei vor allem ganz anders verhalten.

Besteht also in einem Riffaquarium ein Problem mit einer Dinoflagellaten-Plage, dann muss in erster Linie die Beleuchtung geprüft werden, und zwar hinsichtlich eines zu hohen → [Blauanteils in der Beleuchtung](#). Hohe Strahlungsdosen v.a. im Bereich von UV (< 385 nm) und des UV-nahen violetten Lichts zwischen 385-420 nm, bei übertrieben hohem Anteil an royal-blauen LEDs bei ca. 430-440 nm, sowie durch zu viele anteilig blaue oder sogar aktinische T5-Röhren, können zu Strahlungsstress führen. Ein chronischer Strahlungsstresszustand begünstigt das Ausschleusen von Zooxanthellen und muss daher als primäre Quelle für die Entstehung von Dinoflagellaten-Plagen diskutiert werden.

Leider werden im Bereich der Beleuchtung von Riffaquarien oft wesentliche photobiologische Zusammenhänge nicht verstanden oder falsch interpretiert. In vielen Lampen ist insbesondere der Anteil kurzwelliger Violett- und Blaustrahlung zwischen 400 - 430 nm zu hoch eingestellt, weil angenommen wird, dass dadurch vor allem die Chlorophylle in den Zooxanthellen optimal angeregt und damit eine optimale Leistungsfähigkeit der Photosynthese erreicht werden kann. Dinoflagellaten, also auch die Zooxanthellen, verfügen jedoch über ein für sie spezifisches Photosynthesepigment, dem Peridinin, das sich in den Photosystemen zusammen mit Chlorophyll a und Chlorophyll c zu sogenannten Peridinin-Chlorophyll-Protein Komplexen (PCP-Komplexe) formiert. Dadurch verschiebt sich die photosynthetische Strahlungsabsorption in den langwelligen Blaubereich zwischen 460 - 480 nm. Genau dies wird leider v.a. im LED-Sektor, aber auch im Bereich der T5-Lampen oft wenig berücksichtigt. Stattdessen werden die kurzwelligeren und damit energiereicheren Wellenlängen im Bereich von 390 - 430 nm emittiert, die teilweise zu energiereich sind, was die Wahrscheinlichkeit für Strahlungsstress ohne direkten photosynthetischen Nutzen erhöht und damit auch die Dinoflagellaten-Plagen statistisch signifikant häufiger auftreten lässt als vergleichsweise zu Zeiten von HQI-Lampen und T8-Röhren.

Blaustrahlung ist in der Tat wichtig für das Korallenwachstum, allerdings nur in geeigneter Dosierung (Strahlungsintensität) und v.a. auch in einem sinnvollen Wellenlängenbereich, der sich in Anlehnung an die spezielle Pigmentgarnitur der Zooxanthellen auch deutlich in Richtung 460-480 nm bewegen sollte. Eine reine Chlorophyll-Anregung macht für zooxanthellate Korallen wenig Sinn. Starkes Licht führt nicht grundsätzlich zu besserem Wachstum oder einer besseren

Farbausbildung, sondern nur im Rahmen der physiologischen Wirksamkeit der Strahlung. Wird dieses physiologische Maß überschritten, das für jede Koralle unterschiedlich hoch sein kann und auch in Abhängigkeit des jeweiligen Standorts betrachtet werden muss, wirkt Strahlung potentiell stressend oder sogar irreversibel schädigend.

Der Anteil an UV-nahen violetten LEDs sollte im Falle einer Dinoflagellaten-Problematik komplett auf Null gesetzt werden, und royal blaue LEDs sollten immer in ca. 20% geringerer anteiliger Mischung zu den langwelligeren blauen LEDs gefahren werden.

Allerdings ist die Beleuchtung nur der erste und initiale Parameter, der bei Problemen mit Dinoflagellaten Relevanz hat. Hinzu kommt i.d.R. auch eine Nährstoffmangelsituation, die im Folgenden diskutiert werden soll.

Nährstoffmangel als zweite Ursache für Dinoflagellaten-Plagen

Eingangs wurde auf das mixotrophe Ernährungsspektrum vieler Dinoflagellaten hingewiesen und erörtert, dass ausgestoßene Zooxanthellen nach Verlassen ihrer Wirtskoralle neben ihrer photosynthetischen Aktivität auch die räuberische Ernährungsweise verfolgen können.

Strahlungsgestresste Korallen, aber auch andere Organismen im Riffaquarium, die sich vor Strahlungsstress schützen müssen, zeigen aufgrund ihres höheren Leistungspotentials in der Stressabwehr auch einen höheren Nährstoffbedarf. Die im Wasser zur Verfügung stehenden Nährstoffe werden daher nicht in Korallenwachstum investiert, sondern leisten ihren Wirkungsanteil bevorzugt in der Stressabwehr. Weniger stark wachsende oder gar wachstumsstagnierte Korallen sind wiederum auch nicht so konkurrenzstark gegenüber anderen Organismen, die unter den gegebenen Umweltbedingungen besser zurecht kommen.

Sehr häufig ist im Falle von Dinoflagellaten-Plagen der Phosphatgehalt nicht messbar. Wenngleich Phosphat als Pflanzennährstoff für das Wachstum von Algen im Allgemeinen einen hohen Stellenwert hat, scheinen die Dinoflagellaten davon unabhängig zu sein. Es wird oft argumentiert, dass die stark wachsenden Dinoflagellaten Populationen selbst den gesamten im Wasser zur Verfügung stehenden Phosphatgehalt aufbrauchen würden und deshalb Phosphat nicht nachweisbar ist. Diese Argumentation ist aber physiologisch unsinnig, weil bei sich verschlechternder Phosphat-Verfügbarkeit auch das Dinoflagellaten-Wachstum irgendwann verlangsamten müsste, was aber genau nicht der Fall ist.

Es ist also zunächst wichtig festzuhalten, dass die Dinoflagellaten offensichtlich eine andere Phosphat-Rekrutierungsmöglichkeit besitzen als z.B. Korallen und von dem gelösten Phosphatgehalt im Wasser weitestgehend unabhängig sind.

An dieser Stelle steht das genannte mixotrophe Ernährungs-Verhalten im Fokus. Wenn sich die Dinoflagellaten durch das aktive Fressen anderer Einzeller (z.B. Bakterien) von einer alternativen Phosphatquelle zehren können, dann sind Sie im Gegensatz zu den Korallen dazu in der Lage, ein sehr starkes Konkurrenzverhalten zu entwickeln. Die alternative Rekrutierung von Nährstoffen über

die mixotrophe Lebensweise erlaubt den Dinoflagellaten dann auch eine hohe Photosyntheseleistung, trotz einer wie oben erörtert potentiell strahlungsstressigen Lichtumgebung, die wir ursprünglich als erste Ursache für die allgemeine Schwächung von Korallen und das Ausstoßen von Zooxanthellen betrachtet haben.

Zur Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit empfiehlt es sich, den → [Abschäumer](#) sehr trocken einzustellen und das → [effektive Durchflussvolumen](#) auf das 1 - 1,5-fache des Nettobeckenvolumens pro Stunde zu drosseln, um die Verweilzeit für Nährstoffe im Becken zu verlängern und um die Aktivität des Abschäumers zu senken. Auch auf den Einsatz von Adsorbentien oder von Zeolith sollte in dieser Zeit abgesehen und im System befindliches Material schnellstmöglich aber kontrolliert entfernt werden. Auf Wasserwechsel sollte ebenfalls verzichtet werden, sofern keine dringende andere Indikation für einen Wasserwechsel besteht, um den Nährstoffgehalt nicht unnötig zu verringern.

Die hier vorgestellte und erörterte Konstellation aus zu strahlungsstressiger Lichtumgebung und einer daran gekoppelten Nährstoffmangel-Situation mit geschwächten und damit wenig konkurrenzstarken Korallen ist erfahrungsgemäß die Hauptursache für langanhaltende Dinoflagellaten-Plagen. Die genannten praktischen Maßnahmen zur Verbesserung der Licht- und Nährstoffumgebung sollten die Grundlage für eine langfristige Verbesserung schaffen. Von anderen, vielmehr aus der Verzweiflung als aus einer sinnvollen diagnostischen Aufarbeitung der Symptome entstammenden Maßnahmen, wie z.B. dem Abdunkeln von Riffaquarien (was die Korallen und andere Bewohner wie auch photosynthetisch aktive Biofilme noch weiter schwächt), der Dosierung chemischer Mittel und selbst von der Dosierung lebender Bakterien-Präparate (was zusätzliches Futter für die Dinoflagellaten sein kann), sollte im SANGOKAI System unbedingt Abstand genommen werden.

DSB/Deep Sand Bed (Tiefsandbett) → [Bodengrund](#) → [Refugium](#)

-E-

Einfahrphase → [Start von Riffaquarien \(Startphase\)](#)

Eiweißabschäumer → [Filterung und Filterkonzepte](#)

-F-

Filterung und Filterkonzepte

Förder-/Filterpumpen und effektives Durchfluss-Volumen

Das effektive Durchfluss-Volumen (eDfV) ist das von einer Förderpumpe (oder mehrerer) durch ein Aquariensystem tatsächlich transportierte Wasservolumen, das pro Stunde innerhalb der Hauptaquarienanlage und dem Filterabteil/Technikbecken zirkuliert. Es ist damit der bestimmende

Faktor für die Auslastung und Effizienz der installierten Filtereinheit(en). Es unterscheidet sich oftmals von den seitens der Pumpenhersteller angegebenen Kennzahlen oder von Angaben in technischen Leistungsdiagrammen. Die Gründe dafür liegen hauptsächlich am zunehmenden Grad der Verschmutzung sowie der Abnutzung bzw. dem Verschleiss der Pumpenbauteile im Laufe ihrer Betriebszeit, an der Steighöhe und der Länge des Förderweges zwischen der Druckseite der Pumpe und dem Wasserauslass und dem dabei bestehenden Wandungswiderstand, den Schläuche und Rohre sowie Rohr-Verbindungen („Fittings“) erzeugen. Weitere Störfaktoren sind mechanische Blockaden im Bereich der Ansaugseite und/oder der Druckseite, Ablagerungen und Aufwuchs in Rohren und Schläuchen, sowie eine inkorrekte Pumpeninstallation (z.B. Reduktion des Rohrdurchmessers in der Druckleitung), die das nominell vom Hersteller angegebene Fördervolumen praktisch senkt. Abschliessend sind Bypass-Verrohrungen zu externen Becken (Ablegerbecken, Refugien), Durchflusskühler oder Filtereinheiten (z.B. Fließbettfilter) zusätzlich zu nennen. Es ist daher nicht selten, dass das eDfV aus der Summe der genannten Gründe durchaus gravierend von dem nominellen Fördervolumen, das der Aquarianer als korrekt annimmt, abweicht, woraus sich eine mangelhafte Filterleistung und infolgedessen Probleme mit dem Aquariensystem ergeben können, die so lange unbemerkt bleiben, bis das eDfV bestimmt wird oder ein Fehler bzw. eine starke Verschmutzung bei der Wartung/Reinigung auffällt.

Zur Bestimmung des effektiven Durchfluss-Volumens (eDfV) eignet sich ein Durchflussmengenmesser, der als Bauteil für größere Anlagen im Fachhandel erhältlich ist, oder auch für kleinere Anlagen als DIY-Variante z.B. mit Wasserzählern aus dem Gartenbereich (pers. Mitteil. Udo Richter) gebaut werden kann. Alternativ kann das eDfV auch händisch ausgelitert werden, indem man das rücklaufende Wasser aus dem Hauptbecken eine festgelegte Zeit lang in einem geeigneten Behälter auffängt und dann das in dieser Zeit aufgefangene Wasservolumen bestimmt, das dann auf das eDfV pro Stunde hochrechnet wird. Es kann auch ein festgelegtes Volumen aufgefangen werden und die dafür notwendige Zeit erfasst werden, um wiederum auf das eDfV pro Stunde hochzurechnen. Beide Varianten sind möglich und ergeben bei korrekter Bestimmung das gleiche Resultat. Je länger Wasser aufgefangen wird, bzw. je länger die festgelegte Zeit dafür ist, desto präziser wird das hochgerechnete Messergebnis. Allerdings sind die Möglichkeiten dazu häufig durch räumliche Begebenheiten oder durch einen nur knapp zur Verfügung stehenden Wasservorrat im Technikbecken begrenzt.

Als effektives Durchfluss-Volumen (eDfV) empfiehlt sich im allgemeinen das Zweifache - bis Dreifache des Gesamtnettovolumens (GNV) der zu betreibenden Riffaquarienanlage pro Stunde, um das Technikbecken bzw. die dort installierte Filtertechnik in seiner Leistungsfähigkeit optimal auszulasten. Das entspricht z.B. in etwa dem Wasservolumen, das ein sinnvoll dimensionierter Eiweißabschäumer pro Zeiteinheit ansaugen kann. Ein 1000 L Becken sollte also ein eDfV von mindestens 2000 L/h bis 3000 L/h (L/h = Liter pro Stunde) aufweisen. Einige kommerzielle Aquarien-/Versorgungssysteme arbeiten mit höheren effektiven Durchfluss-Volumina, die entsprechend der Funktionalität der jeweiligen Methode auch angewendet werden müssen und daher den hier empfohlenen Angaben nicht folgen.

Wird das effektive Durchfluss-Volumen (eDfV) auf über das Zwei- bis Dreifache des Gesamtnettovolumens pro Stunde erhöht, geht der Differenzbetrag, der nicht von der Filtertechnik angesaugt bzw. verarbeitet werden kann, wieder ungefiltert zurück ins Hauptbecken und erzeugt zunächst einmal höhere Neben-/Betriebskosten ohne unmittelbaren filtertechnischen Nutzen.

Während die Betriebspumpe eines Eiweißabschäumers, oder auch ein Fließbettfilter mitsamt seinem Filtermedium nur ein bestimmtes maximales Wasservolumen pro Stunde ansaugen, respektive verarbeiten kann, gilt für eine mechanische Filterung, dass die Filterleistung theoretisch uneingeschränkt linear und proportional zum eDfV steigt, sofern das gesamte transportierte Wasser durch die mechanische Filterung fließt und der mechanische Filter ausreichend Kapazität für ein hohes eDfV besitzt. Einfacher formuliert, je mehr Wasser pro Zeiteinheit durch den mechanischen Filter fließt, desto schneller wird das Gesamtwasservolumen von filterbaren Partikeln befreit. Der mittlerweile sehr populäre → [Rollvliesfilter](#), der nur eine kurze Kontaktzeit und nur eine kleine Kontaktfläche zwischen beladenem Filtermaterial und dem Aquarienwasser ermöglicht und somit weitestgehend biologisch inaktiv bleibt, kann je nach Größe und Modell mit variablen Durchflussvolumina betrieben werden, die in den Herstellerangaben konkret angegeben sind und die bei Bedarf auch ein höheres eDfV als das hier empfohlene 2-3fache ermöglichen.

Eine weitere sinnvolle Erhöhung des effektiven Durchfluss-Volumens (eDfV) über das allgemein empfohlene Zwei- bis Dreifache pro Stunde hinaus, ergibt sich für vollständig in Technikbecken integrierte Refugien/Kompensationsbiotope, wenn diese in ihrer Wirkung möglichst stark zur Ausprägung kommen sollen. Wenn man ein → [Refugium](#) im wörtlichen Sinne als Ausgangsort für dort ungestört wachsende und sich vermehrende Organismen betrachtet, dann sind hinsichtlich der Ausschwemmung von Fortpflanzungs- und Larvenstadien, ggf. auch von gewünschten Stoffwechselprodukten (z.B. organische Nährstoffe, Hormone, Lockstoffe) in das Hauptbecken höhere eDfV sehr nützlich, wenngleich natürlich auch energetisch aufwändiger (v.a. Stromverbrauch). Ähnliches gilt für ein → [Kompensationsbiotop](#), wenn es darum geht, überschüssige Nähr- und Schadstoffe in z.B. Algenbiomasse umzuwandeln. Hier zeigt sich, allerdings nur bis zu einem gewissen Grad, dass eine wachsende Algengemeinschaft von der Bereitstellung der überschüssigen Nährstoffe abhängig ist und dafür ein höheres eDfV als das Dreifache benötigt wird, z.B. bis zu einem fünffachen eDfV.

Gleichzeitig kann sich jedoch ein überdimensioniertes Kompensationsbiotop ökologisch zu dominant verhalten, was sich kontraproduktiv z.B. auf Korallen auswirken kann, zum einen, weil es als Konkurrent im Rahmen der allgemeinen Nährstoffverfügbarkeit auftritt, zum anderen aber auch durch die Ausschwemmung potentiell schädigender oder wachstumshemmender biochemischer Stoffe (sog. sekundäre Metabolite) aus dem Algen- oder Bakterienstoffwechsel. Aus diesem Grund empfiehlt sich ein Bypass-Betrieb für Refugien und Kompensationsbiotope und eine elektronische Leistungsregelung für Förderpumpen, um im individuellen Bedarfsfall das eDfV modulieren zu können.

An dieser Stelle sei abschliessend auf die kritische Bedeutung eines übertrieben hohen effektiven Durchflussvolumens (eDfV) bei der Anwendung adoptiver Filtermethoden, wie z.B. der → [Pelletfilterung](#) hingewiesen, was auch unter dem Stichwort → [Technikbecken und Technik-](#)

Kompartimente thematisiert wird. Hierbei sollte das eDfV das jeweilige Ansaugvolumen z.B. des Abschäumers idealerweise nicht überschreiten, damit es nicht zur Freisetzung von potentiell schädlichem Abrieb (z.B. Pelletbakterien oder Kohlenstoffpartikel) ins Hauptbecken kommt. In geringem Maße kann dieser Effekt gewünscht sein, allerdings darf es nicht zu einer Überfrachtung des Hauptaquariums mit Abriebpartikeln kommen (Depotbildung in der Gestaltung).

Es gibt Aquariensysteme und Hersteller, die von der hier genannten Empfehlung abweichen und eigene Argumentationen erörtern, warum das effektive Durchflussvolumen einen bestimmten Soll-Wert haben sollte. Im SANGOKAI System ist das Zwei- bis Dreifache des Gesamtnettovolumens pro Stunde i.d.R. ausreichend und kann bei der Beckenplanung soweit als Vorgabe genutzt werden.

Relevant wird das effektive Durchflussvolumen (eDfV) auch im Falle einer akuten → Nährstoffmangelsituation, wenn es gilt, die Verweilzeit für Nährstoffe im Aquarium zu verlängern und gleichzeitig die Filtereffizienz zu reduzieren. Hier kann das eDfV auf das 1,5-fache des Beckennettovolumens pro Stunde begrenzt werden. Dadurch wird nicht nur die Nährstoffverfügbarkeit im Hauptbecken durch eine längere Verweilzeit verbessert, sondern auch die Leistungsfähigkeit der Filtertechnik, z.B. der Abschäumung, gedrosselt, was im Sinne der Nährstofferhaltung im Wasser in einem solchen Fall sinnvoll ist. Allerdings kann eine Senkung des eDfVs dann von Nachteil sein, wenn gleichzeitig ein potentiell kritischer Schadstoffgehalt im Wasser vorliegt, der zwingend filtertechnisch kontrolliert werden muss (z.B. über Adsorber, Aktivkohle, etc.), was entsprechend nicht nur die Verweilzeit für Nährstoffe, sondern auch für die Schadstoffe verlängert. Es muss also in einem solchen Fall individuell überprüft werden, ob eine Senkung des eDfV grundsätzlich möglich ist.

Das effektive Durchflussvolumen ist also hinsichtlich des Nährstoffgehalts bzw. der allgemeinen Nährstoffverfügbarkeit und der Wirkung von Refugien und Kompensationsbiotope ein dynamischer Parameter, was wiederum bedeutet, dass eine Förderpumpe auch als dynamische Technikkomponente verstanden werden muss. Eine Förderpumpe sollte also idealerweise regelbar sein, um in Abhängigkeit von der allgemeinen Nährstoffverfügbarkeit dynamisch und angemessen in ihrer Leistungsfähigkeit moduliert zu werden.

In keinem Fall sollte das effektive Durchfluss-Volumen kleiner sein als das 1 - 1,5-fache des Beckennettovolumens, v.a. um auch einen ausreichenden Gasaustausch und ein Mindestmaß an Filterwirkung zu gewährleisten.

Eiweißabschäumer (engl. protein skimmer)

Der Eiweißabschäumer bzw. die Eiweißabschäumung ist die Filtermethode Nummer Eins in der Meerwasseraquaristik und sollte auch im SANGOKAI System angewendet werden. Ein Riffaquarium dauerhaft ohne Eiweißabschäumung zu betreiben, z.B. wegen Platzmangels in kleinen Nanoriffaquarien, ist zwar möglich, allerdings steigt dabei je nach Besatz die organische Belastung des Wassers, der Trübstoffgehalt und auch die Keimzahl kann vergleichsweise höher sein als in abgeschäumten Riffaquarien. Da es funktionell und qualitativ zur Eiweißabschäumung

keine alternative technische Filtermethode gibt, müssen solche Riffaquarien mit einer deutlich höheren Wasserwechsel-Intensität und mit kürzeren Wasserwechsel-Intervallen betrieben werden, damit sich keine Akkumulation hemmender oder gar schädigender Substanzen ergibt (eine generelle Empfehlung ist schwer zu formulieren, es sollten mindestens 15-20% idealerweise einmal die Woche gewechselt werden, je nach individueller Belastung auch deutlich höher bis zu 50%). Darüber hinaus gilt ohne Abschäumer eine größere Aufmerksamkeit für den Gasaustausch, der in diesem Falle nur über die Wasseroberfläche und, falls vorhanden, den Überlaufschacht stattfinden kann. Die genannten Nachteile können sich auf die Pflege empfindlicher Korallen auswirken. Im SANGOKAI System wird grundsätzlich zur Eiweißabschäumung geraten.

Allerdings gelten auch äußerst wichtige Anforderungen an die Leistungsfähigkeit und Dimensionierung der Eiweißabschäumung, die im Folgenden ausführlicher erörtert werden sollen.

Ein Eiweißabschäumer soll überschüssiges und nicht verbrauchtes Material entfernen, aber nicht kontraproduktiv und konkurrierend in den Nährstoffhaushalt eingreifen.

Bis heute ist der Eiweißabschäumer zur unspezifischen Entfernung überschüssiger gelöster Nährstoffe sowie kolloidaler¹ und feinpartikulärer Stoffe und Sedimente durch keine andere Methode zu ersetzen. Die Methode erfuhr in den vergangenen zwei Jahrzehnten eine kontinuierliche und vor allem signifikante Leistungssteigerung, mit einem gewissen Zustand der „Vollendung“ in den letzten Jahren. Diese ist allerdings in der heute modernen Riffaquaristik unter Umständen ein Problem, weil oftmals zu große bzw. zu leistungsstarke Geräte in üppig mit Korallen und schwach mit Fischen besetzten Riffaquarien zum Einsatz gebracht werden und dies zu akuten → **Nährstoffmangelsituationen** führen kann.

Während in den 1980er und 1990er Jahren noch empfohlen wurde, für ein bestimmtes Aquarium ein Abschäumermodell größer zu wählen (basierend auf den Hersteller-Empfehlungen), ist es heute sogar ratsam, bei hohem Korallen- und geringen Fischbesatz eine Nummer kleiner zu nehmen, oder auf Modelle zurückzugreifen, die schonend und trocken abschäumen (konische Bauform sowie Venturi/Injektor-Modelle). **Auf keinen Fall sollte ein Abschäumer bewusst überdimensioniert werden** (Ausnahme ggf. reine Fischbecken), selbst wenn ein motorbetriebener Abschäumer mit einer regelbaren Betriebspumpe ausgestattet ist, die es dem Anwender ermöglicht, die Leistungsfähigkeit des Abschäumers dynamisch zu modellieren. Einen Eiweißabschäumer in der Gewissheit eines zukünftig größeren Aquarienprojekts schon vorab größer zu wählen, führt in der Regel dazu, dass das bestehende kleinere Becken nicht funktioniert und einem chronischen Nährstoffmangel erleidet.

Bezüglich der Leistungsfähigkeit von Abschäumertypen und der Qualität der Schaumbildung gibt es durchaus große Unterschiede. Eine weniger aggressive bzw. schonendere Abschäumung findet sich neben den luftbetriebenen Abschäumer-Typen, die es heute fast nur noch als „Mini-Abschäumer“ für kleinere Aquarien gibt, auch bei den motorbetriebenen *Venturi*-Typen (auch Injektor-Typ genannt), sowie bei den baubedingt eher trocken schäumenden konischen

¹ kolloidal beschreibt einen Aggregatzustand im Grenzbereich zwischen nicht vollständig gelöst aber auch nicht vollständig partikulär.

Abschäumer-Typen mit Dispergator-Pumpen. Diese Abschäumer-Typen empfehlen sich insbesondere dann, wenn das Augenmerk auf der Korallenpflege liegt, und der Fischbesatz bewusst niedrig gehalten wird. Ein übermäßig leistungsstarker Abschäumer ist für ein solches Becken ungeeignet und absolut kontraproduktiv.

Den etwas schonenderen Typen stehen die meisten Dispergator-Abschäumer gegenüber, die in der Regel sehr leistungsfähig sind und demzufolge auch eine starke Konkurrenz gegenüber Korallen und anderen Organismen erzeugen können, v.a. wenn das → **effektive Durchfluss-Volumen** durch das Technikbecken oder Filterabteil hoch ist (ca. das Zwei- bis Dreifache des Gesamtnettovolumens pro Stunde) und dadurch die Abschäumer sehr wirkungsvoll mit abschäumbaren Substanzen versorgt werden. Hier bestehen höchste Ansprüche an das Können des Riffaquarianers, den Nährstoffhaushalt im Aquariensystem auszubalancieren und den Sinn und Nutzen der Eiweißabschäumung richtig zu verstehen. **Wie einleitend bereits formuliert wurde, gilt: ein Eiweißabschäumer soll überschüssiges und nicht verbrauchtes Material entfernen, aber nicht kontraproduktiv und konkurrierend in den Nährstoffhaushalt eingreifen.** Der → **Fischbesatz** kann bzw. sollte also bei diesen Abschäumertypen bei Bedarf etwas üppiger (viele kleine Fische) ausfallen und eine aktive Dosierung von schnell verfügbaren, gelösten Nährstoffen kann sich als notwendig ergeben.

Heutzutage tendieren Riffaquarien eher zu akuten → **Nährstoffmangelsituationen**, u.a. deshalb, weil die Abschäumtechnik übertrieben stark eingesetzt wird und zeitgleich zu wenige, v.a. kleine Fische gepflegt werden, die sich in Korallennähe aufhalten und somit für eine Nährstoffmediation sorgen, die große Fische nicht in dem Maße leisten können (diese tragen eher zu einer übermäßig starken Kotbildung bei). Dieses Thema wird in einem eigenen Kapitel → **Fischbesatz** ausführlicher thematisiert.

Der Standort des Abschäumers innerhalb des Aquariensystems ist ein sehr wichtiges Thema, weil eine ungünstige Platzierung z.B. auch unter dem Einfluss konkurrierender Filtermethoden die Leitungsfähigkeit und Effizienz der Eiweißabschäumung stark beeinflusst. In einem separaten → **Technikbecken** sollte der Abschäumer nach SANGOKAI Empfehlung immer an erster Stelle stehen, d.h. idealerweise in einem eigenen Abschäumer-Kompartiment oder einem Technik-Kompartiment mit Einlauf-Kammer unmittelbar dort, wo das zu filternde Wasser aus dem Hauptbecken in das Technikbecken einläuft. Sämtliche übrige Filtertechnik, d.h. mechanische und ad-/absorptive Filtermedien, sowie Refugien, sollten räumlich hinter dem Abschäumer platziert werden. Durch diese Anordnung kann der Abschäumer alle potentiell abschäumbaren Substanzen/Stoffe aufnehmen, wodurch die Abschäumeffizienz maximiert wird. Befinden sich insbesondere mechanische Filtermedien oder ein Refugium vor dem Abschäumer, kann eine „Rieselfilter-Wirkung“ eintreten, die dadurch zustande kommt, dass sich eine mikrobielle Aktivität auf dem mechanischen Filtermedium entwickelt und die potentiell abschäumbaren Substanzen in nicht mehr oder schlecht abschäumbare Substanzen umwandelt. Ganz klassisch gehört dazu die biologische Transformation gut abschäumbarer organischer Stickstoffverbindungen (z.B. Eiweiß) in nicht mehr abschäumbares Nitrat über mineralisierende und nitrifizierende Bakterien, wie es zu Zeiten des aeroben Riesel- oder Sprühfilters der Fall war (daher „Rieselfilter-Wirkung“). Dadurch

wird die Effizienz der Abschäumung mitunter kritisch reduziert. Trotz eines leistungsfähigen Abschäumers kann dies zur Anreicherung von Nitrat und Phosphat im Wasser führen. Hier hilft dann auch kein Austausch des Abschäumers gegen ein anderes oder größeres Modell. Vielmehr liegt der Grund wie erörtert in dem räumlich vorgeschalteten Filtermaterial oder beispielsweise auch einem falsch vor dem Abschäumer platzierten und schlecht gepflegten Refugium. Es sei auch darauf hingewiesen, dass auch eine sehr üppige Aquariendekoration aufgrund der dadurch bedingten hohen mikrobiellen Aktivität auf der Gesamtdekorationsoberfläche eine solche Wirkung auf die Abschäumleistung und den Nitrat-/Phosphataufbau haben kann (vgl. → [Gesamtdekorationsoberfläche](#)).

Mechanische Filterung

Die mechanische Filterung ist der für uns visuell nachvollziehbare Vorgang der Entfernung partikulärer Feststoffe aus dem Wasser, das durch ein Filtermaterial mit einer bestimmten Poren- oder Siebgröße hindurchströmt. Die mechanische Filterung ist eine klassische Methode zur Wasserreinigung in geschlossenen aquatischen Systemen und dient primär der Wasserklärung.

Allerdings ist die primäre Funktion der Wasserklärung in einem Aquarium nicht gänzlich von der ebenfalls schnell einsetzenden sekundären biologischen Filterwirkung des eingesetzten mechanischen Filtermaterials trennbar. Die Gründe dafür sind a) die Keimzahl im Aquariumwasser, das durch den Filter hindurchströmt, und b) die Keimbelastung der herausgefilterten Partikel selbst. Die Keimzahl im Aquariumwasser ist ein Parameter, der sich zwar in verschiedenen Becken individuell unterschiedlich darstellt, aber in der absoluten Konsequenz jedes mechanische Filtermedium, sei es ein Filterschwamm, Watte oder ein Filtervlies, mit der Zeit in seiner eigentlichen mechanischen Filterwirkung beeinflusst. Diese biologische Wirkung ist für die riffaquaristische Praxis von großer Bedeutung und wird in diesem Kapitel sehr ausführlich diskutiert und gilt natürlich auch für andere Filtermedien, die über einen längeren Zeitraum im Aquarium eingesetzt werden, wie z.B. → [Aktivkohle](#).

Riffaquarien, die v.a. stark mit keramischen oder chemisch (z.B. mit Wasserstoffperoxid) gereinigten Dekorationsmaterialien gestaltet sind, zeigen insbesondere in der Startphase oft ein erhöhtes Maß an mineralischem Abrieb, der sich in der Wassersäule verteilt und langfristig auch als mineralischer Mulm ablagern kann. Auch ein Bodengrund kann je nach Material (v.a. calcitische Sedimente mit einer geringeren pH-/Säuretoleranz im Vergleich zu Aragonit) trotz gründlicher Reinigung Abrieb bzw. feinste Partikel an die Wassersäule abgeben, insbesondere langfristig durch den Einfluss von Bakterien, grabender Tiere, beispielsweise Sand kauende Grundeln (z.B. *Valencienna*), oder Höhlengräber (darunter auch grabende *Alpheus* Knallkrebse in Lebensgemeinschaft mit z.B. *Amblygobius*). Solche Feinsedimente können mehr oder weniger stark mit Keimen (v.a. Bakterien, aber auch marine Protisten wie Pilze, Mikroalgen oder tierische Mikroben) besiedelt sein. Ein mechanisches Filtermedium kann zwischen der Natur der Partikel nicht unterscheiden und wird demnach nicht nur totes Material festhalten, sondern auch belebtes, organisches Material herausfiltern und dadurch unmittelbar gleichzeitig auch eine biologische Aktivierung erfahren.

Ausgehend von einem mehr oder weniger hohen Gehalt an organischen Partikeln, sowie von ausgefälltem Kalk (Calciumcarbonat, siehe → [Kalkhaushalt-Stabilisierung](#)) oder z.B. auch von Metallphosphat-Verbindungen im Wasser, entwickeln sich in mechanischen Filtermedien rasch Bakterien- und Mikrobenpopulationen. Diese können das Filtermedium verdichten und damit die Leistungsfähigkeit zur Wasserklärung vermindern. Gleichzeitig entsteht in dem Filtermedium ein Milieu, das nicht mehr dem der direkten Umgebung entspricht. Das Wasser im Mikromilieu des Filtermediums hat einen veränderten Sauerstoffgehalt, ein anderes Redoxpotential und pH-Wert. Vor allem aber reichert sich das Filtermedium kontinuierlich mit organischen Ablagerungen und damit auch mit Nährstoffen an, was immer auch Konsequenzen für das Aquariensystem hat.

Meistens sehen sich Aquarianer im Einsatz mechanischer Filtermedien dann bestätigt, wenn bei der Reinigung, oder beim Tausch des Filtermediums, offensichtlich große Menge Dreck sichtbar sind. Ungeklärt ist hier allerdings, wie hoch der Anteil an tatsächlich gefilterten Partikeln im Verhältnis zu der im Filtermaterial gewachsenen Biomasse aus Bakterien und Mikroben am Gesamfiltrat ist. Der Anteil an entstandener Biomasse im Vergleich zur tatsächlich gefilterten Masse an Partikeln lässt sich zugegebenermaßen nur schwer bestimmen. Sinnvoll ist hier immer eine praktische Überprüfung, ob das Wasser bei Einsatz einer mechanischen Filterung tatsächlich klarer ist und weniger Trübstoffe enthält, und ob sich ggf. im Technikbecken weniger Sedimente oder Detritus ablagern. Ist das nicht der Fall, würde eine hohe Filtratmenge im Filtermedium vornehmlich dafür sprechen, dass diese Masse hier erst entstanden ist und nicht ihren Ursprung im freien Wasser hatte.

Wie bereits angesprochen, sind v.a. frisch eingerichtete und junge Aquarien über den anfänglichen Materialabrieb der Dekoration und des Bodengrunds potentiell stärker mit mineralischen Trübstoffen belastet, als ältere Aquarien. Dadurch beobachtet man in jungen Riffaquarien oft schnell die Ansammlung von Sedimenten oder von Mulm im Technikbecken, wenn keine mechanische Filterung installiert ist. Der Einsatz einer mechanischen Filterung kann also für die Anfangszeit nach dem Start des Riffaquariums durchaus sinnvoll sein. Aber auch hier kann der Anteil an sich entwickelnder mikrobieller Biomasse im Filtermedium sehr hoch sein, was eine regelmäßige Säuberung bzw. den Austausch des Materials zwingend notwendig macht. Da der Nährstoffgehalt in jungen Aquarien, v.a. aufgrund der noch nicht zu starken Belastung mit Ausscheidungen von Fischen und partikulären Futterresten, nicht so hoch ist, wie in Becken mit längerer Standzeit, wird das Ausmaß an Nährstoffeinlagerung in einem mechanischen Filtermedium auch noch nicht bedenklich hoch sein. Je älter das Aquarium jedoch ist, und um so mehr Fische in das Riffaquarium einziehen, desto kritischer wird die Nährstoffbelastung in einem mechanischen Filtermedium, die dann auch sehr schnell eine biologische Filterwirkung zum Vorschein bringen kann.

Porengröße als relevanter Faktor für die Filterwirkung

Jedes mechanische Filtermedium stellt mit seiner porigen oder gewebten Struktur eine entsprechend hohe Filteroberfläche, und damit auch eine Siedlungsfläche für Bakterien und Mikroben zur Verfügung. Je feiner das Material ist, desto höher ist auch die Gesamtoberfläche,

d.h., dass ein grober Filterschwamm eine geringere Gesamtoberfläche aufweist, als ein feiner Schwamm.

Wenn ein mechanisches Filtermedium eine sehr kleine Porenstruktur aufweist, dann ist der verdichtende Effekt von anhaftenden Partikeln und Mikroben auf die Materialoberfläche stärker als bei grobporigen Medien. Dadurch wird sich schnell ein starker Gradient zwischen der Oberfläche und den oberflächennahen, inneren Bereichen einstellen, insbesondere was den Sauerstoffgehalt betrifft. Weiter ins Innere wird Wasser aus der Umgebung nur dann vorstoßen können, wenn es aktiv durchgedrückt oder durchgesaugt wird, was aber technisch nur energieaufwändig zu realisieren ist. Anderenfalls wird das Wasser an der Außenseite des Filtermaterials vorbeifließen, wenn dazu die Möglichkeit besteht, oder es staut sich an und kann, je nach Bauart des mechanischen Filters, sogar überlaufen.

Ein sehr feines Material muss also in einem Riffaquarium sehr oft gereinigt werden, was in der Arbeitsroutine einen hohen Aufwand bedeutet. Zudem sollte es auch nicht zu dick sein, weil die beschriebene Verdichtung an der Materialoberfläche das Innere des Mediums funktional schnell unwirksam macht, so dass das Filterkonzept platzraubend und damit ineffizient wird. Sinnvoller wäre es, hier nur wenige dünne Lagen Filtervlies, die schnell ausgetauscht werden können, einzusetzen, als dicke Filterschwammplatten zu nutzen. Dieses Prinzip verfolgte auch der in den 1970/1980er Jahren populäre Flächenfilter, genauso wie der moderne Rollvliesfilter („Vliesfilter“), der seinerseits nur eine dünne Filterfläche anbietet, die durch einen Aufroll-Mechanismus sowohl stets sauber und damit filteraktiv bleibt, als auch keine nennenswerte biologische Filterwirkung erzeugt, die allerdings aufgrund der Größe einen gewissen Platzbedarf verlangt. Der Betrieb und die Anwendung eines Rollvliesfilters wird im weiteren Verlauf dieses Kapitels noch ein separates Thema sein.

Ein grobes Filtermedium hat den Vorteil, dass es weniger schnell verstopft, dadurch länger filteraktiv bleibt und auch hinsichtlich der Leistungsfähigkeit im Inneren des Materials eine größere effektive Oberfläche bietet, als ein feinporiges Material, das schnell verstopft und dadurch im Inneren eine immer größer werdende inaktive Filteroberfläche aufbaut, weil kein Wasser mehr dorthin gelangt. Zur Wasserklärung im Riffaquarium sollte also bevorzugt ein gröberes Filtermedium genutzt werden. Mit der Zeit wird durch die Einlagerung von gefilterten Partikeln die Porengröße abnehmen, so dass ein Grobfilter nach gewisser Zeit automatisch auch zum Feinfilter wird, bevor er letztlich ausgetauscht bzw. gesäubert werden muss, damit die sekundäre biologische Filterwirkung nicht zu stark zur Ausprägung kommt.

Filterschwämme und Filterwatte

In den 1970er bis 1990er Jahren war die mechanische Filterung sehr populär und zeigte ihre maximale Ausprägung in der Stapelung von Filterschwämmen verschiedener Porendichten in Ablaufschächten, aber auch in speziellen Filter-Kompartimenten und Filtereinheiten im Technikbecken. Dabei sollte das Wasser systematisch von Partikeln unterschiedlicher Größen von Grob nach Fein befreit werden. Allerdings scheiterten diese Filterschwamm-Säulen langfristig daran, dass sich in ihnen eine organische Belastung mit unkontrollierbarer mikrobieller Aktivität anreicherte, die sich meistens sehr schnell negativ auf das Gesamtaquariensystem auswirkte, z.B.

durch die Erhöhung des biologischen Sauerstoffbedarfs und einer daran gekoppelten Senkung des Redoxpotentials sowie der Freisetzung von gebildetem Nitrat und Phosphat aus der Mineralisation herausgefilterter organischer Stoffe. Auf diese Probleme wird im Weiteren noch speziell eingegangen. Aus diesem Grund sind voluminös gefüllte Ablaufschächte Ende der 1990er Jahre immer mehr aus der modernen Riffaquaristik verschwunden, nicht zuletzt auch deshalb, weil eine Zeit eingeläutet wurde, in der das Interesse vor allem der rasch voran schreitenden Entwicklung hochwertiger und leistungsstarker motorbetriebener Eiweißabschäumer galt und die Bedeutung einer mechanischen Filterung zunehmend in den Hintergrund trat.

Filterwatte ist sowohl von der Form und Struktur, als auch von der Verarbeitung vor dem Einsatz in der Schichtdicke (beim Auszupfen aus dem Vorratsbeutel) äusserst inhomogen, was den Einsatz noch unkontrollierbarer macht und wenig Filtereffizienz bringt. Frische Filterwatte enthält zudem sehr viele Produktionsrückstände, die äußerst gründlich ausgewaschen werden müssen, weil sie den Eiweißabschäumer für lange Zeit zum „Überkochen“ bringen (gilt jedoch auch für Filterschwämme, die auch stets gründlich gewässert und ausgewaschen werden müssen). Die nicht homogene Form und Struktur der Filterwatte führt dazu, dass das zu filternde Wasser an Stellen, wo sie zu dick gezupft ist, sehr oft über der Watte hinweg bzw. an der Watte vorbei fließt, während das Wasser in den Bereichen, wo die Watte zu dünn gezupft ist, mit wenig Filterwirkung hindurch strömt und hier den Weg des geringsten Widerstands findet. Als SANGOKAI Empfehlung gilt daher, Filterwatte grundsätzlich im Meerwasseraquarium nicht einzusetzen.

Wenn sich heute die Notwendigkeit für den Einsatz eines Filterschwamms stellt, dann sollte grundsätzlich nur die grobe Variante mit einer Porendichte von 10 ppi („pores per inch“) zum Einsatz kommen. Eine Dicke von 2-3 cm sollte hierbei auf keinen Fall überschritten werden, weil sonst im Inneren eine zu hohe organische Belastung mit einer biologischen Sauerstoffzehrung stattfindet und das Redoxpotential in der Umgebung sinkt, was in einem Riffaquarium nachteilig ist. Gut geeignet sind 1,5 – max. 2 cm dünne grobe Filterschwämme, die man relativ einfach und handlich als mechanischen Filter einsetzen und auch gut auswaschen kann. Einige Systemaquarien bieten z.B. die Möglichkeit zur Anwendung einer dünnen Filterschaummatte auf einer Lichtrasterplatte, auf die das zu filternde Wasser fließt und gleichzeitig den Filterschwamm nicht auf den Boden des Filterbeckens positioniert, sondern frei in oder sogar über der Wassersäule im Filter. Eine solche Anordnung ist sinnvoll und verhindert, dass der Filterschwamm im eigenen Mulm verdreckt und die Wasserzirkulation im Technikbecken behindert. Vielmehr bleibt der Filterschwamm auch auf seiner Unterseite gut umströmt und es kommt zu keiner Ablagerung von Mulm unter dem Schwamm. Gleichzeitig ist ein Schwamm in dieser Platzierung einfacher zu kontrollieren und kann schnell mit einem Handgriff entnommen werden. Es ist grundsätzlich zu vermeiden, dass mechanische Filter im Technikbecken unhandlich verbaut werden, weil dies dazu führt, dass das Filtermedium nicht sichtprüfbar und die Arbeitsroutine mühselig und erschwert ist, d.h. diese Routine wird seltener und v.a. ungerne durchgeführt. Ein mechanischer Filter muss immer frei zugänglich sein.

Filterschwämme sollten immer nur in geringem Umfang eingesetzt werden. Wenn möglich, sollte auf den Einsatz von Filterschwämmen immer verzichtet werden, weil sie nicht leicht zu kontrollieren sind und eine ungewünschte biologische Wirkung sehr schnell eintreten kann, worüber im Weiteren detailliert gesprochen werden soll. Zur mechanischen Filterung empfehlen sich heute im Bedarfsfall die besser kontrollierbaren Filtersäcke (Filtersocken), oder Rollvliesfilter. Beide Methoden werden im Folgenden vorgestellt und erörtert.

Filtersäcke (Filtersocken)

Heute sind mechanische Filtersäcke, die wie ein Staubsaugerbeutel aufgebaut sind und in spezielle Halterungen gehangen oder eingelegt werden, recht populär und auch sehr effektiv und im Bedarfsfall sinnvoll. Sie wurden ursprünglich als Vorfilter (im engl.: pre-filter) konzipiert, und sollen das Wasser aus der Rückförderleitung ins Technikbecken von Partikeln befreien. Genauso wirksam ist auch ihr Einsatz als Nachfilter (im engl.: post-filter), um z.B. ablaufendes Wasser aus dem Abschäumer von Luftblasen zu befreien, um Rest-Ozon über Aktivkohle zu neutralisieren, um den Abrieb adsorptiver Filtermedien hinter einem Fließbettfilter aus dem Wasser zu entfernen, oder sogar, um selbst adsorptive Filtermedien aufzunehmen. Ihr Einsatzort ist also sehr vielseitig.

Manche Hersteller von Filtereinheiten bieten in Reihe geschaltete mechanische Filter an, die eine von der Grobfilterung bis hin zur extremen Feinfilterung reichende Wasserklärung zum Ziel haben. Diese Filtereinheiten nehmen allerdings sehr viel Platz in Anspruch, und es ist fraglich, in wie fern überhaupt eine in Reihe Schaltung von Filtersäcken unterschiedlicher Porengrößen einen deutlich besseren Effekt auf die Wasserklärung bzw. auch auf die jeweilige Standzeit der Einzelsocken hat, als nur ein Filter mit einer groben Maschenweite, der, wie erörtert wurde, je nach Partikelbeladung in relativ kurzer Zeit auch die Qualität zur Feinfilterung erreicht und dabei zunehmend schnell verstopft, bevor er gewechselt bzw. gereinigt werden muss.

Für den Einsatz im Riffaquarium empfiehlt sich eine gröbere Maschenweite für die Filtersäcke von 800 µm (0,8 mm) und 400 µm (0,4 mm). Kleinere Maschen (200 µm oder 100 µm) verstopfen sehr schnell und erzeugen dadurch einen sehr hohen Wartungs- und Reinigungsaufwand. Solche feinen Filterbeutel sollten wenn überhaupt nur als Post-Filter zur Entfernung von feinstem Materialabrieb adsorptiver Filtermedien zum Einsatz kommen, d.h. in bereits abgeschäumtem und damit vorgereinigtem Wasser. Die gröberen Filtersäcke mit 400 - 800 µm können sehr einfach auch mit einer dünnen Lage Filtervlies befüllt werden, wodurch sich die Maschenweite verringert und eine kontrollierbare Feinfilterung möglich wird, ohne eine schnelle Verstopfung des Filtergewebes zu verursachen. Die Filtersäcke gibt es sowohl in einer textilen Variante, wie auch aus größerem Nylongewebe. Letztere verstopfen nicht zu schnell und sind daher besser geeignet, um v.a. eine mineralische grobe Partikelbeladung aus dem Wasser zu entfernen, während feinste Trübstoffe effektiver von textilen Filtersäcken zurückgehalten werden, dafür aber schneller verdrecken. Feine Filtersocken müssen in nicht wenigen Fällen sogar täglich gesäubert werden, was einen hohen Arbeitsaufwand mit sich bringt.

Rollvliesfilter („Vliesfilter“)

Seit einigen Jahren sind spezialisierte mechanische Filtereinheiten auf dem Markt, die an dieser Stelle in neutraler und sachlicher Lehrbuch-Beschreibung in Anlehnung an die für sie typische funktionelle Raffinesse als „Rollvliesfilter“ bezeichnet werden, die umgangssprachlich oft auch nur „Vliesfilter“ genannt werden. Rollvliesfilter minimieren eine sekundäre biologische Wirkung des in ihnen eingesetzten mechanischen Filtermediums (ein Filtervlies) dadurch, dass sie das Filtermedium nur für eine kurze, i.d.R. auch automatisierte Zeiteinheit und v.a. nur mit einer definierten kleinen Expositionsfläche mit dem zu filternden Wasser in Kontakt bringen. In den Rollvliesfiltern ist frisches, ungebrauchtes Filtervlies (je nach Hersteller und Modell in verschiedenen Poren- bzw. Siebgrößen erhältlich) auf einer Rolle aufgewickelt, wobei das freie vordere Ende auf einer leeren Spule wieder aufgewickelt wird. Zwischen den beiden Spulen ist das Filtervlies innerhalb der Filterkonstruktion im Wasser platziert. Die Wasserzufuhr erfolgt entweder über eine separate Pumpe, oder oft auch direkt passiv über die Rückförderung ins Technikbecken in das Filtergehäuse, das baulich so konstruiert ist, dass das zu filternde Wasser dazu gezwungen ist, durch die exponierte Fläche des Filtervlies zwischen den beiden Spulen hindurch zu fließen. Das zunächst saubere Vlies wird durch das mit Partikel beladene Wasser je nach Belastungsgrad und Durchflussvolumen mehr oder weniger schnell zugesetzt, allerdings in einem zeitlichen Rahmen, der kaum dazu ausreicht, eine sekundäre biologische Filterwirkung aufzubauen. Weil das Wasserdurchtrittsvermögen bei gleich bleibendem Durchflussvolumen mit der Zeit durch den zunehmenden Verschmutzungsgrad des Vlies abnimmt, steigt der Wasserstand innerhalb des Filterbehälters an, was ein Schwimmer- oder Pegelschalter wahrnimmt und einen automatischen Spulvorgang einschaltet, der das verschmutzte Vlies auf der freien Auffangspule aufwickelt und ungenutztes, sauberes Vlies aus der Zufuhrspule wieder in den Filterbereich nachzieht. Dadurch wird der maximale Wasserdurchfluss wieder hergestellt und der Wasserstand im Filtergehäuse sinkt auf das ursprüngliche Niveau. Auf diese Art und Weise wird eine sehr hohe Filtereffizienz erreicht und das mit Partikeln belastete gebrauchte Vlies relativ zügig aus dem Wasser entfernt.

Auch wenn dabei immer ein gewisser beladener Teil des Filtervlies dem Wasser exponiert ist und es theoretisch auch hier nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich das Filtermedium biologisch aktiviert, kann man davon ausgehen, dass sich diese biologische Aktivität v.a. aufgrund der geringen Expositionsfläche nicht so stark auswirkt wie bei einem mechanischen Filtermedium in einem stationären Filter, der nur im Abstand von mehreren Tagen gereinigt wird. Ein wesentlicher Vorteil, der bei Bedarf für den Einsatz eines Rollvliesfilters spricht.

Im Kontra stellt sich nicht nur ein finanzieller Anschaffungsaufwand für das Gerät selbst, sondern auch dauerhaft für das Filtermedium (Verbrauchsmaterial) als nachteilig dar. Zudem ist der Platzbedarf für ein solches Gerät, das je nach Modell das Technikabteil bzw. die Größe des Unterschranks an seine Grenzen bringen kann, gegenüber anderen mechanischen Filtermöglichkeiten kein Vorteil. Die mechanischen und elektronischen Bauteile sind dem üblichen Verschleiss unterworfen und können versagen, was unbemerkt auch dazu führen kann, dass das Filtermedium übermäßig lang im Wasser verbleibt und dabei so stark verschmutzt, dass auch hier

eine biologische Wirkung eintritt; ein ungünstiger Fall, der an dieser Stelle die eigentlich effiziente Filterwirkung im Normalbetrieb aber nicht in Frage stellen soll.

Zunächst einmal gilt es anzunehmen, dass klares, sauberes Wasser in einer ästhetischen Betrachtung für die Riffaquaristik ein wertvoller und damit auch anzustrebender Zustand ist. Gleichmaßen kann man der Argumentation, dass die mechanische und hier gleichzeitig auch endgültige Entfernung potentiell belastender Stoffe aus dem Wasser auf eine hocheffiziente Art und Weise zu einer Entlastung der übrigen Filtermethoden führt, nur zustimmen, v.a. was die Eiweißabschäumung angeht, aber auch den Bedarf z.B. an adsorptiven Filtermedien.

Von einer biologischen Betrachtungsweise ist eine hocheffiziente mechanische Filterung über einen Rollvliesfilter für das Gesamtökosystem Meerwasser jedoch auch kritisch zu betrachten. Kein mechanischer Filter kann zwischen für das Aquarium positiv wirksamen, z.B. lebendem Plankton, und ausschliesslich belastenden Partikeln unterscheiden. Je effizienter also eine mechanische Filterung arbeitet, desto größer ist auch die Wahrscheinlichkeit dafür, dass das Wasser gleichzeitig an solchen Partikeln verarmt, die für das Ökosystem grundsätzlich wertvoll sind.

Wertvolles lebendiges Plankton, das im Aquarium selbst entstanden ist, kann nicht auf eine künstliche Art und Weise wieder zugeführt werden, wie man es z.B. von verbrauchten Spurenelementen kennt. Es ist also eine grundsätzliche Frage, ob und wie lange das Selbsterhaltungs- und Reproduktionspotential von im Freiwasser lebenden Organismen einer potentiell negativen Auswirkung eines Rollvliesfilters auf lebendes Plankton standhalten kann.

Weil diese Frage von vielen individuellen Faktoren abhängig ist, z.B. vom Durchflussvolumen, von der Art der Wassereinspeisung (bypass oder Volldurchlauf), der Poren- bzw. Siebgröße des Vlies, aber auch von der allgemeinen Nährstoffversorgung und der Qualität in der Pflege des Riffaquariums, kann an dieser Stelle nur der bisher im Kapitel formulierten Empfehlung festgehalten werden, dass eine mechanische Filterung, und damit auch eine Filterung über einen Rollvliesfilter, nur im Bedarfsfall eingesetzt werden sollte, z.B. bei hoher Trübstoffbelastung in jungen Aquarien, bei starker Wühlaktivität von im Boden grabenden Tieren, oder bei sehr hoher Futterbelastung von z.B. stark mit Fischen besetzten Aquarien.

Für ein gut konzipiertes, gesundes Riffaquarium mit hohem Korallenbesatz und dem Augenmerk auf eine hochwertige und kompetente Selbstversorgung des Riffaquariumsystems, gilt die SANGOKAI Empfehlung, Rollvliesfilter nur mit entsprechender Vorsicht und mit dem Blick auf die potentiellen Nachteile einzusetzen, sofern sich ein Bedarf für eine mechanische Filterung darstellt.

Biologische Filterwirkung in mechanischen Filtermedien (als Systemstörung)

Bis hier hin wurden verschiedene Aspekte, Charakteristika und relevante Parameter der mechanischen Filterung und ihrer Wirkung bezüglich der Wasserklärung betrachtet und die bekanntesten praktischen Methoden erörtert. Dabei wurde auch das Thema der sekundären biologischen Filterwirkung mehrfach angesprochen und kurz dargestellt, wie diese entsteht. Die wichtigen Parameter sind in diesem Zusammenhang a) der durch das Filtermaterial und seine Porengröße bereitgestellte Siedlungsraum, b) die Aktivierung über die Keimzahl im Wasser und die

Keimbelastung der gefilterten Partikel, c) die Anreicherung von gefilterten v.a. partikulären organischen Nährstoffen, und d) die Veränderung des Milieuzustands im Filtermedium.

Es lässt sich vielleicht schon an den insgesamt vier verschiedenen Faktoren erahnen, dass bei der Kombination und dem Zusammenspiel dieser Punkte kein einheitlich gültiges Ergebnis für ein individuelles Aquarium zu erwarten ist, weder für einen kurzen, noch für einen langfristigen Zeitraum. Eine mechanische Filterung in frisch eingerichteten oder jungen Riffaquarien, sofern diese einen hohen Anteil an mineralischen Partikeln im Wasser aufweist, stellt kein grundsätzliches Problem dar, weil in der Regel zu dieser Zeit die organische Belastung des Wassers und die Keimzahl im Wasser noch verhältnismäßig niedrig sind. Auch hier wurde die regelmäßige Reinigung und der Austausch des Filtermaterials als essentiell wichtige Arbeitsroutine angesprochen, insbesondere hinsichtlich der Aufrechterhaltung einer hohen Funktionalität bei der Wasserklä rung. Die in jungen Riffaquarien zu erwartende biologische Filterwirkung ist meistens noch nicht so ausgeprägt wie in älteren Riffaquarien, v.a. dann, wenn mit sauberen künstlichen Materialien zur Aquariengestaltung gearbeitet wurde.

In bereits seit mehreren Monaten laufenden Riffaquarien, die mit partikulärem Futter für Fische, und womöglich auch mit partikulärem Futter zur Korallenernährung, mit lebenden Bakterien oder mit → **Plankton** versorgt werden, sind die Ausgangsbedingungen anders. Hier ist die organische Belastung sowie die Keimzahl im Wasser in der Regel deutlich höher als in jungen Aquarien. **Ein mechanisches Filtermedium sollte jetzt auch immer als Siedlungsraum und als biologischer Filter betrachtet und verstanden werden, unabhängig von seiner eigentlich primären mechanischen Filterwirkung.** Heute oft eingesetzte Filtermedien sind die bereits angesprochenen Filterbeutel, Filtervlies, Filterschwämme sowie die modernen Rollvliesfilter.

Auch wenn Filterschwämme hier weitaus kritischer zu betrachten sind, hat auch ein Filtersack mit seiner gewebten Struktur eine definierte Oberfläche, und bietet damit einer wachsenden Bakterienpopulation ausreichend Ressourcen, sowohl was das Angebot an Siedlungssubstrat betrifft, als auch die Rekrutierung von organischen Nährstoffen, die der Filtersack herausgefiltert hat, z.B. im Wasser aufgewühlter Mulm, Futterreste, partikuläre Ausscheidungen wie Fischkot, aber auch verschiedenstes Plankton. Bakterien und auch andere destruirende Mikroben beginnen in dieser sauerstoffhaltigen (oxischen) Umgebung, die gefilterten und in den Maschen fixierten Nahrungspartikel in kleinere Bestandteile abzubauen (Destruktion), bei langer Standzeit des Filters auch bis hin zu ihren kleinsten molekularen anorganischen Bausteinen (Mineralisation). Sie beziehen daraus sowohl ihre Lebensenergie, als auch Bausteine für ihr Wachstum und ihre Vermehrung.

Allerdings verbrauchen die Bakterien und Mikroben dabei auch wertvolle Mikronährstoffe wie Spurenmetalle oder auch wichtige im Wasser gelöste Nährstoffe, wie z.B. Aminosäuren oder andere organische Verbindungen, die auch für Korallen bedeutsam sind und unter Umständen dadurch zur Mangelware werden können. Solche konkurrierenden Effekte im Nährstoffhaushalt können v.a. allem in unterversorgten Riffaquarien eine Rolle spielen, weil sie eine Nährstoffmangelsituation mitunter kritisch verstärken und zur Degeneration z.B. von Korallen

führen können. Global formuliert, kann eine hohe biologische Filterwirkung auch eine ungünstige ökologische Kompetitivität zur Folge haben und die Korallenpflege je nach Ausmaß der biologischen Filterwirkung potentiell erschweren (z.B. Konkurrenz um Ammonium zwischen Korallen und nitrifizierenden Bakterien).

Ein wesentlicher Nachteil besteht auch darin, dass alle diese Abbauprozesse in einem sauerstoffhaltigen (oxischen) Milieu stattfinden, d.h., dass die jeweiligen Stoffwechselprozesse aerob (unter Veratmung von Sauerstoff) ablaufen. Die bei vollständiger Oxidation von organischer Biomasse endgültig entstehenden Abbauprodukte aus einem aeroben Stoffwechsel sind Kohlendioxid (CO_2), Stickstoff in Form von Ammonium, das weiter zu Nitrat (NO_3^-) oxidiert wird, und Phosphor in Form von anorganischem Phosphat (PO_4^{3-}). **Im Riffaquarium kann die potentielle Folge einer übertriebenen und v.a. nicht kontrollierten mechanischen Filterung also eine Anreicherung von Nitrat und Phosphat im Wasser sein, die es in der Riffaquariumpflege zu vermeiden gilt.**

Der aus früheren Zeiten der Meerwasseraquaristik bekannte Rieselfilter, oder auch seine Variationen (z.B. der Sprühfilter), arbeiten ähnlich, und sind aus diesem Grunde mit der Zeit, v.a. seit Ende der 1990er Jahre aus den modernen Riffaquarien verschwunden. Auch hier wurde in einer oxischen Umgebung Siedlungsraum für Bakterien geschaffen, damit v.a. der potentiell giftige und pH-Wert abhängige Ammoniak-Anteil (NH_3) aus der Ammonium-Freisetzung (NH_4^+) des Fischstoffwechsels schnell und effektiv zu Nitrit (NO_2^-) und weiter zu weitestgehend unschädlichem Nitrat (NO_3^-) umgebaut (Oxidation des Stickstoffs) werden konnte. Seinerzeit war der Bedarf für einen solchen sog. aeroben Filter (Sauerstoff-abhängiger Stoffwechsel) möglicherweise deshalb gegeben, weil es im Handel wenig Korallen gab, die, wie wir heute besser verstehen, nicht nur Ammonium effektiv aufnehmen, sondern dies auch bevorzugt verwerten. Dadurch greifen Korallen direkt in den Stickstoffhaushalt ein und entlasten die Nitrifikation, wodurch insgesamt weniger Nitrat entsteht. Die Korallenpflege selbst war früher bei Weitem nicht so erfolgreich wie heute, v.a. weil es die modernen Licht- und v.a. auch Strömungskonzepte nicht gab, und die allgemeinen Filtertechniken nicht so fortschrittlich entwickelt und schon gar nicht so einfach käuflich zu erwerben waren, wie wir es heute zu Zeiten des globalisierten Handels/Onlinehandels gewohnt sind.

Ohne einen entsprechend sinnvollen Anwendungsbereich, der z.B. im gewerblichen Fischgroß-/Einzelhandel gegeben ist, sollten aerobe Filter im privaten Bereich nicht, oder nur in Ausnahmefällen (reine Fischaquarien, die heute sehr selten sind) eingesetzt werden. Das klassische Konzept von Früher entwickelte Nitrat im Rieselfilter, und baute es dann im Denitrifikationsfilter (Nitratfilter) wieder ab. Bis heute können wir dieses Konzept auch im Handel wiederfinden: dort, wo Riesel- oder Sprühfilter noch im Herstellersortiment angeboten werden, finden sich konsequenterweise auch Denitrifikationsfilter, also solche Filtereinheiten, deren Aufgabe es ist, ein anoxisches (sauerstofffreies) Milieu zu schaffen, das einen anaeroben (von Sauerstoff-unabhängigen) Stoffwechsel ermöglicht, bei dem z.B. oxidierte Stickstoff-Verbindungen wie Nitrat oder Nitrit zu molekularem, gasförmigen Stickstoff (N_2) mikrobiell reduziert werden.

Weitaus sinnvoller und aufgrund unseres heutigen Wissenstands zeitgemäß, ist der praktische Ansatz, oxidierte Nährstoffformen wie Nitrat oder Phosphat gar nicht erst in großem Umfang entstehen zu lassen. Deshalb spielt auch der ursprünglich am Anfang dieses Unterkapitels angeführte Faktor des Siedlungsraums eine wichtige Rolle. Dort, wo Siedlungsraum von uns angeboten wird, z.B. in einem Filterschwamm, werden sich Bakterien ansiedeln, deren Stoffwechsel sich den entsprechenden Umgebungsbedingungen schnell anpasst. Viele Bakterien können ihren Stoffwechselmodus je nach Sauerstoffgehalt in Ihrer Umgebung umschalten, also von einem aeroben Stoffwechsel zu einem anaeroben reduzierenden Stoffwechsel in einer sauerstofffreien (anoxischen) Umgebung, was man sich auch im Sandbett-Refugium (→ [Refugium](#)) zu Nutze machen kann. Mechanische Filter, wie z.B. ein Filterbeutel, sind jedoch fast immer mit Sauerstoff versorgt. Daher wird hier auch nur ein aerober Bakterienstoffwechsel stattfinden können, der konsequent Nitrat und Phosphat erzeugt, dies aber nicht wieder abbauen kann und damit an die Umgebung freisetzt.

Bietet man keinen Siedlungsraum in einem mechanischen Filter an, wird an dieser Stelle auch kein Nitrat oder Phosphat entstehen. Vielmehr bleiben sowohl partikuläre, als auch gelöste organische und anorganische Nährstoffe im Wasser erhalten und können bei einem optimalen → [Strömungskonzept](#) und einem ausreichend hohen → [effektiven Durchflussvolumen](#) anderen Filteroptionen zur Verfügung stehen. Vorrangig ist hier der Eiweißabschäumer zu nennen, der je nach Einstellung auch eine Wirkung auf den Trübstoffgehalt im Wasser haben kann.

An dieser Stelle ist eine wichtige Schlussfolgerung aus allen bisherigen Betrachtungen einer mechanischen Filterung, dass die biologische Filterwirkung eines mechanischen Filtermediums potentiell abschäumbare partikuläre, wie auch wertvolle gelöste Nährstoffe entfernt und in schlecht abschäumbare Stoffe wie Nitrat oder Phosphat umwandelt. Dadurch kann die Leistungsfähigkeit eines Eiweißabschäumers drastisch verringert und die allgemeine Nährstoffverfügbarkeit (z.B. für Korallen) verschlechtert werden. Nitrat kann gar nicht, Phosphat nur schlecht abgeschäumt werden. Das moderne Konzept eines optimalen Riffaquariums sieht also vor, Bakterien und Mikroben nur dort anzusiedeln, wo sie nicht die Effizienz eingesetzter Filtermethoden beeinflussen können. Präziser formuliert, schließt dies das gesamte Technik-Kompartiment als Siedlungsraum aus, und definiert nur das Hauptbecken und ein → [Refugium](#) bzw. → [Kompensationsbiotop](#) als Lebensraum für Bakterien und Mikroben. Allerdings schafft auch eine hohe Gesamtdekorationsoberfläche im Aquarium selbst eine potentiell hohe mikrobielle Aktivität, was sich auf den filtertechnischen Betrieb des Riffaquariums auswirken kann. Dieses Thema wird im Rahmen des Stichworts → [Gestaltung von Riffaquarien](#) ausführlich diskutiert.

Der weit verbreiteten Meinung, dass es grundsätzlich nicht verkehrt ist, Siedlungsraum für Bakterien zu schaffen, soll an dieser Stelle anhand der hier vorgelegten Erörterung vehement widersprochen werden. Siedlungsraum für Bakterien erzeugen wir im Riffaquarium über das eingesetzte Dekorationsmaterial im Hauptbecken mehr als ausreichend. In stark und üppig z.B. mit Wandmodulen oder mit gemörtelten Bodengrund dekorierten Riffaquarien sogar meist zu viel. Darauf wird im Kapitel über die → [Gestaltung von Riffaquarien](#) intensiv eingegangen. An dieser

Stelle sei nur vorab erläutert, dass die Dekorationsoberflächen im Riffaquarium, die potentiell mit bakteriellen Biofilmen und Mikroben besiedelt sind, immer auch eine Konkurrenz zur Eiweißabschäumung erzeugen können. Das hängt natürlich davon ab, wie hoch die Nährstoffbelastung des Wassers im Vergleich zur verfügbaren Siedlungsfläche im Aquarium ist. Bei einer hohen organischen Nährstoffbelastung können sich auf der Dekoration mineralisierende Bakterien und andere Mikroben ansiedeln, die abschäumbare Stoffe, wie schon für die mechanische Filterung und ihrer biologischen Wirkung erörtert, in schlecht abschäumbare Stoffe umwandeln. Der Eiweißabschäumer zeigt also auch in diesem Szenario sehr wahrscheinlich nicht seine zu erwartende Leistungsfähigkeit, weil er am Ende der Wasserzirkulation steht und für ihn wichtige abschäumbare Substanzen bereits im Hauptaquarium selbst umgewandelt wurden. Hier spielt auch das → [effektive Durchfluss-Volumen](#) als Parameter eine übergeordnete Rolle.

Die mechanische Filterung ist eine möglicherweise sinnvolle Option für junge Riffaquarien, um eine bestehende mineralische Partikelbelastung (durch Abrieb) im Wasser zeitweise zu reduzieren. Sie kann auch in älteren Riffaquarien zur Anwendung kommen, sofern dazu ein akuter, aber nur kurzfristiger Bedarf besteht. Allerdings sollte es vermieden werden, innerhalb eines mechanischen Filters viel Siedlungsraum zu schaffen. Dieser muss dann in der aquaristischen Praxis auf jeden Fall kontinuierlich kontrolliert werden. Eine mindestens zweimal in der Woche stattfindende Reinigung von mechanischen Filtermedien ist Voraussetzung dafür, dass sich eine biologische Wirkungsweise nicht etablieren kann, je nach Belastung auch häufiger.

Immer sollte auch ein Bedarf für eine mechanische Filterung bestehen. In den meisten Fällen wird der Eiweißabschäumer eine mögliche partikuläre Beladung eigenständig entfernen können. Eingesetztes mechanisches Filtermaterial erhöht hier allenfalls den Wartungsaufwand ohne größeren praktischen Nutzen. Entsprechend muss, wie schon erwähnt, immer auch überprüft werden, ob eine mechanische Filterung überhaupt sichtbaren Erfolg bringt. Vor allem solche Filterkonzepte, die eine massive mechanische Filterung vor der Eiweißabschäumung vorsehen, sind insofern fragwürdig, als dass sie die Leistungsfähigkeit des Eiweißabschäumers potentiell verringern und zur Entstehung von Nitrat und Phosphat beitragen können, unabhängig davon, wie leistungsfähig die technischen Komponenten für sich alleinstehend sind.

Außer in frisch gestarteten Becken mit einem tatsächlichen Bedarf, oder in Riffbecken mit hoher Partikelbelastung (z.B. durch grabende oder wühlende Organismen), wird empfohlen, vor dem Eiweißabschäumer kein Filtermaterial zu platzieren. Der Eiweißabschäumer muss so betrieben werden, dass er möglichst viel abschäumbares Material aus dem Wasser entfernen kann, worauf im Kapitel → [Technikbecken und Technik-Kompartimente](#) näher eingegangen wird. Nur dann arbeitet er effizient und kann (v.a. bei einer feuchten Einstellung) auch feine partikuläre und kolloidale Substanzen aus dem Wasser entfernen.

Eine mechanische Filterung macht allerdings ggf. hinter dem Abschäumer Sinn, wenn es z.B. zu verhindern gilt, dass sich Abrieb von eingesetzten Festfiltermaterialien wie Adsorber oder Aktivkohle verteilt oder gar ins Hauptbecken gelangt. Dazu können entweder handelsübliche

Filterbeutel als „post-filter“, je nach Modell auch als hang-on Variante eingesetzt werden, die man relativ einfach und bequem entfernen und ausspülen kann. Eine einfache Konstruktion aus Lichtrasterplatten, auf die dann z.B. dünne Lagen Filtervlies oder ein dünner grober Filterschwamm aufgebracht wird, ist ebenfalls praktikabel. Da der Materialabrieb von adsorptiven Filtermedien i.d.R. sehr fein ist, sind durchaus auch feinporige Filtermedien sinnvoll, z.B. Filtersäcke mit 100-200 µm Maschenweite. Feinporige Filterschwämme sind allerdings auch hier nicht zu empfehlen, weil das schnell ausströmende Wasser aus einem Fließbettfilter oder im Bereich der Kanalisierung zwischen zwei Kompartimenten im → [Technikbecken](#) mitsamt des Abriebs auf der feinporigen Oberfläche abprallen würde. Feine und weiche Materialien, wie z.B. ein Filterbeutel oder ein weiches Filtervlies mit hoher Rückhalteleistung sind hier die bevorzugten Filtermedien, alternativ nur ein grober Filterschwamm.

Adoptive Filtermethoden

Dieser hier erstmalig geprägte Begriff soll im Folgenden erläutert werden.

Adoptive Filtermethoden können für sich alleine keine endgültig abgeschlossene Filterwirkung erzeugen, weil Sie nicht dazu in der Lage sind, den oder die für sie jeweils gefilterten Stoff, respektive Stoffe, aus dem Aquarium zu entfernen oder vollständig unwirksam zu machen. Ihre Wirkung wird vielmehr von der Funktion einer weiteren (zweiten) Filter-Komponente geschultert (adoptiert). In der Meerwasseraquaristik ist dies meist der → [Eiweißabschäumer](#), aber auch spezialisierte mechanische Filtereinheiten (z.B. → [Rollvliesfilter](#)). Somit stellen adoptive Filtermethoden nur ein Initiator, bzw. ein Bindeglied in einer Kette von Filterereignissen dar und wandeln z.B. einen gelösten Stoff in einen partikulären Stoff um, der dann wiederum von einer geeigneten zweiten Filterkomponente erfasst und entfernt werden kann.

Während z.B. ein Phosphat-Adsorber im Wasser gelöstes Phosphat direkt an seine Oberfläche bindet (adsorbiert) und damit unwirksam macht (vgl. → [adsorptive und absorptive Filtermedien](#)), und das gebundene Phosphat mitsamt dem Adsorbermaterial beim Filtertausch gänzlich aus dem Aquarium entfernt wird, wandeln adoptive Filtermedien einen bestimmten Stoff nur in eine andere Form um, die dann über eine nachgeschaltete Filterkomponente entfernt werden muss. Dabei ist die Wirkung von adoptiven Filtermedien unter Umständen reversibel, d.h., bei einer nicht vollständigen Entfernung des umgewandelten Stoffes kann die ursprüngliche Form wiederkehren, wodurch sich effektiv auch keine oder nur eine verminderte Filterwirkung ergibt, teilweise auch mit materialspezifischen Nachteilen, die es an entsprechender Stelle noch zu erläutern gilt. Ohne den Adoptionsvorgang sind adoptive Filtermethoden also mehr oder weniger wirkungslos.

So kann bei der → [Biopellet-Filterung](#) z.B. gelöstes Nitrat in bakterielle Biomasse eingebaut und damit in partikulären organischen Stickstoff (engl.: *particulate organic nitrogen*, PON) umgewandelt werden, oder bei der → [Zeolithfilterung](#) gelöstes Ammonium an die Oberfläche der Zeolithe gebunden werden. Beide Filtermedien (Biopellets, Zeolithe) reiben Ihre Oberfläche durch die Bestromung und die mechanische Kontaktbelastung im jeweiligen Filter in Abhängigkeit von der Durchflussrate mehr oder weniger stark ab. Der im Pelletfilter entstehende Bakterien/Kohlenstoff-

Abrieb, respektive der mineralische Zeolithabrieb im Zeolithfilter, wird in feinpartikulärer oder kolloidaler Form in das Aquarienwasser freigesetzt, verlässt also die jeweilige Filtereinheit und muss im weiteren Filterverlauf adoptiert werden.

Beide hier genannten Filtermethoden, → **Biopellets** und auch die → **Zeolithfilterung**, sind charakteristische adoptive Filtermethoden, weil sie auf eine weiterführende Filterkomponente angewiesen sind. Allerdings ist ihre für sie eigene Filterwirkung grundlegend verschieden, denn die Biopellets arbeiten durch die Kohlenstoffquelle eher im Bereich der biologischen Filterung, während der Zeolith als vorrangig adsorptives Filtermedium (Ammoniumbindung) zu den physikalisch-chemischen Filtermethoden zählt. Gemeinsam haben Sie, dass sich Ihre Oberfläche sehr leicht und teils stark im Durchfluss innerhalb des Filters abreibt und somit das eigentliche Filterereignis noch nicht endgültig stattgefunden hat.

Die von einem adoptiven Filtermedium erzeugten Filterstoffe müssen aus dem Riffaquarium entfernt werden, bevor es zu einer möglichen Rückwandlung in die ursprüngliche Form kommt. Der Einsatz dieser Filtermethoden wäre dadurch wenig effektiv und in einigen Fällen, v.a. bei der Biopelletfilterung, sogar problematisch. Der Eiweißabschäumer oder ein mechanischer Rollvliesfilter können die von adoptiven Filtermedien in partikuläre Formen umgewandelten Filterstoffe erfassen („adoptieren“) und sie endgültig entfernen. Adoptive Filtermethoden stellen also gewisse Anforderungen an die Konzeption von → **Technikbecken und Technik-Kompartimenten**, die darauf abzielen, die jeweiligen Filter-Komponenten räumlich so im Technikbecken zu platzieren, dass z.B. der Eiweißabschäumer die umgewandelten Filterstoffe möglichst umfangreich erfassen kann. Die positive Wirkung eines adoptiven Filtermediums hängt also maßgeblich davon ab, wie sich zeitlich und räumlich eine Filterkopplung ergibt und wie effektiv der schlussendliche Filteraustrag über die Abschäumung oder eine mechanische Filterung ist. Eine unvollständige Entfernung kann wie bereits erwähnt zur Reversion (Rückwandlung) in die ursprüngliche(n) Schadstoffform(en) führen.

Im Folgenden wird die Biopelletfilterung im Detail erörtert (Zeolithfilterung siehe → **adsorptive und absorptive Filtermedien**).

Biopellets (Pelletfilter)

Biopellets sind in Form gepresste Pellets aus biologisch abbaubaren polymeren organischen Materialien (z.B. Polyhydroxyalkanoate, PHA). Die Pellets sind Siedlungssubstrat und immobilisierte Kohlenstoffquelle für heterotrophe Bakterien zugleich und werden in einem eigens dafür vorgesehenen Filter im Wirbel- bzw. Fließbettverfahren, oder auch im Rieselfilter-Verfahren betrieben (Biopellet- oder kurz Pelletfilter). In den Wirbelbettfiltern müssen die Pellets immer in Bewegung sein, damit es nicht zum Verklumpen der Pellets und zu Sauerstoffmangelsituationen im Filter kommt. Das aerobe Wachstum der Bakterien setzt auch stets eine ausreichend hohe Sauerstoffversorgung voraus, weshalb sich auch das Rieselfilterverfahren als Anwendungsmethode gut eignet.

Die auf den Biopellets wachsenden Bakterien verstoffwechseln (metabolisieren) nicht nur den organischen Kohlenstoff der Pellets, sondern nehmen im Zuge Ihres Wachstums auch im Wasser

gelöstes Nitrat und Phosphat auf, sowie andere relevante Nähr- und Spurenstoffe, wie z.B. Eisen. Der Nitrat- und Phosphatumbau wird hierbei als wesentliches Funktionsprinzip und als Vorteil für die Riffaquaristik betrachtet, d.h. Pelletfilter kommen vor allem dann zum Einsatz, wenn es langfristige Probleme mit einem zu hohen Nitrat- und Phosphatgehalt gibt.

Allerdings sind die Nachteile dieser Methode derart kritisch, dass im SANGOKAI System grundsätzlich davon abgeraten wird.

Zunächst stellt diese Methode keine Lösung für bestehende Probleme dar, aus denen akkumulierte hohe Konzentrationen von Nitrat oder Phosphat hervorgehen. Es ist eine reine Symptombehandlung, welche die dahinter stehenden Ursachen völlig unbeleuchtet lässt und durch die Umwandlung von Nitrat in Bakterienbiomasse den Stickstoff zunächst lediglich maskiert (Nitratgehalt sinkt, der Nitrat-Stickstoff liegt aber in Form der Bakterien noch vor, ist nur nicht mehr messbar).

Die Mikroben (Bakterien und möglicherweise auch marine Pilze) nehmen im Zuge ihres Wachstums Nitrat und Phosphat aus der Wassersäule auf. Diese Nährstoffe liegen nach der Transformation nun in partikulärer Form in der lebenden Bakterienbiomasse vor, so dass man einen Biopelletfilter funktionell auch als → **Kompensationsbiotop** betrachten kann. Um die gebundenen Nährstoffe aus dem Aquariensystem zu exportieren, müssen die aus dem Pelletfilter ausgeschwemmten Bakterien abgeschäumt oder anderweitig herausgefiltert werden. Die Biopellet-Filterung benötigt also grundsätzlich eine effektive Abschäumung und zählt daher zu den → **adoptiven Filtermethoden**, die nicht autark funktionieren, sondern eine zweite Filter-Komponente erfordern, die dann dafür sorgt, dass die Filterstoffe aus dem Aquarium entfernt werden. Die diesbezüglich gestellten Anforderungen an adoptive Filtermethoden werden unter dem Stichwort → **Technikbecken und Technik-Kompartimente** im Detail erläutert.

Problematisch dabei ist, dass nicht jedes Bakterium, Biofilm-Fragment oder auch abgeriebener Kohlenstoffpartikel aus dem Pelletfilter herausgefiltert oder abgeschäumt werden kann. Selbst bei einer kurzen räumlichen Distanz zwischen Pelletfilter und Abschäumer (eine Grundvoraussetzung für den Betrieb eines Biopelletfilters) wird nicht alles ausgeschwemmte Material vom Abschäumer erfasst, sondern kann sich im Technikbecken ablagern oder in das Hauptbecken ausgespült werden (über die Rückförderpumpe).

Weil die für die Bakterien existentiell wichtige Kohlenstoffquelle im Pelletfilter immobilisiert ist, und im freien Wasser des Aquariums nicht oder nur in sehr geringen Mengen (durch Abrieb) vorkommt, können freigesetzte Bakterien und abgeriebene Fragmente nach einer gewissen Zeit wieder absterben. Die durch die Kohlenstofflimitierung abgestorbene Bakterienbiomasse kann dann Mulm/Detritus erzeugen, oder wird von anderen Mikroben zersetzt und mineralisiert, so dass es wieder zu einer Rücklösung des ursprünglich gebundenen Nitrats- und Phosphats kommt (Mineralisation in Folge destrukturierender Prozesse). Die ursprünglich im Pelletfilter stattgefundenen Transformation wird also an anderer Stelle im Aquariensystem wieder rückgängig gemacht (Reversion).

Es wird häufig argumentiert, dass die ausgespülten Bakterien, Mikroben und Biofilm-Fragmente Korallen und anderen Filtrierern im Riffaquarium als Nahrung dienen. Nachweise dafür sind nicht leicht zu finden, so dass es sich hierbei eher um eine allenfalls hypothetische Annahme handelt. Vielmehr sollte man die Überlegung nicht außer Acht lassen, dass es sich bei den Biopellet-Mikroben um sessile (also sesshafte) Organismen handelt, die es gewohnt sind, auf den Pellets zu sitzen. Eine planktonische, also frei im Wasser schwebende Lebensweise ist für sie nicht grundsätzlich anzunehmen (dann würde man von Bakterioplankton sprechen), sodass die Möglichkeit besteht, dass sich die sessilen Mikroben z.B. durch das Ausscheiden klebriger Substanzen über ihre Zellwände sehr schnell wieder festzusetzen versuchen. Das würde dazu führen, dass der mikrobielle Abrieb aus Pelletfiltern wenn überhaupt nur für kurze Zeit im freien Wasser als Futter für Korallen oder andere Wirbellose zur Verfügung stünde. Nach der erneuten Festsetzung auf Siedlungssubstrat im Riffaquarium (Scheiben, Steine, Sand) folgt dann nach einer gewissen Zeit das Absterben aus Mangel an organischem Kohlenstoff. Die Biopelletfilterung kann daher in Anlehnung an die erörterten Umstände kritisch dazu beitragen, dass das Riffaquarium übermäßig stark und schnell Mulm aus bakteriellen Zellresten anreichert, wenn diese nicht wieder vollständig mineralisiert werden können.

Der aus der Rücklösung abgestorbener Biopellet-Mikroben erneut ins Wasser gelangte Anteil an Nitrat und Phosphat muss über einen neuen Anteil an Biopellet-Kohlenstoff wieder rückgebunden werden, d.h., dass bei gleichzeitig unberührter Nitrat- und Phosphatentwicklung im Aquarium (das bestehende Problem für die Nitrat-/Phosphatentstehung bleibt wie gesagt durch diese Filtermethode unberücksichtigt) immer mehr Biopellets zum Einsatz kommen müssten, was langfristig zu einer potentiell kritischen Akkumulation von Detritus führt. Ein solches Szenario würde nach einigen Monaten oder wenigen Jahren das Becken irreversibel schädigen. Der hohe organische Mulmanteil steigert den biologischen Sauerstoffbedarf und senkt das Redox-Potential im Aquariensystem, kann die Schwefelwasserstoff-Entwicklung in anoxischen Zonen (z.B. in Sedimenten) fördern und führt zum Verkleben der Dekorationsoberflächen. Alle diese möglichen Folgen sind für sich alleine und v.a. in der Summe für die Pflege von Riffaquarien äußerst ungünstige Umgebungsvoraussetzungen.

Aus diesen Gründen ist es nicht nur sinnvoll, sondern auch für den nachhaltigen und gemäßigten Einsatz der Biopelletfilterung eine essentielle Voraussetzung, die Ursachen für eine zu hohe Nitrat- und Phosphatentstehung primär diagnostisch zu klären und diese gezielt zu beheben und auf eine Biopelletfilterung im SANGOKAI System zu verzichten.

Adsorptive und absorptive Filtermedien

Adsorptive (adsorbierende) Filtermedien (mit „d“ geschrieben) sind innerhalb der als „physikalisch-chemischen Filterung“ bezeichneten Art der Wasseraufbereitung in Aquarienfilteranlagen dazu konzipiert, bestimmte ungewünschte Substanzen aus dem Wasser an ihre Oberfläche zu binden (Adsorption) und damit unwirksam zu machen. Je nach ihrer physikalisch-chemischen

Beschaffenheit sind dabei die Zielsubstanzen sehr unterschiedlich und auch die Art der Bindung am Filtermaterial kann sehr variabel sein.

Oft wird der Begriff Adsorption mit Absorption (mit „b“ geschrieben) verwechselt. Während die bereits genannte Adsorption einen Stoff an seine Oberfläche bindet, bezieht sich die Absorption auf die Aufnahme eines Stoffes ins „Innere“, also eine Einlagerung, die aber nicht zwangsläufig zu einer festen Bindung führt (z.B. ein mit Wasser getränkter Schwamm, der zwar Wasser aufnehmen kann, dieses aber auch wieder abgibt). Man beachte, dass Absorption auch in der Photochemie/-biologie als physikalisches Phänomen der Aufnahme von Strahlungsenergie aus einer Strahlungsmenge (Quanten) mittels Pigmenten verwendet wird, und auch hier beschreibt, dass die absorbierte Energie nicht fest gebunden, sondern nur aufgenommen und in eine andere Energieform umgesetzt wird, z.B. in thermische Energie („Wärme“), in Strahlungsenergie (Fluoreszenz), oder im Rahmen der Photosynthese in chemische Energie (z.B. in Form von Adenosin-triphosphat, ATP).

Funktionell kann und muss die Differenzierung zwischen Ad- und Absorption nicht zwangsläufig auch ein in der Aquaristik auffälliger praktischer Unterschied sein, allerdings ist ein zeitlicher Aspekt hier von Bedeutung, der in diesem Abschnitt erörtert wird. Vielmehr geht es im physikalischen Sinne um die rein inhaltliche Unterscheidung der Art und Weise, was mit einem bestimmten Stoff in der Interaktion mit einem adsorptiven, respektive absorptiven Filtermedium passiert. Ob eine Substanz also fest gebunden und damit adsorbiert wird, oder unter Umständen auch nur absorbiert, also eingelagert wird, macht nicht zwingend einen aquaristisch-praktischen Unterschied, sofern das Filtermaterial mitsamt der gebundenen oder eingelagerten (Schad)stoffe rechtzeitig aus dem Filter und damit auch aus dem Aquariensystem entfernt wird. Genau hier liegt der zeitliche Aspekt, wenn ein Filtermedium die absorbierten Stoffe wieder an das Wasser entlässt (siehe Vergleich Wasserschwamm), sodass keine endgültige Entfernung aus dem Aquariensystem mehr möglich ist. Je nach Stoff und Stoffkonzentration innerhalb des Wassers kann eine Interaktion mit dem absorptiven Filtermedium sehr kurz sein und nur wenige Stunden oder Tage stattfinden. Ein adsorptives Filtermedium hingegen bindet einen Stoff i.d.R. längerfristig an seine Oberfläche und setzt damit diesen Stoff fest, so dass nur starke physikalisch-chemische Einwirkungen (z.B. Einfluss von Säure oder Lauge, Temperatur, mechanischer Abrieb, etc.) dazu führen können, dass die gebundenen Stoffe wieder freigesetzt werden. Für den praktischen Betrieb ist also durchaus ein zeitlicher Aspekt in der Anwendung von adsorptiven und absorptiven Filtermedien zu beachten, der für die jeweiligen Filtermedien in diesem Kapitel spezifisch erörtert wird.

Im Folgenden werden die typischen chemischen ad- und absorptiven Filtermedien in der Meerwasseraquaristik im Detail erörtert. Dazu zählen die Aktivkohle (als sowohl absorptives und adsorptives Filtermedium), die im allgemeinen als Phosphat- oder Silikat-Adsorber eingesetzten adsorptiven Anionenadsorber, sowie Zeolith als naturbelassenes Adsorptionsmaterial, das gleichzeitig auch als → [adaptive Filtermethode](#) auf eine weiterführende Filterkomponente wie die Eiweißabschäumung angewiesen ist.

Aktivkohle
IN BEARBEITUNG

Anionenadsorber (Phosphat-/Silikatadsorber)
IN BEARBEITUNG

Zeolithe (Clinoptilolithe)
IN BEARBEITUNG

Fischbesatz
IN BEARBEITUNG

Fischbesatz in der Startphase von Riffaquarien

Fische als Nährstofflieferanten

Artgerechte Fischpflege und Auswahl geeigneter Aquarienfische

Fluoreszenz/fluoreszierende Pigmente in Korallen → [Grundlagenwissen zu Farben und fluoreszierenden Pigmenten in zooxanthellaten Korallen](#)

-G-

Gestaltung von Riffaquarien

Die Gestaltung von Aquarien ist ein zentrales Thema und neben dem Tier- und Pflanzenbesatz der ästhetisch vordergründigste Aspekt in der Aquaristik allgemein. Insbesondere für den Laien steht der optische Eindruck des Aquariums primär im Fokus, während z.B. die technische Konzeption, oder die spezielle Versorgung, die in den meisten Aquarianern ebenfalls ein großes spezifisches Interesse weckt, weitestgehend irrelevant ist.

Die Form und die Gestalt des eingesetzten Dekorationsmaterials erweckt jedoch nicht nur eine individuelle emotionale Wirkung im Betrachter. Vielmehr bestimmt die Gestaltung auch unmittelbar und direkt den praktischen Betrieb des Riffaquariums und beeinflusst biologische Prozesse. An dieser Stelle sei auf den im Latka Verlag 2015 publizierten Fachartikel „Der Einfluss der Riffaquariengestaltung auf die Aquarientherapie, Teil 1“ verwiesen, der in der Kategorie Wissen auf der SANGOKAI Webseite zur Verfügung steht und das Thema am Beispiel der Nitrifikation in einem Riffaquarium diskutiert.

Um den Einfluss der Riffgestaltung auf aquarienbiologische Prozesse und den praktischen Betrieb zielführend diskutieren zu können, werde ich (J. Kokott) an dieser Stelle drei Parameter definieren und vorstellen, mit denen eine jeweilige Riffgestaltung charakterisiert und beurteilt werden kann: a) die Gesamtdekorationsoberfläche (GDO), b) die Expositionsfläche (EF) und c) die Raumstruktur (RS). Diese drei Parameter sollen im Folgenden erklärt und diskutiert werden. Somit versteht sich dieser Teil des Kapitels auch gleichzeitig als Teil 2 der Artikelserie aus dem Latka Verlag.

Gesamtdekorationsoberfläche (GDO)

Die Gesamtdekorationsoberfläche (GDO) ist die Summe aller im Aquariensystem über die Gestaltungselemente bereitgestellte Oberfläche und schließt alle Biotope im Aquariensystem ein, also neben den Aquarienscheiben auch jegliches Hartsubstrat (Steine), sowie den Bodengrund (sofern vorhanden), der Lebensraum für eine ganz eigene Organismenwelt ist, und je nach Material, Körnung und Struktur ganz unterschiedliche Umweltbedingungen schafft, die im Kapitel → **Bodengrund** detailliert erläutert werden. Relevant ist an dieser Stelle, dass alle dem Wasser und der Strömung exponierten Oberflächen im Aquarium auch mit dem Wasser mehr oder weniger stark interagieren. Selbst die Aquarienscheiben, die wir aus diesem Grund auch regelmäßig von Aufwuchsorganismen befreien müssen. Diese Interaktionen betreffen ganz allgemein den Gas- und Stoffaustausch auf drei unterschiedlichen Ebenen, und zwar a) zwischen Gestaltungsmaterial und dem Wasser (Ebene 1), b) zwischen den Organismen auf dem Gestaltungsmaterial und dem Wasser (Ebene 2) und c) zwischen den Organismen und dem Gestaltungsmaterial, auf dem sie wachsen (Ebene 3). Diese drei verschiedenen Interaktionsebenen sollen im Folgenden kurz besprochen werden.

Typisch für viele künstliche Gestaltungsmaterialien ist z.B. die Abgabe von Calcium, Silikat oder von potentiellen Schadstoffen wie z.B. Aluminium oder Lithium, als direkte Interaktion zwischen Gestaltungsmaterial und Aquariumwasser (Ebene 1). Je nach Art und Qualität der verwendeten Rohstoffe, und in Abhängigkeit von der Verarbeitungsweise und dem Herstellungsvorgang, kann die spätere Rücklösung von Stoffen aus dem Gestaltungsmaterial ins Meerwasser seitens der Hersteller beeinflusst und kontrolliert werden. Dennoch wird man nach der Verarbeitung der meisten künstlichen Materialien im Aquarium oft eine Veränderung in der Meerwasserzusammensetzung feststellen und wird korrigierend eingreifen müssen, z.B. bei der Stabilisierung der Karbonathärte bei steigendem Calciumgehalt, oder, im kritischeren Fall, mit Wasserwechsel oder dem Einsatz von Filtermedien bei sich anreichernden Schad- oder Nährstoffen aus dem Gestaltungsmaterial. Je größer die Gesamtdekorationsoberfläche im Aquarium ist, desto stärker ist auch das Ausmaß der Rücklösung z.B. von Stoffen aus dem Gestaltungsmaterial ins Meerwasser, bzw. der Entfernung von Stoffen aus dem Meerwasser, wenn das Material adsorptive, d.h. bindende Eigenschaften aufweist (z.B. temporäre Bindung/Komplexierung von Phosphat oder Kalium. Ein sehr umfangreiches Spektrum an anorganischen Schadstoffen ist heute über die spezialisierten Meerwasser-Laboratorien messbar, was die potentielle Schadstoffwirkung damit auch kontrollierbarer macht.

Wenn in einem Riffaquarium ein Hartsubstrat als Siedlungsraum angeboten wird, entwickelt sich darauf eine ganz spezifische, d.h. für das Aquarium eigene und individuelle Organismengemeinschaft, z.B. aus Bakterien, Mikroben oder Algen, die mit dem Wasser interagiert (Ebene 2). Diese Entwicklung ist abhängig von den jeweils vorherrschenden physikalisch-chemischen Umweltbedingungen (z.B. Licht, Strömung, Meerwasserzusammensetzung, Nährstoffgehalt), dem Ausmaß an Veränderungen in diesen Bedingungen (Dynamik) und der Zeit. Hinsichtlich der dynamischen Veränderungen muss man davon ausgehen, dass die im Wasser verfügbaren Nähr- und Mineralstoffe bei einem begrenzten

Volumen im Aquarium potentiell wachstumslimitierende Faktoren sind. Sehr einfach nachzuvollziehen ist das anhand des Verbrauchs an Calcium oder Carbonaten im Rahmen der → **Kalkhaushalt-Stabilisierung**. Viele Organismen haben eine Vorliebe für einen ganz bestimmten Nährstoff, so dass die Verteilung verschiedener Nährstoffformen im Aquarium die Organismengemeinschaft unterschiedlich anspricht. Manche Organismen werden in ihrem Wachstum gefördert, gleichzeitig andere geschwächt, wenn sie mit den verfügbaren Nährstoffen weniger gut umgehen können. Der Nährstoffhaushalt ist also aus Sicht der Organismengemeinschaft eine relative, und keine absolute Größe und bestimmt die Entwicklung der Organismen auf dem Hartsubstrat dynamisch über die Zeit. Dadurch bringt jedes Aquarium eine ganz individuelle Organismengemeinschaft auf der Dekorationsoberfläche hervor, was jedes einzelne Aquarium (selbst wenn es Teil in einem Gesamtkreislauf ist) einzigartig macht. Entsprechend individuell ist auch das Ausmaß an Interaktionen zwischen den Organismen und dem Wasser. Ein stark mit Algen oder Cyanobakterien besiedeltes Substrat kann das Wasser durch die Abgabe von biochemischen Kampfstoffen oder Huminstoffen weitaus schneller belasten als ein Substrat, das vollständig von Kalkrotalgen bewachsen ist. Ein solches Kalkrotalgensubstrat erzeugt wiederum einen höheren Kalkverbrauch als ein Substrat, das mit nur wenigen Kalkrotalgen besiedelt ist.

Wir müssen also davon ausgehen, dass sich unabhängig von der Materialbeschaffenheit und der Form der Gestaltung eine sehr variable biologische Aktivität entwickelt, v.a. durch die unterschiedliche Ausprägung der Mikrobiologie und der Biofilme, aber auch durch die Makroalgenpopulationen. Die Interaktionen auf Ebene 2 beeinflussen das Aquarium sehr stark und wir können sie nicht in allen Situationen ausreichend gut steuern und kontrollieren (Algenplagen, Cyanobakterien, etc.). Die Abgabe von Stoffen aus dem Stoffwechsel und die Aufnahme und Bindung von Nähr- und Mineralstoffen macht Ebene 2 zur komplexesten und damit auch am schwierigsten nachvollziehbaren Interaktionsebene im Aquarium. Es ist also primär wichtig zu verstehen, dass ins Aquarium eingebrachtes Gestaltungsmaterial niemals biologisch völlig inaktiv und damit vernachlässigbar ist. Es interagiert mit dem Wasser und den Organismen im Aquarium und muss dahingehend optimal verstanden werden. Ziel sollte es sein, eine gesunde Biofilmentwicklung auf dem verwendeten Gestaltungsmaterial zu erzeugen, was langfristig auch das Nahrungsspektrum für Kleinstlebewesen verbessert und die Widerstandsfähigkeit gegenüber unerwünschten Algen- oder Cyanobakterien erhöht.

Während sich die Ebenen 1 und 2 auf die Wechselwirkungen des Gestaltungsmaterials und seiner Aufwuchsorganismen mit dem umgebenden Wasser beziehen, betrachtet Ebene 3 die Interaktionen zwischen der Dekorationsoberfläche und den auf ihr siedelnden Organismen. Diese Ebene ist für uns Aquarianer am schlechtesten korrigierbar. Schadstoffbelastetes Wasser kann relativ einfach gewechselt werden und im Wasser verbrauchte Nähr- und Mineralstoffe können gezielt nachdosiert werden, während das eingebrachte Gestaltungsmaterial nur unter größerem Zeit- und Arbeitsaufwand ausgetauscht werden kann. Daher ist es wichtig, ein mit Nähr- und Schadstoffen unbelastetes Gestaltungsmaterial zu verwenden, was v.a. für den Einsteiger sehr wichtig ist, der z.B. gebrauchtes Gestaltungsmaterial aufgrund von mangelnder Erfahrung kaum

objektiv beurteilen kann, sich aber durch den günstigen Anschaffungspreis zum Kauf verleiten lässt.

Ein mit Schadstoffen belastetes Siedlungssubstrat wird nicht nur dazu führen, dass Schadstoffe langfristig an das Wasser abgegeben werden (Ebene 1), sondern wird auch keine gesunde und v.a. keine vielfältige Organismengemeinschaft ansiedeln können. Es wird vor allem von speziellen und oft unerwünschten Organismen (z.B. Cyanobakterien) besetzt, die eine hohe Toleranz gegenüber der vorhandenen Schadstoffe zeigen.

Ein weiterer kritischer Aspekt, der Ebene 3 betrifft, ist der Gehalt an partikulären Nährstoffen, die im Gestaltungsmaterial deponiert sind und von Algen und Bakterien, aber nicht von Korallen rekrutiert werden können. Solche Nährstoffdepots, die auch langfristig durch ein mangelhaftes → **Strömungskonzept** entstehen können, machen viele Algen und Bakterien vom gelösten Nährstoffgehalt im Wasser unabhängig und bringen das Phänomen zum Vorschein, dass trotz eines niedrigen Nährstoffgehalts im Wasser ein unkontrollierbares Algen- oder Cyanobakterienwachstum besteht, das stark konkurrierend auf das Korallenwachstum wirken kann.

Bei der Verwendung von sehr viel Gestaltungsmaterial verschiebt sich das Verhältnis von Gesamtdekorationsoberfläche (GDO) zu Wasservolumen in Richtung der GDO, was für den langfristigen Aquarienbetrieb nicht folgenlos bleibt und sich auf alle drei Ebenen auswirkt. Je mehr Steine oder Bodengrund ins Aquarium eingebracht werden, desto weniger Wasser ist anteilig im Aquarium enthalten. Steigt die GDO im Vergleich zum Wasservolumen an, so nimmt auch der angesprochene wachstumslimitierende Einfluss des Nährstoffhaushalts auf die Organismengemeinschaft zu, d.h. Korallen und andere gewünschte Pfleglinge stehen in deutlich größerer Konkurrenz zu Bakterien und Mikroben, die im gleichen Wasser auf der Dekoration siedeln und möglicherweise auf die selben Nährstoffe zurückgreifen. Eine solche Nährstoffkonkurrenz kann für die Korallenpflege problematisch sein und kann z.B. auch auf → **Refugien** zutreffen.

Im Folgenden soll ein Szenario im Zusammenhang mit der Gesamtdekorationsoberfläche (GDO) und dem Nährstoffhaushalt vorgestellt werden, das deutlich machen soll, wie sich eine hohe GDO auf aquarienbiologische Prozesse im Riffaquarium auswirken kann. Dieses Thema ist auch in dem bereits empfohlen Artikel „Der Einfluss der Riffaquariengestaltung auf die Aquarienpraxis, Teil 1“ behandelt, soll hier jedoch ebenfalls als Beispiel dienen.

Eine hohe Gesamtdekorationsoberfläche erzeugt im sauerstoffhaltigen (oxischen) Milieu eine starke Nitrifikationsaktivität, wenn ausreichend Ammonium zur Verfügung steht. Je mehr Siedlungsraum Nitrifikanten geboten wird, desto größer kann auch deren Population heranwachsen, d.h. desto höher ist die mögliche Nitrifikationsaktivität im Aquarium. Die Nitrifikation ist ein bakterieller Stoffwechselweg, der Ammonium zunächst zu Nitrit und dieses in einem zweiten Schritt zu Nitrat oxidiert. Dadurch verschiebt sich also im Wasser das Verhältnis von reduziertem Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) hin zu oxidiertem Nitrat-Stickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$).

Nitrat ist hinsichtlich der Verwertung z.B. in der Proteinsynthese energetisch ungünstiger, weil es in der lebenden Zelle zunächst wieder energieaufwändig zu Ammonium reduziert werden muss, damit der enthaltene Stickstoff (N) in Aminosäuren und den daraus aufgebauten Proteinen eingebaut werden kann. Je höher also die Nitrifikationsrate im Riffaquarium ist, desto schneller geht das physiologisch günstige Ammonium verloren und desto schneller entsteht das energetisch aufwändiger nutzbare Nitrat.

Unabhängig von dieser Verschlechterung in der Stickstoffverfügbarkeit an sich muss in diesem Zusammenhang auch die Bedeutung einer Spurenmetallversorgung angesprochen werden, denn nicht nur die Nitrifikation selbst benötigt Spurenmetalle für die darin aktiven Enzyme, sondern auch die in den lebenden Zellen stattfindende Umkehr der Nitrifikation, also die Reduktion von aufgenommenem Nitrat zurück zu verwertbarem Ammonium. Die hier wirksamen Enzyme (Nitratreduktase, Nitritreduktase) enthalten die Spurenmetalle Eisen und Molybdän. Ein Mangel an diesen Spurenmetallen kann also praktisch die Verwertung von Nitrat als Stickstoffquelle im Aquarium verschlechtern, d.h. es liegt zwar Nitrat im Wasser vor, es kann jedoch nicht genutzt werden. Folglich entsteht für Korallen und Algen eine Stickstoffmangelsituation, sofern nicht auf Ammonium oder andere organische Stickstoffverbindungen zurückgegriffen werden kann (z.B. durch eine unmittelbare Ammoniumversorgung durch kleine Fische, die in einer Korallenkolonie leben oder sich darin zeitweise aufhalten. Solche kleinen Fische tragen also weitaus besser zur Stickstoffversorgung von Korallen bei als große Fische, was im Kapitel → [Fischbesatz](#) thematisiert wird).

Je höher also die Nitrifikationsaktivität im Aquarium ist, desto theoretisch schlechter ist die allgemeine Stickstoffverfügbarkeit für Korallen und desto theoretisch höher ist der Bedarf z.B. an Eisen und Molybdän, damit Nitrat als Stickstoffquelle von Korallen und Algen genutzt werden kann. Da in diesem Szenario die Nitrifikationsaktivität mit steigender Gesamtdekorationsoberfläche (GDO) zunimmt, erhöht sich auch der Spurenmetallbedarf im Riffaquarium, was der Aquarianer in seinen Pflegemaßnahmen berücksichtigen muss (Spurenmetallversorgung), um einen Spurenmetallmangel zu vermeiden.

Wenn also im Umkehrschluss das Wasservolumen im Aquarium groß und die Gesamtdekorationsoberfläche relativ klein ist (wenn also wenig Gestaltungsmaterial verwendet wird), dann bleibt physiologisch wirksames Ammonium (abgegeben z.B. von Fischen über die Kiemen, oder zugeführt aus einer Nährstoffversorgung) länger im Wasser erhalten und wird weniger schnell über die Nitrifikation in ungünstiges Nitrat umgewandelt. Ammonium steht folglich auch denjenigen Organismen länger zur Verfügung, die ihren Stickstoffbedarf bevorzugt damit abdecken. Wir können weiterführend argumentieren, dass auch der Bedarf an Spurenmetallen praktisch niedriger ist, wenn ein Riffaquarium eine geringe Gesamtdekorationsoberfläche, also eine sparsamere Dekoration, aufweist. Diesen Trend beobachten wir in den letzten Jahren bei vielen SPS-Liebhabern, die nicht nur auf Bodengrund verzichten, sondern auch sehr locker und beinahe (aus Sicht „alter Hasen“) spartanisch gestalten, um für ein möglichst großes Wasservolumen bei gleichzeitig geringer Dekorationsoberfläche zu sorgen. Dadurch bleiben wichtige Nährstoffe, z.B. aus einer aktiven Versorgung, für Korallen länger verfügbar und werden

nicht von Bakterien oder Mikroalgen verbraucht, die auf einer hohen Dekorationsoberfläche siedeln und dadurch eine Nährstoffkonkurrenz zu den Korallen erzeugen.

Im gleichen Zusammenhang ist auch eine Ableitung auf die Filtertechnik zu besprechen. So kann die Effizienz der Eiweißabschäumung bei einer hohen Gesamtdekorationsoberfläche (GDO) mitunter deutlich reduziert sein, weil viele potentiell abschäumbare Substanzen von Bakterien und Mikroben auf der Dekorationsoberfläche im Aquarium verwertet und degradiert (mineralisiert) werden und in mikrobielle Stoffwechselwege wie z.B. die Nitrifikationskette gelangen. Vergleichbar mit den früheren Rieselfilteranlagen, die vor dem Abschäumer positioniert waren (Ablaufschacht), ist bei einer hohen GDO eine Nitratanreicherung im Wasser möglich, obwohl eine qualitativ hochwertige und technisch leistungsstarke Eiweißabschäumung installiert ist. Auch → [Zeolithfilter](#), die vor allem auf die frühzeitige Ammoniumbindung bei hohem Fischbesatz abzielen, werden in ihrem Wirkungspotential stark eingeschränkt, wenn die Nitrifikationsaktivität im Aquarium aufgrund einer üppigen GDO zu hoch ist. Wenn also Eiweißabschäumer keine zufriedenstellende Wirkung zeigen, dann ist die Überprüfung der GDO im Rahmen der Ursachenfindung und Problemdiagnose ein äußerst sinnvoller Ansatz und weniger die Infragestellung der Leistungsfähigkeit der verwendeten Technik.

Es gilt abschließend festzuhalten, dass die Gesamtdekorationsoberfläche im Riffaquarium ein bedeutender Parameter für die langfristige Riffaquariumpflege und nicht nur eine Frage der Optik ist. Es sollte in Relation zum Wasservolumen nicht willkürlich viel Siedlungsfläche geschaffen werden. Wenn also das Aquarium aus optischen Gründen mit Wandmodulen komplett verkleidet werden soll, muss der Pfleger schon im Vorfeld wissen, welche möglichen Folgen dies für das Gesamtsystem haben kann. Je mehr Gestaltungsmaterial verwendet wird, desto stärker ist die Interaktion auf den verschiedenen Ebenen und desto schlechter können insbesondere Einsteiger die Riffgestaltung kontrollieren und verstehen. Locker und einfach gestaltete Riffaquarien sind daher für Einsteiger stets zu bevorzugen. Insbesondere die mit vielen Wandverkleidungen gestalteten Riffaquarien mit einer extrem hohen Gesamtdekorationsoberfläche sind pflegetechnisch aufwändiger und sollten daher erfahrenen Riffaquarianern vorbehalten sein, die auch ausreichend Wissen um geeignete → [Strömungskonzepte](#) kennen, um ein üppig gestaltetes Riffaquarium dauerhaft optimal zu beströmen. Einsteiger hingegen benötigen ein klares und einfaches Gestaltungskonzept.

Expositionsfläche (EF, spezifische EF und unspezifische EF)

Die Expositionsfläche einer Riffgestaltung ist der für Licht und Strömung zugängliche (exponierte) Anteil der Gesamtdekorationsoberfläche. Nicht exponierte Bereiche der Gesamtdekorationsoberfläche sind z.B. die Steine im Grundaufbau (Unterbau), die als statische Basis dienen und pflegerisch nicht zugänglich sind und auch dem Licht und der Strömung nicht zugewandt sind. Stellt man sich also einen Haufen Steine vor, der im Aquarium aufgetürmt ist, dann ist die Expositionsfläche nur die sichtbare Oberfläche, während ein Großteil der darüber hinaus vorhandenen Gesamtdekorationsoberfläche im Inneren des Steinhaufens weder für Licht noch für Strömung zugänglich ist und auch dem Korallenbesatz nicht zur Verfügung steht.

Allerdings ist es wichtig zu verstehen, dass dieser nicht-exponierte Teil der Gestaltung dennoch biologisch und chemisch aktiv sein kann, d.h. auch hier können Interaktionen auf den drei verschiedenen Ebenen stattfinden, was sich jedoch außerhalb unseres Wirkungs- und Kontrollbereichs befindet und deshalb große Probleme verursachen kann.

Während die physikalisch-chemischen Interaktionen von Wasser mit Gestaltungsmaterial auf Ebene 1 (z.B. die Herauslösung von Schadstoffen) auch in der nicht-exponierten Gestaltungsoberfläche ähnlich stark sein kann wie auf der Expositionsfläche, sind die biologischen Interaktionen (Ebene 2 und 3) auf der licht- und strömungsexponierten Oberfläche weitaus stärker. Algenprobleme treten beispielsweise nur auf der Expositionsfläche auf, weil die Abschattung bzw. der Lichtmangel auf nicht-exponierten Siedlungsflächen trotz der verursachenden Problematik, die hinter der Algenplage steckt, hier keine Algenbildung zulässt.

Grundsätzlich gilt es, einen möglichst großen Anteil der Gesamtdekorationsoberfläche als Expositionsfläche zu nutzen, weil dieser potentiell für die Platzierung von Korallen geeignet ist und zudem die nicht-exponierten Flächen wie erörtert schlecht kontrolliert und gesteuert werden können. Der bereits beispielhaft genannte Steinhaufen ist für die Pflege von Korallen wenig geeignet, weil die Expositionsfläche in Relation zur Gesamtdekorationsoberfläche, d.h. in Relation zum eingesetzten Gestaltungsmaterial, gering ist und sehr viel Wasservolumen verloren geht (siehe vorheriges Kapitel Gesamtdekorationsoberfläche). In den 1970 – 1990er Jahren war es üblich, Riffaquarien extrem üppig mit Steinen (lebenden Steinen) zu besetzen, wobei die Steine von der Aquarienfront unten bis hoch zur Rückwand in einer Art schrägen Mauer aufgestapelt wurden. Daraus resultierte nur eine zweidimensionale Expositionsfläche. Alles hinter dieser exponierten Fläche waren Steine, die im Dunkeln ohne Strömung im Verborgenen lagen. Damals war die Meinung populär, dass man nicht genug lebende Steine einbringen kann, um eine möglichst große biologische Filterwirkung zu erreichen. Es dauerte tatsächlich einige Jahrzehnte bis bemerkt wurde, dass viele der teils bis heute als positiv betrachteten biologischen Vorgänge nicht grundsätzlich für Korallen förderlich sind. Diese „Mauerbecken“ konnten kaum beströmt werden (siehe nächster Abschnitt Raumstruktur), es lagerte sich schon in kurzer Zeit sehr viel organisches Material im Lückensystem des Steinaufbaus ab (vgl. → [Strömungskonzept](#)) und letztlich war die Nitrifikationsaktivität durch die extrem hohe Gesamtdekorationsoberfläche und die Freisetzung von Phosphat aus organischem Material so stark, dass die Korallen in Nitrat und Phosphat „ersticken“.

Zugegebenermaßen ist es mit lebenden Steinen (oder auch totem Riffgestein) sehr schwer, filigrane, z.B. säulenartige Strukturen zu schaffen, die statisch auch halten und nicht umfallen oder kollabieren. Kabelbinder sind nicht allzu lange beständig gegenüber Meerwasser und einige Aquarianer kennen das Problem, dass filigrane und mühselig gestaltete Säulen und Überhänge nach einiger Zeit abreißen oder zusammen stürzen, wenn die Korallen mit der Zeit an Größe und Gewicht zunehmen. Deshalb braucht es bei Aufbauten aus brockenförmigen Steinen immer eine solide, d.h. breite Basis, damit höhere Aufbauten stabil positioniert und verankert werden können. Das bedeutet natürlich auch einen Anstieg in der Gesamtdekorationsoberfläche und einen Verlust an Wasservolumen und Schwimmraum, Probleme bei der Beströmung des Aquariums sowie

Einlagerung von organischem Material (Detritus) oder chemischen Ausfällungen z.B. von Phosphat (Phosphatdepots).

Die Situation um die Gestaltung von Riffaquarien hat sich mit der Entwicklung künstlicher Gestaltungsmaterialien in den späten 1990er Jahren, v.a. durch die erste in Deutschland produzierte Keramik von Torsten Luther, Rostock (Fa. Korallenwelt) dahingehend vereinfacht, dass die schon immer begehrten Säulen oder Plateaus nun als fertige und stabile, d.h. für sich alleine stehende Einzelformen erhältlich waren. Durch eine modulare Bauweise, die lediglich nur noch um lebende Steine im Abschlussbereich ergänzt werden musste, konnte die Gesamtdekorationsoberfläche deutlich reduziert werden. Gleichzeitig stieg die dem Licht und der Strömung exponierte Gestaltungsoberfläche, die Expositionsfläche, die für die Platzierung von Korallen verfügbar wurde. Diese Vorteile künstlicher Gestaltungsmaterialien, d.h. v.a. die modulare Bauweise von bereits fertig gestalteten Motiven, nutzen wir bis heute in der modernen Riffgestaltung. Man darf an dieser Stelle konstatieren, dass dies eine wegweisende Entwicklung war, die sich in vielerlei Hinsicht positiv ausgewirkt hat: weniger Materialeinsatz und geringere Gesamtdekorationsoberfläche, mehr Stellfläche für Korallen v.a. in einem dreidimensionalen Raum, bessere Beströmung und Strömungsverteilung, sowie eine deutlich bessere Vorgehensweise bei der Planung und Durchführung der Riffgestaltung, die insbesondere dem Einsteiger die Arbeit mit dem Riffaufbau erleichtert.

Die Expositionsfläche ist jedoch aus pflegerischer Sicht nicht einheitlich zu bewerten. Vermutlich kennt jeder Riffaquarianer das Problem, dass einige Gestaltungsbereiche zwar dem Licht und der Strömung exponiert sind, jedoch für den Aquarianer selbst unzugänglich sind. Dadurch können an solchen Stellen Korallen nicht platziert werden. Auch sind vertikale Flächen, je nach Material und Oberflächenbeschaffenheit, oft sehr schlecht zur Befestigung von Korallen geeignet. Einige Korallenkleber härten sehr langsam aus oder verbinden sich schlecht mit dem Substrat, so dass Korallen nicht fixiert werden können.

Es ist daher sinnvoll, zur Charakterisierung einer Gestaltung zwischen der spezifischen Expositionsfläche (spEF) und der unspezifischen Expositionsfläche (uspEF) zu unterscheiden.

Zur spezifischen Expositionsfläche zählen z.B. gut zugängliche horizontale Flächen der Gestaltung, auf die Korallen problemlos gestellt werden können. Je mehr horizontale Flächen im Riffaquarium vorhanden sind, desto einfacher ist es, an dieser Stelle eine Koralle fest im Licht und in der Strömung zu platzieren. Gesunde Korallen erzeugen eine gewünschte biologische Wirkung, indem sie eine Raum- und Nährstoffkonkurrenz generieren und damit verhindern, dass sich an gleicher Stelle z.B. Algen ansiedeln können. Folglich macht es für die Korallenpflege, speziell für den Einsteiger Sinn, möglichst so zu gestalten, dass die spezifische Expositionsfläche maximiert und der Anteil an unspezifischer EF minimiert wird.

Auf der unspezifischen Expositionsfläche (uspEF) ist ein Korallenbesatz gar nicht, oder nur schlecht möglich. Natürlich hängt es davon ab, aus welchem Material eine Gestaltung gefertigt ist, wie zerklüftet oder durchlöchert z.B. vertikale Flächen sind, und wie geschickt der Aquarianer

selbst im Umgang mit der Platzierung von Korallen ist, was den Umgang für die meisten Einsteiger mit der uspEF stark erschwert. Eine vertikale Fläche ist also nicht zwingend eine uspEF. Einige keramische Materialien sind jedoch so verdichtet und glatt strukturiert, dass kaum ein Kleber auf der Oberfläche hält. Hier können allenfalls vor der Gestaltung durch den Aquarianer Löcher gebohrt werden, in die später Korallen direkt eingepflanzt oder entsprechende Korallenhalter platziert werden können. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, im Vorfeld nicht optimal geeignete Materialien aufzuwerten. Einsteiger sollten der Einfachheit halber darauf achten, den Anteil der uspEF möglichst gering zu halten, damit sie möglichst viele Korallen problemlos auf horizontalen Flächen platzieren können.

Auf der unspezifischen Expositionsfläche (uspEF) fehlt die bereits genannte Raum- und Nährstoffkonkurrenz durch Korallen. In der Konsequenz steigt die Wahrscheinlichkeit, v.a. in Problemsituationen (Strömungsmangel, falsche Beleuchtung, Probleme im Nährstoffhaushalt, mangelhafte Meerwasserzusammensetzung), dass sich auf der uspEF z.B. Algen oder Cyanobakterien ansiedeln können, die wiederum im Gesamtsystem eine für Korallen ungünstige kompetitive Wirkung entwickeln und somit die Korallengesundheit gefährden können. Vor allem für den Einsteiger ist es daher, wie schon mehrfach betont, wichtig und vorteilhaft, den Anteil an uspEF so gering wie möglich zu halten. Das ist jedoch bei der anzunehmenden Unerfahrenheit eines Einsteigers im Umgang mit Gestaltungsmaterialien oft leichter gesagt als getan. Hilfestellung und optimale Beratung durch den Fachhandel oder durch Aquarianerkollegen können diese Defizite aber ausgleichen. Wichtig ist v.a. ein Verständnis dafür zu entwickeln, dass es nicht damit getan ist, einige Steine irgendwie im Aquarium zu stapeln. Die auf den drei verschiedenen Ebenen stattfindenden Interaktionen zwischen Gestaltungsmaterial, Wasser und den Organismen im Aquarium lässt wenig Raum für Willkür und Zufall und wird in den meisten Fällen Probleme verursachen, wenn die Zusammenhänge nicht erkannt und erlernt werden.

Es sei ebenfalls erwähnt, dass in einem gesunden und gut mit Nähr- und Mineralstoffen versorgten Riffaquarium auch eine hohe Organismenvielfalt erzeugt werden kann, d.h. es siedeln sich auch auf unspezifischen Flächen Kalkrotalgen, Schwämme, Röhrenwürmer oder andere sessile Organismen an, die für eine positive Kompetitivität sorgen und das Aquariensystem beleben. Hier ist aber ein langfristig gesunder Betrieb und entsprechendes Können des Aquarianers Voraussetzung dafür, dass auch komplex gestaltete Riffaquarien mit hoher Gesamtdekorationsoberfläche und ggf. hohem Anteil an unspezifischer Expositionsfläche langfristig gesund und problemlos funktionieren. Die meisten Einsteiger sind damit überfordert und sollten ihr Riffaquarium mit geringer Gesamtdekorationsoberfläche und möglichst hohem Anteil an spezifischer Expositionsfläche starten.

Abschliessend sei noch bemerkt, dass es mitunter schwierig ist, verschiedene Gestaltungsmaterialien innerhalb eines Aquariums so zu kombinieren, dass die Gestalt dennoch natürlich aussieht und harmonisch wirkt. Dies betrifft sowohl die Materialauswahl, als auch die spezifische Form der Gestaltungselemente. Vor allem kleinere Riffaquarien sollten mit nur einem Gestaltungsmaterial dekoriert werden, das zudem auch vergleichbar geformt ist. Verschiedene

Formen und Materialien sind in ästhetischer Hinsicht schwer miteinander zu verbinden. Beispielsweise sind Riffäste und Gesteinsbrocken so zu gruppieren, dass die Gestaltung trotz der Heterogenität in der Form natürlich wirkt, stabil ist und gleichzeitig auch möglichst viel spezifische Expositionsfläche generiert, was fast nur in sehr großen Aquarien realisierbar ist. Mittlerweile ist die Auswahl an künstlichen Materialien und Formen im Handel so groß, dass sich Einsteiger sehr schnell dazu verleiten lassen, verschiedene Materialien und variable Formen zu kaufen. Die dadurch entstehenden Nachteile können das Aquarium langfristig vor Probleme stellen, z.B. dadurch, dass zu viel unspezifische Expositionsfläche erzeugt wird, die nicht für eine Korallenplatzierung geeignet ist.

Raumstruktur (RS)

Als dritter relevanter Parameter zur Charakterisierung einer Riffgestaltung spielt die Raumstruktur, also die Anordnung und dreidimensionale Ausrichtung der Gestaltungsmaterialien, eine nicht minder bedeutende Rolle wie die beiden zuvor behandelten Parameter Gesamtdekorationsoberfläche und Expositionsfläche.

Zunächst einmal ist die Raumstruktur in optischer und ästhetischer Hinsicht vordergründig wirksam. Vermutlich ist jeder Riffaquarianer vom Charakter des zerklüfteten Lebensraumes eines Korallenriffs fasziniert, mit seinen Höhlen, Vorsprüngen, Schluchten, Überhängen oder säulenartigen Strukturen. Aus dieser Betrachtung resultiert ein architektonischer Ansatz für die Riffgestaltung, d.h. eine Anlehnung an ein geologisches Motiv, sei es eine Riffschlucht, eine Riffbrücke, freistehende Säulen oder ein flaches Plateau auf einer ausgedehnten Sandzone oder das klassische Riffdach. Bei der Auswahl passender Korallen für den architektonischen Ansatz gilt es darauf zu achten, dass die Raumstruktur selbst bei starkem Wachstum nicht maßgeblich durch die Korallenwuchsform verändert wird. Vielmehr soll die geologische Form, also das Motiv, langfristig erhalten bleiben und durch Farbe und Erscheinung der Korallen lediglich positiv unterstützt und ergänzt werden. Es geht hier also nicht nur um die Pflege gesunder Korallen und Fische, sondern um eine weitaus globalere und anspruchsvollere Sichtweise auf den Lebensraum, die dem Aquascaping oder der Biotop-Aquaristik in der Süßwasserdisziplin gleich kommt und Tierbesatz und Gestaltung als harmonisierende Einheit betrachtet. Flach oder krustenförmig wachsende Korallen sind gegenüber ausladenden Bäumchen oder Astformen für den architektonischen Ansatz prädestiniert, weil sie die Form der gegebenen Gestaltung adaptieren und sich flächig darauf ausbreiten. Bäumchen- oder große Geweihkorallen (*Acropora*) bestimmen die Riffstruktur ganz wesentlich mit und verändern diese im Zuge ihres Wachstums mit der Zeit stark. Je nach Motiv kann natürlich auch eine bewusst eingesetzte Korallenwuchsform eine bestehende Gestaltung um eine ansprechende Raumstruktur ergänzen. Hier sind z.B. freistehende Säulen zu nennen, die als solche relativ einfach langfristig in ihrer geologischen Gestalt sichtbar erhalten bleiben, deren Korallenbewuchs aber natürlich die Form der Säule attraktiv verändern kann.

Dem architektonischen Gestaltungsansatz stelle ich (J. Kokott) den Organismen-spezifischen Ansatz gegenüber. Dabei geht es nicht vorrangig um die Form und Erscheinung der Dekoration, sondern um die der Korallen bzw. der Aquarienbewohner selbst, die es langfristig zu präsentieren

und zu fördern gilt. Der Übergang vom architektonischen zum Organismen-spezifischen Ansatz ist fließend, zumal natürlich auch beide Ansätze innerhalb eines Aquariums gezeigt werden können, v.a. in großen Riffaquarien. Die Unterscheidung ist jedoch wichtig, weil gerade perspektivische und räumliche Probleme auftreten, wenn z.B. eine Bäumchenweichkoralle wie *Lithophyllum* auf einem viel zu hohen Riffaufbau direkt unter der Wasseroberfläche positioniert wird. Dies ist weder der ästhetischen Wirkung der Riffgestaltung und schon gar nicht der Pflege der Koralle selbst förderlich. Bei groß werdenden Korallen sollte eine statisch solide, aber flache und optisch zurückhaltende Gestaltung eingesetzt werden, die der Präsentation der Korallen dienlich ist. Große Korallen benötigen nicht nur Platz zum wachsen, sondern auch viel Strömung, weshalb sie idealerweise prominent und freistehend platziert werden. Auch ausladende astförmige Korallen oder kelch- und tischförmig wachsende Korallen sind ihrerseits so dominant in ihrer Wuchsform, dass sie keine auffallende Gestaltung benötigen. Sie selbst definieren durch ihre Wuchsform die Riffgestaltung und verändern die Raumstruktur in starkem Maße. Insbesondere Einsteiger neigen zu dem Fehler, dass sie das Riff im leeren Aquarium so aufbauen, dass das Becken ansprechend dekoriert aussieht. Hier fehlt dann nachher der Platz für die Korallen und ihr Wachstum und Probleme mit der Beströmung und der Ausleuchtung des Beckens sind vorprogrammiert, was im nächsten Abschnitt intensiv erörtert wird.

Neben der optischen und ästhetischen Bedeutung nimmt die Raumstruktur auch ganz entscheidend Einfluss auf pflegerische Aspekte, v.a. was die Beströmung und Ausleuchtung, d.h. Aspekte der technischen Konzeption des Riffaquariums betrifft.

Oft wird das → **Strömungskonzept** für ein Riffaquarium schon entschieden, bevor die individuelle Riffgestaltung und damit die Raumstruktur thematisiert wurde. Zunächst erscheint diese Vorgehensweise nachvollziehbar, weil sich darüber doch ein Großteil des Kostenapparates kalkulieren lässt. Zudem ist es schlichtweg einfacher und vermutlich auch aufregender, eine Technikkomponente aus einem Warensortiment oder einem Produktkatalog auszuwählen, als sich mit der doch für viele Aquarianer mühevollen und schwierigen Aufgabe der Riffgestaltung zu beschäftigen. Dazu kommt auch die Leidenschaft für Technik und die Hingabe zu prestigeträchtiger hardware, die manchem Technikbegeisterten sogar wichtiger ist als die Riffgestaltung oder gar der Tierbesatz selbst.

Bei genauer Überlegung ist diese Abfolge in der Planung jedoch wenig sinnvoll, weil die Gestaltung zusammen mit dem Korallenbesatz z.B. die Strömung im Aquarium direkt beeinflusst und darüber entscheidet, ob ein Strömungskonzept funktioniert oder nicht, und nicht umgekehrt. Diese Planungsrichtung birgt also das Problem in sich, dass Technik und Gestaltung möglicherweise nicht optimal zueinander passen, und hier ist v.a. das Thema Strömung zu nennen. Glücklicherweise sind mittlerweile fast alle Propellerpumpen regelbar und können in ihrer Leistung moduliert werden. Nichtsdestotrotz sind diese Pumpen unterschiedlich gebaut, was Auswirkungen auf ihre Literleistung (Liter pro Stunde, L/h), den Druck am Pumpenauslass, den Ansaugwinkel für das angesaugte Wasser sowie den Austrittswinkel des beschleunigten Wassers hat. Oft wird für ein Riffaquarium eine falsche Pumpe gewählt, v.a. allem von Einsteigern, die nicht ausreichend gut beraten wurden. Drei Pumpen mit der gleichen Literleistung können drei völlig unterschiedliche Strömungsmuster erzeugen, d.h. es ist grundsätzlich falsch, eine Pumpe nur nach

ihrer absoluten Literleistung auszuwählen. Dieses Thema ist auch im Kapitel → [Strömungskonzept](#) erläutert.

Die Gestaltung beeinflusst die Verteilung von Wasser im Aquarium. Je mehr Dekorationsmaterial zum Einsatz kommt, und je üppiger und verwinkelter die Gestaltung ausfällt, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass Stellen im Riffaquarium schlecht mit Wasser versorgt werden. Wird man also, wie es nicht selten in der Aquarienpraxis Anwendung findet, die Auswahl der Strömungspumpen nur auf das relative Umwälzvolumen pro Stunde (die Literleistung) basieren, dann beströmt man das Aquarium möglicherweise nicht optimal. Die Praxis zeigt, dass so viele Strömungspumpen einzusetzen sind, wie es die Gestaltung verlangt, damit überall im Aquarium Wasser bewegt wird, also unabhängig davon, wie hoch das relative Umwälzvolumen pro Zeiteinheit ist. Strömendes Wasser sucht sich stets den widerstandsärmsten Weg, zirkuliert daher gut im offenen, dekorationsfreien Raum, dringt aber nicht gut in die gestalteten Bereiche ein.

Viele künstliche Gestaltungsmaterialien, allen voran Keramik, sind durch ihre offene, freistehende und modulare Bauweise sehr gut geeignet, um Wassermassen im Aquarium gut zirkulieren zu lassen. Als Konsequenz reichen meist auch leistungsärmere Pumpen, oder eine geringere Pumpenzahl, um das Aquarium optimal zu beströmen. Grundsätzlich darf im Rahmen der Raumstruktur das Wachstum der Korallen nicht vergessen werden, die ihrerseits mit der Zeit immer stärker Einfluss auf die Raumstruktur nehmen, diese also prägen und verändern, und damit auch die Strömungsverteilung mit der Zeit verschlechtern. Eine wiederkehrende Kontrolle des Strömungskonzepts, z.B. ein- bis zweimal im Jahr, ist für den nachhaltigen Betrieb eines Riffaquariums sehr wichtig. Dies zeigen zahlreiche Beispiele aus der Praxis, in denen durch einen bestehenden Strömungsmangel Symptome an Korallen auftreten, die einen Nährstoffmangel implizieren, obwohl Nährstoffe wie Nitrat oder Phosphat im Freiwasser nachweisbar sind. In der Tat ist aber die Verteilung der Wassermassen innerhalb der Raumstruktur der Grund dafür, dass sich bei unzureichendem Wasseraustausch in einer gewachsenen Korallenkolonie, v.a. bei buschig wachsenden SPS mit ihren starren Kalkskeletten, physiologische Probleme durch einen Strömungsmangel ergeben. Ein Strömungsmangel führt dazu, dass sich die von den Korallen abgegebenen Stoffwechselprodukte im nicht ausgetauschten Wasser in der Korallenkolonie anreichern, v.a. CO₂, das eine pH-Senkung herbeiführt, aber auch ein Temperaturanstieg durch Stoffwechselwärme innerhalb der Kolonie kann insbesondere im Sommer bei bereits erhöhten Wassertemperaturen kritisch sein. Darüber hinaus nimmt auch durch den Verbrauch von Nährstoffen der lokale Nährstoffgehalt in der Korallenkolonie ab und kann bei mangelhafter Strömung nicht durch neue Nährstoffe ausgeglichen werden, d.h. es besteht ein sogenannter strömungsinduzierter Nährstoffmangel.

An dieser Stelle muss ebenfalls bedacht werden, dass gewachsene Korallenkolonien proportional zur entstandenen Biomasse auch einen gestiegenen Nährstoffbedarf aufweisen, d.h., dass die Beströmung der Kolonie langfristig grundsätzlich an Bedeutung zunimmt und der Aquarianer dies durch Modulation des Strömungskonzepts berücksichtigen muss. Insbesondere regelbare Pumpenmodelle sind hier für den Aquarienbetrieb von großem Vorteil. Auch wenn das Wasser in den nicht gestalteten, freien Wassermassen im Aquarium sichtbar strömt, kann man nicht

grundsätzlich davon ausgehen, dass dies auch in den gestalteten und zugewachsenen Bereichen der Fall ist. Je kompakter und massiver eine Riffgestaltung ist, d.h. je dichter die Raumstruktur ausgeprägt ist, desto höher ist der Anspruch an eine ausreichende und druckvolle Beströmung und desto größer ist die Wahrscheinlichkeit für einen strömungsinduzierten Nährstoffmangel und Schadstoffüberschuss in einer Koralle.

Auch die Beleuchtung muss in Anlehnung an die Gestaltung und konkret an die Raumstruktur der Gestaltung wohl überlegt und durchdacht sein. Natürlich kann man als einfachen und gleichermaßen sinnvollen Ansatz eine Beleuchtung wählen, die technisch und leistungsbezogen dazu in der Lage ist, die gesamte Aquariumfläche komplett auszuleuchten. Dieser Idealfall ist aber nicht die Regel. Aus Kostengründen werden nicht selten weniger Lampen eingesetzt als es für eine vollständige Ausleuchtung notwendig wäre, v.a. wenn sehr teure LED Lampen über großen Riffaquarien benutzt werden. Je nach Gestaltung und Reflektionsvermögen des Sediments (weißer Bodengrund) ist eine nicht vollständig deckende Ausleuchtung oft auch möglich, zumal hier bewusst Korallen platziert werden können, die für ein gesundes Wachstum keine hohen Strahlungsintensitäten benötigen. Es sollten jedoch sichtbare Schattenbereiche idealerweise vollständig vermieden werden, weil dies dem Betrachter unnatürlich und demzufolge auch unangenehm auffällt. Das Riffaquarium wirkt dunkel.

Problematisch ist dies beispielsweise bei einem mit freistehenden Säulen gestalteten Riffaquarium, das mit LED-Spots beleuchtet wird. LED Spots erzeugen auf den hoch ragenden Säulen ein Überangebot von Licht, lassen aber gleichzeitig zwischen den Säulen sichtbare Schattenzonen entstehen. Diese Schattenbildung fällt bei einem mit Säulen gestalteten Riffaquarium weitaus stärker auf, als z.B. in einem vergleichbaren Becken mit einer durchgehenden Riffdachgestaltung. Es macht also bei einem Riffaquarium mit mehreren freistehenden Säulen mehr Sinn, eine flächige Beleuchtung zu wählen, die das Licht diffus verteilen kann (T5). Die Lampenauswahl hängt also ebenfalls von der Raumstruktur der Gestaltung ab und ist keinesfalls ein für sich alleinstehendes, rein technisches Thema.

Auswirkung von künstlichem Gestaltungsmaterial auf die Meerwasserqualität

In Bearbeitung

Verhalten der Riffgestaltung in der Startphase von Riffaquarien

In Bearbeitung

-H-

-I-

-J-

JAUBERT -System → [Bodengrund](#)

-K-

Kalkhaushalt und Kalkhaushalt-Stabilisierung

Mit dem Begriff der Kalkhaushalt-Stabilisierung ist der Ausgleich akuter Defizite im Calcium- und Carbonatgehalt des Meerwassers und deren langfristige Aufrechterhaltung in einem möglichst für die riffaquaristische Pflege optimalen Bereich gemeint. Ein optimaler → [Calciumgehalt](#) liegt bei 415-425 mg/L, eine optimale → [Karbonathärte](#) liegt im Bereich von 6,8 - 7,5°dKH, jeweils bezogen auf eine Salinität von 35 psu (Promille).

Im SANGOKAI System wird empfohlen, den Gehalt und v.a. den kontinuierlichen Verbrauch an Calcium und an Carbonaten (gemessen als Alkalinität/Karbonathärte) getrennt voneinander zu betrachten, respektive auszugleichen.

Während Calcium als Erdalkalimetall nur durch einen aktiven Eintrag ins Becken gelangt, wird der Carbonatgehalt auch über den konstanten Ein- und Austrag von Kohlendioxid (CO₂) aus der Luft über den Gasaustausch beeinflusst (Wasseroberfläche, Abschäumer).

Im Zuge der Calcifikation (Kalkskelettaufbau durch Korallen, Kalkalgen oder Muscheln) werden sowohl Calcium als auch Carbonate verbraucht, während andere autotrophe Stoffwechselwege wie die Photosynthese oder die ebenfalls autotrophe Nitrifikation lediglich Carbonate als anorganische Kohlenstoffquelle verbrauchen und keinen Einfluss auf den Calciumgehalt haben.

Darüber hinaus können sich bei unnatürlich hohen Calcium- oder Carbonatkonzentrationen im Meerwasser (z.B. in einer ungünstig gemischten oder konzipierten Meersalzmischung, oder bei falscher Anwendung jeweiliger Methoden zur Kalkhaushalt-Stabilisierung, s.u.) und in Abhängigkeit von dem pH-Wert im Meerwasser auch chemische Fällungen (Präzipitationen) ergeben, die dem Riffaquarianer einen biologischen (biogenen) Verbrauch vorgaukeln. Solche im Meerwasser unlöslichen Kalkfällungen stehen biologischen Abläufen allerdings nicht oder nur schlecht zur Verfügung (ggf. Filtration durch z.B. Muscheln), können sich aber unter Umständen, z.B. in einer pH-sauren Umgebung (mikrobiell aktiver Bodengrund) zeitlich versetzt wieder zurück lösen.

Daher ergeben sich im riffaquaristischen Betrieb oft individuell unterschiedliche Verbrauchsmuster für Calcium und Carbonate, die nicht zwingend der stöchiometrischen Verteilung der Calcifikation (Kalkbildung, Kalk = Calciumcarbonat = CaCO₃) entsprechen müssen. Vor allem frisch eingerichtete und wenige Wochen alte Riffaquarien verbrauchen durch das schnell einsetzende Wachstum nitrifizierender Bakterien oder Mikroalgen in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Gesamtdekorationsoberfläche mehr oder weniger viel Carbonat, während in dieser Zeit der Calciumgehalt gleichzeitig konstant bleibt, oder sogar durch Rücklösungen aus den verwendeten Dekorationsmaterialien ansteigen kann und dadurch die chemische Ausfällung von Carbonaten begünstigt. Aus diesen beispielhaften Begebenheiten resultiert also ganz offensichtlich die Notwendigkeit für individuelle oder zumindest individualisierbare Methoden zur Kalkhaushalt-Stabilisierung.

Im SANGOKAI System befasst sich das BALANCE System mit den sango chem-balance Produkten mit dieser Aufgabe.

Grundsätzlich gibt es drei „echte“ Methoden, die man im Rahmen der Kalkhaushalt-Stabilisierung ansprechen kann, die entweder nur den Calciumgehalt, nur den Carbonatgehalt oder auch beides gleichzeitig, sowohl abhängig als auch unabhängig voneinander anpassen. Darüber hinaus soll auch kurz der Wasserwechsel als Möglichkeit zum Calcium- und Carbonateintrag angesprochen werden.

Wasserwechsel als Möglichkeit zur zeitweisen Kalkhaushalt-Stabilisierung

Vielen Einsteigern erscheinen die chemischen Prinzipien rund um das Thema Meerwasser, speziell im praktisch so bedeutsamen Bereich des Kalkhaushalts, kompliziert und schwierig, was schnell dazu verleitet, bestehende Defizite erst einmal über einen Wasserwechsel auszugleichen. Sofern der Calcium- und Carbonatgehalt im frisch angesetzten Meerwasser höher ist als im Aquariumwasser, ist eine Erhöhung von Calcium und Carbonaten im Riffaquarium durchaus möglich. Allerdings kann man in diesem Falle den Calcium- und Carbonateintrag nicht unabhängig voneinander steuern.

Der wesentliche Nachteil liegt aber vor allem in der Ineffizienz und Unwirtschaftlichkeit, weil der Wasserwechsel (WW) zunächst auch wertvolles Calcium sowie Carbonate aus dem Aquariensystem entfernt. Wird der Wasserwechsel dann durchgeführt, d.h. das frisch angesetzte Meerwasser dem Aquariensystem neu zugeführt, kann lediglich der Differenzbetrag zwischen entnommener Menge und wieder zugeführter Menge zur effektiven Erhöhung beitragen. Der Wasserwechsel ist daher der ineffizienteste Weg, um die Aufgabe der Kalkhaushalt-Stabilisierung zu lösen. Allerdings tragen der (durchaus nachvollziehbare) noch nicht so gut entwickelte Kenntnisstand eines Einsteigers, sowie die Tatsache, dass viele Meersalzhersteller einen genau dafür geschaffenen künstlich erhöhten Calcium- und Carbonatgehalt anbieten, dazu bei, dass der WW als Möglichkeit zur Calcium- und KH-Zufuhr propagiert wird. Das dadurch im Handel der Umsatz mit Meersalz steigt, möchte ich als Autor an dieser Stelle nicht unerwähnt lassen.

Wenn in einer insgesamt ausgewogenen Meerwasserzusammensetzung ein Defizit in einer bestimmten Substanz fehlt, dann kann dieses Defizit auch unmittelbar und direkt ausgeglichen werden (vgl. dazu auch → [Wasserwechsel](#)). Der Wasserwechsel tauscht hingegen viele weitere Substanzen aus, die inhaltlich zur Kalkhaushalt-Stabilisierung gar nicht beitragen (z.B. Natrium, Chlorid, Schwefel/Sulfat, Kalium, Bromid, Bor, etc.) und damit praktisch gesehen von gar keinem relevanten Nutzen sind. Das macht den Wasserwechsel als Möglichkeit (ich spreche hier bewusst nicht von einer „Methode“ zur Kalkhaushalt-Stabilisierung) so unwirtschaftlich und schafft für die theoretische wie auch praktische Entwicklung eines höheren Kenntnisstands im Einsteiger keinen fruchtbaren Boden. Eine frühzeitige Schulung insbesondere von Riffaquaristik-Einsteigern in diese Thematik ist wirtschaftlich wie qualitativ eine Bereicherung für den Einsteiger und ist auch mit entsprechend qualitativ hochwertigen Produktlösungen für den beratenden Händler umsatzfördernd.

Für Nanoriffaquarien mit kleinem Wasservolumen und gleichzeitig geringem Kalkverbrauch, ist es für den Einsteiger durchaus legitim, zunächst zeitweise mit einem Routine-Wasserwechsel zu arbeiten, um Calcium und die Karbonathärte in einem optimalen Bereich zu stabilisieren. Allerdings muss sich auch der Einsteiger in die Riffaquaristik frühzeitig dessen bewusst sein, dass es kein erfolgreich betriebenes Riffaquarium gibt, ohne entsprechendes Wissen über die aquaristisch bedeutsame Meerwasserchemie zu haben. Jeder Riffaquarianer muss sich über Kurz oder Lang sowohl theoretisches, als auch das notwendige praktische Wissen zur Kalkhaushalt-Stabilisierung aneignen und kommt um dieses Kapitel daher nicht umher. Daher gilt an dieser Stelle der Rat, sich als Einsteiger sofort mit dem Thema Kalkhaushalt zu beschäftigen und die Grundlagen über effiziente und wirtschaftliche Methoden zur Kalkhaushalt-Stabilisierung zu erlernen.

Kalkwassermethode nach PETER WILKENS

Die Kalkwassermethode ist im SANGOKAI System grundsätzlich kompatibel, allerdings auch nicht unbedingt notwendig, weil das kai mineral (ab BASIS- und HED-Version 2 ersetzt durch sango nutri-basic/HED #3) wie auch das sango chem-balance KH über eine pH-Erhöhung Aufgabenbereiche der Kalkwassermethode übernehmen. Nichtsdestotrotz ist der Einsatz von Kalkwasser in Aquarien mit einem dauerhaft niedrigen pH-Wert durchaus sinnvoll und empfehlenswert.

Die Kalkwassermethode dosiert eine gesättigte Calciumhydroxid-Lösung, die pro 1 L Lösung 1,7 g gelöstes $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bereithält und damit ca. 0,9 g Calcium dosieren kann. Diese Lösung enthält keinen Carbonatanteil und ist mit einem pH-Wert von etwa 13 bei Zimmertemperatur sehr alkalisch und sollte daher nur so hoch dosiert werden, wie der pH-Wert im Riffaquarium nicht auf $> 8,3$ - $8,4$ ansteigt. Aus diesem Grund dosiert man Kalkwasser ganz klassisch und praktisch sinnvoll als Verdunstungsersatz in den frühen Morgenstunden, wenn der pH-Wert im Riffaquarium noch relativ niedrig ist. Der Vorteil der Kalkwassermethode liegt allerdings nicht direkt in der Calciumdosierung. Die Calciumerhöhung ist aufgrund der schlechten Löslichkeit von Calciumhydroxid in Wasser beinahe schon unauffällig und kann bei normal gutem Steinkorallenwachstum den Calciumverbrauch kaum decken. Vielmehr führt die pH-Erhöhung dazu, dass sich das pH-abhängige Carbonat-Gleichgewicht etwas in Richtung Carbonat verschiebt und dadurch der Anteil an pflanzenverfügbarem gelösten CO_2 im Wasser sinkt und das Wachstumspotential von z.B. Fadenalgen (*Derbesia*, *Bryopsis*, *Cladophora*) dadurch herabgesetzt werden kann.

Dieser Zusammenhang war auch Hintergrund einer Praktik, die in den 1980er und 1990er Jahren nicht unpopulär war, als Meerwasseraquarien CO_2 äquivalent zu einem Süßwasseraquarium zugeführt wurden, um neben der Calciumerhöhung über die Kalkwassermethode auch eine Carbonaterhöhung zu erzielen. Diese Kombination war jedoch nicht leicht zu regulieren, daher ist dies auch heute mehr oder weniger in Vergessenheit geraten (einige „alte Hasen“ werden sich aber bestimmt erinnern).

Die Reichweite der Kalkwasser-Methode ist aufgrund des sehr hohen pH-Wertes hinsichtlich der praktischen Applikation aber eher kurz, ansonsten führt ein zu hoher pH-Anstieg wiederum zur Fällung von Kalk (die Kalklöslichkeit ist pH-abhängig: je höher der pH, desto geringer die

Kalklöslichkeit) und wirkt dadurch kontraproduktiv. Heute ist die Kalkwassermethode eher unpopulär, wenngleich sie durchaus bei richtiger Anwendung Vorteile über die pH-abhängige Carbonat-Gleichgewichtsverschiebung bringen kann. Dieser Vorteil ist aber wie gesagt im SANGOKAI System und in den sango chem-balance Produkten integriert.

Kalkreaktor (Calciumreaktor)

Im Kalkreaktor wird ein kalkhaltiges Füllmaterial (klassisch grober Korallenbruch, heute oft mit Fremdstoffen und Verunreinigungen weniger belastete calcitische Materialien oder gut gereinigtes aragonitisches Naturmaterial) durch eine pH-Absenkung durch zugeführtes Kohlendioxid (CO₂) bei einem pH-Wert von circa 6,0 - 6,4 zur Lösung gebracht. Die freigesetzte Menge Calcium und Carbonat wird über einen konstanten langsamen Zufluss von Meerwasser aus dem Riffaquarium durch den Kalkreaktor zurück ins Riffbecken transportiert. Das ins Riffbecken rücklaufende Wasser ist mit Calcium und Carbonat stark angereichert und kann auch sehr üppiges Steinkorallenwachstum je nach Modellgröße des Reaktors ohne Probleme abdecken. Allerdings können dabei Calcium- und Carbonatgehalt nicht unabhängig voneinander ausbalanciert werden, was möglicherweise problematisch sein kann, wenn sich der Calcium- und der Carbonat-Verbrauch nicht in calcifikationstypischer Art und Weise äquivalent darstellt und es dadurch zu einer einseitigen Anreicherung von z.B. Calcium oder Carbonat (KH-Anstieg) kommt und dies den Kalkhaushalt destabilisiert.

Ein Kalkreaktor kann im SANGOKAI System natürlich zur Anwendung kommen, allerdings muss sich der Anwender mit der Methode, dem jeweiligen Modell und dem Füllmaterial auskennen und alle Regelgrößen beherrschen, die den Kalkreaktorbetrieb beeinflussen. Das sind neben der Wartung, Reinigung und Kontrolle des Kalkreaktors vor allem die Art und Füllmenge des Kalkmaterials, der CO₂-Eintrag und dessen Steuerung sowie die Steuerung und Kontrolle des Durchflussvolumens. Genau hier liegt die Problematik des Kalkreaktors, der als komplexe technische Komponente mit mehreren Regelgrößen vor allem für Einsteiger und den wenig erfahrenen Riffaquarianer nicht leicht zu handhaben ist.

Darüber hinaus muss auch erwähnt werden, dass der Kalkreaktor mit CO₂ als Säure betrieben wird, und eine CO₂ Zufuhr den Carbonat-Gehalt im Meerwasser erhöht. Es ist daher mitunter schwierig, den Kalkreaktor so einzustellen, dass sowohl der Calciumgehalt, als auch die KH in einem normalen und sinnvollen Bereich bleiben. Dies gelingt oft nicht, und in der Konsequenz wird dann ein mögliches Defizit separat ausgeglichen, z.B. mit der Methode nach HANS-WERNER BALLING (siehe nächster Abschnitt) oder entsprechenden Modifikationen, d.h., man benötigt für eine Aufgabe zwei Methoden, und das ist äußerst unwirtschaftlich, sowohl vom Materialeinsatz, als auch hinsichtlich des Arbeitsaufwands. Den Kalkreaktorbetrieb muss man daher definitiv beherrschen, sonst ist die Methode kein probates Mittel.

Dadurch, dass sich die Einstellung des Kalkreaktors immer an einem messbaren Defizit im Calcium- oder KH-Bereich orientiert, werden Überdosierung mit nachträglicher chemischer Ausfällung von Kalk, teilweise schon im Technikbecken, oft gar nicht bemerkt und der Kalkreaktor immer höher „aufgedreht“. Bei einem Kalkreaktor kennt man den absoluten Calcium- und KH

Verbrauch nicht. Man regelt das Gerät so ein, dass die Werte passen. Dies ist hinsichtlich einer wirtschaftlichen und verbrauchsorientierten Kalkhaushalt-Stabilisierung ein gravierender Nachteil. Beispielsweise kann ein zu niedriger Calciumgehalt beim Kalkreaktorbetrieb die Folge einer zu hohen KH sein. Wenn die KH beispielsweise bei 14°dKH liegt, dann ist die Wahrscheinlichkeit für die chemische Ausfällung von Calcium als Kalk sehr hoch. Meistens wird aber der zu hohe Carbonatgehalt gar nicht als Ursache erkannt, sondern nur der zu geringe Calciumgehalt beachtet, der sich durch die chemische Fällung immer wieder stark verringert. Entsprechend wird der Kalkreaktor weiter hochgedreht, was die Situation noch verschlimmert. Im Kalkhaushalt ist „weniger immer mehr“. Die in diesem Szenario korrekte praktische Reaktion wäre eine Drosselung des Kalkreaktors, d.h. eine Senkung der CO₂-Menge (d.h. Erhöhung des pH-Werts im Reaktor) und ggf. auch eine Veränderung der Durchflussmenge (langsamer Durchfluss = längere Verweilzeit im Reaktor = größere Anreicherung von Calcium und Carbonat = höherer Austrag; und umgekehrt bei schnellerem Durchfluss).

Bevorzugt für den Kalkreaktorbetrieb als individuell sinnvolle Methode zur Kalkhaushalt-Stabilisierung sind große Becken mit einem Gesamtnettovolumen ab ca. 700 L. Hier ist in der Regel der Kalkreaktor eine wirtschaftlich günstigere und damit auch effizientere Methode als ein Supplement-basiertes System. Aber natürlich sind auch kleinere Becken mit schnellwüchsigem SPS-Besatz für den Kalkreaktoreinsatz geeignet, wenn sie denn durch eine hohe Skelettbildungsrate der Steinkorallen einen hohen Kalkverbrauch aufweisen. Für Mischaquarien muss unbedingt ein dauerhaft konstanter Kalkverbrauch vorliegen, der sich idealerweise in der Calcifikations-typischen Calcium/Carbonat - Stöchiometrie darstellt, damit der Kalkreaktor langfristig zufriedenstellend funktioniert. Solange sich die KH und Calcium unterschiedlich stark verbrauchen (d.h. nicht Calcifikations-typisch), was v.a. in der Startphase selbst in reinen SPS-Becken für eine gewisse Dauer der Fall ist, sollte zunächst eine Supplement-basierte Methode als gezielte Kalkhaushalt-Stabilisierung eingesetzt werden, die dann bei dauerhaft konstantem Kalkverbrauch durch einen Kalkreaktor abgelöst wird. Wenn die Arbeits- und Funktionsweise eines Kalkreaktors verstanden ist, und die technische Wartung sowie die praktische Routine im Umgang mit den jeweiligen gerätetypischen Einstellmöglichkeiten beherrscht wird, stellt der Kalkreaktor bei gleichmäßig hohem Kalkverbrauch eine sehr effektive Methode zur Kalkhaushalt-Stabilisierung dar. Insbesondere in großen Riffaquarien sollte der Kalkreaktor aufgrund der Wirtschaftlichkeit gegenüber einer Supplement-basierten Methode die bevorzugte Wahl sein.

Supplement-basierte Kalkhaushalt-Stabilisierung (Methode nach HANS-WERNER BALLING sowie ERNST PAWLOWSKI)

Die sowohl auf H-W BALLING, als auch auf ERNST PAWLOWSKI zurückgehende und von diesen beiden Pionieren verbreitete Methode, dosiert die auch in Meersalzmischungen als Calcium- und Carbonatquellen eingesetzten chemischen Salze Calciumchlorid-Dihydrat (CaCl₂ x 2 H₂O) und Natriumhydrogencarbonat (NaHCO₃). Heute ist diese Methode und v.a. einige ihrer Abwandlungen und Modifikationen sehr weit verbreitet, weil sie den Calcium- und Carbonatgehalt auch unabhängig voneinander kontrollieren kann. Daher kann diese Methode, die wiederum bis auf

optionale Dosierautomaten gar kein technisches Gerät verlangt, auch für das SANGOKAI System sehr erfolgreich angewandt werden. Es gibt mittlerweile einige Abwandlungen, so dass man insgesamt von einer Supplement-basierten Kalkhaushalt-Stabilisierung sprechen sollte. Die sango chem-balance Produkte aus dem BALANCE-SYSTEM sind als weiterentwickelte und hinsichtlich der Stabilisierung aller Meerwasserinhaltsstoffe spezialisierte Produkte ebenfalls Supplement-basiert.

Historisch betrachtet nimmt die von H-W BALLING in der DATZ 06/1996 publizierte Methode einen äquivalenten Verbrauch von Calcium und Carbonat durch das Steinkorallenwachstum im Riffaquarium gemäß der stöchiometrischen Verteilung in der Kalkskelettbildung der Korallen als kalkulatorische Basis. Das bedeutet, es wird bei dieser „klassischen“ Methode nach BALLING genau so viel Calcium und Carbonat dosiert, wie es nötig ist, um vollständigen Kalk für die Calcifikation zu liefern, ohne das Calcium und Carbonat im einseitigen Überschuss im Wasser übrig bleiben würden. Infolge der Dosierung von Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3) und Calciumchlorid ($\text{CaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$) erfährt das Riffaquarium allerdings auch eine Zufuhr von Natrium und Chlorid (beachte die farbliche Markierungen um den Zusammenhang zu verdeutlichen). Natriumchlorid, d.h. eine molar gleiche Menge an positiv geladenen Natrium-Kationen (Na^+) und negativ geladenen Chlorid-Anionen (Cl^-), wird auch Kochsalz genannt und findet sich in jeder Küche wieder. Natrium und Chlorid sind aber auch die dominanten Hauptkomponenten des Meerwassers und eine Erhöhung dieser Stoffe wäre physiologisch betrachtet absolut unproblematisch. Allerdings, und das betrifft den wesentlichen qualitativen Punkt, steigt durch die Zufuhr der Substanzen Calciumchlorid und Natriumhydrogencarbonat die Salinität an, aber es werden dabei lediglich Natrium und Chlorid erhöht, aber nicht die übrigen Meerwasserkomponenten wie Schwefel, Magnesium, Kalium, Brom, Strontium, Bor und Fluor. Durch die einseitige Anreicherung von Natrium und Chlorid ohne Berücksichtigung der übrigen Meerwasserinhaltsstoffe würde sich die Zusammensetzung des Meerwassers (die Meerwasser Komposition) also langfristig verändern, was als Ionendisbalance oder „Ionenverschiebung“ bezeichnet wird. Daher hat H-W BALLING der Methode eine dritte Komponente hinzugeführt, die über ein sogenanntes NaCl-freies Mineralsalz genau den Defizit-Anteil der übrigen Meerwasserinhaltsstoffe in Anlehnung an die Natrium- und Chlorid-Erhöhung ausgleicht.

Dieser ursprünglich publizierte Ansatz, der heute als „klassische Balling-Methode“ noch zur Applikation kommt, berücksichtigt jedoch nicht, dass der Carbonatgehalt im Wasser auch über den Eintrag von Luft- CO_2 beeinflusst ist, und ein Riffaquarium verbrauchte Mengen an CO_2 über den Gasaustausch ausgleicht. Das hat zur Folge, dass bei der erörterten 1:1 Stöchiometrie in der Nachdosierung von Kalk die Karbonathärte über die NaHCO_3 Dosierung langfristig ansteigen kann. Ab einer bestimmten Carbonat-Konzentration würde das wiederum auch den Calciumgehalt chemisch ausfällen und damit genau das Gegenteilige von dem bewirken, was sich als Aufgabe im Rahmen der Kalkhaushalt-Stabilisierung eigentlich stellt. Eine Erhöhung der Dosierung macht diese Situation nur schlimmer, weil der Carbonatgehalt immer weiter zunimmt und darüber die Wahrscheinlichkeit für die chemische Ausfällung von Calciumcarbonat (Kalk) steigt.

Aus dieser zunächst v.a. praktischen Beobachtung resultierten dann mit der Zeit Modifikationen, die letztlich entweder nur die Kalk-Stöchiometrie auflösten und den Carbonatgehalt im Vergleich zum Calciumgehalt geringer wählten, oder die als „individuelle“ Methoden die Anpassung von Calciumdefiziten und KH-Defiziten komplett unabhängig voneinander regulierten.

Mit dieser Individualisierung wurde jedoch auch das Thema der Ionendisbalance ins theoretische Wanken gebracht, weil sich durch diese Trennung auch der Eintrag von Natrium und Chlorid nicht mehr äquivalent zueinander verhält. So oder so sollte es also zu einer theoretischen Ionendisbalance kommen. Praktisch wurde das NaCl-freie Mineralsalze im Laufe der Zeit unpopulärer und wurde durch üppigere und vor allem regelmäßigere wöchentliche Wasserwechsel ersetzt.

Karbonathärte/Alkalinität/Säurebindungsvermögen

Die Karbonathärte ist ein Maß zur Beurteilung des Carbonatgehalts im Wasser und wird als Härtegrad [°dKH] ausgedrückt. Die Bestimmung der Karbonathärte erfolgt über die Messung der Alkalinität, einem Titrationsverfahren, bei dem das zu beprobende Meerwasser mit Säure (0,1 M HCl) angereichert wird. Durch die dominante pH-Pufferwirkung des Carbonatsystems (zu einem geringen Anteil auch das Borat-System) kann die Säurewirkung in der Meerwasserprobe in Abhängigkeit vom bestehenden Gehalt an Carbonat- und Hydrogencarbonat-Ionen gepuffert werden. Ist das pH-Puffersystem erschöpft, sinkt der pH-Wert in der Probe durch die Säure ab und beeinflusst die Färbung einer Indikatorlösung (Methylorange), die den pH-Umschlagpunkt anzeigt. Wir bestimmen mit der Alkalinität also das Säurebindungsvermögen, bzw. die Säurekapazität in mmol/L, die in eine Karbonathärte umgerechnet werden kann. Je schneller sich die Färbung in der Probe verändert, desto geringer ist der Carbonat- und Hydrogencarbonatgehalt und umgekehrt. Methodisch wird in der Meerwasseraquaristik mit den handelsüblichen KH-Tests die Säurekapazität bis zu einem pH-Wert von 4,3 ($K_{S4,3}$) bestimmt, hier sind dann alle Carbonat- (CO_3^{2-}) und Hydrogencarbonat-Ionen (HCO_3^-) vollständig in Kohlensäure (H_2CO_3) umgewandelt, die ihrerseits keine weitere Säureäquivalente (H^+) mehr aufnehmen kann, so dass der Indikator in der Farbe umschlägt und das Ende der Titration anzeigt.

In Deutschland ist die Karbonathärte nach wie vor der gängige Parameter zur Beurteilung des Carbonatgehalts in Meerwasseraquarien, wenngleich sie definitionsgemäß etwas anderes aussagt als die Alkalinität, die bei der KH-Bestimmung eigentlich angewendet wird.

Für das SANGOKAI System und als allgemeingültige Empfehlung ist ein KH-Bereich von 7,0 – 7,5°dKH empfehlenswert. Unter 6,5°dKH sollte die KH möglichst nie fallen, wobei kurzfristige Absenkungen im Tagesverlauf bis auf 6,7 – 6,8°dKH völlig unbedenklich sind. Über 8°dKH sollte die KH wiederum nicht ansteigen bzw. nicht höher angehoben werden, weil dann die Wahrscheinlichkeit steigt, dass sich durch den erhöhten Carbonatgehalt eine chemische Ausfällung mit Calcium als unlöslicher Kalk (Calciumcarbonat, CaCO_3) ergibt. Daher sollte ein moderater und naturnaher Wert für die KH eingehalten werden.

Je höher die Karbonathärte (KH) ist, desto größer ist ihr senkender Effekt auf den Calciumgehalt. Beide Partner, KH wie auch Calcium, beeinflussen sich gegenseitig, weil die Löslichkeit für Kalk im Meerwasser sehr beschränkt ist. Steigt also die KH an, dann steigt damit auch die Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich Carbonate und Calcium miteinander chemisch binden und unlösliches Calciumcarbonat (CaCO_3 , Kalk) bilden. Die Folge davon ist eine Absenkung sowohl der KH, wie auch des Calciumgehalts. Liegt dabei der Calciumgehalt auf einem normalen Niveau, kann dies folglich zu einer mitunter kritischen Senkung der Calciumkonzentration führen und der Calciumgehalt muss wieder erhöht werden. Das Problem dabei ist jedoch, dass es sich hierbei nicht um einen biologischen (biogenen) Verbrauch handelt, sondern um einen chemischen Verbrauch.

Das durch den chemischen Verbrauch ausgefällte Carbonat und Calcium steht dadurch den Organismen nicht zur Verfügung. Die zur Kalkhaushalt-Stabilisierung angewandte Methode wird in einem solchen Falle also sehr unwirtschaftlich betrieben. Es müssen daher immer KH wie auch Calcium auf einem normalen und moderaten Niveau vorliegen, damit der chemische Verbrauchsanteil möglichst klein gehalten wird.

Oftmals wird auch vor dem Urlaub oder zur Sicherheit die KH etwas höher eingestellt, was, wie bis hierhin erörtert wurde, nicht nur unsinnig ist, sondern sogar auch äußerst kontraproduktiv sein kann, weil eine übermäßige Erhöhung der KH auch zur Senkung des Calciumgehalts als Partner zur KH beitragen kann. Eine höhere KH-Anhebung als üblicherweise notwendig im Sinne einer „Bevorratung“ für den Fall, das man einige Tage nicht zu Hause ist, erzeugt also womöglich genau den gegenteiligen Effekt.

Ein realistischer KH Verbrauch für nur gering besetzte Becken (z.B. Weichkorallenbecken oder Mischbecken mit wenigen SPS) liegt zwischen 0,2 – 0,5°dKH pro Tag. Ein gut mit SPS Korallen bewachsenes Mischbecken kann zwischen 0,5 – 1,5°dKH pro Tag verbrauchen, während sehr stark wachsende reine SPS-Riffaquarien bis zu 2 – 2,5°dKH pro Tag biogenen Verbrauch erzeugen können.

Diese Richtwerte können natürlich auch individuell abweichen und dienen nur der Orientierung. Wenn jedoch ein seit mehreren Monaten laufendes Mischbecken mit nur wenigen SPS-Korallen einen KH-Verbrauch von 2°dKH pro Tag aufweist, dann sollte die KH-Zufuhr ganz genau kontrolliert werden. Hier ist die Wahrscheinlichkeit für einen hohen chemischen Anteil am KH-Verbrauch hoch. In diesen Fällen sollte neben der KH auch der Calciumgehalt und die Calciumdosierung geprüft werden.

Zur praktischen Überprüfung kann man beide(!) Dosierungen, d.h. die KH- und die Calciumdosierung, gleichzeitig um 10% von der aktuellen Dosierung absenken. Es ist wichtig, dass beide Dosierungen um diesen Betrag gesenkt werden, um zu prüfen, ob dadurch nicht das gleiche KH und Calcium-Level aufrecht erhalten werden kann, wie mit der ursprünglichen Dosierung. Es kommt nämlich nicht selten vor, dass die KH- und der Calciumgehalt beide übertrieben angehoben, aber durch die chemischen Ausfällungen von Kalk jeweils wieder auf ein normales Niveau gesenkt werden.

Senkt man also die Dosierungen parallel und stückweise ab, und misst nach ca. drei Tagen die Werte, kann man sehen, ob die KH und der Calciumgehalt trotz der Senkung gleichgeblieben sind.

Wenn dies der Fall ist, kann von der jetzt aktuellen Dosierung wieder 10% abgezogen und erneut nach drei Tagen KH und Calcium bestimmt werden, bis man schliesslich die Dosiermenge erreicht hat, bei der die Werte tatsächlich sinken. Hierbei kann es sein, dass ein Wert sinkt, der andere jedoch noch stabil bleibt, weshalb man beim nach wie vor stabilen Wert nach wie vor eine stückweise Absenkung weiter betreibt, und nur den gesunkenen Wert durch eine leichte Dosierhöhung stabilisiert.

Eine einseitige Erhöhung der KH auf ein übertrieben hohes Niveau, z.B. $>10^{\circ}\text{dKH}$, lässt sich nur dann erreichen, wenn gleichzeitig der Calciumgehalt in einem normalen Bereich liegt und gleichzeitig nicht übermäßig stark angehoben wird. Gleiches gilt übrigens auch im umgekehrten Fall für Calcium, d.h. ein sehr hoher Calciumgehalt ist nur dann möglich, wenn die KH auf einem normalen Niveau liegt und nicht übermäßig stark angehoben wird.

Ist der Calciumgehalt oder der Calciumeintrag bei hohem KH-Eintrag ebenfalls sehr hoch, fallen sowohl KH als auch Calcium wieder auf ein normales Niveau ab und implizieren dem Riffaquarianer, dass die Dosiermengen scheinbar nicht hoch genug waren. Dadurch kommt der Riffaquarianer in einen Teufelskreis, der die Dosiermengen immer weiter hochschraubt, ohne dass sich die Werte signifikant ändern. Der Grund dafür ist jedoch der erläuterte chemische Verbrauchsanteil, der völlig unnützlich ist. **Es gilt immer zu beachten: bei der Kalkhaushalt-Stabilisierung ist weniger immer mehr.**

In der → [Startphase von Riffaquarien](#) kann der KH Verbrauch in den ersten Wochen relativ hoch sein, weil in dieser Zeit v.a. tote Dekorationsmaterialien einen mikrobiellen Biofilm entwickeln, der Carbonate verbraucht, z.B. im Rahmen der Nitrifikation. Je höher im Rahmen der → [Gestaltung von Riffaquarien](#) die Gesamtdekorationsoberfläche (GDO) ist, desto höher ist in der Regel auch der KH-Verbrauch in dieser Zeit, und damit auch die Notwendigkeit des Riffaquarianers, KH-Defizite durch geeignete Methoden zur → [Kalkhaushalt-Stabilisierung](#) auszugleichen. Auch keramisches Material oder stark mit Wasserstoffperoxyd gereinigtes totes Riffgestein zur Aquariengestaltung kann anfangs viel Calcium freisetzen, wodurch die KH ebenfalls sinken kann. Auch ein neuer kalkhaltiger Bodengrund kann diesen Effekt haben, v.a. wenn er sehr fein und staubig ist. Der KH-Verbrauch in dieser Phase ist typischerweise unabhängig vom Calciumgehalt, es muss daher eine Methode gewählt werden, die nur die KH individuell erhöht, den Calciumgehalt jedoch unberücksichtigt lässt.

Der Carbonatgehalt im Wasser wird auch über den CO_2 -Eintrag aus der Luft im Rahmen des Gasaustauschs beeinflusst, wie es beim Thema → [Kalkhaushalt-Stabilisierung](#) erörtert wird. Wenngleich sich durch den CO_2 -Eintrag die KH im Wasser nicht verändert, weil sich CO_2 als Säure verhält und zugleich einen Carbonatanteil und auch einen Säureanteil abgibt und sich dadurch das Puffervermögen des Wassers in der Nettobilanz nicht verändert, kann sich der KH-Verbrauch im Meerwasser auch unabhängig von einem Calciumverbrauch durch kalkabscheidende (calcifizierende) Organismen wie Korallen oder Muscheln darstellen. Eine individuelle Stabilisierung der Karbonathärte ist daher in der riffaquaristischen Praxis sehr wichtig.

Im SANGOKAI System dienen die **BALANCE-Produkte**, v.a. das sango chem-balance KH zur Erhöhung und Stabilisierung der Karbonathärte/Alkalinität.

Kompensationsbiotope

Der Begriff Kompensationsbiotop definiert einen Teilbereich des Aquariensystems, das vorrangig dazu geplant und eingerichtet wird, um einen Überschuss von einer oder mehrerer Substanzen im Wasser zu verhindern (zu kompensieren). Klassisch übernehmen → **Refugien** eine solche Kompensationsfunktion, wenn z.B. die in einem Algenrefugium wachsenden Makroalgen Nährstoffe wie Nitrat oder Phosphat aufnehmen und in ihre Biomasse einbauen. Neben Algenrefugien wirken z.B. auch Korallenablegerbecken, die an ein Hauptbecken angeschlossen sind, als Kompensationsbiotop, weil sie im Gesamtsystem durch einen meist nur geringen Fisch- und Tierbesatz mehr Nährstoffe verbrauchen (durch das Korallenwachstum) als produzieren. In letzter Zeit erhalten auch vermehrt spezifische und im Vergleich zu Refugien platzsparende Durchflussskammern, abgeleitet von der Form und Funktion von Fließbettfiltern, Einzug in den Handel, in denen eine eingebaute Pflanzenbeleuchtung das Wachstum i.d.R. von *Chaetomorpha* Algen (Drahtalge) forciert. In diesen Wachstumskammern ist auch eine gute Kontrolle des Wasserdurchflusses möglich und der Füllzustand der Kammer zeigt an, wann der Filter „abgeerntet“ werden muss.

Ein problematischer Aspekt bei Kompensationsbiotopen und eine typische potentielle Fehlerquelle in der Planung von Riffaquarienanlagen besteht darin, dass das Wasservolumen der Kompensationsbiotope nicht grundsätzlich in die Überlegung zur Dimensionierung der Filtertechnik mit einbezogen werden kann, denn hier werden Pflanzennährstoffe wie Nitrat oder Phosphat verbraucht und nicht erzeugt. Als Folge einer solchen Fehlplanung werden z.B. → **Eiweißabschäumer** zu groß gewählt und können dann unerwünscht konkurrierend wirken und chronische Nährstoffmangelsituationen verursachen. Allerdings sollten Kompensationsbiotope bei der Anwendung von adsorptiven Filtermedien wie Aktivkohle immer mit einbezogen werden, weil insbesondere Makroalgen potentiell wachstumshemmende Stoffe sekretieren und damit das Korallenwohlbefinden negativ beeinträchtigen können. Es ist also wichtig zu verstehen, dass Kompensationsbiotope auch eine konkurrierende Position einnehmen können, was im Weiteren noch erörtert wird.

Auch wenn sich für jedes Aquarium bei einer erhöhten Nährstoffbelastung die Ursachenforschung als wichtigste Aufgabenstellung ergibt, kann ein gut geplantes und für das jeweilige Aquariensystem sinnvoll umgesetztes Kompensationsbiotop eine praktische Lösung sein, um einer kritischen Nährstoffbelastung entgegen zu wirken. Allerdings sollten Kompensationsbiotope nicht grundsätzlich als DIE ultimative Lösung angesehen werden, denn sie betrachten und beheben die Problemursache nicht, sondern, wie es der Name schon sagt, versuchen lediglich die Auswirkungen und Symptome einer bestehenden Problematik zu kompensieren. In der Medizin käme dies einer Symptombehandlung gleich, die auf keine Heilung abzielt.

Dazu ein Beispiel aus der aquaristischen Praxis: nach wie vor sind viele Riffaquarien zu üppig mit Gestaltungsmaterial gefüllt, woraus sich eine langfristig schlechte Strömungsumgebung ergibt, die Futterreste und partikuläre organische Nährstoffe in die Dekoration einlagert und dort deponiert. Solche organischen Depots können dann durch degradierende Kleinsttiere und mineralisierende Mikroorganismen zu Nitrat und Phosphat umgebaut werden. Es erfolgt also eine ungünstige Nährstoffproduktion direkt im Aquarium, auf die z.B. ein Eiweißabschäumer im Filterbereich gar nicht mehr einwirken kann, weil keine abschäumbaren Vorstufen zum Abschäumer gelangen. Es ist also in diesem Szenario praktisch unbedeutend, wie groß der Abschäumer in dem hier betrachteten Aquariensystem gewählt wird, weil dieser zeitlich und räumlich hinter der im Aquarium stattfindenden Nitrat- und Phosphat-Produktion steht. Der Abschäumer bleibt in seiner Funktionalität also weitestgehend wirkungslos, ganz gleich, wie groß er ist. Hier zeigt sich leider ein sehr häufiger Fehler im beratenden Handel, der in einem solchen Fall gerne einfach einen neuen Abschäumer in einer Nummer größer verkauft, was jedoch in Anlehnung an die Erörterungen für dieses Szenario vollkommen sinnlos ist. Über das Depot-Problem hinaus wirkt eine zu große Gesamtdekorationsoberfläche im Aquarium (also bei zu viel Dekorationsmaterial) stark aerob-nitrifizierend, d.h. die Nitrifikationsrate steigt i.d.R. proportional zur Gesamtdekorationsoberfläche an und wandelt bei einer zu üppigen Gestaltung potentiell abschäumbare Substanzen vergleichbar mit einem Rieselfilter direkt im Aquarium in Nitrat um, das der Abschäumer dann nicht mehr entfernen kann. Nur ein extrem hohes → **effektives Durchflussvolumen** bei einem gleichzeitig sehr leistungsfähigen Abschäumer könnte diesen Effekt reduzieren, jedoch nicht vollends verhindern.

Viele Riffaquarianer versuchen einen solchen systemischen Fehler durch ein Kompensationsbiotop auszugleichen, z.B. mithilfe eines Algenrefugiums. Für dieses Szenario würde sich aber eine Behebung der Problemursache, nämlich der zu üppigen Gestaltung einhergehend mit einem mangelhaften Strömungskonzept, als bevorzugte praktische Maßnahme erweisen. Es macht mehr Sinn (und langfristig auch Freude), das Riffaquarium mit einer saubereren, lockeren Gestaltung neu aufzusetzen, statt mit zusätzlichen Maßnahmen wie einem Kompensationsbiotop, das Pflege-, Wartungs- und damit auch Geldaufwand bedeutet, ständig und über Jahre hinweg nur zu versuchen, die Nitrat- und Phosphat-Probleme zu kompensieren. Durch eine neue lockere Gestaltung ergibt sich eine günstigere Strömungsumgebung, die zur Nitrifikation vorhandene Gesamtdekorationsoberfläche bleibt klein und ein moderates effektives Durchflussvolumen von dem ca. 2-3fachen des Gesamtnettovolumens reicht aus, um die Eiweißabschäumung optimal auszulasten. Dies würde die Nährstoffproblematik tatsächlich lösen.

Es gibt natürlich dennoch Situationen, in denen ein Kompensationsbiotop eine sinnvolle Entscheidung ist. Aquarien mit einem hohen und anspruchsvollen Fischbesatz, der viel Futtereintrag bedeutet, können mit einem Kompensationsbiotop stabil betrieben werden. Auch bei der Pflege von azooxanthellaten Korallen und Filtrierern macht ein Kompensationsbiotop Sinn, um den höheren Nährstoffeintrag zu kontrollieren. Darüber hinaus schreiben verschiedene kommerzielle Aquariensysteme für ihre Versorgungssysteme ein Algenrefugium vor und nutzen dabei z.B. neben der Biotoperweiterung auch die hier besprochene Kompensationsfunktion aus, um wichtige Nährstoffe dauerhaft zu dosieren ohne eine Anreicherung zu erzeugen.

Eine grundsätzliche Anforderung an den Riffaquarianer zur Aufrechterhaltung eines optimalen Kompensationsverhaltens ist der Export von in Biomasse gebundenen Nährstoffen, d.h. die „Ernte“ z.B. von Makroalgen aus dem Algenrefugium. Makroalgen, die durch ihr Wachstum die Algenbiomasse im Aquariensystem vergrößern, können bei ungünstigen Umweltbedingungen sowie durch Frass oder durch mechanische Verletzungen die gebundenen Nährstoffe wieder freisetzen. In einem solchen Fall verliert sich die Kompensationsfunktion in der Netto-Bilanz (Aufnahme im Verhältnis zur erneuten Freisetzung) mehr oder weniger stark, im schlechtesten Falle sogar vollständig (z.B. vollständige Sporulation von *Caulerpa*). Das Refugium stellt dann letztlich nur einen Ort zur temporären (zeitweisen) Auslagerung von Nährstoffen dar, die zu einem bestimmten Zeitpunkt wieder spontan abgegeben werden können und dann zu einer hohen und akut schädigenden Nährstoffbelastung führen. Ein solches Szenario gilt es stets zu vermeiden! Die Algen müssen gut gepflegt und regelmäßig abgeerntet werden, damit sich eine konstant positive Wachstumsrate ergibt. Schlecht abgeerntete Makroalgen schatten sich in unteren Bereichen selbst ab und sind durch zunehmend dichtes Wachstum oft auch zu wenig bestrahlt, d.h. sie können im ungünstigsten Fall hier wieder absterben, so dass sich die Nährstofffreisetzung im unteren Schattenbereich und die Nährstoffbindung im lichtzugewandtem Wachstumsbereich in der Bilanz ausgleichen. Ein derart schlecht gepflegtes Algenrefugium besitzt keine Kompensationsfunktion mehr und kann sogar den Nährstoffhaushalt und das Gesamtaquariensystem negativ beeinträchtigen (siehe dazu → [Refugien](#)).

Wie bis hierher bereits diskutiert wurde, sind v.a. die Hauptnährstoffe Nitrat und Phosphat klassische Substanzen, die über ein Kompensationsbiotop gebunden werden sollen. Darüber hinaus können Makroalgen in einem Algenrefugium oder Korallen in einem Ablegerbecken auch auf den Spurenmetallgehalt oder auch den Iod-Gehalt im Wasser einwirken. Makroalgen sind sehr gut geeignet, um hohe Metallkonzentrationen im Wasser zu senken. Insbesondere die für das Pflanzenwachstum bedeutsamen Metalle Eisen, Mangan, Zink und Nickel, die in höherer Konzentration jedoch auch nachteilig auf Wachstum, Färbung und Gesundheit von Korallen wirken, können über ein Kompensationsbiotop in Biomasse gebunden und dann bei der Abernte schliesslich entfernt (exportiert) werden.

Dieser zunächst (je nach Wasserbelastung) als Vorteil genannte Aspekt kann sich jedoch auch zum Nachteil entwickeln, wenn bei einer ungenügenden Nährstoffversorgung der Gesamtnährstoffhaushalt im Aquarium limitiert wird. Hier sei nochmals, wie auch im Kapitel „Refugien“, kritisch erwähnt, dass jedes Biotop innerhalb des Aquariensystems optimal gewartet, gepflegt und bei Bedarf auch versorgt werden muss. Das betrachtet folgerichtig auch das Thema Nährstoffversorgung. Algen wollen genau wie Korallen wachsen und sich in ihrem Biotop, bzw. im gesamten Ökosystem behaupten. Dazu nehmen sie aktiv Nährstoffe auf, die sie allerdings – im Unterschied zu Korallen – nicht ausschliesslich aus dem Wasser, sondern u.U. auch aus der Dekoration (Bodengrund und Steine) rekrutieren können. Das verschafft ihnen gegenüber Korallen einen ökologischen Vorteil, weil Korallen die für sie wichtigen Nährstoffe fast ausschliesslich aus der Wassersäule aufnehmen können. Aus diesem Grund können Algenrefugien in

Nährstoffmangelsituationen rasch auch negativ auf das Gesamtaquariensystem wirken, weil die gepflegten Algen ihre ökologische Kompetitivität durch variable Nährstoffrekrutierungsmechanismen aufrechterhalten können. Wenn z.B. im Falle eines Mangels an im Wasser gelösten Nährstoffen partikuläre Depots im Refugium vorliegen, die von den Algen erschlossen werden können, haben die Algen einen kompetitiven Vorteil gegenüber den Korallen im Aquarium, die darauf nicht zurückgreifen können.

Je mehr wachsende Biomasse im Gesamtaquariensystem gepflegt wird, desto höher ist auch der Nährstoffbedarf. Es ist wichtig, dass ein Kompensationsbiotop daher bei niedrigem Nährstoffgehalt auch aktiv versorgt, oder in seiner Leistungsfähigkeit gedrosselt wird (z.B. bei Algenrefugien über die Beleuchtungsdauer oder über die Wasserzufuhr). Ansonsten kann ein Kompensationsbiotop jeglicher Art zum kritischen Konkurrenten werden und Nährstoffblockaden hervorrufen. Wer daher ein Kompensationsbiotop etablieren möchte, sollte sich der Wirkungen dieses zusätzlichen Lebensraumes gewahr sein und einen entsprechend notwendigen Pflege-, Wartungs- und Versorgungsaufwand nicht scheuen.

-L-

-M-

Meersalz → [Wasserwechsel](#)

-N-

Nährstoffmangelsituationen
IN BEARBEITUNG

-O-

Ozonisierung/Ozongeräte
IN BEARBEITUNG

-P-

Phosphatadsorber → [Filterung und Filterkonzepte](#)

Plankton (Bakterioplankton, Phytoplankton, Zooplankton) und Planktonersatzfutter
IN BEARBEITUNG

-Q-

-R-

Refugium (Pl.: Refugien)

Als Refugium bezeichnet man ein vom Hauptaquarium, oft im Filter-/Technikbecken separiertes Abteil (auch Kompartiment genannt), oder ein abgekoppeltes, zumeist kleineres Aquarium, das eine i.d.R. andere Organismengemeinschaft beherbergt wie das Hauptbecken. Der Name leitet sich vom lateinischen *refugere* ab und bezieht sich auf einen Zufluchtsort. Er impliziert auch in der Riffaquaristik, dass die in diesem Biotop lebenden Organismen von einem Fraßdruck oder einem allgemeinen Konkurrenzdruck, der sich durch Fische, Seeigel, Schnecken, etc., ergibt, räumlich geschützt sind und sich ungestört entwickeln, wachsen und fortpflanzen können. Demnach kann auch ein an das Hauptbecken angeschlossenes Becken mit Korallenablegern (Ablegerbecken) als Refugium bezeichnet und als solches betrachtet werden, weil es der ungestörten Regeneration und Aufzucht von Korallenablegern dient.

Häufig kommen Refugien aber nicht mehr in diesem ursprünglichen und wortabgeleiteten Sinn zur Anwendung. Vielmehr werden Algenrefugien oft installiert, um bestimmte Probleme mit dem Riffaquarium zu „bekämpfen“, weil dem jeweiligen Riffaquarianer grundlegende diagnostische Fähigkeiten und Möglichkeiten fehlen, um solche Probleme gezielt zu ergründen und zu beheben. Hier zu nennen sind vorrangig erhöhte Nitrat- und/oder Phosphatwerte, aber auch Plagen mit Makroalgen, Mikroalgen (Dinoflagellaten) oder Cyanobakterien. Das Refugium ist in solchen Fällen ein weiterer Hilfsnagel, an den sich Riffaquarianer klammern, um ein nicht nachvollziehbares Problem irgendwie „in den Griff zu bekommen“.

Für das SANGOKAI System, bzw. generell für Riffaquarien, sind Refugien im Sinne der Biotoperweiterung durchaus nützlich, wenngleich nicht grundsätzlich notwendig. Jedes Riffaquarium kann auch ohne ein Refugium optimal gepflegt werden, sofern dies nicht z.B. für ein angewendetes Versorgungskonzept seitens des jeweiligen Herstellers spezifisch vorgeschrieben ist. Allerdings kann ein mit schnellwüchsigen Makroalgen bepflanztes Refugium, wenn es sinnvoll geplant, aufgebaut, gepflegt und v.a. kontrolliert wird, durchaus zur Kompensation überschüssiger Nähr- und Spurenstoffe (z.B. Spurenmetalle) eingesetzt werden. Auch wenn wir aus praktischer Sicht in diesem Fall von einem → [Kompensationsbiotop](#) sprechen sollten, dessen Funktion und Wirkung vom eigentlich namensgebenden Sinn des Refugiums abschweift, ist der Begriff Algenrefugium als allgemeine Bezeichnung die Regel.

Im Rahmen der genannten Biotoperweiterung dient ein Refugium der Komplexierung der Nahrungskette und der Steigerung der Artenvielfalt, was dem Grundprinzip des SANGOKAI Systems entspricht. Ganz klar muss jedoch betont werden, dass ein schlecht gestaltetes, falsch installiertes und mangelhaft gepflegtes Refugium deutlich mehr Schaden anrichten und kontraproduktiv für das Gesamtaquariensystem sein kann, als dass es überhaupt einen positiven Nutzen hätte. Dem Refugium muss stets die gleiche pflegerische Aufmerksamkeit gewidmet werden wie dem Hauptbecken. Je komplexer ein Gesamtaquariensystem aufgebaut ist, desto höher ist auch der Pflege- und Kontrollaufwand. Die Entscheidung für oder gegen ein Refugium

liegt beim Riffaquarianer selbst, oder ist als Voraussetzung für den Einsatz bestimmter kommerzieller Versorgungssysteme obligat. Dabei stellt ein Refugium nicht nur die Anforderung zur regelmäßigen Pflege und Kontrolle, sondern verlangt auch die Aufmerksamkeit für eine adäquate und wenn nötig separate Versorgung mit Nährstoffen.

Das SANGOKAI System empfiehlt bevorzugt Lebendgesteinrefugien, die nach einem ganz bestimmten Prinzip aufgebaut sind, das im Verlaufe dieses Kapitels an gegebener Stelle noch erläutert wird. Allerdings sind alle anderen Refugiumtypen genauso akzeptiert. Welcher Refugium-Typ zum Einsatz kommt, oder welche Algen in einem Algenrefugium gepflegt werden können, ist nicht so sehr relevant und kann individuell vom Riffaquarianer bestimmt werden.

Grundsätzlich ist es für den Riffaquarianer wichtig, dass ein Refugium als eigenständiger Lebensraum, d.h. als Biotop verstanden wird. Dieses Biotop muss nicht nur optimal technisch ausgestattet, und sinnvoll gestaltet sein, sondern auch regelmäßig und dauerhaft gepflegt werden. **Vor allem muss es als sich selbst behauptender Lebensraum innerhalb des Gesamtaquariensystems verstanden werden.** Das bedeutet, dass sich die Organismen in einem Refugium genauso zu behaupten versuchen, wie es die Organismen im Hauptaquarium gleichzeitig tun. Dabei geht es v.a. um Konkurrenz um Nährstoffe sowie um Siedlungsraum. Im Weiteren sollen die hier zugrunde liegenden ökologischen Prinzipien erörtert werden.

Die häufigste Form des Refugiums ist das Makroalgenrefugium. Andere Refugiumtypen wie das Lebendgesteinrefugium oder das Sandbettefugium kommen zwar nicht selten als Hybridformen innerhalb eines Algenrefugiums vor, sind als eigenständige Refugiumtypen aber deutlich seltener.

Prinzipiell ist ein Refugium im Sinne der Biotoperweiterung sinnvoll und nützlich, sofern es gut gepflegt wird und es nicht mit dem Hauptbecken z.B. um Nährstoffe konkurriert. Letzteres ist eine wesentliche Anforderung, die erfüllt sein muss. Wenn beispielsweise im Falle einer akuten → **Nährstoffmangelsituation** das Refugium wichtige Nährstoffe verbraucht, dann stehen diese dem Hauptbecken und den darin wachsenden Korallen nicht zur Verfügung, was den positiven Nutzen des Refugiums nicht nur zunichte macht, sondern das Refugium auch als negatives Element darstellt. Allerdings kann z.B. ein Algenrefugium im umgekehrten Falle eines Nährstoffüberschuss bei hohem Fischbesatz sehr wirkungsvoll den Nährstoffgehalt senken, wenn die Algen regelmäßig abgeerntet werden. Das Abernten schafft dann letztlich den Nährstoffexport aus dem Aquariensystem. Der Riffaquarianer muss sich also der möglichen Wirkungen eines Refugiums auf das Gesamtsystem bewusst sein!

Um ein Refugium hinsichtlich eines möglichen Konkurrenzeffekts kontrollieren zu können, sollte es im Bypass oder mit einer eigenen Betriebspumpe betrieben werden. Dadurch erhält man eine Regelgröße, die dynamisch je nach Sinn und Nutzen verändert werden kann. Im Falle eines Nährstoffmangels sollte der Durchfluss durch das Refugium gedrosselt werden, oder man würde das Refugium sogar gänzlich abtrennen und separat mit Nährstoffen versorgen, um einen Effekt auf das Hauptbecken auszuschliessen. Ist das Refugium direkt im Technikbecken integriert, steht

diese Regeloption natürlich nicht zur Verfügung, und die Auswirkungen des Refugiums kann nur über das → **effektive Durchflussvolumen** der Rückförderpumpe gesteuert werden.

Als Richtwert für das Durchflussvolumen durch ein Bypass-betriebenes oder separiertes Refugium empfiehlt sich zur optimalen Pflege das 1 - 2-fache des Nettovolumens des Refugiums pro Stunde. Ein 50 L Refugium kann also mit 50 - 100 L/h versorgt werden. Ob eine Erhöhung des Durchflussvolumens z.B. hinsichtlich des Abbaus erhöhter Nitrat- und Phosphatwerte sinnvoll ist, sollte individuell geprüft werden. Wichtig ist nur, dass in einer allgemeinen Nährstoffmangelsituation das Durchflussvolumen auf mindestens das 1-fache des Refugium-Nettovolumens gedrosselt wird, oder im Bedarfsfall sogar noch geringer.

Für ein Refugium empfiehlt sich nicht nur eine eigene Beleuchtung (die auch invertiert zur Hauptbeleuchtung gesteuert werden kann, d.h. tagsüber aus, nachts an, was eine bessere pH-Stabilität und Kohlendioxid/CO₂-Verfügbarkeit ermöglicht), sondern auch eine eigene Beströmung. Dadurch werden die Algen, die lebenden Steine oder das Sandbett nicht nur besser mit Nährstoffen versorgt und der Gasaustausch verbessert, sondern auch Mulm-Ablagerungen im Refugium vermieden. Ein Mulm-/Detritus-Aufbau sollte generell verhindert werden, d.h. dass das Refugium auch in individuellen Intervallen abgesaugt werden sollte.

Die korrekte Platzierung eines Refugiums innerhalb des Aquariensystems ist sehr wichtig. Grundsätzlich sollte das Refugium räumlich immer hinter dem Abschäumer platziert sein, damit dieser das abzuschäumende Wasser aus dem Hauptbecken unmittelbar und an erster Stelle erhält, und nicht das Refugium (was die Abschäureffizienz durch die Umwandlung potentiell abschäumbarer Substanzen verringern kann). Erst dahinter sollte das Algenrefugium platziert sein bzw. der Bypass Betrieb erfolgen.

Im Folgenden sollen die drei Refugium-Typen etwas genauer vorgestellt werden.

Algenrefugium/Makroalgenrefugium

Die Algen sollten immer in einer optimalen Wachstumsphase gehalten und entsprechend getrimmt werden. Ein verwuchertes Algenrefugium ist wenig bis gar nicht produktiv, weil es in der Netto-Bilanz genau so viele Nährstoffe in den beleuchteten und beströmten oberen Bereichen aufnimmt, wie es in den abgeschatteten und mangelhaft beströmten unteren Bereichen freisetzt bzw. durch abgestorbene Algenteile an die Umgebung verliert. Daher gilt der regelmäßigen Kürzung und dem Auslichten der Algen besondere Aufmerksamkeit, damit nicht nur eine positive Wirkung des Refugiums als Biotop erzielt wird, sondern die für das Refugium zusätzliche Technik (Beströmung und Beleuchtung) hinsichtlich der Energie-Nebenkosten sinnvoll eingesetzt wird.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es zu vermeiden gilt, dass sich Algenteile auslösen und ins Hauptbecken gelangen, was zu schlecht kontrollierbaren Plagen führen kann. Vor allem fein gefiederte und filigrane Algen (z.B. *Dictyota*) sollten durch eine nachgeschaltete mechanische Filterung aus dem Hauptbecken fern gehalten werden. Ähnliches gilt für z.B.

Glasrosen, die oft in Refugien ohne entsprechende Kontrolle (z.B. über *Lysmata wurdemanni* Garnelen, etc.) auftreten können und sich ins Hauptbecken ausbreiten können.

Lebendgesteinrefugium

Sandbettrefugium

Ein Sandbettrefugium ist ein vom Hauptbecken separiertes Sandbett-System, in dem gewünschte biologische Aktivitäten im Sand etabliert und v.a. gesteuert und kontrolliert werden können. Solche biologischen Aktivitäten sind üblicherweise der Abbau zu hoher Nitrat- oder Phosphatwerte, z.B. durch die Denitrifikation oder die Steigerung des Phosphatumsatzes in mikrobiell sehr aktiven Sedimenten. Allerdings kann auch im ganz allgemeinen Sinne die Biotoperweiterung und die Steigerung der Organismen- und Artenvielfalt ein gewünschtes Ziel sein, das wiederum auch den Nährstoffbedarf eines Riffaquariensystem durch die gesteigerte Produktivität erhöht und darüber Nitrat und Phosphat senken kann.

Wichtige Grundinformationen zum Thema Sandbett-Systeme liefert das Stichwort → **Bodengrund**. An dieser Stelle soll vornehmlich der optimale Aufbau und Betrieb eines Sandbettrefugiums erläutert werden, was letztlich darüber entscheidet, ob das Sandbettrefugium funktioniert oder nicht, bzw. ob es sich sogar negativ auf das Gesamtsystem auswirkt.

Für ein Sandbettrefugium ist der Betrieb im Bypass oder mit einer regulierbaren separaten Betriebspumpe beinahe schon Pflicht, weil ein mikrobiell hochaktives Sandbett enorm leistungsfähig und damit auch potentiell schädlich ist. Daher muss das Sandbettrefugium eine Regelgröße wie das Durchflussvolumen besitzen, damit man es steuern und kontrollieren kann. Je höher der Durchfluss durch ein Sandbettrefugium ist, desto stärker kann auch die biologische Wirkung sein, unabhängig davon, ob diese gewünscht ist oder sogar negativ für das Riffaquarium ist.

Wichtig für ein Sandbettrefugium sind nicht nur die optimale Korngröße und die Schichthöhe, wie es unter dem Stichwort → **Bodengrund** thematisiert wird, sondern die Beströmung des Sediments und die Strömungsgeschwindigkeit über dem Sediment. Ohne eine ausreichend hohe Oberflächenströmung können weder Sauerstoff, noch wichtige Nährstoffe in das Sandbettssystem eindringen. Daher sollte ein Sandbettrefugium so konzipiert und gebaut sein, dass sich über dem Sandbett eine laminare und möglichst konstante Strömung ausbreiten kann. Über die Konstanz gewährleistet man, dass sich die Sandoberfläche nicht zu stark mechanisch verwühlt oder gar verfrachtet wird. Es gilt also, Turbulenzen zu vermeiden.

Idealerweise ist die Strömung über dem Sediment eine passive Zugströmung, die sich in einem Strömungskanal, also einem flachen und schmalen Refugium mit hoher Geschwindigkeit relativ einfach erzeugen lässt. Dafür benötigt es eine Unterbodenströmung durch eine leistungsfähige und sinnvollerweise regelbare Strömungspumpe (Propellerpumpen sind hierzu sehr gut geeignet). Am Ende des Strömungskanals wird die Strömung durch die begrenzende Glasscheibe nach oben geleitet bzw. gedrückt und dann wieder in die entgegengesetzte Richtung durch den Sog der Strömungspumpe zurückgezogen. Diese Strömung ist dann eine passive und sehr laminare,

gleichmäßige Rückströmung. In diesem oberen Bereich wird das Sandbett untergebraucht, so dass das Wasser in konstanter Geschwindigkeit über das Sandbett fließen und in das Lückensystem eindringen kann.

Das Becken für das Sandbett-Refugium hat also einen doppelten Boden und sollte für die Kanalwirkung nicht zu breit gebaut sein. Es gilt, je schmaler der Kanal ist, desto weniger Leistung muss die eingesetzte Strömungspumpe besitzen, und umgekehrt. Um Spritzwasser bei zu starker Strömung daran zu hindern, in die Umgebung zu gelangen, können am oberen Rand des Sandbettrefugiums Längstraversen eingeklebt und darauf eine Glasplatte, bzw. PVC- oder Acrylglasplatten aufgesetzt werden (je nachdem, ob das Sandbettrefugium hell oder abgedunkelt sein soll). Darüber wird allerdings der Gasaustausch mit dem Wasser verschlechtert, d.h., dass der externe Zufluss von Aquarienwasser in das Sandbettrefugium hinein bei komplett abgedecktem Refugium für den Haupteintrag von Sauerstoff sorgt und das Wasser bei hoher Sandbettaktivität das Refugium entsprechend sehr sauerstoffarm verlässt. Es sollte nach dem Refugium erst wieder Sauerstoff aufnehmen können, was eine gute nachgeschaltete Belüftung erforderlich macht. Soll das System mit viel Sauerstoff versorgt werden, würde man das Refugium nicht komplett abdecken, sondern nur an den jeweiligen Enden Platten auflegen, dort, wo das Wasser jeweils auf die Glaswand trifft und die Richtung ändert und dabei Spritzwasser erzeugen kann.

Das Sandbett kann in einem solchen Strömungskanal recht einfach nach dem Blumenkasten-Prinzip eingesetzt werden, mit entsprechendem Abstand von den Stirnseiten, damit sich die Strömung hier nach oben bzw. nach unten umkehren kann, ohne in diesem turbulenten Bereich das Sandbett aufzuwirbeln, was zur Verfrachtung von Sandmassen führen würde. Je nach Strömungsleistung bzw. Strömungsgeschwindigkeit sollte der Abstand 10 - 15 cm zu den Stirnseiten hin betragen, bei kleineren Refugien ggf. auch etwas weniger. Für Privataquarien eignen sich aus Platzgründen kaum längere Sandbettrefugien als 1 m, mit einer effektiven Sandbettlänge von ca. 60-80 cm, je nachdem, wie groß die Abstände zu den Stirnseiten gewählt werden. Ein 1 m langes Refugium ist dann nicht breiter als 25 cm, um eine gute Kanalwirkung zu erzielen. Auch 20 cm würden ausreichen, wobei dann die Strömungsgeschwindigkeit gut reguliert werden muss, weil diese mit abnehmender Kanalbreite zunimmt. Für ein 50 cm langes Refugium wäre eine Breite von 10 - 12 cm annehmbar. Als Faustformel kann man pro 10 cm Länge eine Breite von 2-2,5 cm annehmen. Schmalere Sandbettrefugien sind zu turbulent und entwickeln zu hohe Strömungsgeschwindigkeit, deutlich breitere Kanäle erfordern wiederum leistungsfähigere Pumpen.

Es darf bei der Dimensionierung des Refugiums, vergleichbar mit den anderen Refugiumtypen, nicht übersehen werden, dass das Refugium keinen konkurrierenden Effekt verursachen soll. Ein hochaktives Sandbettrefugium mit 1 m Länge und 25 cm Breite kann eine enorme Wasserbelastung beherrschen, wenn es richtig betrieben wird.

Die Auswahl der Korngröße entscheidet dann wiederum über die Schichthöhe. Hier gelten die Informationen, die unter dem Stichwort → **Bodengrund** genannt sind. Je feiner die Körnung ist, desto höher ist die Verdichtung sowie das Lückensystem, und desto geringer kann die

Schichthöhe ausfallen. Je gröber das Material ist, desto höher muss die Schichthöhe gewählt werden, wenn sowohl aerobe wie auch anaerobe Stoffwechselaktivitäten gewünscht sind.

Durch die parallele laminare Bestromung richtet sich der Sauerstoff- und Nährstoffgradient im Sediment entsprechend der Strömungsrichtung ebenfalls quer aus. Das hat zur Folge, dass es weniger darauf ankommt, wie tief das Sandbett ist, sondern v.a. auch, wie lang es ist. Wird also ein relativ kurzes Refugium mit sehr viel Strömungsgeschwindigkeit betrieben, wird das Sandbett vermutlich komplett oxisch sein, selbst bei einer sehr feinen Körnung, die den Wassereintritt stark abbremst.

Für ein hochaktives Sandbettrefugium sollte die Sedimentkörnung nicht zu fein und auf keinen Fall zu grob sein. Es empfiehlt sich eine Körnung von nicht weniger als 2-5 mm, die sowohl feinkörnig genug ist, um einen guten Gradienten zu entwickeln, aber kein zu großes Lückensystem erzeugt. Größere Körnungen oder gar Korallenbruch würden unter solchen Strömungsbedingungen viele Aufwuchsalgen (engl. „Turf“-Algen) ansammeln, v.a., wenn das Refugium beleuchtet wird, was dann eher einem „Algen-Turf-Filter“ ähneln würde, der im englischen Sprachraum in den 1990er Jahren v.a. in Großaquarien sehr populär war. Feinere Sandsorten würden hingegen in Relation zu der zur Verfügung stehenden Siedlungsfläche zu wenig Nährstoffe einlagern, wodurch das Sandbett nur eine geringe Bioaktivität erzeugen würde.

Zum Einbringen des Sandbettes empfiehlt sich das Blumenkasten-Prinzip. Entweder, es werden direkt Begrenzungs-Querscheiben auf dem oberen Boden des Refugiums eingeklebt und der Sand dort eingefüllt, oder der Aquariebauer baut einen eigenen Kasten (wie ein Blumenkasten), der ausserhalb des Refugiums mit Sediment gefüllt und eingesetzt und auch wieder herausgenommen werden kann. Letztere Option besteht aufgrund des Gewichts nur für kleinere Sandbettrefugien bis zu ca. 50 cm Länge. Bei größeren Refugien spielt dann die richtige Auswahl von Korngröße und Schichthöhe eine weitaus wichtigere Rolle, weil das Sediment nur noch mühselig aus dem System ausgeschaufelt werden kann.

Für den Aquariebauer ist die Höhe der Begrenzungsscheiben bzw. des Einsatzkastens wichtig. Während der Unterbodenabstand sich v.a. nach der Größe der eingesetzten Strömungspumpe richtet, und meist mit ca. 10 cm Höhe für fast alle Pumpen völlig ausreichend ist, kann die Schichthöhe im Sandbett selbst variieren. Für die empfohlene Korngröße von 2-5 mm sollte die Schichthöhe mindestens 8-10 cm betragen, was auch die Höhe der Begrenzungsscheiben bzw. des Einsatzkastens wäre. Soll gröberer Korallenbruch eingesetzt werden, würde der Einsatzkasten mind. 15 cm hoch sein. Hier spielen auch die räumlichen Gegebenheiten im Aquarium- oder Technikraum bzw. Schrank eine entscheidende Rolle. Ein Sandbettrefugium wird also eine Höhe von ca. 40 cm haben.

Die Strömungsgeschwindigkeit spielt im Sandbettrefugium eine sehr große Rolle und ist die wesentliche dynamische Komponente, mit der das Sandbettrefugium gesteuert wird. Die Korngröße und die Schichthöhe sind vielmehr fixe Komponenten, die einmalig bestimmt und nur bei Bedarf verändert werden. Es gilt jedoch am Riffaquarium selbst zu beobachten, wie ein solches Sandbettrefugium optimal eingeregelt werden muss.

Zur Auswahl der Strömungspumpen sei noch gesagt, dass es wenig Sinn macht, breit strömende und schwache Pumpen zu nehmen, weil es dann im strömungsaktiven Bereich des Strömungskanals sein kann, dass die Strömung gar nicht am Ende nach oben gedrückt wird, sondern seitlich am Kanal zurück strömt und wieder von der Pumpe im unteren Kanalbereich angesaugt wird. Es empfiehlt sich also, eine Strömungspumpe zu nehmen, die eine druckvolle Strömung erzeugen kann und es schafft, die Wassermasse über eine möglichst weite Länge zu beschleunigen. Dadurch wird das Wasser aus dem oberen Kanalbereich, dort wo das Sandbett liegt, angesaugt, was dann das Zirkulationsprinzip in Gang setzt.

Sandbettrefugien können auch beleuchtet werden, was die Entwicklung komplexer und artenreicherer Biofilme auf dem Sandbett begünstigt. Dadurch entsteht im Lückensystem des Sandbetts auch eine oftmals reichhaltige Mikrofauna, die v.a. aus diversen Krebstieren wie Isopoden, Gammariden oder harpacticoiden Copepoden besteht. Diese ermöglichen dann auch die Destruktion von Futterpartikeln, die im Zuge der mikrobiellen Mineralisation weiter im Sand verarbeitet werden können. Das Licht sollte allerdings nicht zu stark sein und eine Tageslänge von maximal 12 Stunden nicht überschreiten, damit nicht übertrieben starkes Algenwachstum wie in den „Algen-Turf-Filtern“ generiert wird. Das Sandbettsystem würde dann an Leistungsfähigkeit einbüßen, weil der Wassereintritt in das Sediment kritisch verringert wird. Ist das der Fall, sollte das Sandbettrefugium abgedunkelt werden.

Auch bei einem Sandbettrefugium kann die Beleuchtungsphase zur Hauptbeleuchtung des Riffaquariums invertiert werden.

Ein Sandbettrefugium kann zwar durchaus sehr leistungsfähig sein und positiven Einfluss auf das Riffaquarium ausüben. Aufgrund seiner Komplexität sei es Einsteigern aber nicht empfohlen. Darüber hinaus sollte ein entsprechend üppiger Fischbesatz mit einem signifikanten Futtereintrag Grundlage für den Einbau eines solchen Refugiums sein. Riffaquarien unter 500 Liter werden alleine aus Platzgründen i.d.R. kein Sandbettrefugium einrichten können. Steht aber etwas Platz zur Verfügung, können auch kleine Sandbett-Kanäle mit 40-50 cm etabliert werden.

-S-

Start von Riffaquarien (Startphase)

IN BEARBEITUNG

Strömungskonzepte

Die Beströmung von Riffaquarien ist für den erfolgreichen Betrieb eine der wichtigsten Faktoren und sollte im Rahmen der Beckenplanung eine ausreichende Zeit lang thematisiert werden. Die Strömung ist qualitativ betrachtet genauso wichtig wie die Beleuchtung, was aber nicht immer berücksichtigt wird. Dieses Kapitel soll hinsichtlich der Planung und Auswahl des Strömungskonzepts vor allem ein praxisnaher Ratgeber sein und darüber hinaus verschiedene

Strömungsmöglichkeiten vorstellen. Darüber hinaus werden die Auswirkungen eines Strömungsmangels auf Korallenkolonien und auf das Gesamtaquariensystem erörtert.

Auch dieses Kapitel versteht sich unabhängig vom SANGOKAI System als allgemein gültige riffaquaristische Literatur.

Der wichtigste, aber leider oft am wenigsten beachtete Parameter hinsichtlich der Auswahl und Optimierung des Strömungskonzepts für ein individuelles Riffaquarium ist die → [Gestaltung von Riffaquarien](#). Bevor überhaupt die Anzahl und die Leistung der für das Strömungskonzept erforderlichen Strömungspumpen bestimmt werden kann, muss das Konzept der Riffaquariengestaltung weitestgehend stehen. Das bedeutet nicht, dass bis zum letzten Stein der Aufbau fertiggestellt sein muss, sondern dass eine gut geplante Übersicht vorhanden ist, und die Riffaquariengestaltung aus architektonischer Sicht einem definierten Thema folgt, z.B. einem Riffplateau, einer Riffschlucht oder dem mittlerweile sehr populären Thema des Sandzonen-Riffs, das nur wenige kleine Gesteinsformationen mit viel Schwimmraum darstellt.

Die Gestaltung des Riffaquariums bestimmt den Strömungswiderstand und die Strömungsverteilung. Genau dieser Zusammenhang stellt die Planung des Strömungskonzepts nicht auf eine einzelne separate thematische Basis, sondern verlangt, dass beide Themen bei der Planung gruppiert werden. **Eine in Lehrbüchern oder im beratenden Handel oft empfohlene relative Mindest-Wasserumwälzung von dem x-fachen des Beckenvolumens pro Stunde ist nicht nur sinnlos und führt zu keinem optimalen Ergebnis, sondern geht auch an der hier wichtigen individuellen Beratung und Planung in Anlehnung an die Riffaquariengestaltung vorbei.** Das liegt daran, dass verschiedene Propellerpumpen trotz gleicher Leistungsangabe bei der Liter/h Leistung so unterschiedlich gebaut sein können, dass sie drei verschiedene Strömungsmuster generieren. Die Liter/h Angabe sagt nichts über den Druck aus, den die Pumpe am Pumpenausgang erzeugen kann, oder über die Ansaug- und Austrittswinkel, d.h. ob die Strömung linear nach vorne oder radial auch zu den Seiten austritt. Lange Becken brauchen viel Druck nach vorne, kleinere Becken oder auch üppig gestaltete Teilbereiche innerhalb eines Beckens brauchen eine Strömung, die möglichst breit verteilt wird und nicht mit viel Druck in die Länge gerichtet ist. Es gibt einige Pumpen auf dem Markt, die durch unterschiedliche Propeller und Ansauggehäuse jeweils bei gleichem Motor umgebaut werden können, was sehr praktisch ist. Der Fachhandel kann hier beraten.

Es gilt, je üppiger eine Riffaquariengestaltung ausfällt, desto höher sind die Anforderungen an das Strömungskonzept, sowohl qualitativ wie auch quantitativ. Viele Steine blockieren im Becken den Strömungsweg und verhindern eine ausreichend große Wasserumwälzung, erzeugen Strömungslücken und Bereiche mit Strömungsschatten. Demnach müssen vor allem mehr Pumpen in unterschiedlichen Beckenbereichen eingeplant werden, damit sich bezogen auf die stark strukturierte Beckengestaltung eine sehr gute Gesamtströmungsverteilung ergibt. Es macht also keinen Sinn, auf wenige, dafür aber sehr starke Pumpen zurückzugreifen, weil sich dadurch nicht die Gesamtverteilung verbessern lässt und eine hohe Druckleistung nur für lokale Turbulenzen sorgt, die oftmals auch zu stark sind. Für üppig gestaltete Becken ist es weniger

wichtig, wie viel Druck eine einzelne Pumpe erzeugt, sondern wie breit und flächig sie die Strömung im Raum verteilen kann. Nur mit einer breiten Strömung aus mehreren Richtungen können gestalterische Hürden wie Riffformationen überwunden werden. Da sich in einem üppig gestalteten Becken pro Beckenabschnitt mehrere Pumpen innerhalb des Strömungskonzepts um die Gesamtströmungsverteilung kümmern, muss die einzelne Pumpe weniger druckvoll und stark sein. Eine breite aber nicht zu starke Bestromung ist vor allem auch für die Korallenpflege wichtig, weil üppig dekorierte Riffaquarien typischerweise einen geringen Abstand zwischen Pumpen und Koralle aufweisen, und eine zu starke und punktuelle Strömung das Korallengewebe schädigen kann.

Umgekehrt gilt, dass ein lockerer Steinaufbau die Wasserzirkulation erleichtert und die Strömungswege lang ausfallen. Es geht also hier weniger um die Anzahl der Pumpen, als um die tatsächliche Leistung einer einzelnen Pumpe. Oft reichen eine oder zwei Pumpen für ein lockeres Gestaltungskonzept wie dem Sandzonen-Riff aus, um das gesamte Wasser um die flachen Riffformationen optimal zu verteilen. Dafür sind allerdings druckvolle Pumpen notwendig, die v.a. bei langen Becken über die Entfernung das gesamte Becken erreichen können. Nur in kleineren und v.a. quadratischen Becken, deren Glasscheiben aufgrund der Beckenform nah beieinander stehen, werden auch hier weniger druckvolle und dafür breit strömende Pumpen eingesetzt.

Wir sind heute technisch betrachtet in einer optimalen Ausgangslage, um durch verschieden konzipierte Strömungspumpen die individuell notwendigen Strömungsaufgaben lösen zu können. Vor allem die Entwicklung der Propellerpumpen war in den frühen 2000er Jahren eine wesentliche praktische Verbesserung, die hohen Anteil an der positiven Entwicklung der modernen Riffaquaristik hat.

Im folgenden sollen verschiedene Strömungs-Parameter besprochen werden.

Strömung als physiologisch relevanter Umgebungsparameter

Physiologisch ist jeder Organismus davon abhängig, dass er sich mit seiner Umgebung austauscht, d.h., dass er z.B. Sauerstoff und Nährstoffe aufnehmen und CO₂ und Stoffwechselendprodukte wieder abgeben kann. Die Strömung spielt dafür in aquatischen Ökosystemen als Mediator eine entscheidende Rolle. Durch die Stoffwechselaktivität der Organismen sinkt in einer stehenden und wenig bewegten Wassermasse mit der Zeit die Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe (Sauerstoff, Nährstoffe), während sich gleichzeitig die Stoffwechselendprodukte anreichern. Darüber hinaus führt die Akkumulation der Stoffwechselendprodukte, v.a. das CO₂, dazu, dass sich darüber auch physikalisch-chemische Veränderungen im Wasser ergeben, z.B. dass der pH-Wert und das Redox-Potential sinken. In der riffaquaristischen Praxis muss also dafür gesorgt werden, dass sich an jeder Stelle und idealerweise zu jeder Zeit im Riffaquarium ein signifikanter Austausch der Wassermassen ergibt.

Vor allem Steinkorallen mit ihren harten und nicht im Wasser beweglichen Kalkskeletten sind davon abhängig, dass sich nicht nur um sie herum das Wasser bewegt, sondern auch das Wasser innerhalb ihrer Kolonie ausgetauscht wird. Genau hier führt die Ansammlung von

Stoffwechselendprodukten schon in sehr kurzer Zeit zu einer möglicherweise kritischen Veränderung nicht nur der Meerwasserqualität, sondern auch von der Temperatur, denn der Korallenstoffwechsel erzeugt Wärme. Diese Wärme kann sich innerhalb der Kolonie anstauen und lokal zur Überhitzung und zu Schäden führen, was gerade in heißen Sommermonaten ein zu beachtender Punkt ist, wenn innerhalb einer Korallenkolonie das Wasser nochmal um 1-2°C wärmer sein kann als im freien zirkulierenden Wasser.

Wenn das Wasser im Riffaquarium durch eine ausreichend hohe Strömungsverteilung zirkuliert, verteilen sich sowohl Nährstoffe wie auch Schadstoffe bzw. Stoffwechselendprodukte gleichmäßig. Durch die Wirkung der Filtertechnik und in Abhängigkeit von dem → **effektiven Durchflussvolumen** kann das Wasser dann wieder aufbereitet werden (Sauerstoffanreicherung, Nährstoffzufuhr durch aktive Düngung/Fütterung und Schadstoffentfernung durch die Filtertechnik). Die Qualität und Leistungsfähigkeit der Filterung hängt also maßgeblich auch von der Qualität der Strömungsverteilung im Riffaquarium ab.

Grundsätzlich ist es im praktischen Betrieb des Riffaquariums notwendig, dass das Strömungskonzept regelmäßig, mindestens einmal im Jahr auf eine optimale Wirkung hin überprüft wird. Es ist in der Folge der „Betriebsblindheit“ nicht untypisch, dass es für den Riffaquarianer unbemerkt bleibt, dass die gewachsenen Korallen im Laufe der Zeit die ursprüngliche Raumstruktur der Riffaquariengestaltung verändert, und damit auch die Qualität des Strömungskonzepts beeinflusst haben.

Es kommt häufig vor, dass bei gut wachsenden Korallen v.a. Probleme mit einer sog. strömungsinduzierten → **Nährstoffmangelsituation** auftreten, d.h., dass durch einen lokal mangelhaften Austausch von Wassermassen in der Nähe oder in der Korallenkolonie (v.a. bei buschigen SPS-Korallen) eine nicht mehr optimale Nährstoffzufuhr besteht, wenngleich im freien Wasser noch ausreichend viele Nährstoffe vorhanden sind. Solche Situationen gilt es stets zu vermeiden.

Strömungsarten (aktive und passive Strömung)

Wie erwähnt hat die Entwicklung der Propellerpumpen sehr dazu beigetragen, dass sich die Qualität der Strömung in Riffaquarien verbessert. Die Propellerpumpen lösten schnell die damals noch typischen Kreiselpumpen ab, die einen sehr harten Strömungsstrahl erzeugten, der zwar Wasser auch über eine gewisse Länge transportieren konnte, aber nur in einem sehr schmalen Grat. Oberhalb und unterhalb dieses Strömungsstrahls wurde das Wasser nur wenig bewegt. Der Pumpenstrahl war oft zu stark, um in naher Entfernung Korallen zu platzieren, was den Riffaquarianer hinsichtlich der Gestaltung und seines Besatzplans mitunter stark einschränkte.

Propellerpumpen hingegen erzeugen einen breiten Pumpenstrahl, der eine größere Wassermasse bewegt und daher auch effektiver zur Strömungsverteilung beiträgt. Auch die Distanz zu den Korallen verkürzt sich, weil die Strömung sanfter und nicht zu punktuell auf die Korallen trifft.

Heute haben sich Propellerpumpen als Strömungspumpen für Korallenriffaquarien weitestgehend durchgesetzt, wenngleich für größere Riffbecken ab 1000 L auch elektronisch regelbare

Kreiselpumpen im sog. *closed-loop* System eingesetzt werden. Auch dieses Thema wird an geeigneter Stelle in diesem Kapitel diskutiert.

Wir unterscheiden hinsichtlich der durch Pumpen erzeugten Strömung zwei verschiedene Arten: die aktive und die passive Strömung.

- **Die aktive Strömung** ist die unmittelbar am Pumpenausgang erzeugte und sich im Aquarium ausbreitende Strömung. Sie wird bei Kontakt mit einem Gegenstand, wie einem Stein oder einer Koralle, je nach Einwirkung in ihrer Richtung mehr oder weniger stark verändert, oder aber bei vollem Kontakt unterbrochen. An diesen Stellen entstehen sogenannte *Turbulenzen*. Darüber hinaus führt eine Aquarienscheibe bei Kontakt sofort zur Ableitung der aktiven Strömung, was eine schlechte Gesamtströmungsverteilung bedeutet, mit einer hohen Strömungsgeschwindigkeit an den Scheiben oder auch am Boden bzw. an der Wasseroberfläche (je nachdem, in welche Richtung die Strömung von der Scheibe abgeleitet wird), aber mit einer mehr oder weniger schlecht bewegten Wassermasse im Bereich der Beckenmitte.

Die Reichweite der aktiven Strömung hängt also sowohl von der Pumpenleistung selbst ab, als auch von der zur Verfügung stehenden Länge bzw. dem freien Weg, um die aktive Strömung auszubreiten. Dabei drückt die neu generierte Strömung am Pumpenausgang die bereits erzeugte bewegte Wassermasse weiter voran, allerdings nur so weit, wie der Druck der Pumpe ausreicht, um gegen den Widerstand der Wassermasse zu arbeiten.

Neben Gegenständen wirkt auch eine bereits bewegte aber nicht gleichgerichtete Wassermasse zur Ableitung oder Unterbrechung einer aktiven Strömung, wobei sich beide Strömungen gegenseitig beeinflussen und im schlechtesten Falle bei genau gegensätzlicher Strömungsrichtung aufheben können. Eine solche Konfrontations-Strömung gilt es im Rahmen des Strömungskonzepts zu vermeiden.

An dieser Stelle sei nochmals deutlich gesagt, dass das Strömungskonzept maßgeblich von der → **Gestaltung von Riffaquarien**, und hier v.a. von der Raumstruktur der Gestaltung, wie auch von der Beckenform abhängig ist, was die Auswahl geeigneter Pumpen und die Pumpenzahl bestimmt.

Neben der aktiven Strömung gibt es beim Einsatz von Strömungspumpen auch eine passive Strömung.

- **Die passive Strömung** wird durch die Saugleistung der eingesetzten Strömungspumpen erzeugt. Jede Pumpe saugt Wasser an und beschleunigt dieses Wasser durch ihren Antrieb. Bei Propellerpumpen ist die Ansaugung sehr stark von der Bauweise der Pumpe abhängig, aber insgesamt gilt, dass eine Propellerpumpe möglichst widerstandsarm ansaugen muss, damit es nicht zu einer Leistungsschwächung kommt. Ein passiver Strömungseffekt im Riffaquarium hängt stark von der Platzierung der Pumpe ab sowie von der Beckenform, bzw. von der Form der Gestaltung, die ggf. die Strömungsrichtung hin zur Pumpe kanalisiert.

Der passive Rückstrom des Wassers hin zur Pumpe kann v.a. in Pumpennähe sehr leistungsfähig sein und sollte auch durch eine gute Pumpenplatzierung im Rahmen des Strömungskonzepts ausgenutzt werden. Je kanalisierter die Ansaugung zur Pumpe ist, desto stärker ist die passive Saugströmung. Wenn wiederum die Pumpe Wasser aus allen Richtungen im Becken ansaugt, z.B. dann, wenn sie innerhalb einer Gestaltung versteckt ist, erzeugt diese Pumpe bezogen auf eine bestimmte Strömungsrichtung auch keinen passiven Strömungseffekt.

Sehr effektiv, aber für den Tierbesatz problematisch, sind spezialisierte Strömungsschächte, in denen die Pumpen platziert werden. Manche Propellerpumpen haben eine Gehäuseform am Pumpenauslass, die der genormten Größe von PVC-Fittings entspricht, so dass man die Pumpen direkt in ein PVC-Fitting-Ring einstecken kann. Ein solches Fitting wird in die Bohrung des Glasschachts mit Silikon eingeklebt. Dadurch kann sich unter Umständen die Lautstärke der Pumpe durch Vibrationen erhöhen. Allerdings können die Pumpen dann oft ohne weitere Verankerung oder Befestigung direkt im Schacht montiert werden. Die Strömungsrichtung kann hier natürlich nicht mehr räumlich verändert werden.

Die Pumpe saugt das Wasser im Strömungsschacht an und drückt es direkt in das Becken, so dass Wasser durch eine zweite Öffnung im Schacht nachströmen muss. Diese Ansaugöffnung muss größer sein als die Öffnung, in der die Pumpe steckt, um einen Unterdruck-Effekt und damit eine Leistungsschwächung der Pumpe zu vermeiden.

Mithilfe eines Strömungsschachts wird die passive Saugströmung, die die Pumpe erzeugt, sehr gut im Riffbecken linear kanalisiert und kann daher auch wirkungsvoll genutzt werden.

Allerdings können je nach Pumpenleistung Fische und auch andere Tiere wie Garnelen oder Schnecken angesaugt werden. Solche Strömungskanäle sollten daher niemals mit einem Gitter versehen werden, weil die Tiere angesaugt und gegen das Gitter gezogen werden, was tödliche Quetschungen erzeugen kann, wenn sie sich nicht eigenständig von dem Gitter befreien können. Selbst in einem turbulenten Strömungsschacht, ist es für Fische oder Garnelen in einem Strömungs-Loch, z.B. im Bereich der Schachtecken, möglich, Schutz zu finden, sofern sie nicht aus eigener Kraft dazu in der Lage sind, gegen die Strömung aus dem Schacht zu schwimmen. Für starke und kräftige Fische wie Riffbarsche, Zwergbarsche etc. ist das oft kein Problem. Schwimmschwache Grundeln oder kleinere Fische sind allerdings stark gefährdet. Es macht daher durchaus auch Sinn, zwei Öffnungen/Bohrungen für die Ansaugung vorzusehen, damit die Saugleistung direkt am Schacht nicht zu stark konzentriert wird.

Strömungsschächte bieten sich v.a. für größere Riffaquarien an, oder für spezialisierte Anlagen wie Korallenzucht- oder Verkaufsanlagen, um die eingesetzten Pumpen effektiv sowohl hinsichtlich der aktiven wie auch der passiven Bestromung nutzen zu können.

Sie eignen sich zudem sehr gut dazu, dosierte Flüssigkeiten oder Futter direkt und schnell im Becken zu verteilen.

Im Gegensatz zur aktiven Strömung ist die passive Rückströmung sehr gleichmäßig und gleichgerichtet und entspricht einer laminaren Strömung. Der passiven Strömung fehlt allerdings

der nötige Druck, um z.B. eine üppige Gestaltung zu durchqueren. Hier sucht die Strömung dann einen möglichst widerstandsfreien Weg und würde dann eher über eine Gestaltung hinweg fließen oder den Weg daran vorbei suchen. Nichts desto trotz kann eine passive Strömung sehr gut geeignet sein, um Korallen optimal zu beströmen. Dazu gehören v.a. Weichkorallen oder Gorgonien, aber auch SPS-Korallen, die durch die konstante passive Beströmung auch einen guten Wasseraustausch innerhalb ihrer Kolonie erfahren.

Sehr fangaktive Korallen wie *Tubastrea* oder auch azooxanthellate Gorgonien oder Weichkorallen sind hinsichtlich Ihrer Plankton-Fangquoten bei gleichmäßigen laminaren Strömungen sehr effektiv und können dadurch auch leicht indirekt gefüttert werden. Mit turbulenten Strömungen kommen solche Korallen und Filtrierer kaum zurecht und es steigt die Wahrscheinlichkeit, dass bereits gefangene Beute wieder entrissen wird. Solche Tiere können also sehr gut im Bereich der passiven Saugströmung von Propellerpumpen platziert und damit optimal gepflegt werden.

Ausrichtung von Strömungspumpen

Um die technische Leistungsfähigkeit einer Pumpe im Riffaquarium auch optimal ausnutzen zu können, muss diese Pumpe optimal platziert werden. Dabei spielt nicht nur die Gestaltung wie bereits angesprochen wurde eine entscheidende Rolle, sondern auch die Beckenform und die Anzahl und Leistungsfähigkeit der anderen Pumpen. Wie in vielen Bereichen der Riffaquaristik ergeben sich daraus eine ganze Reihe an möglichen Varianten. Dadurch steigt auch die Wahrscheinlichkeit dafür, dass jeweilige Fehler dazu führen können, dass das Strömungskonzept nicht optimal funktioniert.

Ein wesentliches Kriterium dabei ist die Länge des Strömungsweges, der einer Pumpe zur Verfügung steht, um Wasser zu beschleunigen und damit auch Wassermassen zu bewegen. Jede Pumpe sollte so ausgerichtet werden, dass die Strömung einen maximal langen Weg ausnutzen kann, damit das gesamte Wasservolumen im Riffaquarium bewegt und verteilt werden kann. Die stärkste Pumpe kann ihre maximale Wirkung nicht entfalten, wenn ihre aktive Strömung sofort auf eine Scheibe prallt und in verschiedene Richtungen verpufft. **Eine Pumpe sollte daher v.a. nicht schräg gegen eine Scheibe ausgerichtet werden** (eine frontale Ausrichtung wird noch im Weiteren erörtert).

Leider taucht diese Ausrichtung sehr oft in der Praxis auf, weil eine für das Gestaltungsprojekt oder für die Aquariengröße und Beckenform ungünstige (zu druckvolle) Pumpe ausgewählt wurde, die potentiell Schaden an den Korallen anrichten kann. Insbesondere Steinkorallen, die eine aktive Strömung benötigen, bleiben oft trotz kraftvoller Pumpen unterversorgt, weil die zu starke und konzentrierte Strömung an die Aquarienscheibe oder an die Wasseroberfläche gerichtet wird. Das Aquarium (Foto: *B. Michelis*) dient hier als ein gutes Beispiel. Während die rechte Strömungspumpe für die Aquarienform und Größe korrekt ausgewählt wurde und eine breite und sanfte Strömung erzeugt, ist die linke Strömungspumpe zu stark und für das gezeigte Becken ungeeignet. Sie erzeugt aufgrund der vom Hersteller gewählten Propeller- und Pumpenarchitektur eine sehr druckvolle Strömung, die für längere, rechteckige Aquarienformen konzipiert ist. Für eine kleine kubische Form wie dem hier gezeigten Riffbecken mit einer zentralen Säulengestaltung ist die linke Strömungspumpe trotz aller Regeloptionen zu stark und wird daher zur Wasseroberfläche gerichtet, damit die Korallen nicht geschädigt und das im Vordergrund liegende Sediment nicht zu

stark verfrachtet wird. Trotz einer qualitativ hochwertigen Pumpe ist es hier nicht möglich, ein optimales Strömungskonzept zu generieren, weil im linken Bereich des Riffaquariums keine aktive Bestromung der Gestaltung und der Korallen möglich ist.



Für kleinere Becken sind regelbare Pumpen sinnvoll, auch wenn diese in der Anschaffung teurer sind. Durch die Regeloptionen kann die Leistung der Pumpe auf die individuellen Bedürfnisse justiert werden. Kleine Riffaquarien sind hinsichtlich ihrer Bestromung sehr anspruchsvoll und stellen insbesondere den Einsteiger vor Probleme. Daher sei jedem Einsteiger empfohlen, regelbare Pumpen einzusetzen. Viele Hersteller haben breit strahlende Pumpen entwickelt, die zwar viel Wasser bewegen, aber die Wassermasse auf eine breite Fläche verteilen. Dadurch sind sie auch für kleine Becken hervorragend geeignet und können

Korallen selbst in kürzester Distanz optimal aktiv beströmen.

Häufig werden Strömungspumpen auch gegen die Wasseroberfläche gerichtet, um z.B. die Bildung einer Kahmhaut in geschlossenen Becken ohne Überlaufsystem zu verhindern. Dadurch wird die Strömungsverteilung im Becken deutlich verschlechtert. Zudem erzeugt eine turbulente Wasseroberfläche nicht nur Spritzwasser und damit Salzkrusten an der Lampe, sondern erhöht auch den Anteil an Reflektionsstrahlung, die nicht ins Wasser eintritt, sondern in die Umgebung zurückgeworfen wird. Dadurch sinkt die Strahlungsausbeute der jeweiligen Beleuchtung.

Es wird an dieser Stelle empfohlen, die Strömungspumpen möglichst effizient gemäß der hier vorgestellten Kriterien mit maximal langen Strömungswegen auszurichten, und zur Verhinderung einer Kahmhaut eine der verschiedenen technischen Möglichkeiten zur Oberflächenabsaugung zu installieren.

Ein ähnlicher Effekt wie bei der Ausrichtung an Scheiben oder an die Wasseroberfläche ergibt sich für Pumpen, die genau gegensätzlich ausgerichtet werden, und deren Wassermassen aufeinanderprallen und ausser einer lokalen Turbulenz wenig bewirken. Die Wassermassen heben sich in Ihrer Bewegungsrichtung u.U. vollständig auf und der aufgewendete Energiebetrag für den Pumpenbetrieb ist mehr oder weniger nutzlos.

Durch eine optimierte Ausrichtung können sich gegenüberliegende Pumpen in Ihrer Wirkung allerdings deutlich verstärken, wenn die aktive Strömung durch die Saugleistung (also die passive

Strömung) der gegenüberliegenden Pumpe angezogen und dadurch auch verlängert wird. Die Pumpen müssen dafür versetzt platziert werden, so dass sich eine Ringströmung entwickeln kann. Eine solche Ringströmung kann das gesamte Wasser im Riffaquarium sehr gut bewegen und verteilen. Voraussetzung dafür ist jedoch eine lockere Riffgestaltung, die den Strömungsweg nicht blockiert. Eine theoretisch perfekte Ringströmung hat allerdings in ihrer Mitte auch ein strömungsfreies Zentrum. Dieser Bereich kann verschoben werden, wenn die individuellen Leistungszustände der beteiligten Pumpen moduliert werden, wodurch sich ein abwechslungsreiches Strömungsmuster ergibt. Die Strömungsintensität und Strömungsausbreitung wird dabei im Becken verändert, so dass verhindert werden kann, dass dauerhaft strömungsarme Bereiche entstehen, die Mulm ablagern und strömungsinduzierten Nährstoffmangel verursachen können.

Diese Möglichkeiten sprechen erneut für den Einsatz regelbarer Pumpen, die in ihrer Funktionalität erhebliche Vorteile bringen, die den höheren Anschaffungspreis rechtfertigen.

Bei Raumteilerbecken ist eine gegenüberliegende Ausrichtung von Pumpen oft nicht möglich, weil es zugegebenermaßen recht bescheiden aussieht, wenn der Betrachter eines schönen freistehenden Raumteilers auf eine frei an der Scheibe hängende Pumpe mitsamt Kabel und Befestigungsmagnet blickt. In diesem Falle sollte die Riffaquariengestaltung so locker und flach gebaut sein, dass die Bestromung des Beckens nur von einer Seite aus möglich ist. Dafür bedarf es starker und leistungsfähiger Pumpen, die nicht nur eine druckvolle aktive Strömung ermöglichen, sondern auch eine effektive passive Strömung durch die Saugleistung erzeugen, die zur Bestromung von Korallen genutzt werden kann. Insbesondere der Bodenbereich sollte nicht zu stark strukturiert sein, damit die passive Strömung nicht geblockt wird. Strömungskanäle, wie sie bereits kurz beschrieben wurden, können sich für lange Raumteilerbecken sehr gut eignen, weil sie eine starke passive Strömung entwickeln können.

Üppig gestaltete Riffaquarien benötigen mehrere kleinere, wenngleich auch leistungsfähige Pumpen, die sehr breit strömen und dadurch auch Hindernisse durch die Gestaltung überströmen und wachsende Korallen durchbrechen können. Ringströmungen entlang der Längsseiten des Riffbeckens sind in üppig dekorierten Riffbecken kaum möglich. Es bestehen also keine geringen Anforderungen an das Können des Riffaquarianers, ein für das gesamte Becken optimales Strömungskonzept zu realisieren. Wer versucht, ein solches stark strukturiertes Becken mit nur einer oder zwei Pumpen zu betreiben, wird in der Regel nach einiger Zeit scheitern und Probleme mit der Bildung von Detritus, strömungsinduziertem Nährstoffmangel und Schadstoffakkumulation in den Korallenkolonien bekommen.

In solchen Becken bietet sich eine Platzierung der Pumpen an der Rückwand mit frontaler Ausrichtung hin zur Frontscheibe an, wenngleich dies im Widerspruch zur bisherigen Argumentation steht, dass Pumpen nicht an Aquarienscheiben ausgerichtet werden sollten. Die aktive Strömung wird also keinen sehr langen Weg finden, sondern wird an der Frontscheibe abgeleitet und schnell in eine passive Rückströmung umgewandelt. Damit die Strömung nicht in alle Richtungen verpufft, müssen die Pumpen an der Rückseite entweder deutlich unterhalb oder deutlich oberhalb der Beckenmitte platziert sein, so dass das Wasser nach oben, respektive nach

unten abprallt und dann wieder direkt zurück zur Pumpe fließt, wodurch sich eine Zirkulationsströmung von der Rückseite zur Beckenfront und wieder zurück ergibt.

Bei einer lockeren Riffgestaltung kann eine solche Zirkulationsströmung sehr praktikabel sein. Allerdings kann sie im passiven Rückfluss zur Pumpe keinen Druck aufbauen, der die bewegte Wassermasse z.B. in einen rückwandigen Aufbau hineindrückt. Es sollte also unbedingt darauf geachtet werden, dass solche Becken nicht in einer an der Rückwand hochgestapelten Mauerformation gestaltet werden, die langfristig nur Ablagerungen ansammelt und sehr schlecht kontrollierbar ist. Vielmehr bieten freistehende Säulen oder flachere Plateaus sehr schöne Möglichkeiten für den Besatz mit Korallen, die in der Zirkulationsströmung auch ausreichend gute Voraussetzungen für den Nährstoff- und Gasaustausch haben.

Die Frage, ob die Pumpen dabei oberhalb oder unterhalb der Beckenmitte angeordnet werden, d.h. ob die Rückströmung über den Boden zurück oder über das Freiwasser zurück fließt, sollte idealerweise individuell praktisch überprüft werden.

Closed-loop Strömungssysteme

In den letzten Jahren wurden v.a. für größere Riffaquarien sog. „closed-loop“-Systeme populär, bei denen eine ausserhalb des Beckens montierte Pumpe so über eigene Beckenbohrungen mit der Saugseite als auch mit der Druckseite direkt an das Aquarium angeschlossen wird, dass ein geschlossener Wasserkreislauf (closed-loop) entsteht. Die Ansaugung und der Pumpenauslass auf der Druckseite befinden sich dabei i.d.R. an verschiedenen Stellen im Becken.

Meist fällt die Wahl auf closed-loop Systeme, wenn im Becken selbst keine Pumpen sichtbar sein sollen, oder wenn auf eine extrem geräuscharme Umgebung Wert gelegt wird, die mit einer qualitativ hochwertigen closed-loop Pumpe meist auch problemlos geschaffen werden kann. Darüber hinaus überzeugen einige Hersteller solcher regelbarer Hochleistungspumpen mit effektiven Simulationsprogrammen für verschiedene Leistungszustände der Pumpe(n), wodurch sich ein dynamisches und abwechslungsreiches Strömungskonzept ergeben kann.

Allerdings gilt auch im closed-loop System die praktische Gesetzmäßigkeit, dass die Riffaquariengestaltung maßgeblich die Ausbreitung des Wassers, d.h. die Qualität des Strömungskonzepts mitbestimmt.

Leider kommt hier der größte Nachteil der closed-loop Systeme zum Vorschein, nämlich die fixe Positionierung der Pumpe(n) über die Bohrungen im Becken. Es muss also bereits beim Beckenbau die Gestaltung des Riffbeckens feststehen. Diese planerische Voraussetzung ist sicherlich auch grundsätzlich wünschenswert, allerdings muss zudem auch die Auswahl und Positionierung der Korallen einem klaren Konzept und einer guten Planung folgen, weil die Wuchsformen und die potentiellen Endgrößen der Korallen das Strömungskonzept maßgeblich beeinflussen. Auf diese langfristige Veränderung der Gestaltung durch die Korallen wurde auch schon hingewiesen.

Hinsichtlich dieser Veränderungen sind closed-loop Systeme äußerst unflexibel und in vielen Fällen auch problematisch, sofern der Riffaquarianer nicht auch noch weitere Strömungspumpen wie z.B. Propellerpumpen nachträglich einsetzt und die jeweiligen Strömungsdefizite dadurch ausgleicht. Und das ist kein seltener Fall, dass sich der Besitzer weigert, zu einem teuren closed-

loop System, das neben der hohen Leistungsfähigkeit der Pumpe(n) auch Vorteile wie Unsichtbarkeit der Pumpentechnik und Geräuschlosigkeit verspricht, noch weitere Pumpen einzusetzen, die dann dem Betrachter sichtbar und für den Zuhörer ggf. auch hörbar sind. In dieser Situation reagiert auch die Aquarientherapie mit Beharrlichkeit und fördert zwangsläufig die riffaquaristischen Probleme zutage, die bereits genannt wurden.

Ein closed-loop System gewinnt und verliert also mit der Planung sowohl der Gestaltung, als auch des Korallenbesatzes.

Je nach Aquarienform und Gestaltung wird man um zwei getrennte closed-loop Systeme nicht umher kommen, damit eine größere Variabilität in der Strömungsverteilung möglich ist. Dann sind solche Systeme extrem leistungsfähig und können Strömungsgeschwindigkeiten generieren, die nur von sehr großen und damit auch auffälligen Propellerpumpen erreicht werden können.

Auch die passive Rückströmung ist im closed-loop System sehr ausgeprägt und kann bei günstiger Positionierung der Saugseite im Becken eine äußerst korallenfreundliche laminare Strömungsumgebung schaffen.

Ein weiterer Vorteil der closed-loop Systeme ist, dass eine Bodenbohrung (sofern man dem Risiko einer Leckage und dem kompletten Auslaufen des Beckens mit mentaler Stärke und absolutem Optimismus begegnet) auch eine aktive Beströmung in sehr langen oder auch tiefen Becken ermöglicht. Hier muss lediglich der Austritt der PVC-Verrohrung geschickt durch eine kleine Riffformation verdeckt werden (Achtung: der Pumpenauslass wie auch alle Ansaugstellen müssen dennoch immer gut kontrollierbar sein und dürfen nicht durch die Gestaltung blockiert werden).

Bei den bereits angesprochenen langen Raumteilerbecken, die i.d.R. aus den genannten optischen Gründen immer nur von einer Seite aus beströmt werden können, bieten sich mit einer closed-loop Bohrung auf der Stirnseite des Raumteilers gute Möglichkeiten, das Strömungskonzept zu erweitern.

Strömungsmangel

Die Strömung wurde bereits als wichtiger Umgebungsparameter zur Verteilung von Nährstoffen angesprochen (strömungsinduzierter Nährstoffmangel). Vor allem für sessile (auf Substrat sitzende und damit unbewegliche) Organismen ist die Versorgung mit Nährstoffen ein wichtiger Aspekt, weil es keine Standortveränderung gibt, durch die eine bessere Futter- oder Nährstoffverfügbarkeit erreicht werden könnte. Selbst bei der Betrachtung von Korallen als sessile Lebewesen gibt es deutliche Unterschiede zwischen Weichkorallen und z.B. den statisch fest gewachsenen Steinkorallen. Weichkorallen verändern über ihren hydrostatischen Druck im Gewebe ihre Größe und können sich daher in einer Wassermasse aufpumpen und eine günstigere Exposition im Wasser erreichen, zumal sie über kein starres Kalkskelett verfügen und damit im Wasser etwas beweglich sind (z.B. Bäumchenweichkorallen). Steinkorallen, v.a. die kleinpolypigen SPS-Korallen, können dies in keinem signifikantem Maße und sind daher davon abhängig, dass Wasser in die Korallenkolonie hinein transportiert wird.

Die Strömung wirkt sich auf insgesamt drei potentiell kritische Faktoren für eine Korallenkolonie aus: a) Nährstoffverfügbarkeit und Schadstoffanreicherung, b) Sauerstoffversorgung und CO₂-Anreicherung (pH-Wert), sowie c) Temperaturanstieg durch Stoffwechselwärme.

In einer mangelhaften Strömungsumgebung können nicht nur Nährstoffmangelsymptome auftreten, was bereits als „strömungsinduzierter Nährstoffmangel“ genannt wurde, sondern auch Symptome für eine Schadstoffbelastung auftreten. Der Transport von Wasser in eine Korallenkolonie oder in eine räumliche Gestaltung (z.B. eine Höhle, ein Unterstand oder anderen Nischen in der Dekoration) hinein ist genauso wichtig wie der Abtransport von verbrauchtem Wasser, d.h. der Wasseraustausch. Die aus der Nährstoffverarbeitung im Korallenstoffwechsel erzeugten Stoffwechselendprodukte werden wieder in die unmittelbare Umgebung der Korallenkolonie abgegeben und reichern sich bei einem mangelnden Wasseraustausch in der Korallenkolonie an. Es gilt also nicht nur die Aufmerksamkeit auf die Nährstoffzufuhr zu richten, sondern auch auf die Verminderung einer Schadstoffbelastung innerhalb der Korallenkolonie. Die Strömung muss immer auch als Mechanismus zum Abtransport von potentiellen Schadstoffen verstanden werden.

Mit einem guten Strömungskonzept gelangen nicht nur Nährstoffe, sondern auch Sauerstoff in die Korallenkolonien, was insbesondere nachts relevant ist, wenn die Korallen (und auch ihre Zooxanthellen) Sauerstoff veratmen und der Photosynthese-Sauerstoff aus der Lichtphase fehlt. Auch wenn Sauerstoff zweifelsfrei wichtig für den Stoffwechsel ist, verstärkt ein Strömungsmangel tagsüber das Problem, dass die Sauerstoffbildungsrate aus der Photosynthese zu hoch ansteigt und die Sauerstoff-Sättigungsgrenze überschritten wird. Das Korallengewebe wird dabei hyperoxisch. Sauerstoff kann aufgrund seiner oxidierenden Wirkung gefährliche reaktive Sauerstoff-Formen (engl. *reactive oxygen species*, ROS) bilden, die sowohl den Stoffwechsel, als auch morphologische Strukturen schädigen können. Korallen müssen also auch tagsüber durch ein starkes Strömungskonzept versorgt werden, damit der überschüssige Sauerstoff aus der Korallenkolonie heraus kommt. Eine starke Beleuchtung, die die Photosyntheserate in den Korallen/Zooxanthellen extrem anregt, kann sich in einer Strömungsmangelsituation sehr schnell negativ auswirken. Wenn in einem Riffaquarium also eine starke Beleuchtung installiert wird, die teils auch ungünstig aggressiv einstellt ist (vgl. → [Blauanteil in der Beleuchtung](#)), muss dem Strömungskonzept besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Der Lichtplanung muss also immer auch ein hochwertiges und zuverlässiges Strömungskonzept gegenüber stehen.

Da der Korallenstoffwechsel nicht nur Sauerstoff verbraucht, sondern gleichzeitig auch CO₂ erzeugt, kann innerhalb der Korallenkolonie der pH-Wert sinken, wenn das Wasser nicht über die Strömung ausgetauscht wird. Steinkorallen, die ihr Skelett aus Kalk aufbauen, sind besonders pH-empfindlich, weil einerseits die Kalkbildungsrate in einer sauren Wasserumgebung sinkt, und andererseits die Kalkstruktur selbst angegriffen und destabilisiert wird. Der strömungsabhängige Gasaustausch innerhalb der Korallenkolonie ist also genauso wichtig wie der Ein- und Austrag von Nährstoffen und Stoffwechselendprodukten.

Neben den Faktoren Nährstoffe und Stoffwechselendprodukte sowie Gasaustausch ist die Temperatur innerhalb einer Korallenkolonie ein kritischer Aspekt, der oft übersehen, bzw. nicht bedacht wird. Der Korallenstoffwechsel erzeugt Wärme, die an die Umgebung abgegeben wird, was in sehr fein verästelten Steinkorallen schnell dazu führen kann, dass sich diese Mikroumgebung aufheizt. Während das Freiwasser eine normale Wassertemperatur anzeigt, kann innerhalb einer Korallenkolonie die Wassertemperatur um einige Grad Celsius ansteigen, wenn das Wasser nicht über eine kräftige Strömung ausgetauscht wird. Die Stoffwechselwärme der Korallen wird in den Sommermonaten umso kritischer, wenn das Wasser nicht gekühlt wird und sich die Differenz aus Wassertemperatur und interner Korallentemperatur auf ein höheres Niveau verschiebt. Daher sind strömungsschwache Riffaquarien in dieser Zeit umso mehr gefährdet.

Die Strömung hat, wie hier erörtert, auf drei verschiedene Ebenen Einfluss auf das Wohlbefinden von Korallen und darf nicht als alleinstehender Parameter verstanden werden. Durch den Einfluss anderer Umgebungsbedingungen (zu starke oder falsche Lichtumgebung, hohe Wassertemperaturen im Sommer) können die Folgen eines Strömungsmangels noch weiter verstärkt werden. Daher ist es umso wichtiger, ein Riffaquarium als ein Ganzes zu betrachten, was in die Planung der Technikkomponenten einfließen muss. Qualität in der Beleuchtung setzt gleichzeitig auch Qualität in der Beströmung voraus.

Strömungsmangel wirkt sich nicht nur individuell auf das Wohlbefinden der Korallen und anderer sessiler Organismen aus, sondern wird durch eine gesteigerte Sedimentationsrate auch das gesamte Riffaquarium langfristig belasten. Die Sedimentation v.a. von organischem Material (z.B. Futterreste, Ausscheidungen der Fische) in einer strömungsschwachen Umgebung führt zur Depotbildung im Sediment und in der Gestaltung (vgl. dazu die Stichwörter → [Bodengrund](#), → [Gestaltung von Riffaquarien](#)). Diese abgelagerte organische Substanz wird von Kleinstlebewesen und Mikroorganismen degradiert und letztlich bis hin zu Nährstoffen wie Nitrat und Phosphat mineralisiert, die von der Filtertechnik nicht mehr erfasst werden können. Dem Strömungskonzept kommt also auch die Aufgabe zu, partikuläres organisches Material in der Wassersäule möglichst lange in der Schwebephase zu halten, damit es als Nahrung für Fische und Filtrierer dient, bevor es von der Filtertechnik erfasst und entfernt werden kann. Mangelhaft beströmte Riffaquarien haben mit der Zeit in der Regel das Problem einer Nitrat- und Phosphatbelastung, einhergehend mit einem hohen biologischen Sauerstoffbedarf, niedrigem pH-Wert und Redoxpotential und einer gesteigerten Mulmbildungsrate innerhalb des Sediments und der Gestaltungsmaterialien.

-T-

Technikbecken und Technik-Kompartimente

Dieses Kapitel ist weitestgehend unabhängig vom SANGOKAI System und versteht sich daher als allgemeine Fachliteratur. Das SANGOKAI System gibt keine bestimmte Technikbecken-Konzeption vor. Allerdings sollte ein Technikbecken grundsätzlich nach bestimmten Kriterien geplant und

gebaut werden, damit die eingesetzte Technik optimal funktionieren und damit das Riffaquarium auch langfristig auf einem hohen Niveau betrieben werden kann.

Es gibt einige Firmen, die sich auf die Planung, Konzeption und Durchführung im Bereich des Riffaquarium- und Technikbeckenbaus spezialisiert haben, die weltweit agieren und nicht zu Unrecht aufgrund Ihrer Erfahrung und Qualität eine hohe Reputation genießen. Aber nicht jeder Riffaquarianer wird die Planung und Durchführung des Riffaquariums in professionelle Hände geben wollen, oder können. Wobei an dieser Stelle auch angemerkt sein soll, dass viele funktionelle Aspekte, die in diesem Kapitel erörtert werden, auch in professionellen Anlagen nicht immer ihre Berücksichtigung finden. Auch hier können im Einzelfall gravierende konzeptionelle und bauartbedingte Nachteile bestehen, die sich letztlich auch negativ auf die riffaquaristische Praxis und auf aquarienbiologische Prozesse auswirken können.

Unabhängig von den i.d.R. finanziell höheren Aufwendungen für ein käufliches Komplett- Filtersystem, können Platzprobleme, v.a. aber auch individuelle technische Anforderungen gegen ein fertiges System sprechen, weshalb es notwendig ist, ein Technikbecken selbst zu planen.

Häufig machen Riffaquarianer dabei Fehler, sowohl bei der Planung des Technikbeckens an sich, als auch bei einem daran angeschlossenen oder integrierten → [Refugium](#). Im harmlosesten Fall schränken diese Fehler den Riffaquarianer z.B. in der Platzverfügbarkeit im Technikbecken ein, oder verringern die Effizienz und Leistungsfähigkeit der eingesetzten Filtertechnik. Im schlimmsten Fall können sie aber auch dazu führen, dass ein Riffaquarium über lange Sicht nicht erfolgreich betrieben und gepflegt werden kann.

Im Folgenden sollen daher wichtige und grundlegende Aspekte bei der Planung von Technikbecken erörtert werden. Ein sehr komplexes, aber auch spannendes Thema ist daran angelehnt auch die Planung und Positionierung von diversen Refugien, die im Sinne einer Biotoperweiterung Vorteile haben, aber v.a. bei einer falschen Realisierung auch gravierende Nachteile mit sich bringen können. Dieses Thema wird aufgrund seiner Komplexität separat unter dem Stichwort → [Refugium](#) behandelt.

Im hier vorliegenden Kapitel werden generelle Aspekte der Technikbeckenplanung thematisiert, die letztlich auch unmittelbare Auswirkung auf die Aquarienbiologie haben, und somit den langfristigen Betrieb eines Riffaquariums beeinflussen können. Nur ein richtig geplantes Technikbecken kann letztlich in der Summe aller Komponenten auch optimal funktionieren. Fehlerhafte Details können dazu führen, dass z.B. die Filtertechnik nicht effizient arbeitet und ihre anzunehmende Leistungsfähigkeit nicht erreicht, oder dass regelmäßig notwendige Wartungsarbeiten nur unter erschwerten Bedingungen durchgeführt werden können und Technikbecken sowie die Technikkomponenten dadurch zunehmend verdrecken. Ohne eine korrekte Installation und Positionierung wird selbst die beste Technik nicht zufriedenstellend arbeiten. Ein hier ganz wesentliches Thema ist das → [effektive Durchflussvolumen](#), das aufgrund seiner Wichtigkeit als eigenständig Stichwort behandelt wird. Darüber hinaus spielt v.a. die Kanalisierung des zu filternden Wassers eine eminent wichtige Rolle, sowie die räumliche Platzierung und Anordnung

der eingesetzten Filterkomponenten. Beide Anforderungen sollen im Weiteren im Rahmen der Kompartimentierung von Technikbecken erörtert werden.

Was in diesem Kapitel nicht erläutert wird, ist die Frage, wie groß ein Technikbecken in Relation zum Hauptbecken sein muss. Dabei geht es v.a. um das Rücklaufvolumen bei ausgeschalteter Hauptförderpumpe, das es im Technikbecken aufzufangen gilt, ohne dass die Gefahr besteht, dass das Technikbecken überläuft und einen Wasserschaden am Gebäude verursacht.

Das Rücklauf-Volumen hängt v.a. von der Gesamtfläche sowie der Höhe der am Ablauf angestauten Wassersäule aller am Technikbecken angeschlossenen Aquarien ab. Darüber hinaus spielt auch das in der Verrohrung vorliegende Restwasservolumen eine Rolle, und hier insbesondere die Frage, wie baulich gewährleistet wird, dass ein unter Wasser getauchter Auslass der Förderpumpe durch das in der Druckleitung herabfallende Wasser nicht noch weiteres Wasser aus dem Becken absaugt und damit das eigentlich richtig berechnete Restwasservolumen im Technikbecken nicht überschreitet. Dieses Thema muss individuell mit dem Aquarienbauer und/oder Händler geklärt werden.

Hier geht es lediglich um den allgemeinen Aufbau eines Technikbeckens und um eine sinnvolle und funktionell ausgerichtete Technikbecken-Konzeption.

Kompartimentierung im Technikbecken als grundlegendes Funktionsprinzip

Ein Kompartiment ist ein abgegrenzter, definierter Raum, dem eine bestimmte Funktion zugeordnet ist und dessen Umgebung für diese Funktion optimal ausgeprägt ist. Die Kompartimentierung ist auch ein biologisches Funktionsprinzip: in der lebenden Zelle ist sie Voraussetzung dafür, dass Stoffwechselprozesse in einer eigens dafür optimierten Umgebung schneller und damit effizienter ablaufen können, als es in einer gemeinschaftlich genutzten Umgebung möglich wäre. Sie bietet die Möglichkeit zur Spezialisierung, und ist damit die Grundlage für die Evolution komplexer und vielfältiger Lebensformen.

Auch im Technikbecken eines Riffaquariums sollen die Filterkomponenten so platziert und angeordnet werden, dass sie ihren speziellen Aufgaben und Funktionen möglichst effizient gerecht werden können. Darüber hinaus geht es v.a. auch darum, dass der Weg des zu filternden Wassers durch das Technikbecken keiner Willkür überlassen ist, was eine optimale Filterleistung nicht oder nur schlecht ermöglichen würde. Funktionalität und Kanalisierung müssen also bei der Planung eines Technikbeckens immer im Vordergrund stehen.

Nicht selten verleitet der sinnvolle Ansatz einer Kompartimentierung allerdings dazu, beim Entwurf eines Technikbeckens zu verspielt vorzugehen, mit zum Teil abenteuerlichen Wasserführungen und unnützen Trennscheiben, die letztlich nur Platz verschwenden. Daher fällt der sinnvollen Kompartimentierung, im Aquarienbau oft auch „Kammerung“ genannt, die wichtigste Bedeutung bei der Planung des Technikbeckens zu.

Im Weiteren werden verschiedene Kompartimente und ihre technischen Komponenten nach Ihrer Funktion und ihrem Nutzen vorgestellt und erörtert.

Abschäumer-Kompartiment

Grundsätzlich sollte das zu filternde Wasser aus dem Hauptbecken zuerst zum Abschäumer geleitet werden, damit dieser die Wasserbelastung im Rahmen seiner Möglichkeiten effizient verringern kann. Alle anderen Filterkomponenten und auch ein → [Refugium](#) (Ausnahme bei kommerziellen Systemen mit eigener Filter-Konzeptionierung) sollten stets **hinter** dem Abschäumer platziert werden, wenngleich es hinsichtlich einiger Filtermethoden, die als → [adaptive Filtermedien \(adaptive Filtermethoden\)](#) bezeichnet werden, Besonderheiten gibt, die am Ende dieses Kapitels diskutiert werden.

Ein Abschäumer-Kompartiment dient dazu, das zu filternde Wasser möglichst so zu kanalisieren und zu konzentrieren, dass es ein Innenabschäumer, oder eine Betriebspumpe für einen Außenabschäumer, möglichst vollständig ansaugen kann. Das abzuschäumende Wasser wird dadurch nicht mit bereits gefiltertem Wasser im Technikbecken vermischt, wodurch sich die Abschäureffizienz erhöht.

Ein weiterer Vorteil ist ein konstant hoher Wasserstand im Kompartiment, der für den Betrieb des Abschäumers je nach Modell äußerst wichtig ist.

Es muss darauf geachtet werden, dass das auslaufende Wasser aus dem Eiweißabschäumer auch zurück in das Abschäumer-Kompartiment geleitet wird, und nicht in die nächste Kammer (bei manchen Modellen mit Bodenauslauf ist das auch gar nicht anders möglich).

Das hat zwei Gründe: zum einen kann, wenn die Auslaufseite des Abschäumers auf der gegenüberliegenden Seite von der Ansaugung liegt, am Abschäumer ungefiltert vorbei geflossenes Wasser in der Kammer rückgestaut und ggf. doch noch angesaugt werden. Dieser Effekt hängt aber stark von der Größe und Form des Kompartiments sowie von der Pumpenleistung ab und kann mitunter auch gänzlich unbedeutend sein.

Zum anderen, und das ist der eigentlich wichtige Grund, würde das Abschäumer-Kompartiment leer gepumpt werden, wenn die Abschäumerpumpe durch eine hohe Pumpenleistung mehr Wasser ansaugt, als eine schwächere Rückförderleistung aus dem Hauptbecken Wasser neu zuführt. Als Folge davon würde die Abschäumerpumpe trocken laufen und nicht nur Schaden an sich selbst davon tragen, sondern unter Umständen auch einen Stromausfall erzeugen und damit das gesamte Aquariensystem potentiell schädigen.

Aus der bisherigen Erläuterung könnte man schließen, dass ein kompaktes, gerade für die Größe des Abschäumers ausreichendes Kompartiment, am besten funktioniert. Theoretisch ist diese Aussage sicherlich nicht falsch. Praktisch gesehen können sich hierbei jedoch auch nachteilige Konsequenzen ergeben. Im einfachsten Fall, weil ein alternativ eingesetztes, anders gebautes, oder größeres Abschäumermodell nicht in das Kompartiment passt und man sich damit technischer Alternativen beraubt. **Ein Abschäumer-Kompartiment sollte daher nicht zu klein ausfallen!**

Darüber hinaus kann im Einzelfall, z.B. bei sehr starker grabender Aktivität von Grundeln (z.B. *Valencienna* Arten) und einer damit einhergehenden hohen Partikelbeladung des Wassers, auch ein mechanischer Vorfilter (z.B auch ein Rollvliesfilter), über den das Beckenwasser zunächst von

groben Partikeln gefiltert werden soll, nachträglich aus Platzgründen nicht installiert werden (siehe → [mechanische Filterung](#)). Rollvliesfilter sind relativ große Filtereinheiten, die oft den gleichen Platz in Anspruch nehmen wie der Abschäumer selbst, was bei der Beckenplanung berücksichtigt werden muss.

Ein weiterer Punkt betrifft → [adaptive Filtermethoden](#) wie die → [Zeolithfilterung](#) und v.a. die Filterung über → [Biopellets](#), die so platziert werden sollten, dass ihr abfließendes Wasser möglichst vollständig zum Abschäumer, alternativ zu einer mechanischen Nachfilterung gelangt. Das bedeutet, dass diese Geräte idealerweise in einem eigenen Kompartiment in Flussrichtung vor dem Abschäumer-Kompartiment platziert werden sollten (sofern kommerzielle Systeme keine andere Positionierung vorschreiben), worauf in diesem Kapitel auch noch im Weiteren detailliert eingegangen wird. Ein reines Abschäumer-Kompartiment ist für den Einsatz adaptiver Filtermethoden ungeeignet, weil sich der dabei im gesamten Kompartiment verteilte Abrieb aus den adaptiven Filtermedien nicht mehr zum Abschäumer kanalisieren lässt.

Ein reines Abschäumer-Kompartiment kann den Riffaquarianer u.U. nachhaltig einschränken und ist trotz der theoretischen Vorteile in der Praxis nicht immer sinnvoll, auch wenn es gerne (auch von professionellen Aquarienbauern) so gebaut oder angeboten wird. Für kleinere Riffaquarien, die z.B. ein im Becken integriertes Technikabteil aufweisen, reicht in der Regel ein einzelnes Abschäumer-Kompartiment aus, in dem dann auch gleichzeitig die Rückförderpumpe und bei Bedarf noch ein Heizstab untergebracht ist.

Konsequenterweise, wenn noch weitere Filterkomponenten neben dem Abschäumer im gleichen Kompartiment installiert werden sollen, oder wenn solche Optionen unter Vorbehalt geplant sind, macht ein größeres Multifunktions-/Technik-Kompartiment, das auch den Abschäumer enthält, mehr Sinn. Hier muss dann allerdings der Wassereinlauf in das Technik-Kompartiment sowie die Kanalisierung so kontrolliert werden, dass das Wasser in der Nähe der Abschäumpumpe einfließt. Am effektivsten geht dies mit Hilfe einer Einlaufkammer, bzw. einem Einlauf-Kompartiment innerhalb eines eigenständigen Technik-Kompartiments. Diese Kombination wird in diesem Kapitel ebenfalls erörtert und bietet sich vor allem für größere Technikbecken an, die aus individuellen Platzgründen nicht klein und kompakt gebaut werden müssen. Rollvliesfilter werden in der Regel direkt an die Ablaufleitung des Aquariums angeschlossen und kanalisieren dann automatisch das Wasser über ihre jeweilige Auslaufvorrichtung, die dann so orientiert werden sollte, dass das Wasser unmittelbar zum Abschäumer fließen und von diesem angesaugt werden kann.

Für kleinere und kompakte Technikbecken ist ein eigenständiges Abschäumer-Kompartiment sehr nützlich und wirkungsvoll, wenn man von den genannten Nachteilen absieht, die jedoch in kleineren Riffaquarien vermutlich auch nicht zur Ausprägung kommen.

Eine abschließende Anmerkung zum Abschäumer-Kompartiment, die aber natürlich auch für jedes andere Kompartiment gilt, wäre, dass man den Ausfluss ins nächste Kompartiment so gestalten

sollte, dass das Wasser dabei kanalisiert wird. Das kann man bei einer gleichmäßig hohen Kompartiment-Trennscheibe dadurch erreichen, in dem man z.B. mit einer angeklebten Kammtasche aus PVC einen Überlaufschutz über die gewünschte Länge einklebt, so dass nur ein 10-15 cm langer Ausschnitt auf einer festgelegten und gut zugänglichen Seite erhalten bleibt. Natürlich kann der Aquarienbauer die Überlaufscheibe auch beim Bau des Technikbeckens gleich so ausschneiden, dass ein definierter Bereich für den Überlauf ins nächste Kompartiment entsteht. Durch diese Kanalisierung überfließt das Wasser nicht die gesamte Breite der Trennscheibe, sondern wird gezielt ins nächste Kompartiment geschleust. Bei einer hohen Strömungsgeschwindigkeit muss dieser Bereich größer ausfallen, damit es nicht zu einem starken Plätschern und zu keiner Spritzwasserbildung kommt. Alternativ, bzw. bei sehr hohem effektiven Durchflussvolumen, kann ein nicht zu großer Bodenschlitz geeignet sein, durch den zusätzlich zum Überlauf, der den Wasserstand konstant hält, Wasser gerichtet ins nächste Kompartiment fließt. Auf diese verschiedenen Arten und Weisen kann für ein darauf folgendes Kompartiment die Ansaugung z.B. für einen Fließbettfilter erleichtert, oder dort gezielt Filtersäcke oder Filterbeutel effektiver positionieren werden, auf die das Wasser mit einem entsprechenden Gefälledruck und einer bestehenden Strömungsgeschwindigkeit fällt.

Technik-Kompartiment mit Einlauf-Kammer und ggf. mit Folge-Kompartiment

Diese Kombination bietet den Vorteil der Kanalisierung hin zum Abschäumer, ohne dabei die Raumaufteilung eines größeren Kompartiments, das auch andere Abschäumermodelle und Filterkomponenten problemlos aufnehmen kann, zu stören. Die Einlauf-Kammer ist ein separater Schacht im Technikbecken, in den das zu filternde Wasser von oben einfließt und der im Bereich der Bodenscheibe eine Öffnung aufweist, durch die das Wasser in das Technik-Kompartiment gelangen kann. Idealerweise ist diese Öffnung (eine Bohrung oder ein Schlitz) so groß und in der Höhe des Schachts so platziert, dass die Abschäumerpumpe genau an dieser Stelle ansaugen kann. Dadurch besteht die Funktionalität eines separaten Abschäumer-Kompartiments, bei gleichzeitig geringem Platzverlust für weitere Technik-Komponenten.

Die Wassereinspeisung in die Einlauf-Kammer kann dabei von unterschiedlicher Herkunft sein, z.B. direkt aus dem Rücklauf aus dem Hauptbecken, oder aus einem vorangestellten Technik-Kompartiment, das solche Technik-Komponenten beherbergt, die vor dem Abschäumer platziert werden sollten, wie z.B. ein Zeolith-Filter.

In der Einlauf-Kammer kann, je nach Bauweise, bei Bedarf auch eine nicht zu feine → **mechanische Filterung** vorab etabliert werden, z.B. durch einen Vorfilterbeutel mit einer Maschenweite von nicht weniger als 400 µm, der bei Bedarf auch mit austauschbarem Filterfließ bestückt werden kann.

Im Regelfall wird man ein größeres Technik-Kompartiment so gestalten, das insgesamt eine gute Zugänglichkeit zu allen Filterkomponenten möglich ist. Auch der Zulauf aus dem Hauptbecken sollte so verrohrt sein, dass er entsprechend einfach kontrolliert werden kann, d.h., dass der Einlauf-Schacht an der Front des Technikbeckens eingebaut wird und wenn möglich nicht an der Rückseite des Technikbeckens. Der Abschäumer wird direkt an der Auslauföffnung der Einlauf-Kammer platziert, was je nach Form des Abschäumers ggf. auch mit einer außenliegenden

Abschäumerpumpe vorab gut geplant werden muss, um eine korrekte und sinnvolle räumliche Anordnung des Abschäumers sicherzustellen.

Grundsätzlich gilt, dass alle Komponenten des Technikbeckens, die regelmäßig gewartet oder ausgetauscht werden müssen, idealerweise im frontalen Bereich platziert sein sollten.

Meistens haben Innenabschäumer für den Betrieb in Technikbecken den Auslauf auf der entgegengesetzten Seite der Abschäumerpumpe oder seitlich davon, oder der Auslauf kann über ein Rohr in seiner Richtung verändert werden. Dadurch kann in einem größeren Technik-Kompartiment hinter dem Abschäumer eine weitere Ausrichtung der Flussrichtung hin zu anderen Technik-Komponenten, wie z.B. einem Fließbettfilter, erfolgen. Da die meisten Fließbett- oder Wirbelbett-Filter eine eigene Betriebspumpe besitzen, können sie direkt am Auslauf des Abschäumers platziert werden und so das abgeschäumte Wasser effizient weiter filtern.

In größeren Technikbecken macht hingegen ein Folge-Kompartiment Sinn, in dass das Wasser nach der Abschäumung im ersten Technik-Kompartiment kanalisiert eingeleitet und hier z.B. adsorptiv und/oder mechanisch gefiltert wird. Dadurch werden ungünstige Wechselwirkungen zwischen Abschäumer und dem Materialabrieb von Adsorbentien verhindert und es besteht eine bessere Kanalisierung hin zu den nachfolgenden technischen Komponenten.

Die Ablauftrennscheibe aus dem Abschäumer-/Technik-Kompartiment sollte idealerweise so hoch sein, wie der Hersteller des Abschäumers den optimalen Wasserstand vorgibt. Ist die Trennscheibe des Kompartiments und damit der Wasserstand zu hoch, muss der Abschäumer auf einem Podest aus Lichtrasterplatten so positioniert werden, dass der Wasserstand optimal passt. Dadurch ergeben sich allerdings Probleme mit der Ansaugung des zu filternden Wassers, welches sich mit bereits abgeschäumtem Wasser im Kompartiment vermischt und die Effizienz der Abschäumung potentiell senken kann.

Ein Abschäumer-/Technik-Kompartiment sollte also grundsätzlich nicht zu hoch geplant werden und sich nach der optimalen Wasserstandslinie des Abschäumers richten, damit eine Kanalisierung und damit ein effizienter Betrieb des Abschäumers möglich ist.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass manche Hersteller von Eiweißabschäumern den Anwender darauf hinweisen, dass mit Phosphat-Adsorbentien gefüllte Fließbettfilter nicht in der Nähe, und auf keinen Fall vor den Abschäumer platziert werden dürfen, da manche Abschäumer sehr empfindlich auf Abrieb oder andere Interaktionen mit Leistungsverlust reagieren.

Diese Filtermaterialien werden also grundsätzlich in einem großen Technikabteil in Richtung des Durchflusses hinter dem Abschäumer, oder, wenn es der Platz in einem großen Technikbecken erlaubt, in einem Folge-Kompartiment separat positioniert. Es empfiehlt sich immer auch eine → [mechanische Filterung](#) zur Entfernung von feinem Materialabrieb im Auslaufbereich einer adsorptiven Filterung bzw. eines Fließbettfilters.

Es gilt bei der Planung von aufeinanderfolgenden Technik-Kompartimenten zu beachten, dass die Trennscheiben jeweils in Flussrichtung kaskadenförmig niedriger sein müssen. Die höchste Trennscheibe definiert immer den Gesamtwasserstand.

Die Anwendung adsorptiver Filtermedien in einem Folge-Kompartiment, sowohl im aktiven Fließbett-, wie auch in verschiedenen passiven Verfahren, setzt voraus, dass das zu filternde Wasser kanalisiert aus dem vorgeschalteten Kompartiment in das Folge-Kompartiment eintritt. Diese Kanalisierung verhindert, dass sich das zu filternde Wasser mit bereits gefiltertem Wasser aus dem übrigen Technikbecken vermischt, oder aber auch an dem Filtermedium vorbei fließt. Es sollte also verhindert werden, dass sich das Wasser über eine gleichmäßig hohe Querscheibe sehr breit im vorliegenden Kompartiment verteilt. Vielmehr sind definierte Überlaufstellen sinnvoll, so dass es zu einer gerichteten Wasserführung kommt, z.B. von der hinteren Kompartimentseite zur Front, von wo aus das Wasser wiederum ins nächste Kompartiment fließt. Dazu können wie bereits geschildert Überlaufkämme genutzt werden, oder der Aquarienbauer hat dies in der Konzeption bereits berücksichtigt und schneidet die Aussparungen in den Kompartiment-Trennscheiben entsprechend aus.

Der Betrieb eines Fließbettfilters ist zwar technisch und energetisch aufwändiger als ein passives Verfahren, erlaubt aber eine kontrollierte Durchflussrate und eine gleichmäßige Verwirbelung des Filtermediums und damit eine optimale Exposition der gesamten adsorptiven Filteroberfläche mit dem Wasser. Allerdings sollte der Auslauf aus solchen Filtereinheiten über einen entsprechend feinen Filterbeutel oder ein Filtervlies geleitet werden, um den Abrieb nicht im Filterbecken oder gar im Hauptbecken zu verteilen.

Auf den passiven Betrieb adsorptiver Filtermedien soll an dieser Stelle etwas detaillierter eingegangen werden, weil es dazu einige gute praktische Anwendungen gibt, die auch eine zufriedenstellende Annäherung an die Effizienz des Fließbett-Verfahrens erlauben.

Zunächst sei erwähnt, dass der Handel kommerzielle Lösungen mit z.B. einhängbaren Filterkästen anbietet, über die bzw. durch die das zu filternde Wasser hindurch fließt. Diese Filterkästen können sehr individuell mit verschiedenen Filtermedien bestückt und auch in der Größe an das eigene Technikbecken angepasst werden. Allerdings heben solche Filterkästen je nach Bauweise in der Regel die Kanalisierung im Technikbecken auf, weil das Wasser gleichmäßig über die gesamte Fläche den Filterkasten wieder verlässt. Wenn das Wasser erneut einer weiteren Filterkomponente zugeführt werden soll, bedarf es daher eines weiteren Folge-Kompartiments. Dieser Fall sollte aber nur selten gegeben sein und i.d.R. schließt sich direkt das Förderpumpen-Kompartiment an, in dass das Wasser wiederum kanalisiert eingeleitet werden kann.

Andere kommerzielle Lösungen sind Filterbeutel im „hang-on“-Verfahren, die so installiert werden, dass z.B. im Bereich der Kompartiment-Wechselstellen das Wasser gezielt in einen solchen Filterbeutel einfließt. Hier hier kann auch eine effektive Verwirbelung erreicht werden, ähnlich zum Fließbettverfahren, was die Effizienz des adsorptiven Filtermediums erhöhen kann, die aber je

nach Ausprägung auch zu viel Materialabrieb erzeugt, so dass man über dem Filtermedium eine dünne Lage Filtervlies als Schutz einbringen muss.

Leider sind die meisten „hang-on“-Varianten für Filterbeutel so konzipiert, dass sie eine Rohr- oder Schlauchzuleitung benötigen, die das Wasser in den Filterbeutel einfließen lässt. Solche Filtereinheiten sind als mechanische Vorfilter konzipiert, die das Beckenwasser aus der Rücklaufverrohrung auffangen und mechanisch filtern. Nur in einigen professionellen Anlagen werden die Filter so in die Filter-Kompartimente eingebaut, dass das Wasser über eine Verteiler- oder Verrieselungsplatte strömt und in die dort eingesetzten Filterbeutel fließt.

Mit einer selbstgebauten Konstruktion, z.B. aus Lichtrasterplatten, ggf. einer PVC-Platte mit passendem Ausschnitt für einen Filtersack und Kabelbindern, lässt sich eine passende Halterung für einen mechanischen Filterbeutel oder einen Filterkorb relativ leicht bauen. Diese Halterung positioniert man direkt im Überlaufbereich in das Folge-Kompartiment und kann so das gesamte zu filternde Wasser in den Filterbehälter leiten, womit an dieser Stelle über die kommerziellen Lösungen hinaus der Übergang zu den verschiedenen DIY-Lösungen geschaffen ist, die sehr effektiv und kostengünstig eingesetzt werden können.

Die Filterbeutel-Variante zur Unterbringung adsorptiver Filtermedien bietet den Vorteil, dass ein feiner Beutel gleichzeitig auch nur wenig Materialabrieb durchlässt. Bei einem hohen Maß an Abrieb wird der Filterbeutel allerdings innerhalb weniger Tage verstopfen, so dass der Filterbeutel überläuft und das Ausschwemmen von Filtermaterial möglich ist, was es zu vermeiden gilt. Daher ist es wichtig, für ein jeweiliges Filtermaterial auch die entsprechend günstige Porengröße zu wählen.

DIY-Konstruktionen zur Aufnahme von Filterbeuteln sind nicht nur in modularer Bauweise für größere Folge-Kompartimente geeignet, sondern können auch sehr gut zur mechanischen Post-Filterung des Ablaufwassers aus Fließbettfiltern eingesetzt werden, wobei käufliche „hang-on“-Varianten mit ihrer sehr guten und optisch ansprechenden Verarbeitung oft den Vorzug vor der DIY-Lösung erhalten.

Im Technik-Kompartiment kann neben dem Abschäumer und anderer Technik-Komponenten auch der Heizstab untergebracht werden, weil hier ein konstanter Wasserstand vorliegt und man keine Gefahr läuft, dass der Heizstab während des Heizbetriebs trocken fällt. Auch ein Kühlgerät oder eine UV-Anlage kann hier mit einer separaten Betriebspumpe im closed-loop Prinzip angeschlossen werden und theoretisch auch gleichzeitig, je nach Durchflussvolumen, einen Fließbettfilter betreiben. Insbesondere für den Betrieb von → [UV-Anlagen](#) macht dies durchaus Sinn, weil das durch die UV-C Entkeimung aggressiv gewordene Wasser über eine nachgeschaltete Aktivkohlefilterung optimal neutralisiert werden kann.

Durchfluss-Kompartiment (Gasaustausch-Kammer)

Viele Aquarienbauer kleben zwei eng hintereinander stehende Querscheiben durch das Technikbecken, wobei eine Scheibe mit einem gewissen Abstand zur Bodenscheibe eingeklebt ist

und unterströmt wird, während die im kurzen Abstand von etwa 5-8 cm in Flussrichtung dahinter liegende, zweite Scheibe mit der Bodenscheibe verklebt ist und daher überströmt wird.

Der theoretische Gedanke hinter einem solchen Durchfluss-Kompartiment ist der, dass Luftblasen im Wasser (z.B. aus dem Abschäumer) in die Umgebung entweichen können, bevor sie von der Rückförderpumpe erfasst und ins Hauptbecken gepumpt werden. Man spricht daher auch von einer sog. Gasaustausch- oder Entgasungs-Kammer.

Als weiterer optionaler Nutzen von solchen Durchflusskammern wird oft die Unterbringung von Aktivkohle oder anderer Filtermedien genannt, die hier in Filterbeuteln zwangsdurchströmt werden. Das ist praktisch aber kaum realisierbar, weil das Wasser selbst keinen ausreichend hohen Druck aufbauen kann, der eine zwingende Durchströmung überhaupt ermöglichen würde. Der durch die Höhendifferenz der jeweiligen Trennscheiben zustande kommende Gefälledruck ist vernachlässigbar klein, so dass nur die Förderpumpenleistung, also das → **effektive Durchflussvolumen** wirksam ist. Allerdings ist die passive Strömung in einem solchen Durchfluss-Kompartiment nicht dazu geeignet, das Wasser durch einen mit Filtermedium gefüllten Sack zu drücken, weil dieser je nach Füllmaterial und Materialmenge zu dicht gepackt ist und einen zu hohen Widerstand erzeugt. Passiv strömendes Wasser wird immer einen Weg an den Filtersäcken vorbei suchen und nur mit der Oberfläche des Filtermediums im Grenzbereich interagieren, was die Effizienz der eingesetzten Filtermedien mehr oder weniger stark herabsetzt. Daher sollten Filtermedien im passiven Einsatz (d.h. ausserhalb spezialisierter Filter, wie z.B. einem Fließbettfilter) nur dort eingesetzt werden, wo sie aktiv beströmt werden können, z.B. dort, wo kanalisiertes Wasser von einem Kompartiment ins nächste strömt und dabei frontal und mit einem Gefälledruck auf das Filtermedium einwirken kann. Diese Möglichkeiten wurden bereits im Rahmen der Technik-Kompartimente erörtert.

Enge Durchfluss-Kompartimente sind in den meisten Fällen völlig überflüssig, v.a. was die Entfernung von Luftblasen aus dem Wasser angeht, die sich bei einer allgemein sinnvollen Kompartimentierung von alleine ergibt. Demgegenüber verbrauchen Durchfluss-Kompartimente viel Platz, die nützlicheren Aufgaben und anderen Filterkomponenten dann nicht mehr zur Verfügung steht. Dies ist ein Hauptgrund dafür, dass auf Durchfluss-Kompartimente verzichtet werden sollte, auch wenn es vielleicht hübsch anzuschauen ist, wie das Wasser über und unter den Trennscheiben hindurch fließt. Die Kompartimentierung sollte jedoch nicht vordergründig der Optik dienlich sein, sondern sollte dazu genutzt werden, die optimale Funktion von Technikkomponenten auch hinsichtlich der Kanalisierung zu ermöglichen. Diese Kanalisierung, und das ist ein weiterer Hauptgrund, der gegen Durchfluss-Kompartimente spricht, geht aber durch ein Durchfluss-Kompartiment vollständig verloren, weil das Wasser über die gesamte Beckentiefe (bzw. „Breite“) verteilt wird und sich ggf. stark mit bereits gefiltertem Wasser vermischt. Genau dieser Effekt sollte verhindert werden.

Aufgrund der engen Scheibenanordnung sind diese Bereiche im Technikbecken zudem schlecht zu reinigen.

Nicht selten werden die Trennscheiben auch falsch positioniert, wenn in Strömungsrichtung die erste Scheibe einen Bodendurchlass hat, durch den bodennahes Wasser hindurch fließt und die darauf folgende Trennscheibe erst den Überlauf ins nächste Kompartiment ermöglicht. Hierbei kommt es zu einer stehenden Wasseroberfläche im Kompartiment, die fast immer auch eine starke Kahmhautbildung fördert. Wenn also ein Durchfluss-kompartiment geplant wird, was aus den hier erörterten Aspekten fast nie notwendig und hinsichtlich des Platzverbrauchs eher von Nachteil ist, muss in Flussrichtung die erste Scheibe einen Überlauf ermöglichen und erst die zweite Trennscheibe hat den entsprechenden Bodendurchlass.

Förderpumpen-Kompartiment (Klarwasser-Kammer)

Das in Flussrichtung letzte Kompartiment eines Technikbeckens enthält die Rückförderpumpe und wird daher als Förderpumpen-Kompartiment, oder im Aquarienbau allgemein als Klarwasserkammer bezeichnet.

Die Förderpumpe pumpt das Wasser in das Hauptbecken oder in andere an das Hauptbecken angeschlossene Teilaquarien oder Refugien, von wo aus es wieder letztlich ins Technikbecken passiv zurückfließt und den Wasserkreislauf schließt.

In dieser Kammer macht sich die Wasserverdunstung im Gesamtsystem bemerkbar, d.h., dass hier der Wasserstand durch den Evaporationsverlust sinkt und durch regelmäßiges manuelles Nachfüllen von Wasser, oder durch eine Niveau-Regulierung mit Wassernachfüll-Automatik konstant gehalten werden muss. Geschieht dies nicht, sinkt der Wasserstand im Förderpumpen-Kompartiment kontinuierlich und die Pumpe zieht je nach Saugleistung ab einer bestimmten Höhendifferenz zwischen Saugseite der Pumpe und Wasseroberfläche im Kompartiment Luft. An einem bestimmten Punkt kann sie schliesslich kein Wasser mehr fördern, was zu einem Schaden an der Pumpe selbst, wie auch am gesamten Aquariensystem führen kann. Problematisch ist dies vor allem in Urlaubszeiten, wenn das Riffaquarium unbeobachtet ist.

Oft wird im Förderpumpen-Kompartiment auch der Heizstab flach auf den Boden gelegt, sofern das Riffaquarium überhaupt eine Erwärmung benötigt (viele Riffaquarien benötigen eher eine Kühlung, v.a. im Sommer). Allerdings kann bei Ausfall der Wassernachfüllung auch der Heizstab trocken fallen, was einen Schaden am Heizstab und meist auch einen Stromausfall verursacht, sofern der Heizstab im Heizbetrieb ist. Daher sollte der Heizstab idealerweise im Technik-Kompartiment untergebracht sein, der ein konstantes Wasserniveau aufweist.

Durch eine geeignete Überlauf-Kanalisation aus dem vorherigen Technik-Kompartiment, kann im Förderpumpen-Kompartiment nicht nur eine mechanische Nachfilterung erfolgen, sondern auch adsorptive Filtermedien wie Aktivkohle oder Phosphat-Adsorber in geschlossenen Filtersäcken eingesetzt werden, sofern dazu im Technik-Kompartiment keine Möglichkeit besteht.

Dies gelingt recht einfach, wenn das Filtermaterial idealerweise auf einem Gestell oder einer Halterung aus Lichtrasterplatten an der Stelle platziert wird, wo das Wasser in das Kompartiment einfließt. Hier hat man durch den Gefälledruck beim Einfließen in die Kammer auch eine effektive Bestromung des Filterbeutels, wodurch das Wasser tiefer in den Beutel eindringen und damit frisches Adsorbermaterial erreichen kann. Nichts desto trotz müssen solche Filterbeutel alle 1-2

Tage (idealerweise täglich) durchgeknetet werden, damit frisches Material aus dem Inneren an die Oberfläche bewegt wird. Ohne diese pflegerische Maßnahme wird das Material schnell inaktiv, wenngleich es noch nicht vollständig beladen ist. Dazu ist es wichtig, dass die kanalisierte Stelle mit dem Adsorber-Beutel gut im vorderen Beckenbereich zugänglich ist. Je schwieriger diese durch den Riffaquarianer erreichbar ist, desto weniger häufig wird das Material kontrolliert und letztlich auch getauscht, was unter Umständen Probleme verursachen kann.

Hinter dem Adsorbermaterial sollte eine mechanische Filterung erfolgen. Dazu benötigt es bei einem leicht zu bauenden Gestell aus Lichtrasterplatten zumeist lediglich 1-2 Lagen feinem Filtervlies, die unter den Filterbeuteln platziert und regelmäßig ausgewaschen oder getauscht werden.

Die Förderpumpe und die Komponenten der Niveauregulierung sollten stets leicht zugänglich sein, d.h., dass das Technikbecken dahingehend auch für die schnelle Kontrolle und Problemlösung sinnvoll konzipiert sein muss.

Positionierung adoptiver Filtermethoden (Zeolithfilterung, Biopellet-Filterung)

Es wurde bereits in der Einleitung dieses Kapitels angesprochen, dass manche Filter-Komponenten vor dem Abschäumer platziert werden müssen, weil Ihre Funktionsweisen unmittelbar an die Eiweißabschäumung gekoppelt sind. Solche Filtermethoden werden → [adoptiv Filtermethoden](#) genannt, weil Sie Ihre Wirkung auf die Funktion einer zweiten Filter-Komponente, in diesem Falle dem Abschäumer, schultern. Dazu gehört die → [Biopellet-Filterung](#) und die → [Zeolithfilterung](#).

Adoptive Filtermethoden stellen gewisse Anforderungen an die Konzeption von Technikbecken. Die jeweiligen Filter-Komponenten müssen so im Technikbecken platziert sein, dass ihr Auslaufwasser direkt zum Abschäumer transportiert werden kann. Je nach Bauweise der Filter ist dies möglich, oder auch nicht, wenn es keine geschlossenen Filtersysteme sind, die keinen gerichteten Auslauf z.B. über ein Auslaufrohr besitzen.

Grundsätzlich gilt auch für adoptive Filtermedien, dass das aus dem Hauptbecken ins Technikbecken geleitete Wasser immer zuerst vom Eiweißabschäumer erfasst werden sollte, damit dieser die Wasserbelastung an erster Stelle senken kann. Erst danach sollte das durch den Abschäumer gefilterte Wasser an adoptive Filtermedien übergeben werden. Um dies zu verwirklichen, gibt es einige Varianten, die aber stark von der Bauweise der jeweils eingesetzten Filtertypen abhängig sind.

In einem Abschäumer-/Technik-Kompartiment mit Einlaufkammer (s.o.) ist die Unterbringung eines Abschäumers zusammen mit adoptiven Filtermedien relativ leicht möglich, wenn es sich um geschlossene Filter mit einem gerichteten Auslauf handelt. Bei Zeolithfiltern ist das der Fall, weil sich diese letztlich als Modifikation von einem klassischen Fliessbett-Filter ableiten. Hier kann das Auslaufrohr des Zeolithfilters zurück zum Abschäumer geleitet werden und entweder in die

Einlaufkammer münden, oder direkt im Auslaufbereich der Einlaufkammer, so dass es von der Abschäumerpumpe angesaugt werden kann. Wird ein eigenständiges Abschäumer-Kompartiment verwendet, kann der Auslauf aus dem Zeolithfilter ebenfalls direkt in dieses Kompartiment münden. Es sei an dieser Stelle aber auch erwähnt, dass es u.U. auch erwünscht sein kann, dass der Materialabrieb aus dem Zeolithfilter in das Hauptbecken gelangt. Zu weiteren detaillierten Informationen zu diesem Thema wird auf das Stichwort → [Zeolithfilterung](#) verwiesen.

Bei Pelletfiltern ist die Positionierung schwieriger, weil es verschiedene Pelletfilter-Typen gibt, sowohl Wirbelbettfilter mit offenem Auslauf, wie auch Rieselfilter-Typen. Hier verlässt das gefilterte Wasser mitsamt dem Abrieb den Filter ungerichtet und muss daher erst wieder kanalisiert werden, bevor es in den Ansaugbereich des Abschäumers eingeleitet wird.

Die vermutlich am häufigsten anzutreffende, aber eher kontraproduktive Variante wäre, auf die angesprochene Reihenfolge: 1 – Abschäumer – 2 adoptiver Filter zu verzichten und den adoptiven Filter dort zu positionieren, wo das Wasser in das Technikbecken einströmt und den Abschäumer erst an zweiter Stelle zu platzieren. Hierbei geht allerdings die Kanalisierung in hohem Maße verloren und es kommen genau die Nachteile zum tragen, die bereits beim Thema → [Biopellets](#) erörtert wurden, weil der Abschäumer nicht dazu in der Lage ist, den im gesamten Kompartiment verteilten Abrieb zu erfassen.

Eine sinnvollere, wenngleich auch aufwändigere bzw. platzfordernde Variante, wäre ein eigenständiges Technik-Kompartiment für die adoptive Filtertechnik, d.h. ein adoptives Filter-Kompartiment, das in Flussrichtung räumlich vor dem Abschäumer/Technik-Kompartiment liegt. Dieses Kompartiment muss letztlich nicht sehr groß sein, weil es nur den jeweiligen Filter und dessen Betriebspumpe aufnehmen muss. Natürlich muss dieses Kompartiment baulich so kanalisiert sein, dass das Wasser in der darauf folgenden zweiten Kammer direkt zum Abschäumer gelangt.

Um ein solches adoptives Filter-Kompartiment betreiben zu können, bieten sich zwei verschiedene Möglichkeiten an:

- entweder, und das wäre die einfachste, aber hinsichtlich der optimalen Wasseraufbereitung nachteilige Variante, mündet der Einlauf des zu filternden Wassers aus dem Hauptbecken direkt in diesem adoptiven Filter-Kompartiment, d.h. der Biopellet- oder auch Zeolithfilter erhält das Wasser je nach Durchflussvolumen zumindest anteilig vor dem Abschäumer. Dieses Kompartiment würde man also als eine vergrößerte Einlaufkammer, oder besser als Einlauf-Kompartiment verstehen, das durch seine Größe dazu in der Lage ist, die adoptiven Technik-Komponenten aufzunehmen. Natürlich kann auch ein passiver Bypass aus der Ablaufleitung mit einem Regelhahn anteilig Wasser sowohl direkt zum Abschäumer, als auch in das adoptive Filter-Kompartiment einspeisen. Das macht die Verrohrung etwas aufwändiger, und der individuelle Nutzen ist schwer zu beurteilen. Da ein Pellet- oder Zeolithfilter je nach Größe und pro Zeiteinheit nur ein bestimmtes Wasservolumen ansaugen und verarbeiten kann, fließt das nicht genutzte überschüssige

Wasservolumen ohnehin an der Filterung vorbei in das Abschäumer-/Technik-Kompartiment, so dass eine Bypass-Verrohrung nicht unbedingt einen praktischen Nutzen bringt.

- oder, und das wäre die funktional sinnvollere und sehr gut kontrollierbare Methode, wird das vorangestellte adoptive Filter-Kompartiment mit einer eigenen kleinen Betriebspumpe aus dem Technik-Kompartiment betrieben, ähnlich, wie ein externes → **Refugium** auch mit einer eigenen Betriebspumpe mit Wasser versorgt werden kann. Dabei wird das zu filternde Wasser aus dem Hauptbecken zuerst in das Abschäumer-Kompartiment bzw. in die Einlaufkammer des Technik-Kompartiments geleitet, wo es an erster Stelle effektiv abgeschäumt wird. Am Auslauf des Abschäumers kann dann eine Pumpe ansaugen, die ein bestimmtes Volumen pro Stunde in das adoptive Filter-Kompartiment hineinpumpt. Dort kann es von der Betriebspumpe des jeweiligen Filters angesaugt und gefiltert werden, bevor es wieder kanalisiert in das Abschäumer-Kompartiment oder die Einlauf-Kammer zum Technik-Kompartiment zurückfließt, wo der Abrieb von der Abschäumerpumpe direkt erfasst werden kann. Diese Variante ist durch den zusätzlichen Aufwand mit einer eigenen Betriebspumpe für das eigenständige Kompartiment teurer, kann aber dadurch extrem gut und auch sinnvoll kontrolliert werden. Das eingepumpte Wasservolumen kann hier auch der jeweiligen Betriebspumpe des Filters optimal angepasst werden.

Von einem Bypass aus der Rückförderpumpe wird an dieser Stelle abgeraten, um die Leistungsfähigkeit der Förderpumpe durch unnötige Abzweige und PVC-Fittings nicht zu mindern. Die Hauptaufgabe der Rückförderpumpe sollte stets sein, möglichst effektiv und viel Wasser aus dem Technikbecken in die Aquarienanlage zu pumpen. Der Aufwand in der Beschaffung einer kleinen Betriebspumpe für das adoptive Filter-Kompartiment sowie deren laufenden Kosten sind meistens verhältnismäßig kleiner als eine Bypass-Verrohrung aus der Förderleitung der Hauptförderpumpe mit einem bestimmten Leistungsverlust durch die Bypass-Verrohrung.

Abschliessend soll, vor allem hinsichtlich der Biopellet-Filterung und der damit verbundenen potentiellen Ausschwemmung von Bakterien ins Hauptbecken, das Thema → **effektives Durchflussvolumen** angesprochen werden.

Da adoptive Filtermethoden die Leistungsfähigkeit des Eiweißabschäumers in Anspruch nehmen und der freigesetzte Abrieb idealerweise vollständig vom Abschäumer erfasst werden soll/muss, spielt das effektive Durchflussvolumen eine bedeutende Rolle. Ist dieses höher als das Volumen, das die Abschäumerpumpe zeitgleich ansaugen kann, geht das Differenzvolumen am Abschäumer ungefiltert vorbei und gelangt dadurch ins Hauptbecken. Ein übermäßig hohes effektives Durchflussvolumen von z.B. dem 5 – 10-fachen des Beckennettovolumens pro Stunde sorgt dafür, dass große Teile des von adoptiven Filtermedien freigesetzten Abriebs nicht vom Abschäumer erfasst werden können und schnell und ungehindert ins Hauptaquarium gepumpt werden. Es ist also für die nachhaltige Anwendung adoptiver Filtermethoden, vor allem bei der Biopellet-Filterung sehr wichtig, dass das effektive Durchflussvolumen nicht höher ist als das Ansaugvolumen des eingesetzten Abschäumers.

-U-

UV-C Entkeimung mit UV-Anlagen

UV-C Strahlung ist ein sehr kurzwelliger und damit auch energiereicher Spektralbereich zwischen 200 - 280 nm, demzufolge also noch kurzwelliger als die UV-B (280-315 nm) und die zum sichtbaren Licht angrenzende UV-A (315-395 nm) Strahlung. Unsere Erdatmosphäre mit ihrer Ozonschicht filtert UV-C vollständig heraus, was für das Leben auf diesem Planeten eine wichtige Voraussetzung ist, weil dieser Spektralbereich derart energiereich ist, dass er für lebende Zellen tödlich ist und durch die Schädigung u.a. der DNA zur irreparablen Veränderung der Erbsubstanz (Mutation, Tumorbildung und Krebserkrankung) in allen Organismen führt.

Eine kontrollierte Bestrahlung von Wasser innerhalb eines geschlossenen, d.h. für uns und v.a. das menschliche Auge unzugänglichen Behälters (UV-Anlage), mit einem UV-C emittierenden Leucht-/Strahlungsmittel, wird seit vielen Jahrzehnten in der kommerziellen Wasseraufbereitung, der Fischzucht und Aquakultur, und auch in der Hobbyaquaristik aufgrund der entkeimenden Wirkung von UV-C erfolgreich eingesetzt. In der Aquaristik dienen UV-Anlagen in erster Linie der Kontrolle und Verminderung des Auftretens von Krankheiten, die sich im und über das Wasser verbreiten (vorrangig Fischkrankheiten, aber auch potentielle Krankheitserreger (Pathogene) für Wirbellose Tiere wie z.B. Korallen), sowie der allgemeinen Wasserklämung, in dem sie v.a. Bakterio- und Phytoplankton rasch und zuverlässig abtöten.

Neben diesen offensichtlich positiven Wirkungen im Falle von Krankheiten oder Planktonblüten, ist der Einsatz von UV-Anlagen insbesondere in der Meerwasseraquaristik jedoch ein zweischneidiges Schwert. UV-C ist aufgrund seiner aggressiven photochemischen Wirkung nicht nur dazu in der Lage, organische Substanz zu beschädigen (z.B. Nukleinsäuren/DNA und Proteine, die zwischen 200-280 nm absorbieren), sondern kann bei hohen Intensitäten und langer Verweildauer im UV-C bestrahlten Behälter auch einen Effekt auf Sauerstoff (O_2) haben, in dem es das weitaus reaktivere und damit auch aggressivere Ozon (O_3) bilden kann, sehr stark v.a. im Bereich < 200 nm (ca. 180 nm, was in das sog. Vakuum-UV Spektrum fällt). In wie fern aquaristische Heimanlagen kurzwellig und gleichermaßen intensiv genug sind, um Sauerstoff in Ozon umzuwandeln, kann nur individuell untersucht werden. Sehr starke UV-Brenner (HQI- und Quecksilberdampfbrenner) können hier möglicherweise problematischer sein, als kleinere Anlagen, die mit UV-Röhren betrieben werden. Unabhängig von faktischen Aussagen, die an dieser Stelle nicht geleistet werden können, bleibt die Überlegung bestehen, ob eine dauerhafte und vor allem sehr intensive UV-Bestrahlung das sauerstoffhaltige Meerwasser potentiell aggressiv macht, was den gepflegten Organismen im Aquarium Probleme bereiten kann. Eine UV-generierte Ozonbildung hat wiederum einen starken oxidierenden Effekt auf das im Meerwasser mit ca. 60-70 mg/L (bei 35 psu) enthaltene Bromid (Br^-), was in gefährliches und kanzerogenes Bromat (BrO_3^-) umgewandelt werden kann (vgl. hier auch das Stichwort → [Ozonisierung/Ozongeräte](#)). In der kommerziellen Aufbereitung von Trinkwasser ist die Ozonbildung aus O_2 in Gegenwart starker kurzwelliger UV-C Emissionen gut untersucht und beschrieben. Ob die aquaristischen Anlagen ebenso potent sind, Ozon aus O_2 zu bilden, hängt vom jeweiligen Gerät und individuellen Einsatz ab und kann nicht global gültig festgestellt werden. Aus Sicherheitsgründen gilt an dieser Stelle jedoch immer die Empfehlung, UV-geklärtes Wasser über Aktivkohle zu schicken, um Restozon

oder sogar Bromat (aus der Ozonwirkung) vollständig zu neutralisieren. Eine dauerhafte Aktivkohlefilterung ist beim Betrieb einer UV-Anlage aus dieser Darstellung heraus sehr sinnvoll.

Ein weiterer Nachteil beim Betrieb einer UV-Anlage, v.a. beim dauerhaften Einsatz, ist die Tatsache, dass UV-C Strahlung jegliche organische Substanz angreift und nicht zwischen Krankheitserregern und nützlichem lebenden Zooplankton unterscheiden kann. Mit der Entkeimung wird das Wasser entsprechend ärmer an planktonischen Organismen, was insbesondere dem SANGOKAI Konzept widerspricht, aber auch für alle anderen Aquariensysteme ein Problem sein kann. Es gilt daher immer abzuwägen, wann der Einsatz einer UV-Anlage sinnvoll ist, und wo er ggf. mehr die potentiellen Nachteile zutage bringt und damit das Riffaquarium belastet.

Für das SANGOKAI System gilt daher die Empfehlung, auf eine dauerhafte UV-C Behandlung zu verzichten, sofern keine anderen akuten Indikationen für eine UV-Entkeimung gegeben sind, die im Folgenden im Detail erörtert werden. Nichtsdestotrotz ist die Anschaffung und Bevorratung einer UV-Anlage sehr empfehlenswert, weil jedes Riffaquarium möglicherweise immer einmal in eine Situationen kommen kann, in der sich der kurzzeitige Einsatz von UV-C sinnvoll darstellt, und es darum geht, eine UV-Anlage schnell und spontan in Betrieb zu nehmen.

Korrekte Installation und Platzierung einer UV-Anlage

Selbstverständlich sind bei der Installation einer UV-Anlage die vom jeweiligen Hersteller mitgelieferten Gebrauchsanweisungen zu befolgen, um einen optimalen Betrieb mit effizienter Wirkung zu gewährleisten. Je nach eingesetztem Strahlungsmittel und je nach Leistung ist die klassische Bauform einer UV-Anlage immer etwas unterschiedlich, manchmal kompakter mit kurzer, dafür breiter Röhre, manchmal auch lang mit kleinerem Röhrendurchmesser. Es sollte also schon bei der Beckenplanung berücksichtigt werden, wo ein bestimmtes Modell einer UV-Anlage dauerhaft verbaut wird, bzw. wo sie im Bedarfsfall kurzfristig platziert werden kann, ohne dass es die Leistungsfähigkeit der UV-Anlage selbst, oder den Betrieb aller übrigen Filterkomponenten z.B. im Technikbecken ungünstig beeinflusst.

In der Regel können UV-Anlagen sowohl in vertikaler (aufrechter), als auch in horizontaler (waagerechter) Position installiert werden. In der vertikalen Position erfolgt der Wassereinfluss am unteren, der Wasserauslauf am oberen Anschluss, was den Vorteil hat, dass eingesaugte Luftblasen aufsteigen und vollständig aus dem UV-Behälter wieder austreten können. Es muss unbedingt auch die vom Hersteller angegebene Durchflussrichtung beachtet werden. Allerdings kann sich der Gegendruck der Wassersäule im UV-Behälter je nach Modell auf die Leistung der zuführenden Pumpe auswirken, die stark genug sein muss, um eine optimale Durchflussmenge auch bei vertikaler Installation zu gewährleisten.

Bei der horizontalen Installation gilt es unbedingt darauf zu achten, dass die Wasseranschlüsse nach oben ausgerichtet sind. Auch hier müssen eingesaugte Luftblasen aus dem Gehäuse vollständig entweichen können, was aufgrund des Auftriebs der Luftblasen im Behälter nicht gewährleistet ist, wenn die Anschlüsse nach unten zeigen. Ein großer Lufteinschluss innerhalb des

Behälters, einhergehen mit einer niedrigen Durchflussrate, kann im kritischsten Fall das Strahlungsmittel partiell trocken legen, was zu Salzverkrustung und sogar auch zur Überhitzung des Leuchtmittels (v.a. bei UV-Brennern) führen kann.

Für den Betrieb einer UV-Anlage innerhalb des Technikbeckens eignet sich eine separate Pumpe, die den Leistungsanforderungen des jeweiligen UV-Modells entspricht (siehe hierzu Herstellerempfehlungen). Alternativ, allerdings nur bei sehr starken und groß dimensionierten Rückförderpumpen, ist auch ein Bypass-Betrieb mit Kugelhahn-kontrolliertem Abzweig von der Druckleitung möglich, was allerdings den Nachteil hat, dass die Druckleitung durch PVC-Fittings und natürlich auch durch die UV-Anlage selbst, einen höheren Widerstand auf die Förderpumpe erzeugt. Persönlich empfehle ich (J. Kokott), die Rückförderpumpe nur mit der Aufgabe zu betrauen, möglichst viel gefiltertes Wasser durch eine zielgerichtet kurze und gerade Druckleitung ohne störende PVC-fittings (T-Stücke, Kugelhähne, etc.) ins Hauptbecken zu fördern, um im Rahmen ihrer technischen Leistungsmöglichkeit ein optimales → **effektives Durchflussvolumen** zu gewährleisten. Nicht selten überschreiten die Kosten für den Bypass-Anschluss in der Druckleitung (T-Fittings, Reduktionen, Schlauchanschluss und Kugelhahn), wie auch die ggf. höhere Leistungsaufnahme der Förderpumpe, ebenso hohe Kosten, wie eine separate, deutlich kleinere Pumpe, die für den separaten Betrieb einer UV-Anlage notwendig ist und die im Bedarfsfall einfacher gewartet und kontrolliert werden kann. Im Rahmen der Beckenplanung können beide Möglichkeiten selbstverständlich diskutiert werden, um eine optimale individuelle Entscheidung treffen zu können, wie eine UV-Anlage effizient und wartungsarm installiert und betrieben werden kann.

Da die Strahlungsmittel in regelmäßigen Abständen (in der Regel mind. einmal im Jahr, ggf. auch früher) getauscht werden müssen, ist es sehr wichtig, dass die UV-Anlage so im Technikbereich der Aquarienanlage platziert wird, dass sie leicht zugänglich ist. Eine kompliziert verbaute UV-Anlage wird erfahrungsgemäß seltener gewartet und kontrolliert, was sich kritisch auf ihre Leistungsfähigkeit auswirken kann. Es muss zudem gewährleistet sein, dass eine separate Betriebspumpe jederzeit einer Sichtprüfung unterzogen werden kann, damit Blockaden und Verstopfungen an der Ansaugseite durch z.B. ausgespülte Filtermedien oder sonstige grobe Partikel frühzeitig erkannt und entfernt werden können. Auch sollte der Auslauf der UV-Anlage so positioniert sein, dass man sichtbar prüfen kann, ob ausreichend Wasser durch die Anlage fließt.

Wenngleich UV-C eine sehr starke und zuverlässige Entkeimung ermöglicht, sind bestimmte Voraussetzungen zu erfüllen, damit das Wasser optimal behandelt werden kann. In erster Linie beeinträchtigen Sedimente und andere Partikel im Wasser die Effizienz der UV-Entkeimung, so dass eine UV-Anlage das Wasser innerhalb des Technikbeckens immer am Ende der Filterkette zugeführt bekommt, dass durch Abschäumung und ggf. auch mechanische Filterung von Partikeln befreit ist. Abrieb von Aktivkohle und anderen Filtermedien wie Phosphat-Adsorber oder Zeolithe, sollten idealerweise nicht in die UV-Anlage gelangen, d.h. hinter den hier genannten adsorptiven Filtermedien sollte eine mechanische Nachfilterung möglichen Abrieb entfernen, bevor das Wasser der UV-Anlage zugeführt wird. Auch stark mit Gelbstoffen angereichertes Wasser kann die UV-

Entkeimung vermindern, so dass eine dauerhafte Aktivkohlefilterung auch im Vorfeld sinnvoll für den Betrieb einer UV-Anlage ist, und nicht nur im Rahmen der Neutralisation von Ozon oder Bromat (vgl. Erläuterungen oben) hinter der UV-Anlage.

Um den Eintrag von Luftblasen in den UV-Behälter möglichst gering zu halten, sollte die Ansaugung für die UV-Anlage nicht in der Nähe des Abschäumerauslaufs sein, sondern möglichst weit davon entfernt, am Ende der Filterkette, z.B. auch in der Klarwasserkammer, sofern gewährleistet ist, dass das hier von der Betriebspumpe entfernte Wasser auch wieder durch das Technikbecken passiv in die Klarwasserkammer zurückfließen kann (closed-loop). Durch die Abtötung von Keimen und Plankton, ist es sinnvoll, das UV-C behandelte Wasser wieder dem Anfang der Filterkette zurückzuführen, idealerweise dem Abschäumer, der nicht nur die abgetötete Biomasse entfernt, sondern der schon zu einem gewissen Anteil vor der nachgeschalteten Aktivkohlefilterung eine Abreaktion von Ozon oder Bromat ermöglichen kann.

Eine weitere Möglichkeit zum Anschluss einer UV-Anlage an ein Aquariumsystem, die sich insbesondere zur Behandlung akuter und schwerwiegender Fischkrankheiten eignet, ist der closed-loop Betrieb mit Ansaugung und Rückführung des entkeimten Wassers direkt im Hauptaquarium. Hier kommt natürlich der genannte Nachteil eines möglichen Anstiegs in der Aggressivität des Meerwassers gegenüber der gepflegten Organismen unmittelbarer zum Tragen, weil die UV-Anlage von dem Filterbereich des Beckens mit möglicher Neutralisation von UV-generiertem Ozon über den Abschäumer und nachgeschalteter Aktivkohlefilterung weit entfernt ist. Allerdings kann die Ansaugung direkt im Hauptbecken einen möglicherweise größeren Anteil an Krankheitserregern genau dort erfassen, wo sich die Pathogene verbreiten, nämlich im Aquarium selbst. Ein Betrieb der UV-Anlage im Filterbecken macht die Effizienz der Entkeimung abhängig vom effektiven Durchflussvolumen, weil natürlich nur das Wasser entkeimt werden kann, das der UV-Anlage über die Förderpumpe bzw. den passiven Rückfluss ins Technikbecken bereitgestellt wird. Saugt die Betriebspumpe der UV-Anlage direkt im Hauptaquarium an, kann die Nähe zur Verbreitung der Pathogene eine schnellere Erleichterung der Krankheitsbelastung bewirken.

Ein guter Kompromiss für den hier geschilderten closed-loop Betrieb einer UV-Anlage ist der Anschluss der UV-Anlage an den Ausgang eines herkömmlichen Topffilters, wie er in der Süßwasseraquaristik zum Einsatz kommt. Die durch die UV-Anlage möglicherweise gesteigerte Aggressivität des Meerwassers kann durch eine Füllung des Topffilters mit Aktivkohle reduziert werden. Eine Immobilisierung der Aktivkohle mit etwas Filterwatte verhindert, dass Abrieb der Aktivkohle in die UV-Anlage und weiter ins Becken gelangt. Wichtig ist hier, dass die Standzeit des Topffilters überwacht wird und sowohl Aktivkohle und Filterwatte nach spätestens drei Tage ausgewaschen und ggf. erneuert werden. Eine große Menge Aktivkohle führt darüber hinaus auch zu einer stärkeren Bindung von Iod, was durch eine zusätzliche Iod-Dosierung kompensiert werden muss.

Ein für das Gesamtsystem schonenderer UV-Betrieb ist immer der Anschluss innerhalb der Filtereinheit des Aquariumsystems. Der hier geschilderte closed-loop Betrieb innerhalb des

Hauptbeckens eignet sich nur für schwerwiegende Krankheitsfälle, die möglichst schnell behandelt werden müssen.

Akute Behandlung von Fischkrankheiten und Krankheitsprophylaxe mit UV-C

Zunächst soll an dieser Stelle der entscheidende Hinweis im Fokus stehen, dass es in einer dem Aquariumsystem angepassten, harmonischen Fischgesellschaft weniger oft zu Krankheitsfällen kommt, als in einer chronisch gestressten. Stress kann in diesem Zusammenhang zunächst durch die Umgebung selbst verursacht sein, hauptsächlich durch eine zu geringe Aquariumgröße, zu wenig Schwimmraum, eine ungünstige Aquariumgestaltung mit nicht ausreichend Flucht-, Versteck- und Schlafmöglichkeiten, eine schlechte Futterversorgung und zuletzt auch durch eine mangelhafte Wasserqualität mit hoher organischer Belastung und entsprechend hoher Keimzahl im Wasser. Zu diesen abiotischen Faktoren ergänzt sich eine soziale Komponente, wenn Fische innerhalb eines Aquariums gepflegt werden, die untereinander Aggressivität entwickeln, sei es durch territoriale Streitigkeiten, Futterneid oder schlichtweg durch ihr soziales Dominanzverhalten. Im Rahmen der Erörterungen zum Stichwort → [Fischbesatz \(In Bearbeitung\)](#) wird dieses Problem intensiv behandelt.

Es gilt also bei der Planung des Fischbesatzes, vor allem beim Einsteiger, darauf zu achten, dass Tiere ausgewählt werden, die sozial zusammen passen, sich wenig aggressiv und territorial verhalten, die einfach in der Futterversorgung sind, und die im Aquarium eine für sie geeignete Gestaltung vorfinden, die alle oben genannten Kriterien wie Schwimmraum, Versteckmöglichkeiten etc. erfüllt. In meinem (J. Kokott) Dafürhalten, ist es nicht nur fragwürdig, sondern auch wenig erfolgversprechend, wenn die steigende Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Fischkrankheit in einer bewusst ungünstig zusammengestellten Fischgesellschaft durch eine überdimensionierte UV-Anlage kompensiert werden soll.

Aber auch in harmonischen Fischgesellschaften sind Krankheiten nicht ausgeschlossen und es gilt, auf bestimmte Szenarien vorbereitet zu sein. Dies betrifft hauptsächlich das Nachsetzen neuer Fische in ein bestehendes System.

Gefürchtet ist hier natürlich die kritische Situation, wenn ein Fisch eingesetzt wird, der bereits eine nicht erkannte Erkrankung mit sich führt und den Altbesatz damit infiziert. Je nach Krankheit kann die Inkubationszeit und der Krankheitsverlauf dabei sehr unterschiedlich sein.

Jedoch erzeugt das Nachsetzen auch von gänzlich gesunden und fitten Fischen immer einen akuten Stresszustand, nicht nur für den Neankömmling selbst, der durch Fang, Transport und ggf. Futtermangel natürlich am empfindlichsten ist, sondern auch für die bestehende Fischgesellschaft, die ihr für sich reklamiertes Territorium selbstverständlich schützen will. Viele Fischarten, auch durchaus kleine, vermeintlich harmlose Fische wie *Pseudocheilinus hexataenia* oder *Centropyge acanthops*, gerade wenn sie einzeln und nicht paarweise oder in einer Gruppe gepflegt werden, sind äußerst aggressiv, attackieren und jagen deutlich größere Fische, oftmals bis zur Erschöpfung und Tod des neu eingesetzten Tieres. Selbst dann, wenn sich die Fischgesellschaft in ihrem Aggressionspotential mässig verhält, führt die Anspannung im Becken nicht selten zum Ausbrechen latent im Aquarium vorhandener Fischkrankheiten. Als am häufigsten auftretende

Erreger sind *Cryptocarium irritans* (Weißpünktchenkrankheit) und *Brooklynella hostilis* (Anemonenfisch- oder Samtkrankheit) zu nennen, die aber i.d.R. gut durch eine UV-Behandlung kontrolliert werden können. Es macht also beim Nachsetzen von Fischen in ein bestehendes Aquariumsystem immer Sinn, für wenige Wochen bis zu einem Monat eine nicht überdimensionierte UV-Anlage zu betreiben, und diese auch schon einige Tage vor dem Nachsetzen einzuschalten, damit die Keimzahl im Aquariumwasser sinkt, bevor neue Fische nachgesetzt werden.

Ein potentiell kritischer Zustand mit einer hohen Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer akuten Fischkrankheit ergibt sich bei einem Aquariumumzug, wenn also der Fischbesatz entweder sofort in das frisch umgebaute, respektive umgezogene Aquarium einziehen muss, oder er nur wenige Tage nach der Neueinrichtung aus der alten Umgebung ins neue und noch labile Aquarium umgesetzt wird. Hier ist es immer eine wichtige Voraussetzung, das sofort bei der Inbetriebnahme des neuen Aquariums eine UV-Anlage angeschlossen und eingeschaltet wird, um die Wahrscheinlichkeit für das Ausbrechen einer Fischkrankheit durch Stress und v.a. auch durch ungünstige Wasserwerte möglichst zu minimieren.

Die Behandlung akuter Fischkrankheiten, wie auch die Krankheitsprophylaxe unter Einsatz einer UV-Anlage ist immer sinnvoll und sollte auch jeglicher Medikation durch chemisch-pharmazeutische Präparate direkt im Aquariumsystem den Vorzug erhalten. Werden Krankheitssymptome erkennbar, sollte eine bevorratete UV-Anlage schnellstmöglich in Betrieb genommen werden, weil es immer ein bis zwei Tage dauert, bis die UV-C Entkeimung sichtbaren Erfolg bringt. In gravierenden Fällen kann, wie oben bereits erörtert, ein closed-loop Betrieb direkt im Hauptaquarium eine schnellere Entlastung bringen, als eine Installation im Technikbecken, die vom → **effektiven Durchflussvolumen (eDfV)** abhängig ist. Im gegebenen Fall, dass die UV-Anlage am Technikbecken betrieben wird, sollte das eDfV mindestens dem 3-fachen des Beckennettovolumens pro Stunde entsprechen, um die UV-Anlage im Technikbecken optimal mit zu entkeimendem Wasser zu versorgen.

UV-C Entkeimung bei akuten Planktonblüten und dominanten Scheibenbelägen

Je nach Alter des Riffaquariums und je nach Nährstoffsituation können im Riffaquarium akute bakterielle, wie auch phytoplanktische Blüten entstehen (vgl. dazu auch den nachfolgenden Abschnitt zum Beckenneustart). Bakterioplankton erzeugt einen weißlich-grauen Schleier im Wasser, während Phytoplanktonblüten je nach Algenart entweder grünes Wasser (Bei Grünalgen), aber auch gelblich-braunes (durch Kieselalgen, Dinoflagellaten, Goldalgen, etc.) oder rotes (durch Cyanobakterien) Wasser hervorrufen. Eine heftige Planktonblüte kann so stark sein, dass die Sicht durch das Wasser nur noch wenige Zentimeter beträgt. Allerdings sind derart massive Blüten eher selten. In einem solchen Fall ist eine UV-C Entkeimung unbedingt notwendig, weil die Korallen unter starkem Lichtentzug leiden und zudem auch die Nährstoffkonkurrenz zu den Algen zu stark ist. Eine UV-Anlage kann die Blüte i.d.R. nach wenigen Tagen bis zu einer Woche (selten auch länger) entfernen. Trotz einer rasch zu erwartenden Verbesserung, kann eine kleine

Restpopulation im bereits aufgeklärten Wasser erneut aufblühen, so dass die UV-Anlage auch nach der Wasserklämung zur Sicherheit noch weitere 3-4 Wochen durchlaufen sollte. Durch das Abtöten der Planktonorganismen in der UV-Anlage ist während und nach der UV-Behandlung mit mulmartigen Ablagerungen toten Zellmaterials sowohl im Filter-, als auch im Hauptbecken zu rechnen. Eine starke Strömung bei gleichzeitiger mechanischer Filterung löst auch dieses Problem, ggf. kann im Rahmen mehrere kleiner Wasserwechsel bestehender Mulm abgesaugt werden.

Neben wirklichen Blüten im Wasser treten je nach Licht- und Nährstoffbedingungen auch konkurrenzstarke, dominante Scheibenbeläge auf, die sich nach dem Reinigen der Scheibe binnen kürzester Zeit (30 min.) vollständig auf die Scheiben zurück setzen. Zunächst kann hier probiert werden, die Scheiben für einige Tage (4-5 Tage) gar nicht zu reinigen, was die Vermehrungsrate der Algen senkt und die Population damit anfälliger für ein Konkurrenzbefall z.B. mit Bakterien macht. Bleibt das Problem länger bestehen, kann eine UV-Entkeimung für 3-4 Wochen auch hier eine Lösung darstellen.

Einsatz von UV-C beim Beckenneustart mit künstlichem Gestaltungsmaterial

Riffaquarien, die mit gereinigtem toten Riffgestein, vor allem aber mit künstlichem Gestaltungsmaterial dekoriert werden, das keinerlei biologische Aktivität aufweist und zudem auch keine anorganischen Nährstoffe wie Stickstoff oder Phosphat enthält, neigen je nach Material und eingesetzter Menge an Gestein bei einem Neustart oft dazu, innerhalb weniger Tage nach dem Beckenstart eine starke Bakterienblüte im Wasser zu erzeugen. Auch progressiv wachsende bakterielle Biofilme, die auf frischem künstlichen Gestaltungsmaterial nicht selten auftreten, können die biologische Entwicklung eines neu gestarteten Aquariumsystems erschweren, weil sie sehr konkurrenzstark den geschaffenen Siedlungsraum besetzen und Nährstoffe aus dem Wasser aufnehmen, was eine ökologische Dominanz gegenüber dem Korallenerstbesatz entwickelt und zu einer chronischen Nährstoffmangelsituationen führen kann. Darüber hinaus steigt der biologische Sauerstoffbedarf bei einer massiven Bakterienvermehrung im Wasser und auf den Steinen übermäßig stark an, so dass selbst bei guter Strömung und Eiweißabschäumung ein Sauerstoffdefizit entstehen kann.

Eine UV-Entkeimung sofort ab der Inbetriebnahme eines Riffaquariumsystems, das mit künstlichen Gestaltungsmaterialien eingerichtet ist, kann eine übermäßig starke Vermehrung von Bakterien, sowohl planktonische (Bakterioplankton), als auch sessile Bakterien in den Biofilmen, verhindern. Dem Korallenerstbesatz, und später auch dem ersten Fischbesatz, wird durch eine UV-C kontrollierte niedrige Keimzahl im Wasser die Akklimation und ökologische Etablierung erleichtert. Zudem sollte künstliches Gestaltungsmaterial immer ausreichend lange im Vorfeld gewässert werden, um mögliche Rückstände zu entfernen, die ein unkontrolliertes Bakterienwachstum fördern können.

Die UV-Anlage sollte über den gesamten Startzeitraum bis hin zum Fischbesatz durchgehend laufen, d.h. über einen Zeitraum, der im SANGOKAI System mindestens den START-Dosierplan

(14 Tage), und bei Bedarf auch den darauf folgenden BASIS-Dosierplan mit insgesamt 5 Wochen umfasst. Ein zügiger Korallenbesatz hilft zwar, das Aquariumsystem schnell ökologisch zu stabilisieren, aber auch hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit, dass im jungen Fischbesatz mit immer wieder nachgesetzten Tieren stressbedingte Fischerkrankungen auftreten können (siehe Abschnitt oben), ist es durchaus sinnvoll, eine UV-Anlage für den gesamten Startzeitraum bereit zu halten.

Für den langfristigen Betrieb sollte im SANGOKAI System jedoch auf eine dauerhafte UV-C Entkeimung verzichtet werden, um der Entwicklung einer möglichst großen Organismenvielfalt, auf die das SANGOKAI System abzielt, nicht im Wege zu stehen.

-V-

-W-

Wasseranalytik (Meerwasser)

Allgemeine Meerwasser-Zusammensetzung und korrekte Interpretation von Analyseprotokollen

Global betrachtet hat Meerwasser in den ozeanischen Regionen die gleiche Zusammensetzung und auch eine vergleichbare Salinität (Salzgehalt) bei ca. 34-35 psu, weil sich die riesigen Wassermassen über den Verlauf der gesamten Erdgeschichte kontinuierlich vermischen. Abweichungen von der ozeanischen Salinität treten z.B. dort auf, wo geografische Gegebenheiten keinen ausreichend starken Austausch der Wassermassen zwischen Ozean und dem jeweiligen Meer ermöglichen, oder im Bereich küstennaher Flussmündungen, wo große Süßwassereinflüsse das Meerwasser verdünnen.

Ein sehr gutes Beispiel ist das Rote Meer, das zwar mit dem indischen Ozean verbunden ist, jedoch so von Landmassen eingeschlossen wird, dass sich ein deutlicher Verdunstungseffekt ergibt, wodurch die Salinität im Roten Meer je nach Jahreszeit und Region auf 40-42 psu ansteigt (im Vergleich ozeanische Salinität 35 psu). Die Verteilung der Meerwasser-Inhaltsstoffe ist aber immer noch identisch zum indischen Ozean, nur die Konzentration der Inhaltsstoffe steigt durch die Verdunstung an. So hat das Rote Meer bei einem Salzgehalt von 40 psu einen Calciumgehalt von ca. 480 mg/L, was aber relativ betrachtet nichts anderes ist als ein Calciumgehalt von 420 mg/L bei einer Salinität von 35 psu. Das Rote Meer hat also bezogen auf die Salinität den gleichen Calciumgehalt wie der Indik, und insgesamt auch die gleiche Zusammensetzung. Es wäre also grundsätzlich falsch, im Meerwasseraquarium den Calciumgehalt bei einer Salinität von 35 psu auf 480 mg/L zu erhöhen, weil man argumentiert, dass im Roten Meer der absolute Calciumgehalt derart hoch ist. Für alle Meerwasser-Hauptkomponenten muss immer die jeweilige Salinität als Bezugspunkt betrachtet werden, wenn ein Messwert angegeben wird.

Unabhängig von solchen geografischen Besonderheiten sollten wir in der Meerwasseraquaristik bei einer Salinität von 35 psu arbeiten, weil die größten Teile der tropischen Korallenriffe genau in diesem Salinitätsbereich existieren. Das Rote Meer ist zwar durch seine tropischen Korallenriffe

bekannt, allerdings ist die Artenvielfalt deutlich geringer als in anderen indo-pazifischen Regionen, was zwar auch mit den erwähnten geografischen Besonderheiten zu tun hat, allerdings auch damit, dass nicht jeder Organismus mit einer Salinität von 40-42 psu langfristig gut zurecht kommt. Die Diversität im Roten Meer ist daher auch eine sehr spezifische: egal, wo wir im Roten Meer tauchen, begegnen wir immer den gleichen Tierarten.

Die hier vorgestellten Erläuterungen zur Salinität und zu den Meerwasser-Inhaltsstoffen sind sehr wichtig, wenn es darum geht, Laboranalysen auszuwerten und korrekt zu interpretieren. Ein gemessener Borgehalt von 3,8 mg/L ist absolut betrachtet (also nur die Betrachtung des Zahlenwertes) im Vergleich zum normalen Borgehalt im Meerwasser von 4,5 mg/L zu niedrig, relativiert sich aber dann, wenn z.B. die Salinität des gemessenen Meerwassers nur bei 31 psu liegt. Eine Erhöhung der Salinität von 31 psu mit einem Meersalz, das einen normalen Borgehalt aufweist, bringt den Borgehalt dann bei 35 psu auf 4,3 mg/L, was zwar noch minimal zu niedrig, in der aquaristischen Praxis aber vollkommen in Ordnung ist. **Es besteht also immer eine Linearität zwischen der Konzentration der Meerwasser-Inhaltsstoffe und der Salinität.**

Im gegebenen Beispiel wäre es folglich falsch, den Borgehalt von 3,8 mg/L auf 4,5 mg/L zu erhöhen (zu supplementieren), ohne vorher die Salinität von 31 auf 35 psu anzupassen. Eine erneute Analyse des so supplementierten Wassers würde zwar im Ergebnis einen Borgehalt von 4,5 mg/L messen, jedoch nach wie vor nur bei einer Salinität von 31 psu, die insgesamt zu niedrig ist und auf 35 psu erhöht werden muss. Geschieht die Anpassung der Salinität von 31 auf 35 psu erst nach der Bor Supplementierung, steigt der Borgehalt bei Verwendung eines vollwertigen Meersalzes von 4,5 mg/L auf 5,1 mg/L an und wäre nun zu hoch. Vor einer Supplementierung muss also immer die Salinität auf 35 psu eingestellt werden. Erst danach wird der dann noch ggf. fällige Differenzbetrag ergänzt (im vorliegenden Beispiel wäre nach der Anpassung der Salinität auf 35 psu eine Erhöhung des Borgehalts von 4,3 auf 4,5 mg/L praktisch nicht notwendig, weil vollkommen ausreichend).

Es muss also immer die jeweils vorliegende Salinität berücksichtigt werden, wenn einzelne Meerwasser-Inhaltsstoffe und deren Konzentrationen im Wasser interpretiert werden. Einige Labore berechnen automatisch in Ihrem Analyseprotokoll die Stoffkonzentrationen auf eine relative Salinität von 35 psu, was die Messwert Interpretation vereinfacht.

Eine Laboranalyse der Hauptkomponenten kann also nur dann faktisch korrekt interpretiert werden, wenn die Salinität entweder mit einem geeigneten Verfahren bestimmt, oder wenn alle salinitätswirksamen Hauptkomponenten quantitativ bestimmt und die Salinität aus der Ionenbilanz berechnet wird (was natürlich voraussetzt, dass jeder einzelne Messwerte korrekt ist). Aufgrund ihrer hohen Konzentrationen im Meerwasser sind Chlorid, Natrium und auch Sulfat (in ICP-OES Analysen wird nur der Schwefelanteil (S) des Sulfats (SO₄) angegeben) die salinitätswirksamen Hauptkomponenten, gefolgt von Magnesium, Calcium und Kalium, während entsprechend der niedrigeren Konzentrationen Brom nur wenig signifikant und Strontium, Bor und Fluor so gut wie gar keinen praktischen Einfluss auf die Salinität haben. Wenn also in Laboranalysen Chlorid, Natrium, Sulfat, Magnesium, Calcium und Kalium korrekt quantitativ gemessen sind, ist eine daraus berechnete Salinität ziemlich genau und sollte in etwa dem Wert entsprechen, den eine

Salinitätsbestimmung mit geeignetem Messverfahren (Dichte, Brechungsindex (Refraktometer), Leitfähigkeit, alle jeweils unter Berücksichtigung der jeweiligen Wassertemperatur) bestimmt. Wenn zwischen den Werten aus der Berechnung der Salinität aus der Ionenbilanz und der Verfahren-spezifischen Salinitätsbestimmung eine deutliche Differenz liegt, dann stimmt entweder der quantitative Messwert einer der Hauptkomponenten nicht (v.a. Chlorid, Natrium oder Sulfat), oder die Salinität-Messung ist nicht korrekt, im schlechtesten Falle stimmen beide nicht.

In diesem Kapitel sollen für die verschiedenen Inhaltsstoffe des Meerwassers Referenzwerte angeboten werden. Jedes Labor gibt in seinen Analyseprotokollen subjektiv ausgewählte Referenzwerte an, die von Aquarianern gerne auch als Sollwerte bezeichnet werden. Der Begriff Sollwert wird hier jedoch bewusst nicht unterstützt, weil er eine globale und absolute Gültigkeit impliziert, die jedoch für viele Messwerte weder gegeben, noch aquaristisch angemessen ist. Jedes Labor bestimmt seine Referenzwerte individuell und nach subjektiver Erfahrung, oft auch angelehnt an gleichzeitig angebotene Versorgungssysteme. Daher sind in Laborprotokollen angegebene Referenzwerte nicht grundsätzlich global gültig und unterscheiden sich auch von Versorgungs-System zu Versorgungs-System.

Allerdings gibt das ozeanische Meerwasser in seinen Hauptkomponenten natürliche und reproduzierbare Messwerte vor, die wir seit Jeher für die Entwicklung geeigneter Meersalzmischungen adaptieren, und zwar in Anlehnung an eine natürliche Salinität von 35 psu. Bei dieser Salinität lassen sich im natürlichen Meerwasser konstante Werte ermitteln, z.B. für Calcium ein Gehalt von ca. 420 mg/L, oder Kalium von ca. 400 mg/L. Diese beiden Werte sind auch in der aquaristischen Praxis als essentiell wichtig erkannt worden, wenn es um das gesunde Wachstum von Korallen und Kalkrotalgen geht. Bei anderen Meerwasser-Inhaltsstoffen sind größere Abweichungen durchaus tolerabel, sofern das Meerwasseraquarium ohne Probleme funktioniert. Nichtsdestotrotz entsprechen die in Laborprotokollen angegebenen Referenzwerte für die Hauptkomponenten wie z.B. Chlorid, Kalium, Brom oder Fluor der natürlichen Meerwasser-Zusammensetzung. Das gilt auch für die physikalisch-chemischen Parameter pH-Wert und Alkalinität/Karbonathärte.

Jedes Labor wird also bei einer Salinität von 35 psu einen gemessenen Calciumgehalt von 420 mg/L mit einem grünen Ampelsystem, oder mit einer anderen Beurteilungsvariante, als gut darstellen. Unterschiede in der Bewertung eines Messwerts ergeben sich zwischen den verschiedenen Laboratorien und ihren individuellen Analyseprotokollen allerdings dann, wenn der Messwert bei 35 psu vom angenommenen natürlichen Idealwert abweicht. Hier ist die Toleranz gegenüber solchen Abweichungen von Labor zu Labor unterschiedlich. Manche Labore würden einen Calciumgehalt mit 450 mg/L bei 35 psu immer noch als aquaristisch gut bewerten, andere können bereits z.B. mit einer orangenen Farbe markieren, dass dieser gemessene Wert potentiell problematisch sein kann, im Falle von Calcium zum Beispiel gegenüber der Stabilisierung einer optimalen → [Karbonathärte](#). Auch Defizite werden unterschiedlich bewertet, so dass ein Calciumgehalt von 380 mg/L von dem einen Labor in Orange (also als grenzwertig interpretierbar), von dem anderen in Rot (also als kritisch oder grundsätzlich problematisch interpretierbar)

deklariert wird. Es sei hier angemerkt, dass die typischen Ampelsysteme nicht eindeutig sind, was ihre qualitative Aussage angeht. Grenzwertig kann demnach bedeuten, dass der Wert aktuell noch ausreichend gut und problemlos ist, aber nicht tiefer sinken darf. Eine konservative Interpretation zum Begriff der Grenzwertigkeit bei analytischen Messwerten im Meerwasser würde aber nicht ausschließen, dass ein solcher Wert unter Umständen und in einer gewissen statistischen Häufigkeit bereits Probleme erzeugt und daher unverzüglich korrigiert werden muss. Hier ist sehr viel Fingerspitzengefühl in der Beratung gefragt, v.a. muss das jeweilige Meerwasseraquarium einer qualitativen Sichtprüfung unterzogen werden, um solche Grenzbereiche individuell richtig zu beurteilen. Bei sichtbaren Problemen im Meerwasseraquarium ist also eine konservative Beratung sinnvoll, während in einem problemlos laufenden Meerwasseraquarium eher die relativierende Beratung möglich ist.

Es ist nie auszuschließen, dass ein abweichender Messwert in einem gesunden Aquarium gar keine Probleme bereitet, gleichzeitig aber in einem problembehafteten Aquarium potentiell schädlich wirkt. Solche sekundären Schädigungen sind als Begleitfaktoren, z.B. bei aggressiven Beleuchtungseinstellungen, bei erhöhter Wassertemperatur, Nähr- oder Spurenstoffmangel (respektive Überschuss), Schadstoffbelastung oder auch bei Strömungsmangel sehr typisch. Kalium kann in einem Defizitbereich von 370 mg/L daher in einem Aquarium so gut wie keinen sichtbar negativen Effekt hervorrufen, während in einem anderen Aquarium bereits irreversible Gewebeverluste an Steinkorallen auftreten, weil hier z.B. die Strahlumgebung weitaus intensiver und aggressiver ist.

Solche Umgebungsbedingungen kann ein statisches Analyseprotokoll natürlich nicht berücksichtigen, was die Interpretierbarkeit bestimmter Werte in Anlehnung z.B. an ein Ampelsystem stark erschwert. Entsprechend vorsichtig und konservativ sollten Laborbetreiber daher auch bei der Bewertung essentiell relevanter Meerwasser-Inhaltsstoffe, wie z.B. Kalium, vorgehen. Das gilt jedoch auch für private Aquarianer, die in der Problembewertung gegenüber einem anderen Aquarianer einen bestehenden Defizit- oder Überschussmesswert als Problemursache z.B. ausschließen, weil ein vergleichbarer Messwert in ihrem eigenen Aquarium nie Probleme bereitet hat. Es bedarf also immer auch einer fachkundigen und möglichst objektiven Beratung, um Referenz-ferne Messwerte für das eigene Aquarium sinnvoll einzuschätzen.

Während die Hauptkomponenten des Meerwassers sehr gut analytisch untersucht und quantifiziert sind, wird es im Bereich der Mikroelemente problematischer, sowohl aufgrund der Messbarkeit und bestehender analytischer Nachweisgrenzen, aber v.a. auch durch unterschiedliche Ergebnisse in der Messung von natürlichen Meerwasserproben, mit teils großen Schwankungen in der jeweiligen Konzentration.

Zu den Neben- oder Mikroelementen zählen all jene Inhaltsstoffe, deren natürlicher Gehalt im Meerwasser kleiner ist als 1 mg/L (< 1 mg/L, Milligramm pro Liter). Fluor ist beispielsweise ein Inhaltsstoff, der zwar gerade an der Grenze zum Spurenstoff liegt und oft auch als Spurenelement in der Meerwasseraquaristik genannt wird, der aber definitionsgemäß zu den Hauptkomponenten

des Meerwassers zählt, weil der natürliche Gehalt mit ca. 1,2 mg/L knapp oberhalb der 1 mg/L Grenze liegt.

Einer der wichtigsten Neben- oder Spurenstoffe (auch Spurenelement genannt) ist das Element Iod, das mit einem Gehalt von ca. 65 µg/L sehr konstant in natürlichem Meerwasser vorliegt und das aufgrund seiner verschiedenen physiologischen Funktionen auch aquaristisch äußerst wichtig ist. Weil der Iod-Gehalt im natürlichen Meerwasser ziemlich konstant ist, sind sich alle in der Meerwasseraquaristikbranche tätigen Labore einig, dass 65 µg/L ein möglicher optimaler Referenzwert für Iod ist. Allerdings sind sich die Labore darin uneinig, wie sie sowohl ein bestimmtes Iod-Defizit, als auch einen bestimmten Iod-Überschuss bewerten und diesen gegenüber dem Aquarianer deklarieren. Die Gründe dafür liegen v.a. in den verschiedenen Erfahrungen mit Problemsituationen, in denen einerseits Iod als relevant, in anderen Fällen als weniger oder gar nicht relevant erkannt wurde, möglicherweise aber auch darin, dass die meisten Labore gleichzeitig auch eigene Versorgungssysteme anbieten, in denen eine Iod-Versorgung integriert ist, so dass z.B. ein im Labor gemessenes Iod-Defizit in seiner potentiellen Auswirkung relativiert wird, weil davon ausgegangen werden kann, dass eine Iod-Grundversorgung über das Versorgungssystem gewährleistet ist.

Noch schwieriger wird es bei den physiologisch relevanten Spurenmetallen sowie auch bei potentiellen Schadstoffen wie Lithium, Antimon oder Zinn, weil sich selbst natürliches Meerwasser je nach Messstelle und anthropogenem Einfluss (z.B. Nähe zu Industriestandorten) extrem unterschiedlich darstellt und es nicht, wie z.B. bei Iod, einen konstanten natürlichen Messwert gibt, der sich global für alle Regionen reproduzieren lässt.

Dazu kommt, dass selbst bei den modernen und hoch sensiblen Messverfahren in den Laboren (v.a. die ICP-OES), Nachweisgrenzen bestehen, unterhalb derer keine zuverlässige Messwert-Angabe möglich ist. Ein nicht nachweisbarer Wert (abgekürzt n.n.) bedeutet nicht, dass der Inhaltsstoff gänzlich fehlt (Null) und automatisch ein Mangel vorliegt. Er ist nur so niedrig, dass das Messverfahren den Inhaltsstoff nicht quantitativ zuverlässig (also auch reproduzierbar) darstellen kann. Die meisten Aquarianer interpretieren nicht nachweisbare Werte als „Null“, was eine absolute Aussage ist, die tatsächlich aufgrund der Nachweisgrenze nicht messtechnisch bewiesen werden kann und somit auch nicht korrekt ist. Das ICP-OES Verfahren ist im Spurenbereich sehr kompetent, um Überschüsse zuverlässig aufzuzeigen, aber nur begrenzt geeignet, um einen absoluten Mangel zu definieren, was letztlich nur das Aquarium selbst kann, in dem es sichtbare Mangelsymptome zum Vorschein bringt. Im Falle solcher Symptome kann dann in Anlehnung an einen nicht nachweisbaren Befund für einen jeweiligen Stoff die Vermutung verhärtet werden, dass hier tatsächlich ein Mangel bestehen könnte. Allerdings kann nur durch eine praktische Maßnahme (geeignete und v.a. kontrollierte Dosierung des entsprechenden Elements in einer bioverfügbaren Form) überprüft werden, ob sich die Symptome abschwächen und eine langfristige Besserung bzw. Heilung eintritt. Nicht nachweisbar bedeutet aber niemals zwangsläufig, dass auch ein Mangel besteht. Dieses Thema wird im weiteren Verlauf in den Referenzwert-Tabellen für die Spurenstoffe nochmals ausführlich behandelt.

Viele Spurenstoffe werden in ihrer biologischen Funktion in Meerwasserorganismen nicht ausreichend gut verstanden, so dass sich die meisten Labore i.d.R. auch auf ihre eigenen aquaristischen Beobachtungen und Erfahrungen berufen, um in ihren Analyseprotokollen für bestimmte Spurenstoffe eine Referenzkonzentration bzw. einen Referenzbereich anzugeben. Dabei geht es nicht nur um physiologische Funktionen, sondern v.a. auch um potentielle Schadstoffeigenschaften, die sich je nach Organismus ganz unterschiedlich zeigen können.

Im Folgenden werden in tabellarischer Form verschiedene Referenzbereiche angeboten, beginnend mit einem absoluten Zahlenwert, der in allen aquaristischen Szenarien zu jeder Zeit als optimal und damit gleichzeitig als grundsätzlich unproblematisch betrachtet werden kann. Dieser Wert ist als empfohlener Referenzwert in der Tabellenspalte 1 angezeigt. Auch die hier angebotenen Referenzwerte und Referenzbereiche sind v.a. für die Spurenstoffe subjektiv zu verstehen und können allgemein als SANGOKAI Referenzwerte bezeichnet werden.

Die zweite Tabellenspalte definiert einen Referenzbereich rund um den in Spalte 1 angebotenen Referenzwert, innerhalb dessen die Wahrscheinlichkeit äußerst gering ist, dass hier spezifische Probleme verursacht, bzw. sekundär andere Probleme verstärkt werden.

In der dritten Spalte wird ein potentiell kritischer Bereich außerhalb des Referenzbereichs (Spalte 2) definiert, für den die Wahrscheinlichkeit signifikant steigt, dass der jeweilige Parameter Probleme unmittelbar verursacht, v.a. aber auch in Anlehnung an bestimmte Konstellationen zu anderen Umgebungsbedingungen nicht verwandte Probleme zusätzlich verstärkt. Auch hier gilt es davon auszugehen, dass manche Aquarien zu einem gegebenen Zeitpunkt keinerlei negative Symptome zeigen, was sich jedoch bei sich ändernden Umgebungsbedingungen (z.B. Veränderungen im Licht oder Strömung, ggf. Temperaturanstieg, etc.) in einer gewissen statistischen Wahrscheinlichkeit auch spontan ändern kann. Ebenfalls spielt die Einwirkzeit eine große Rolle. Je kürzer die Einwirkzeit, desto weniger problematisch könnten bestehende Abweichungen vom Referenzbereich sein, und umgekehrt. Für diesen Bereich ist immer eine Sichtprüfung des Aquariums wichtig, d.h., dass in einem akuten Problemfall natürlich möglichst schnell und kontrolliert gehandelt werden muss, um den Wert in den Referenzbereich von Spalte Zwei zu bringen. In problemlos arbeitenden Aquarien sollte ein potentiell kritisch abweichender Parameter gleichzeitig aber auch keine Panik im Aquarianer auslösen, der unter Umständen unkontrolliert und falsch agiert und dadurch einen bisher nicht bestehenden Problemzustand herbeiführt. Eine Fachberatung ist hier sinnvoll und je nach Erfahrungsstand auch notwendig (z.B. Einsteiger), um auch die Ursachen für die problematischen Werte genau zu ergründen.

Die vierte und letzte Spalte definiert den Bereich oberhalb und unterhalb des potentiell kritischen Bereichs in Spalte Drei, für den aus der subjektiven Erfahrung heraus davon auszugehen ist, dass sich in jedem Riffaquarium zu jeder Zeit spezifische Probleme unmittelbar aus diesen Parametern selbst ergeben, und auch sekundäre Effekte zu anderen Problembereichen weitreichend negative Folgen haben können. Es gilt für den Anwender, möglichst schnell Anpassungen vorzunehmen, um die Parameter kurzfristig wieder mindestens in den Bereich in Spalte 3 und langfristig in den

Referenzbereich in Spalte Zwei zu bringen, was jedoch je nach Parameter immer auch kontrolliert und bei Bedarf auch langsam erfolgen muss (z.B. Anpassung von Kalium-Defiziten über mehrere Tage), worauf im Einzelnen zu einem späteren Zeitpunkt eingegangen werden soll. In jedem Fall gilt es zu ergründen, weshalb sich ein bestimmter Parameter so extrem verändert hat, um die Ursache(n) dafür zu beseitigen und für die Zukunft Strategien zu entwickeln, die eine vergleichbare oder sogar identische Situation verhindern können (z.B. Kühlanlagen zur Kontrolle der Wassertemperatur im Sommer).

Nicht nur unmittelbare Schädwirkungen, die von einem bestimmten Inhaltsstoff ausgehen können, sondern auch die möglichen sekundären Auswirkungen spielen bei der Definition der potentiellen und absoluten Referenzbereiche eine Rolle. Magnesium ist hier als Hauptkomponente ein sehr gutes Beispiel. Ein Gehalt von 1500-1800 mg/L ist grundsätzlich von der akuten und direkten Wirkung von Magnesium auf marine Organismen nicht als schädlich zu bewerten, weil in diesem Bereich von Magnesium im Meerwasser keine physiologisch relevante Gefahr ausgeht. In der Regel steigt der Magnesiumgehalt im Wasser jedoch nur durch eine übertriebene Magnesium Zufuhr an, so dass parallel zur Magnesium Dosierung auch ein erhöhter Chlorid- oder Sulfateintrag (je nach verwendetem Magnesiumsalz) vermutet werden muss, was langfristig ein Ionenungleichgewicht zur Folge hat. Dieses Ungleichgewicht wiederum ist als sekundäres Ereignis für das Riffaquarium potentiell kritisch. Daher wird Magnesium mit einem Gehalt von 1500-1800 mg/L als potentiell und mit > 1800 mg/L als absolut kritisch ausgewiesen, obwohl von Magnesium selbst vermutlich unmittelbar gar keine Gefahr ausgeht.

Natürlich spielt bei einer Schädwirkung immer auch die Dauer der jeweiligen Belastung eine maßgebliche Rolle. So bleibt ein kurzfristiger Abfall z.B. in der Karbonathärte (KH) auf < 6°dKH in der Regel folgenlos, sofern der Wert innerhalb von 24 h wieder auf ein normales Niveau angehoben wird und keine empfindlichen z.B. *Acropora* Arten (wie z.B. *Acropora echinata*) im Becken gepflegt werden, die KH Defizite i.d.R. nicht gut vertragen. Eine dauerhaft zu niedrige KH im genannten Bereich < 6°dKH wird sich aber sehr wahrscheinlich auf alle SPS-Steinkorallen und auch auf Kalkrotalgen negativ auswirken, wenngleich diese gegenüber kurzfristigen Schwankungen meistens unempfindlich sind. Je länger ein kritisches Defizit oder ein kritischer Überschuss besteht, desto größer ist auch die Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich damit zusammenhängende Probleme im Aquarium abzeichnen.

In den untenstehenden Referenzwert-Tabellen sind für einige Inhaltsstoffe hinter den potentiell und absolut kritischen Werten Fragezeichen (?) angeführt, was bedeutet soll, dass die unmittelbaren, aber auch die möglichen sekundären Auswirkungen nicht einheitlich und genau benannt werden können, oder sogar gänzlich unbekannt sind. Es werden hier dennoch Referenzbereiche definiert, weil auch bei unbekanntem Schädwirkungen davon ausgegangen werden muss, dass praktisch relevante Störungen vorliegen, z.B. durch eine falsch gemischte Meersalzcharge, durch belastetes Ausgangswasser oder durch eine beginnende Korrosion an Metallverbindungen im oder in der Nähe des Meerwasseraquariums.

Hinsichtlich möglicher Schadwirkungen sind langfristige Beobachtungen und Erfahrungen im praktischen Betrieb von Meerwasseraquarien, wie auch wissenschaftliche Untersuchungen natürlich sehr wichtig, um für bestimmte Inhaltsstoffe genauere Angaben bereit zu stellen. Daher ist anzunehmen, dass über die Zeit die Referenzwert-Tabellen immer wieder aktualisiert und präzisiert werden, worauf in den jeweiligen updates der SEA-Z dann explizit hingewiesen wird. Auch die Referenzwertbereiche in den verschiedenen Laborprotokollen ändern sich über die Zeit immer wieder einmal, weil sich Erfahrung und Wissen innerhalb unserer Branche mit zunehmender Zahl an Meerwasseruntersuchungen, v.a. in Anlehnung an bestehende Probleme im Aquarium und deren diagnostische Aufarbeitung in der Fachberatung anreichert.

Referenzwerte für physikalisch-chemische Parameter

Die physikalisch-chemischen Parameter, die für den praktischen Betrieb eines Meerwasseraquariums erfasst und regelmässig kontrolliert werden müssen, sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt. Insbesondere die Salinität ist ein dauerhaft zu kontrollierender Parameter, der wie bereits erörtert für die quantitative Beurteilung und Interpretation aller Hauptkomponenten als Bezugspunkt relevant ist. Dabei spielt für alle praktischen Messverfahren der Salinität stets die zum Zeitpunkt der Salinitätsbestimmung geltende Wassertemperatur eine wichtige Rolle, weil alle dazu anwendbaren Methoden, wie z.B. die Bestimmung der Dichte mit einer Spindel oder einem Aerometer, des Brechungsindex über ein Refraktometer sowie die Leitfähigkeit allesamt temperaturabhängig sind. Dabei wird die Salinität stets aus diesen indirekten Messverfahren unter Berücksichtigung der Wassertemperatur umgerechnet bzw. ist in Tabellen ablesbar. Wenn also z.B. die Dichte gemessen wird, muss gleichzeitig auch die Wassertemperatur gemessen und aus beiden Werten die Salinität bestimmt werden. Ohne Angabe der Wassertemperatur ist die Angabe der Dichte praktisch nutzlos. Gleiches gilt natürlich auch für die Leitfähigkeit bzw. die Messung mit Refraktometer, allerdings sind diese Messverfahren i.d.R. vor allem bei der elektronischen Messung temperaturkompensiert, so dass die Wassertemperatur bereits in der Angabe der Salinität berücksichtigt ist.

Neben der Wassertemperatur und der Salinität sind darüber hinaus auch der pH-Wert sowie die Alkalinität/Karbonathärte wichtige Parameter, die regelmässig überprüft werden müssen, insbesondere die Alkalinität, die sich bei kontinuierlichem Steinkorallen- und Kalkrotalgenwachstum zusammen mit Calcium äußerst dynamisch verhält und im Rahmen der Kalkhaushalt-Stabilisierung konstant gehalten werden muss.

Parameter	Empfohlener Referenzwert	Referenzbereich	Potentiell kritischer Bereich	Absolut kritischer Bereich
Wasser-Temperatur ($T_{aq.}$)	25°C	23-27°C	21-22°C 28-30°C	< 21°C >30°C
Salinität (S)	35 psu	33-36 psu	31-32 psu 37-38 psu	< 31 psu > 38 psu
pH-Wert	8,3	8,0-8,4	7,7-7,9	< 7,7

			8,5-8,6	> 8,6
Karbonathärte (KH)	7,2°dKH	6,8 – 8,0°dKH	6,0-6,7°dKH 8,1-10,0°dKH	< 6°dKH > 10°dKH

Referenzwerte für Hauptkomponenten/Makroelemente (Inhaltsstoffe > 1 mg/L)

Die Hauptkomponenten im Meerwasser sind zunächst über das verwendete Meersalz bzw. das Meerwasser (bei Konzentraten oder natürlichem Seewasser) definiert. Mit der heute gängigen ICP-OES Analytik kann jedes Meersalz und Meerwasser anorganisch quantitativ im Labor überprüft werden, so dass Unstimmigkeiten in der Rezeptur bzw. in der Salzmischung (Charge) schnell erkannt werden können.

Während Natrium, Chlorid und Schwefel als dominierende Makroelemente, sowie Bromid sehr stabil sind und wenn überhaupt nur durch nicht Ionen-balancierte Kalkhaushalt-Stabilisierungsmethoden über die Zeit veränderlich sind (vgl. Kapitel → [Wasserwechsel](#)), verhalten sich vor allem die Kalkhaushalt-Elemente Calcium und Strontium und damit zusammenhängend auch Fluorid (wird in signifikanten Mengen in das Kalkskelett eingelagert) als äußerst dynamische Parameter, gefolgt von Magnesium, Kalium und Bor. Daher sind vor allem für die genannten Dynamik-Parameter regelmässige Kontrollmessungen wichtig. Das im Kalkhaushalt relevante Element Calcium und die Karbonathärte als physikalisch-chemischer Parameter müssen am besten wöchentlich zuhause überprüft werden (in jungen Aquarien und bei Einsteigern i.d.R. auch häufiger z.B. alle drei Tage), für alle anderen Hauptkomponenten ist eine z.B. quartalsweise Überprüfung mittels ICP-OES im Labor empfehlenswert.

Inhaltsstoff bei S=35 psu	Empfohlener Referenzwert	Referenzbereich	Potentiell kritischer Bereich	Absolut kritischer Bereich
Chlorid (Cl ⁻)	19500 mg/L	19000-20000 mg/L	18050-18900 20100-20950	< 18000 mg/L > 21000 mg/L
Natrium (Na)	10700 mg/L	10400-11000 mg/L	10000-10350 11050-11400	< 10000 mg/L > 11400 mg/L
Schwefel (S)	900 mg/L	850-950 mg/L	650 - 800 mg/L 965-1065 mg/L	< 650 mg/L(?) > 1065 mg/L
als Sulfat (SO ₄)	2700 mg/L	2550-2850 mg/L	1950 - 2400 2900-3200 mg/L	< 1950 mg/L(?) > 3200 mg/L
Magnesium (Mg)	1300 mg/L	1200-1450 mg/L	1000-1150 mg/L 1500-1800 mg/L	< 1000 mg/L > 1800 mg/L
Calcium (Ca)	420 mg/L	400-445 mg/L	380-395 mg/L 450-500 mg/L	< 380 mg/L > 500 mg/L
Kalium (K)	395 mg/L	385-420 mg/L	360-380 mg/L 425-500 mg/L	< 360 mg/L > 500 mg/L

Brom/Bromid (Br)	65 mg/L	55-80 mg/L	35-50 mg/L 85-95 mg/L	< 30 mg/L > 100 mg/L (?)
Strontium (Sr)	8 mg/L	6,5-9,5 mg/L	4,0-6,0 mg/L 10-12 mg/L	< 4 mg/L > 12 mg/L (?)
Bor (B)	4,5 mg/L	3,8-5,9 mg/L	3,0-3,7 mg/L 6,0-7,5 mg/L	< 3 mg/L > 8 mg/L
Fluor/Fluorid (F)	1,2 mg/L	0,8-1,6 mg/L	0,4-0,75 mg/L > 2 mg/L (?)	< 0,4 mg/L

Referenzwerte für NebenkompONENTEN/Mikroelemente/Spurenstoffe (Inhaltsstoffe < 1 mg/L)

Mit Ausnahme von z.B. Iod, dessen Gehalt im natürlichen Meerwasser i.d.R. sehr konstant und reproduzierbar ist, muss die Definition von Referenzwerten und Referenzbereichen für fast alle anderen Spurenstoffe stets als absolut subjektiv verstanden werden, weil in der Natur je nach Standort und Zeitpunkt eine Variabilität besteht.

Vor allem was die potentielle Schadstoffwirkung von Spurenmetallen und anderen möglichen Mikroelementen wie Zinn, Antimon oder Lithium angeht, sind die Übergänge fließend und in Abhängigkeit von weiteren Problemfaktoren im Riffaquarium äußerst individuell. Erschwerend kommt hinzu, dass die möglichen Schadstoffwirkungen und die dahinter liegenden Mechanismen auf Ebene der Organismen weitestgehend unbekannt sind und daher die Referenzbereiche nur aus der praktischen Erfahrung abgeleitet werden können. Dementsprechend lassen sich in der untenstehenden Tabelle an vielen Stellen Fragezeichen (?) finden, wenn es darum geht, z.B. einen potentiell oder sogar einen absolut kritischen Wert festzulegen.

Für die meisten Spurenstoffe, v.a. die physiologisch relevanten Spurenmetalle, werden hier in den SEA-Z ganz bewusst keine spezifischen Referenzwerte empfohlen. Auch im Referenzbereich wird ein nicht nachweisbarer Messbefund (n.n.) nicht als grundsätzlich kritisch definiert. Die biologische Verfügbarkeit und auch die Verwertung von Nähr- und Spurenstoffen kann auf ganz unterschiedlichen Konzentrations-Level erfolgen. Erfahrungsgemäss implizieren definierte Referenzwerte für Nähr- und Spurenstoffe für den Betrachter eine globale Notwendigkeit, dass dieser Referenzwert auch so eingestellt werden muss. Kommerzielle Versorgungssysteme, die ihre Nähr- und Spurenmetalle mit Einzelsupplementen in Anlehnung an regelmässige Laboranalysen zuführen, und dabei systemspezifische „Sollwerte“ definieren, benötigen zur Berechnung der Supplementierung natürlich entsprechende Beträge. Jedes Labor und jeder Hersteller kann hier ganz individuell und subjektiv die Notwendigkeit für eine Supplementierung festlegen. Im SANGOKAI System sind jedoch auch nicht nachweisbare Messwerte im Spurenmetallbereich zulässig, sofern das Aquarium keine Mangelsymptome zeigt, weil über das SANGOKAI System eine tägliche Versorgung gewährleistet ist.

Viele Aquarianer beurteilen einen nicht nachweisbaren Messwert im Nähr- und Spurenmetallbereich sehr oft unbegründet automatisch als einen Mangel oder eine Wachstumslimitierung, v.a. dann, wenn das jeweilige Labor einen solchen Messwert mit einem

Ampelsystem oder auch in einer anderen Darstellung subjektiv als kritisch bewertet. Das Labor sieht letztlich nur das Wasser und kann dieses analysieren und im Rahmen seiner Messmöglichkeiten entweder einen bestimmten Messwert tatsächlich quantitativ ausgeben, oder kann den Parameter als nicht nachweisbar deklarieren. Das Aquarium selbst schaut sich das Labor jedoch in den meisten Fällen nicht gleichzeitig an.

Nicht nachweisbar bedeutet, wie bereits erörtert wurde, keinen grundsätzlichen Mangel. Es wird lediglich die Aussage getroffen, dass der Messwert nicht bestimmbar ist, weil er außerhalb einer kalibrierten Messskala liegt, für die im Messverfahren eine statistische Absicherung gegeben ist, dass der Wert auch stimmt und reproduzierbar ist. Liegt der Messwert unter oder über dem kalibrierten Messbereich, ist eine Quantifizierung faktisch nicht möglich. Daher sind insbesondere ICP OES Laboranalysen sehr gut dazu geeignet, vorliegende und messbare Überschüsse und Anreicherungen anzuzeigen, jedoch nicht, um Mangelzustände faktisch aufzuzeigen, was letztlich nur das Aquarium selbst kann, in dem es spezifische Mangelsymptome anzeigt. Ein Mangel wird sich immer sichtbar negativ im Aquarium darstellen. Solange also das Aquarium gesund ist und keine Mangelsymptome zeigt, ist auch ein nicht nachweisbarer Messwert im Spurenmetallbereich im SANGOKAI System völlig legitim, v.a. deshalb, weil eine tägliche Versorgung über das SANGOKAI Produktsystem gewährleistet ist.

Natürlich sind nicht nachweisbare Messwerte für Nähr- und Spurenstoffe in akuten Problemsituationen nützliche Hinweise darauf, dass tatsächlich eine nicht optimale oder sogar nicht ausreichende Verfügbarkeit vorliegen kann, v.a. dann, wenn in der riffaquaristischen Praxis aus welchen Gründen auch immer gar keine Nähr- und Spurenstoffversorgung zur Anwendung kommt. Allerdings kann nur eine praktische Überprüfung aufklären, ob die bestehende Problemursache in einer Mangelsituation zu finden ist, in dem eine gezielte Dosierung über eine gewisse Zeit (z.B. 3 Tage in Folge) in einer bestimmten, aber nicht übertriebenen Menge durchgeführt wird.

Im Falle einer tatsächlich praktisch bestehenden Spurenmetall-Mangelsituation wird das Riffaquarium innerhalb weniger Tage positiv auf die Zufuhr reagieren. Auch in offensichtlich gesunden Riffaquarien kann bei einem vorliegenden Laborbefund, in dem die Spurenmetalle insgesamt nicht nachweisbar sind, mit einer zusätzlichen Dosierung einer Spurenmetall-Lösung oder mit Einzelsupplementen (im SANGOKAI System z.B. eine Extra-Dosis von BASIS/HED SPS/NRG #2 mit 1 mL pro 100 L zusätzlich zur regulären Tagesdosis) überprüft werden, ob das Riffaquarium positiv auf diese Dosis reagiert. Ist eine positive Reaktion praktisch sichtbar (z.B. Verbesserung in der Korallenausfärbung oder im Polypenbild, ggf. auch sichtbare Verbesserung des Wachstums an Korallen oder Kalkrotalgen), kann eine Erhöhung der Tagesdosis, oder auch eine regelmäßige Extra-Dosis einmal wöchentlich sinnvoll sein, weil das Aquarium mit der positiven Reaktion anzeigt, dass keine ganz optimale Verfügbarkeit vorliegt. Aus diesem Grunde ist im SANGOKAI System auch die anorganische Spurenmetall-Dosierung von der organischen Nährstoffversorgung entkoppelt (außer im NANO BASIS System). Reagiert das Riffaquarium jedoch nicht merklich auf eine zusätzliche Nähr- oder Spurenstoffdosierung, ist die Wahrscheinlichkeit sehr groß, dass das bestehende Problem zumindest nicht in der Hauptsache in diesem Bereich verursacht liegen. Die Analyse hat also einen Hinweis geliefert, der sich jedoch

praktisch nicht bestätigen lässt. Hier macht dann eine weitere und übertriebene Dosierung wenig Sinn und kann unter Umständen (z.B. Ausfällung mit Depotbildung) langfristig nachteilig oder gar schädlich für das gesamte Aquariumsystem sein.

Was ebenfalls oft zu Verwirrung führt, ist der Fall, wenn ein Labor einen Messwert für ein bestimmtes Spurenmetall als zu niedrig, und ein anderes Labor den gleichen Messwert als zu hoch bewertet. Hier zeigt sich dann ganz klar die Subjektivität in der qualitativen Beurteilung. Natürlich sollte jeder Anwender den Referenzwerten folgen, die für das genutzte System vom Hersteller vorgegeben ist, um das System optimal anzuwenden. Global anwendbar sind also von Laboratorien oder von Herstellern definierte Referenzbereiche grundsätzlich nicht.

Spurenstoff	Empfohlener Referenzwert	Referenzbereich	Potentiell kritischer Bereich	Absolut kritischer Bereich
Silicium (Si)	keiner	n.n.-300 µg/L	350-1000 µg/L	> 1000 µg/L
Lithium (Li)	keiner	n.n.-450 µg/L	500-1000 µg/L	> 1000 µg/L
Aluminium (Al)	keiner	n.n.-50 µg/L	60-90 µg/L	> 100 µg/L
Iod (I)	65 µg/L (0,065 mg/L)	55-75 µg/L	20-50 µg/L 80-120 µg/L	< 20 µg/L > 130 µg/L
Barium (Ba)	keiner	n.n.-75 µg/L	80-150 µg/L (?)	> 150 µg/L (?)
Molybdän (Mo)	12 µg/L	8-20 µg/L	4,5-7,5 µg/L 21-40 µg/L	< 4 µg/L > 40 µg/L (?)
Eisen (Fe)	keiner	n.n.-2 µg/L	Anreicherung kaum möglich durch Fällung, außer in Rieselhilfsmittel!	
Mangan (Mn)	keiner	n.n.-2 µg/L		
Zink (Zn)	keiner	n.n.-3 µg/L	> 10 µg/L	?
Vanadium (V)	keiner	n.n.-3 µg/L	> 8 µg/L	?
Nickel (Ni)	keiner	n.n.-2,5 µg/L	> 8 µg/L	?
Kupfer (Cu)	keiner	n.n.-1,5 µg/L	> 7 µg/L	?
Chrom (Cr)	keiner	n.n.-0,5 µg/L	> 4 µg/L	?
Cobalt (Co)	keiner	n.n.-0,5 µg/L	> 4 µg/L	?
Antimon (Sb)	keiner	n.n.	3-9 µg/L	> 10 µg/L
Zinn (Sn)	keiner	n.n.	> 10 µg/L	?

Wasserwechsel

Der Wasserwechsel (WW) ist eine seit Anbeginn der Aquaristik angewendete Praxis zur Aufrechterhaltung einer möglichst optimalen Wasserqualität. Innerhalb der riffaquaristischen Disziplin hat sich die Notwendigkeit für einen WW in den letzten Jahren immer mehr zu einem Diskussionsthema entwickelt, nicht zuletzt deshalb, weil Hersteller und Entwickler verschiedener Versorgungssysteme die Notwendigkeit für einen WW individuell unterschiedlich, d.h. direkt

angelehnt an die Funktion und Wirkung ihrer Produkte, erörtern. Allerdings wurde die Funktion des WW als praktische Routinemaßnahme für den Betrieb eines Meerwasseraquariums auch schon in der älteren Meerwasseraquaristik Literatur, z.B. in Büchern und Artikeln der 1970er-1990er Jahre, sehr unterschiedlich definiert und bewertet. Interessanterweise erkennen wir hierbei über die verschiedenen Dekaden hinweg eine Wandlung in der vordergründigen Funktion eines WW. Das über Jahrzehnte hinweg allgemeine Unkenntnis über analytisch-faktische Details hinsichtlich der Zusammensetzung unseres Meerwassers herrschte, ist dabei, wie wir in diesem Kapitel noch sehen werden, kein ganz irrelevanter Punkt.

Während in den sehr nährstoffreichen und von Fischen dominierten Meerwasseraquarien der 1970er und 1980er Jahre v.a. der Aspekt der Nähr- und Schadstoffverdünnung (Ammonium, NH_4^+ und Nitrit, NO_2^-) vordergründig eine Rolle spielte, erfuhr der Wasserwechsel (WW) als potentieller Spuren- und Mineralstofflieferant seit der frühen 1990er und v.a. der 2000er Jahre, einhergehend mit der Vorliebe für die Steinkorallenpflege, eine erweiterte Bedeutung.

Seit etwa 2010 sind uns durch eine professionelle und laborbasierte Meerwasseranalytik umfangreichere Möglichkeiten zur faktischen Beurteilung unseres Meerwassers zugänglich geworden. Hier sind als Vorreiter PETER GILBERS von der Gilbers Umwelttechnik/Oberhausen (insbesondere Ionenchromatographie und Photometrie), sowie EHSAN DASHTI von der Firma Triton GmbH/Düsseldorf (Vorreiter im Bereich der ICP-OES, inductively coupled plasma mit optischer Emissions-Spektrometrie) anerkennend zu nennen. Eine quantitative Meerwasseranalytik, die mittlerweile von verschiedenen Anbietern durchgeführt wird, zeigt uns nicht nur den aktuellen IST-Zustand des Meerwassers auf, sondern ist v.a. über die Zeit sehr gut dazu geeignet, die Veränderungen in der Meerwasserkomposition tendenziell zu verfolgen (Stichwort „Monitoring“).

Die moderne Entwicklung der Meerwasseranalytik in unserer jetzigen riffaquaristischen Epoche hat bedeutenden Einfluss auf die Funktion des Wasserwechsels (WW), der nun vorrangig eine praktische Maßnahme ist, um „optimales“ Meerwasser herzustellen und diesen Zustand langfristig zu erhalten. Die kontinuierliche, d.h. langfristige Verdünnung von Nähr- und Schadstoffen ist heute kein vordergründiges Thema mehr, im Gegenteil, sogar u.U. ein kontraproduktiver Aspekt des WW, der im weiteren Verlauf noch erläutert wird, und auch die Versorgung mit Nähr- und Spurenstoffen sowie Mineralstoffen wie Calcium und Carbonaten, ist durch moderne und effiziente Versorgungssysteme kaum mehr ein relevanter Aspekt, den ein WW funktionell übernehmen müsste. Dazu später mehr.

Wir stehen, v.a. als direkte Folge der positiven Entwicklungen in der Meerwasseranalytik, nach all diesen meerwasseraquaristischen Epochen derzeit an einem Punkt, an dem der WW als praktische Routinemaßnahme mehr und mehr an Bedeutung einbüßt, weil wir die Qualität unseres Meerwassers nun sowohl in einem akzeptablen zeitlichen wie auch finanziellen Rahmen überprüfen können. Nichtsdestotrotz hat der WW in verschiedenen Situationen und Szenarien nach wie vor seine Berechtigung und unter geeigneten Voraussetzungen auch eine positive Wirkung. Diese Szenarien gilt es im Weiteren zu benennen und genauer zu betrachten.

Wir müssen jedoch, schlussfolgernd aus der obigen historischen Entwicklung, konstatieren, dass sich nur anhand der funktionellen Wirkung auf ein individuelles Riffaquarium beurteilen lässt, ob ein Wasserwechsel im Einzelfall Sinn macht oder nicht. Eine globale und v.a. über die Zeit

uneingeschränkt gültige Empfehlung für den Wasserwechsel als praktische Routine in der Riffaquaristik ist unter heutigen Bedingungen, v.a. bedingt durch die verschiedenen Versorgungssysteme, weder notwendig, noch sinnvoll und wird daher hier auch nicht im Speziellen genannt, mit Ausnahme konkreter Empfehlungen für den Einsteiger am Ende des Kapitels. Im SANGOKAI System ist der Routinewasserwechsel grundsätzlich eine Entscheidung, die der Anwender selbst treffen kann, sofern keine Indikation für einen Wasserwechsel vorliegt, z.B. bei akuten Schadstoffbelastungen oder bei Ungleichgewichten in der Meerwasserzusammensetzung.

Bevor im weiteren Verlauf dieses Kapitels die ganz allgemeinen Aufgaben- und Funktionsbereiche des Wasserwechsels im Riffaquarium erörtert werden, um eine solide Basis für individuelle Empfehlungen und problembezogene Entscheidungen zu schaffen, soll zunächst die Qualität des Meersalzes kurz thematisch umrissen werden.

Optimales Meersalz

Der Wasserwechsel hängt in seinen grundsätzlichen Auswirkungen auf ein Riffaquarium zunächst von der Beschaffenheit des verwendeten Meerwassers ab, d.h. von der Zusammensetzung und der Reinheit aller verwendeter Ausgangsstoffe. Dies sind das Ausgangswasser, sowie das darin gelöste Meersalz. Wir müssen allerdings heute auch natürliches Seewasser (NSW) und Meerwasser-Konzentrate nennen, die ebenfalls in den letzten Jahren mehr und mehr Präsenz und Beachtung im Handel gefunden haben. Meerwasser, egal ob synthetisch hergestellt oder aus natürlichen Ressourcen, ist ein sehr spezielles „Produkt“, auf das wir in der Riffaquaristik angewiesen sind, dessen Qualität wir aber lange Jahre ungenügend und erst seit einigen Jahren durch quantitative Analysen faktisch bewerten und kontrollieren können.

Grundsätzlich sollten wir bestrebt sein, für unser Riffaquarium „bestmögliche“ Bedingungen zu schaffen. Diese Aussage ist relativ, weil jeder Organismus trotz der gleichen Herkunft (Korallenriff) oder des gleichen Lebensraumes (Biotop) unterschiedliche Einstellungen in den Umgebungsbedingungen als für sich ideal betrachten würde. Im Allgemeinen wird in der Meerwasseraquaristik die natürliche Meerwasserzusammensetzung als der „bestmögliche Zustand des Wassers“ definiert. Nichtsdestotrotz können bewusste Modifikationen am Meerwasser auch für uns bessere Bedingungen schaffen, zumindest in bestimmten Aspekten der Riffaquariumpflege. Wir wissen z.B., dass sich in manchen Riffaquarien je nach Besatz durch einen leicht erhöhten Calcium- oder Carbonatgehalt oder auch durch moderat erhöhte Spurenmetallkonzentrationen bestimmter Elemente individuell bessere Ergebnisse erzielen lassen, z.B. hinsichtlich Wachstum und Ausfärbung von Korallen. Gleichzeitig können andere Organismen unter solchen Modifikationen leiden. Ein sehr komplexes und schwer diskutierbares, aber gerade deshalb auch spannendes Thema.

Subjektive und nicht verifizierte, d.h. unwissenschaftliche Beobachtungen aus der riffaquaristischen Praxis und ihre Verbreitung, daneben aber auch fundierte riffaquaristische Forschung, führten dazu, dass viele Meersalzhersteller die Zusammensetzung ihrer Meersalze im Vergleich zu natürlichen Referenzwerten mehr oder weniger stark abgeändert haben, teils mit

guten Resultaten, oft aber auch mit schlechten Auswirkungen auf das Riffaquarium. Wir können dadurch keine allgemein einheitlichen Bedingungen für Riffaquarien in verschiedenen Haushalten schaffen, weil der Markt für Meersalze in den letzten zehn Jahren sehr groß und das Angebot an verschiedenen Produkten dementsprechend umfangreich geworden ist. Aber selbst bei natürlichem Seewasser (NSW) zeigen die neuerdings verfügbaren ICP-OES basierten Laboranalysen je nach Jahreszeit, Entnahmeort und ggf. auch Lagerung und Alter in vielen Parametern deutliche Schwankungen und Abweichungen von den referenzierten Lehrbuchwerten an.

Es stellt sich also in der riffaquaristischen Praxis generell die Frage, ob wir mit einer bestimmten Salzsorte überhaupt Erfolg haben können, und ob wir bei einer angenommen optimal eingestellten Meerwasserzusammensetzung im Riffaquarium mit einem Wasserwechsel (WW) unter Verwendung einer schlechten Meersalzmischung nicht sogar ungünstige Veränderungen erzeugen und die Bedingungen im Riffaquarium dadurch verschlechtern, statt sie, wie gewünscht und meist angenommen, zu verbessern. Diese Frage lässt sich heute durch laborbasierte Analysen der anorganischen Inhaltsstoffe im Meerwasser faktisch beantworten und unterliegt keiner subjektiven und daher fehlerbehafteten Meinung einzelner Riffaquarianer mehr, die auf ein bestimmtes Salz „schwören“. Die Schwierigkeit liegt vielmehr darin, eine zuverlässige Quelle für synthetisches Meersalz zu finden, das nicht nur eine sehr gute Reinheit aufweist, sondern auch eine für unsere Bedürfnisse angepasste Rezeptur aufweist, ohne übertrieben hohe Werte im Bereich Calcium-, Magnesium und der KH und, was v.a. für den Einsteiger ein relevanter Aspekt ist, ohne unklaren Zuschlag von organischen Wirkstoffen. Vergleichbare Anforderungen stellen sich für natürliches Seewasser (NSW), das hinsichtlich Salinität und ggf. Umweltbelastung ebenso seriös und fachlich korrekt kontrolliert und vertrieben werden muss wie synthetisches Meersalz.

Leider werden im Handel häufig günstige Meersalze offeriert und auch von Riffaquarianern aus Kostengründen gekauft, die in den meisten Fällen mangelhaft konzipiert, schlecht gemahlen und unvollständig gemischt sind, selten einer individuellen Qualitätskontrolle und Laborüberprüfung unterzogen sind und zudem eine teils ungenügende chemische Reinheit aufweisen. **Wenn qualitativ hochwertiges Meersalz für das individuelle Riffaquarium zu teuer ist, sollte idealerweise ein kleineres Riffaquarium geplant und gepflegt werden, das in den Nebenkosten problemlos mit Qualitätsprodukten finanzierbar ist.**

Es ist jedoch niemals zu spät, um von einem mangelhaften Meersalz auf eine sehr gute und hochwertige Meersalzmischung umzusteigen, um die Umgebungsbedingungen für die im Aquarium gepflegten Organismen schnellstmöglich zu verbessern und nachhaltig gute Bedingungen für eine erfolgreiche Riffaquariumpflege zu etablieren.

Für das SANGOKAI Riffaquarium empfehlen sich Meersalze mit möglichst naturnahen Messwerten, keine übertrieben erhöhten Werte für Calcium, Magnesium und KH/Alkalinität, sowie ohne jegliche organische oder biotische Zuschlagsstoffe, die eine bessere Riffaquariumpflege propagieren, aber in der aktuellen Meerwasseranalytik nicht oder schlecht laborkontrollierbar sind

und deren Auswirkungen auf das Gesamtaquariensystem unklar sind. Eine Meersalzmischung sollte grundsätzlich für ein SANGOKAI Meerwasseraquarium rein anorganisch und damit im Labor überprüfbar sein.

Export-Maßnahme für überschüssige (Schad-)Stoffe

Heute wie schon vor 50 Jahren ist diese Funktion ein Hauptargument für den Wasserwechsel, wenn Bedarf besteht, einen oder mehrere Inhaltsstoffe in zu hoher Konzentration aus dem Beckenwasser zu entfernen. Auch als Prophylaxe wird diese Funktion gerne empfohlen, um eine Anreicherung z.B. von Nitrat oder Phosphat gar nicht erst auf ein kritisches Level voranschreiten zu lassen, was jedoch wenig effizient ist und die eigentliche Problematik hinter dieser Anreicherung weder diagnostisch ergründet, noch praktisch behebt.

So einfach und verständlich das Prinzip der Stoffentfernung durch einen Wasseraustausch ist, sind dem Wasserwechsel (WW) hinsichtlich dieser Funktion durch den Verdünnungseffekt mathematisch nachvollziehbare, d.h. berechenbare Grenzen gesetzt. Es sei denn, man tauscht mehr oder weniger das gesamte Wasser auf einmal aus. Das geht bei kleinen Nano Becken bis ca. 100 L Beckenvolumen durchaus sehr gut und mittlerweile ist ein solcher Eingriff z.B. durch die Verfügbarkeit von natürlichem Seewasser (NSW) in „handlichen“ 25 L Kanistern oder durch synthetische Meerwasser-Konzentrate allenfalls ein finanzielles, aber kein unlösbares logistisches Problem.

Mit zunehmender Beckengröße wird jedoch das absolute Austauschvolumen relativ zum Beckenvolumen kleiner, weil es schlichtweg kaum möglich ist, im normalen Privathaushalt 500, 1000 oder >1000 L Meerwasser frisch aufzubereiten. Daher wird i.d.R. mit nur ca. 15-20% des Beckenvolumens als Austausch-/Wechselvolumen gearbeitet, um einen akut gefährdenden Stoff zu senken.

Mit jedem WW wird der angereicherte Stoff in seiner Konzentration im Wasser über das relative Austauschvolumen um genau diesen Prozentsatz gesenkt. Ein WW mit 20% Austauschvolumen senkt demnach auch z.B. den Nitratgehalt um genau 20%, weil gelöste Inhaltsstoffe homogen, d.h. gleichmäßig im Wasser verteilt sind. Ein darauffolgender zweiter WW wird dann nur den verbliebenen Anteil des angereicherten Stoffes erfassen können. Dadurch sinkt die Stoffkonzentration mit jeder Wiederholung des Wasserwechsels nicht linear (geradlinig), sondern nähert sich als immer flacher werdende Kurve der Nachweisgrenze an, wird aber niemals den mathematischen Zustand Null erreichen. Man nennt einen solchen Verlauf **asymptotisch**. Mit jedem weiteren WW wird man also immer weniger der Substanz erfassen, auch wenn das gewechselte Wasservolumen gleich bleibt.

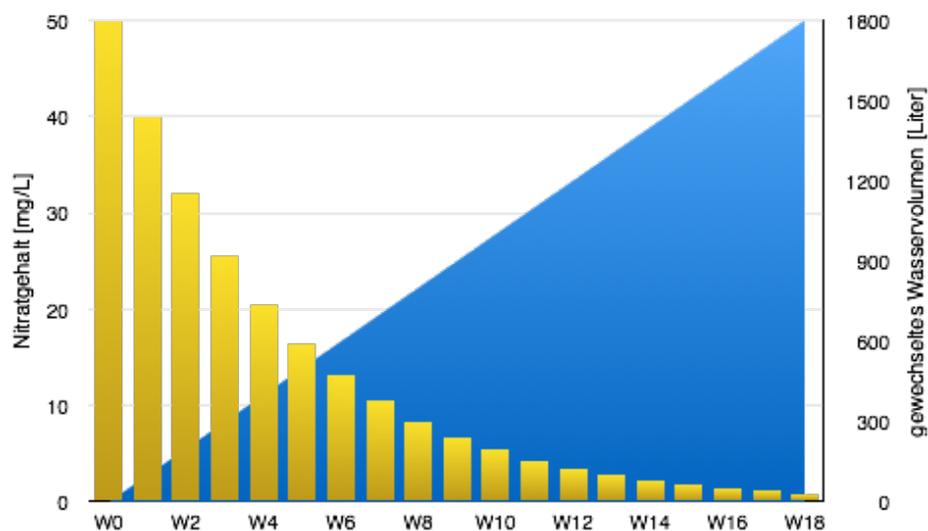
Betrachten wir ein 500 L Riffaquarium mit einem Ausgangsnitratgehalt von 50 mg/L, dann würde ein Wasserwechsel von 20% (= 100 L) genau 10 mg/L Nitrat entfernen und damit den Nitratgehalt von 50 mg/L auf 40 mg/L senken. Ein weiterer WW mit ebenfalls 20% Austauschvolumen könnte dann jedoch nicht mehr 10 mg/L Nitrat entfernen, sondern nur noch 8 mg/L (neuer Nitratgehalt 32

mg/L). Ein dritter WW mit gleicher Intensität würde nur noch 6,4 mg/L Nitrat entfernen und den Wert auf 25,6 mg/L senken.

Hier wird rechnerisch plausibel, dass wir insgesamt drei aufeinanderfolgende WW mit jeweils 20% Wasseraustausch durchführen müssen, um den Nitratgehalt auf ca. die Hälfte zu reduzieren. Für das exemplarische 500 L Becken sind dafür 300 L sauberes (d.h. Nitrat-freies!) Ausgangswasser nötig, sowie je nach Salzsorte ca. 11-12 kg Meersalz, um für das Frischwasser eine Salinität von 35 psu einzustellen. Nichtsdestotrotz bleiben immer noch 25 mg/L Nitrat im Wasser als Restmenge erhalten, die durch den mehrfachen Wasseraustausch gar nicht erfasst wurden.

Wenn wir das Rechenexempel weiter ausführen, dann müssten wir auf diese Art und Weise insgesamt 18 Wasserwechsel mit 20% Austauschvolumen in Folge durchführen, um den Nitratgehalt von ursprünglich 50 mg/L auf unter 1 mg/L zu senken. Dazu wären folglich 1800 L frisches Meerwasser und somit das 3,6-fache des eigentlichen Beckenvolumens (500 L) notwendig, vorausgesetzt, dass in der Zwischenzeit kein neues Nitrat im Becken entstanden ist oder neu hinzugefügt wurde.

Die folgende Grafik verdeutlicht diesen Verdünnungseffekt bei sich wiederholenden Wasserwechsel von 20% (100 L) für das exemplarische 500 L Riffbecken mit einem Ausgangsnitratgehalt von 50 mg/L (x-Achse Zeitpunkt W0). Dabei zeigt die linke y-Achse im gelben Balkendiagramm die Veränderung des Nitratgehalts mit zunehmenden Wasserwechsel (W) (x-Achse W1-W18). Die rechte y-Achse zeigt das gewechselte Wasservolumen als lineare Steigung, bzw. als aufsummiertes blaues Flächendiagramm über den selbigen Zeitraum (x-Achse W1-W18).



Anhand dieser Grafik wird sichtbar, dass sich hinsichtlich der Nitrat-Senkung die stärksten Veränderungen im Nitratgehalt nur innerhalb der ersten 3-4 Wasserwechsel ergeben. Danach flacht die Kurve derart stark ab, dass sich trotz des gleich gebliebenen Austauschvolumens relativ

betrachtet nur noch geringe Mengen Nitrat erfassen lassen. Gemäß der zugrundeliegenden Folge sind hier insgesamt 18 Wasserwechsel mit 20% Wechselvolumen nötig, um den Nitratgehalt unter 1 mg/L und damit in die Nähe der Nachweisgrenze kolorimetrischer Tests zu bringen.

Genau hier offenbart sich die Ineffizienz eines Wasserwechsels (WW) bei der Beseitigung von Schadstoffanreicherungen, wenn das zugrundeliegende Problem nicht gesucht und gelöst wird. Es ist schlichtweg zu teuer und zu aufwendig und kann daher nur als akute Notfallmaßnahme nützlich sein, um mit 3-4 WW in einem Abstand von jeweils 2-4 Tagen einen ursprünglich kritischen Wert auf ca. die Hälfte zu reduzieren. Dabei gilt es, mit einem einzigen Wasserwechsel so viel Wasser zu entnehmen und zu tauschen wie nur möglich, um die Effizienz des WW zu maximieren. Natürliches Seewasser (NSW) ist als sofort verwendbares Frischwasser zwar eine teure, aber auch bei guter und überprüfter Qualität (Salinität beachten!) eine durchaus nützliche und für den Anwender beruhigende Möglichkeit, weil die Wahrscheinlichkeit groß ist, dass dieses Wasser eine optimale Zusammensetzung bei gleichzeitig geringem Schadstoffgehalt und nicht vorhandener chemischer Aggressivität aufweist. Genauso gut kann man aber auch mit frisch angesetztem synthetischen Meerwasser arbeiten, sofern das verwendete Konzentrat bzw. Meersalz eine sehr gute Qualität besitzt. Wichtig ist letztlich, möglichst viel Wasser zu tauschen, damit der Verdünnungseffekt minimiert wird. Als langfristige Problemlösung zeigt sich der Wasserwechsel aber als wenig nützlich und ist tatsächlich dann ineffektiv, wenn es um die Zielsetzung geht, einen Schadstoff gänzlich aus dem Wasser zu entfernen, ein Komplettaustausch des Wassers aber nicht möglich ist.

Eine durch die moderne laborbasierte Analysetechnik aufgezeigte Problematik betrifft die Freisetzung und Akkumulation von potentiellen Schadstoffen, z.B. Lithium, Aluminium oder Schwermetalle durch manche Sorten oder Chargen künstlicher Dekorationsmaterialien, sowie durch einige zementbasierte Kleber. Hier kann eine je nach verwendeter Menge mehr oder weniger schnelle Freisetzung von z.B. Lithium ins Meerwasser stattfinden (vgl. [→ Gesamtdekorationsoberfläche](#), hier Ebene 1 der Interaktion von Gestaltungsmaterial mit dem umgebenden Wasser), die früher weniger stark zur Ausprägung kam, weil in der Vergangenheit der Routinewasserwechsel von ca. 10-15% pro Woche unter Umständen eine Akkumulation in potentiell schädigende Bereiche relativ gut kompensieren konnte. Lithium wird von SANGOKAI ab einer Konzentration von 500 µg/L als kritisch, und > 750 µg/L als potentiell schädigend angesehen. Heute treten Probleme mit schädigenden Lithium- oder auch Schwermetallkonzentrationen in einer gewissen Regelmäßigkeit auf, können aber durch die moderne Analytik schnell und zuverlässig erkannt werden. Es stellt sich also bei Verwendung solcher Materialien durchaus die Anforderung an einen Routinewasserwechsel, zumindest für die ersten 6-12 Monate (ggf. auch länger) nach der Einrichtung. Laboranalysen können die Entwicklung der Schadstoffanreicherungen aufzeigen, so dass die Notwendigkeit und daran angelehnt auch die Intensität für den Wasserwechsel individuell beurteilt werden kann.

SANGOKAI Empfehlung: Wenn eine oder mehrere Substanzen im Wasser akut negative Auswirkungen auf das Riffaquariumsystem haben, kann eine Folge von 3-4 Wasserwechsel (WW)

mit jeweils 15-20% Austauschvolumen im Abstand von 2-3 Tagen sinnvoll sein, um die Konzentration des Schadstoffs in etwa zu halbieren. Weitere Wasserwechsel sind darüber hinaus zunehmend ineffizient und können in Hinblick auf den geleisteten Aufwand und Materialeinsatz keinen zufriedenstellenden Folgeeffekt mehr erzeugen (siehe Grafik oben). Bei kleineren Aquarien kann je nach Möglichkeiten auch mehr Wasser auf einmal getauscht werden, z.B. in Nanoriffbecken bis zu 100%, womit der WW eine maximale Effektivität hätte. Ein solcher Maximaleingriff ist z.B. unter Verwendung von natürlichem Seewasser (NSW) auch praktisch gefahrlos möglich, sofern dieses eine laborgeprüfte Qualität mit optimaler Salinität aufweist. Mit einem sehr guten künstlichen Meersalz können i.d.R. 50% Wasser ohne grundsätzliche Gefährdung gewechselt werden, selbst höhere Intensitäten sind möglich.

Es muss verstanden werden, dass die hinter der Anreicherung stehende Problematik dabei nicht berücksichtigt wird und der Wasserwechsel keine Problemlösung darstellt, sondern nur eine kurzfristige Minderung der Symptome erreichen kann. Üblicherweise wird je nach Quelle und Freisetzung die Schadstoffkonzentration mehr oder weniger schnell wieder die Ausgangskonzentration erreichen. Wenn in einem solchen Fall eine Schadstofffreisetzung aus der Umgebung oder im Aquarium selbst stattfindet, die nicht beseitigt werden kann (z.B. im Falle von Lithium als Rücklösung aus Gestaltungsmaterial, oder eine schlecht messbare organische Belastung), ist der Wasserwechsel eine zwar wirtschaftlich aufwändige, aber notwendige Maßnahme zur Schadstoffkontrolle und sollte in einer individuellen Routine durchgeführt werden, solange Laboranalysen eine Schadstoffbelastung anzeigen, oder das Riffaquarium anderweitige Symptome zeigt, die auf eine allgemeine Schad-/Hemmstoffbelastung hinweisen.

Ergänzung von Haupt-, Spuren- und Mineralstoffen

Nach der Entnahme von Beckenwasser mitsamt der darin enthaltenen Inhaltsstoffe wird mit dem frischen Meerwasser beim Wasserwechsel (WW) wieder neues Material hinzugeführt. Hierbei sind zwei Aspekte relevant: zum einen geht es um die qualitative Zusammensetzung des entnommenen Wassers im Vergleich zum frischen Meerwasser, und zum anderen um die quantitative Wirkung des WW auf den Gehalt der verschiedenen Meerwasserinhaltsstoffe im Beckenwasser.

Qualitativ bedeutet zum Einen, dass ein potentieller Schadstoff in seiner Konzentration und damit verbundenen auch in der möglichen negativen Auswirkung gesenkt wird (vgl. vorherigen Abschnitt), zum Anderen aber auch, dass z.B. ein nicht im Beckenwasser vorhandener relevanter Inhaltsstoff mit dem neuem Frischwasser durch den Wasserwechsel (WW) zugeführt wird. Hätte man beispielsweise bislang eine Meersalzmischung genutzt, der Strontium als Inhaltsstoff fehlt, dann würde man bei einem Wechsel auf ein hochwertiges Meersalz, das Strontium in der natürlichen Konzentration von 8 mg/L enthält, dem Becken erstmalig Strontium hinzugeben. Natürlich erfolgt dies nur in dem relativen Rahmen, in dem Wasser getauscht wird. Um das Rechenbeispiel von oben nochmals zu bemühen, würde sich bei 20% WW an einem 500 L Becken die Masse an gelöstem Strontium in 100 L Frischwasser mit den übrigen 400 L Beckenwasser mischen. Da das Beckenwasser bisher kein Strontium enthielt, läge der Strontiumgehalt nach dem WW also lediglich bei einem Fünftel der Konzentration des frisch angesetzten Wassers, d.h. bei 1,6 mg/L. Nichtsdestotrotz würde das Becken durch den WW eine qualitative Steigerung erfahren,

weil jetzt Strontium mit 1,6 mg/L zumindest in geringer Menge verfügbar wäre und es vorher gänzlich fehlte. Vergleichbare Elemente wären Bor oder Fluor in den Hauptkomponenten, aber auch Spurenstoffe wie Iod, die in manchen Meersalzmischungen von mangelhafter Qualität oder durch Fehler im Herstellungsprozess gänzlich fehlen.

Wir betrachten hier die umgekehrte Wirkung zum vorangegangenen Abschnitt „**Wasserwechsel als Export-Maßnahme für überschüssige Stoffe**“: mit jedem Wasserwechsel würde die Strontiumkonzentration im Beckenwasser erhöht, bis der Gehalt sich irgendwann dem Wert des Meersalzes (wie exemplarisch angenommen 8 mg/L) annähert. Der Anstieg im Strontiumgehalt würde jedoch mit der Zeit zunehmend abflachen und asymptotisch mit nur sehr langsamer Annäherung an 8 mg/L verlaufen und diesen mathematisch absolut niemals erreichen. Der Grund dafür ist, dass mit jedem Wasserwechsel auch eine anteilige Menge Strontium wieder aus dem Aquarium entfernt wird. Nach dem Wasserwechsel wirkt dann nur der Differenzbetrag zwischen Austauschwasser und Frischwasser positiv auf den Strontiumgehalt im Beckenwasser. Dieser Differenzbetrag wird jedoch mit dem Anstieg im Aquariumwasser immer geringer. Auch hier gilt für diesen idealisierten Verlauf, dass sich Strontium im Riffaquarium durch keine chemischen, physikalischen oder biologischen Prozesse verbrauchen würde. Ein vollständiger Defizitausgleich wäre nur nach sehr vielen Wasserwechseln möglich, sodass eine separate Zufuhr von in diesem Fallbeispiel Strontium in Form von Strontiumchlorid-6-Hydrat effektiv und sinnvoller wäre.

Neben der qualitativen Wirkung eines hochwertigen Meersalzes auf die Wasserqualität ist der quantitative Aspekt bei einem Wasserwechsel für uns äußerst wichtig. Eine Erhöhung eines bestimmten Stoffes im Beckenwasser durch einen Wasserwechsel setzt voraus, dass die Konzentration im frischen Meerwasser höher ist als im Aquariumwasser. Umgekehrt würde ein Stoff im Aquariumwasser dann eine Verdünnung erfahren, wenn der Gehalt im Frischwasser vergleichsweise niedriger ist (vgl. „**Wasserwechsel als Export-Maßnahme**“). Hier sind z.B. Kalium, Brom, Strontium oder Bor häufige Problemelemente, weil manche Meersalzmischungen auf dem Markt dahingehend zu niedrige Werte aufweisen oder im schlechtesten Fall sogar für z.B. Strontium überhaupt keine Supplementation vorweisen können (siehe qualitativer Aspekt).

Wenn ein optimal eingestellter Borwert im Meerwasser durch einen Wasserwechsel (WW) verdünnt wird, dann kann der Wasserwechsel praktisch gesehen nicht als durchweg positiv gewertet werden, auch wenn andere Probleme ggf. dadurch verbessert werden. Viele Aquarianer passen Werte in ihrem Aquarium gezielt an, nehmen aber nicht wahr, dass sie diese mit ihrem Routinewasserwechsel kurzfristig schon wieder reduzieren. Es gilt also darauf zu achten, dass eine Meersalzmischung tatsächlich auch so beschaffen ist, dass sie eine optimale Meerwasserzusammensetzung beim WW nicht ungünstig verändert. Da Meerwasser eine sehr komplexe Mischung aus verschiedenen Stoffen/Elementen ist, stellt ein Wasserwechsel auch immer eine Gefahr dar, optimal eingestellte Werte unbemerkt zu verändern.

Es muss an dieser Stelle verstanden werden, dass bei einem Wasserwechsel (WW) im Meerwasser immer auch Salz entnommen wird und grundsätzlich alle homogen im Wasser verteilten Meerwasserinhaltsstoffe gleichermaßen und gleichzeitig entfernt werden. Wenn wir

einen wichtigen Mineralstoff wie z.B. Calcium betrachten, dann stellt die Entnahme von Beckenwasser im Zuge des WW immer auch ein Verlust an Calcium dar. Selbst wenn wir mit dem frischen Meerwasser wieder mehr Calcium zuführen würden, als vorher im Aquariumwasser vorhanden war, wird dennoch bereits vorhandenes wertvolles Calcium durch den WW entfernt und vermutlich im Altwasser entsorgt. Für eine für uns so wichtige Meerwasserkomponente wie Calcium, die wir im praktischen Alltag unbedingt stützen und stabilisieren müssen, ist diese Maßnahme faktisch und absolut betrachtet also eher nachteilig. Das bedeutet, dass ein WW grundsätzlich dann ineffizient ist, wenn es darum geht, einen bestimmten Stoff gezielt dem Riffaquarium zuzuführen, der auch schon im Aquariumwasser vorhanden ist, aber lediglich in einer zu geringen Konzentration vorliegt. In einem solchen Fall sollte also nur der fehlende Stoff ergänzt werden.

Beide, sowohl der qualitative, wie auch der quantitative Aspekt eines Wasserwechsels (WW), hatten historisch zur Folge, dass viele Riffaquarianer bis einschliesslich heute verschiedene Meersalzmischungen für den WW nutzen, um mögliche Defizite oder auch Überschüsse einer Substanz in einer Meersalzmischung durch ein anderes Meersalz zu kompensieren.

Wäre also in einem Meersalz kein oder zu wenig Bor enthalten, würde eine andere Salzsorte dieses Element beim nächsten Wasserwechsel womöglich zuführen. Der vermeintliche Vorteil neutralisiert sich aber, sobald im Wasserwechsel-Rhythmus erneut mit dem Salz Wasser gewechselt wird, dem Bor fehlt. Dann entfernt der WW wieder bereits dosiertes Bor aus dem Becken. Man kann dabei einen kurzweiligen Vorteil sehen, wenn zwischen den Wasserwechselintervallen etwas Bor verfügbar wird, bevor der Gehalt beim nächsten WW wieder verdünnt wird. Andererseits überwiegt der gravierende Nachteil, dass das Riffaquarium und seine Bewohner durch erzeugte Schwankungen in der Meerwasserkomposition dauerhaft gestresst und belastet werden können. In der Vergangenheit machten sich daher einige Meerwasseraquarianer die Mühe und verarbeiteten verschiedene Meersalze zu einem Verschnitt, um dem alternierenden Wechsel von einem Meersalz zum nächsten und den damit verbundenen Schwankungen vorzubeugen, was aber aufgrund der laboranalytischen Möglichkeiten von heute nicht nur wenig zeitgemäß, sondern sogar in hohem Maße überflüssig und kontraproduktiv ist. Es besteht schliesslich auch die Gefahr, dass dabei ein optimal und hochwertiges Meersalz durch ein anderes Meersalz signifikant verschlechtert wird.

Natürlich müssen wir die Argumentation zulassen, dass vor vielen Jahren die analytischen Möglichkeiten von heute fehlten, um die genaue Zusammensetzung eines bestimmten Salzes zu überprüfen und vorliegende Defizite im Wasser messbar zu erkennen. Auch technische Verfahren bei der Meersalzherstellung sind nicht mit früheren Zeiten vergleichbar, was die Zuverlässigkeit im Herstellungsprozess und damit auch das Vertrauen in die Hersteller heute auf ein anderes Niveau stellt. Mittlerweile ist es in qualifizierten Laboratorien, teilweise sogar mit Testkits zuhause, relativ einfach möglich, Meersalz in seiner Zusammensetzung, im Labor sogar bis hin zu den Spurenstoffen zu analysieren. Im Vergleich dazu gab es bis Ende der 1990er Jahre in Deutschland z.B. keinen Magnesium-Test, der sich erst danach mehr und mehr verbreitete. Das Wissen um solche Umstände sollte Verständnis dafür schaffen, dass in unseren Augen altmodische

Vorgehensweisen teilweise bis heute erhalten geblieben sind. Natürlich ist es nun längst an der Zeit, solche Dinge in Anlehnung an die jetzigen Bedingungen zu hinterfragen. Nichtsdestotrotz ist es noch nicht all zu lange her, das wir in Deutschland vielfach nicht dazu in der Lage waren, ein relativ simpel zu messendes Element wie Magnesium quantitativ im Meerwasser zu erfassen, geschweige denn so relevante Elemente wie Kalium, Bor oder Spurenstoffe wie Iod und verschiedene Spurenmetalle.

Wir können heute weitaus spezifischer und genauer arbeiten, als es noch zu Ende des vergangenen Jahrhunderts der Fall war. Der Wasserwechsel als Methode zur qualitativen wie auch quantitativen Zufuhr bestimmter Elemente hatte seinerzeit durchaus seine Rechtmäßigkeit, weil nicht bekannt war, was überhaupt in einem Meersalz vorhanden war und was mitunter auch im Aquarium fehlte. Wir sollten allerdings unter heutigen Bedingungen denken, argumentieren und dann auch konsequenterweise praktisch überprüfen, ob solche Methoden überhaupt noch zeitgemäß, d.h. zielführend und effektiv sind. Wir müssen nicht mehr drei oder mehr Salzsorten benutzen, um über die Zeit eine vernünftige und funktionierende Salzmischung zu erhalten. Die Gefahr dabei war und ist auch heute, dass Probleme durch eine akut fehlerhafte Salzcharge gar nicht an einem Salz festgemacht werden können. Nutzt man verschiedene Salzsorten gleichzeitig, wird die Suche aufwendiger, weil der Fehler in verschiedenen Verpackungen liegen kann. Auch wird der Fehler über eine gewisse Zeit verschleppt, weil eine grundlegend falsche Zusammensetzung nicht sofort im Becken erkennbar wird. Dadurch verlieren wir mit der Zeit den Überblick, wann die Probleme überhaupt zuerst aufgetreten sind und können dadurch oft auch keinen Rückschluss mehr auf eine Ursache in der Meersalzmischung ziehen. Während die Fehlersuche im Bereich der Meerwasserzusammensetzung heute durch Laboranalysen kein grundsätzlich hoher Aufwand mehr ist, waren früher solche Probleme schwer zu diagnostizieren.

Neben dieser Argumentation bezüglich der Fehleranalyse spricht aber v.a. die Konstanz in der Meerwasserzusammensetzung über die Zeit dafür, nur eine einzige und im Idealfall laboranalytisch kontrollierte Salzsorte zu verwenden. Der Salzwechsel erzeugt ganz allgemein betrachtet Schwankungen, die aus unterschiedlichen Rezepturen und ggf. auch Reinheitsqualitäten resultieren und die sich in dieser Intensität im natürlichen Meerwasser akut nicht ergeben. Schwankungen zwischen verschiedenen Salzchargen einer Sorte können natürlich herstellungsbedingt auftreten, sind aber bei Weitem nicht so ausgeprägt wie der Wechsel auf eine komplett andere Meersalzmischung. Voraussetzung für diese Überlegung ist natürlich, dass wir von einer qualitativ hochwertigen Salzmischung sprechen. Es besteht kein Zweifel, dass der Wechsel von einem mangelhaften Meersalz auf ein hochwertiges Salz in hohem Maße positiv und daher auch jederzeit zu begrüßen ist. Allerdings kann der Wechsel von einem hochwertigen Salz auf ein anderes Salz vergleichbarer Qualität wenig sinnvoll sein, weil sich die Organismen an Veränderungen in der Rezeptur erst akklimatisieren müssen. Solche Effekte sind natürlich davon abhängig, wie viel Wasser bei einem Wasserwechsel getauscht wird, d.h. wie groß die Wasserwechselintensität ist. Dennoch können ggf. Anpassungsschwierigkeiten das kurzfristige Auftreten unerwünschter Organismen wie z.B. Cyanobakterien begünstigen, woraus sich in der Folge auch langfristige Verschiebungen im Bereich des allgemeinen Nährstoffhaushalts und

infolgedessen auch in der mikrobiellen Organismengemeinschaft ergeben können. Konstanz in den Umweltbedingungen ist daher immer ein wichtiges Thema und kann durch mehrfache Wechsel der Salzsorten unterbrochen werden.

Aus der vorliegenden Erörterung gilt für die riffaquaristische Praxis im Allgemeinen die Empfehlung, mit nur einer Salzsorte von hoher Qualität zu arbeiten, deren Zusammensetzung eine möglichst große Ähnlichkeit mit natürlichem Meerwasser aufweist, was eine sehr gute Qualität der Rohstoffe, einen technisch einwandfreien Herstellungsprozess und schlussendlich auch eine ausführliche Qualitätskontrolle voraussetzt. Das bedeutet auch einen entsprechend höheren Anschaffungspreis für das Meersalz, der im Interesse der gepflegten Tiere und damit auch für den nachhaltigen Erfolg unabdingbar ist.

Der Wasserwechsel wird auch hinsichtlich der Zufuhr bestimmter Spuren- und Mineralstoffe im Aquariumwasser diskutiert. Dabei geht es vorrangig um die Ergänzung von Mineralien wie Calcium, Magnesium oder Carbonaten, sowie um anorganische Mikronährstoffe, sogenannte „Spurenelemente“.

Unter dem Stichwort → **Kalkhaushalt-Stabilisierung** ist das Thema Wasserwechsel als Möglichkeit zur Erhöhung von Calcium und der Karbonathärte ausführlich erläutert. In der Tat sind in den späten 1990er und 2000er Jahren bis heute seitens der Hersteller von Meersalzen kalkangereicherte Salzmischungen entwickelt worden, die einen im Vergleich zum natürlichen Meerwasser erhöhten Calcium-, Magnesium- und Karbonatgehalt zeigen. Dadurch wird bei einem Wasserwechsel der Differenzbetrag aus entferntem Calcium und neu hinzugefügtem Calcium vergrößert, so dass sich eine messbare Erhöhung ergeben kann. Solche Salzmischungen sollen auch den Einsteiger, der mit den komplizierten chemischen Zusammenhängen innerhalb des Themas Kalkhaushalt-Stabilisierung oft noch überfordert ist, dazu anregen, bestehende Calcium- und Carbonatdefizite über den Wasserwechsel auszugleichen. Diese vermeintlich einfache Lösung stellt wiederum aber aufgrund der geringen Effizienz eines Wasserwechsels bei der Stoffmengenerhöhung die teuerste Lösung dar und führt zu keinem individuellen Ergebnis, weil der Differenzbetrag schlecht berechnet werden kann und jeweilige Defizite nicht unabhängig voneinander ausgeglichen werden können, wenn z.B. nur die KH zu niedrig, Calcium hingegen aber noch ausreichend im Beckenwasser vorhanden ist. In diesem Fall kann es passieren, dass der über den WW zusätzlich eingebrachte Calcium-Überschuss das parallel ergänzte Carbonat gleich wieder chemisch fällt, wodurch der Wasserwechsel mit einem übertrieben kalkangereicherten Meersalz sogar eher destabilisierend auf den Kalkhaushalt wirken kann. Wenn z.B. nur die KH zu niedrig ist, sollte auch nur die KH erhöht werden.

Wichtig für das Thema Wasserwechsel (WW) ist auch die Beachtung des Nährstoffgehalts im Wasser. Bei Nährstoffknappheit (Stickstoff oder Phosphatmangel) kann ein WW den Nährstoffgehalt selbst bei geringen Austauschvolumina möglicherweise kritisch verringern. Wenn also Wasser z.B. aufgrund eines zu geringen Calciumgehalts gegen frisches Meerwasser getauscht werden soll, kann das zu einer Nährstoffmangelsituation führen, weil i.d.R. sehr gut aufbereitetes und daher von Nährstoffen befreites Ausgangswasser benutzt wird. Der WW hat also

selbst bei einem hochwertigen Meersalz mit optimaler Zusammensetzung keine grundsätzlich positive oder neutrale Wirkung, sondern kann Nährstoffmangelsituationen verstärken und damit auch schädigend auf das Riffaquarium wirken. In Nährstoffmangelsituationen gilt es daher bei einem Wasserwechsel darauf zu achten, Nährstoffe unmittelbar nach dem WW gezielt wieder zu ergänzen.

Es bieten sich heute weitaus gezieltere Methoden und auch spezialisierte kommerzielle Lösungen zur Kalkhaushalt-Stabilisierung an, die wir nutzen können, um individuelle Defizite nach ihrer Erkennung direkt und unabhängig von einem teuren und unspezifisch, und wie erörtert unter Umständen sogar negativ wirkenden Wasserwechsel auszugleichen.

Im Zusammenhang mit der Erhöhung einzelner Parameter durch den Wasserwechsel wird seit den späten 1980er Jahren, z.B. auch durch PETER WILKENS, das Stichwort „Spurenelemente“ oder „Spurenmetalle“ genannt. Spurenmetalle, als natürliche Verunreinigungen in synthetischen oder auch in aus Meerwasser evaporierten Salzen, sollen bei einem Wasserwechsel idealerweise dem Beckenwasser hinzugefügt werden und den Organismen im Riffaquarium zur Verfügung stehen, so die Annahme vieler Riffaquarianer, die sich erhoffen, mit ihrem Wasserwechsel im Riffaquarium etwas positives zu bewirken. Ganz von der Hand zu weisen ist diese Aussage sicherlich nicht, weil es kein 100% reines Meersalz geben kann, das frei von jeglichen Verunreinigungen ist. Allerdings sind sie vor allen Dingen auch sehr verkaufswirksam für den Meersalzhandel, wenngleich in vielen Fällen rein hypothetischer und spekulativer Natur, weil i.d.R. für eine bestimmte Charge eines Meersalzes gar keine faktischen Messwerte vorliegen, und oft noch nicht einmal für das eigene Aquariumwasser. Wir verfügen als Anwender meistens über keine exakten Informationen, welche Spurenstoffe in welcher chemischen Form, in welcher Konzentration und v.a. in welcher relativen Verteilung zu anderen Elementen in einer bestimmten Salzcharge vorliegen. Moderne Laboranalysen stellen uns hier heute zwar auf ein anderes, faktenbasiertes Niveau, die Problematik dabei ist jedoch, dass ICP-OES Analysen nur quantitative Aussagen ermöglichen, was insbesondere den Laien erheblich verwirren und überfordern kann. Quantitativ bedeutet, dass wir durch ICP-OES Analysen zwar den Gehalt eines Elements im Wasser kennen, aber gleichzeitig nicht wissen, in welcher chemischen Form bzw. chemischen Verbindung dieses Element vorliegt, d.h., ob die gemessenen Werte tatsächlich auch im Wasser physiologisch verfügbar, d.h. qualitativ wirksam sind. Viele Spurenmetalle sind im Beckenwasser durch organische Stoffe abgebunden (komplexiert, oder „maskiert“), was die genannten Analyseverfahren weder im Messverfahren berücksichtigen, noch in der Auswertung der Ergebnisse interpretieren können. Sowohl im frisch angesetzten Meerwasser, wie auch im Aquariumwasser, können messbare Stoffmengenkonzentrationen an Spurenmetallen vorliegen, die den Organismen jedoch aufgrund verschiedener Wechselwirkungen mit anderen Substanzen im Riffaquarium, oder gar durch eine physiologisch inaktive chemische Verbindung, gar nicht zur Verfügung stehen.

Ein grundsätzliches Problem bei der Zugabe von Spurenstoffen in einer Meersalzmischung ist zudem die gleichmäßige, d.h. homogene Verteilung in einer im Verhältnis extrem großen Natriumchlorid-Masse. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein bestimmter Spurenstoff in einem Teil

der Salzmischung höher konzentriert ist als in einem anderen Teil, steigt theoretisch mit zunehmendem Mischvolumen und mit sinkender Stoffmengenkonzentration des betrachteten Stoffes. Welche Substanzen tatsächlich einem Meersalz zugeführt wurden, und welche Elemente als Verunreinigungen aufgeführt werden, lässt sich leider oft nicht anhand der Deklaration der Hersteller erkennen.

Es ist unbestritten und in Analysen von Meersalzmischungen auch faktisch dargestellt, dass je nach Qualität und je nach Reinheit der Rohstoffe einer bestimmten Meersalzcharge verschiedene Spurenstoffe mit dem Wasserwechsel ins Riffaquarium gelangen. Was wir aber nicht wissen ist, welche Spurenstoffe hier konkret und messbar zu nennen sind und ob diese Stoffe überhaupt für einen bestimmten Organismus verfügbar sind (je nach vorliegender chemischer Form und Löslichkeit) und für wie lange. Auch die Wasserwechselintensität, d.h. das Wasseraustauschvolumen, sowie die zeitlichen Intervalle, lassen eine dem individuellen Verbrauch entsprechende Zufuhr von relevanten Stoffen über den Wasserwechsel gar nicht zu. Täglich wachsende Korallen und im Aquarium lebende Bakterien und Mikroalgen haben auch einen entsprechend täglichen Nährstoffbedarf, der sich über z.B. wöchentliche oder sogar monatliche Wasserwechsel gar nicht zeitlich decken lässt.

Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass bei einem Wasserwechsel immer auch ein Stoff aus dem Wasser ungewollt entfernt wird, weil dessen Konzentration im Meersalz geringer ist als im Beckenwasser. Hier ganz wichtige Hauptkomponenten von Meerwasser sind die mehrfach genannten Elemente Strontium und Bor, aber auch Iod oder Fluor, die nicht in jedem Meersalz in der natürlichen Konzentration vorliegen. Wird ein Meersalz mit einem zu niedrigen Elementgehalt für den Wasserwechsel genutzt, dann wird dadurch ein optimaler Gehalt im Beckenwasser anteilig verdünnt und mit jedem weiteren Wasserwechsel auf das Niveau des Meersalzes gesenkt, wie es bereits weiter oben erörtert wurde. Während also ein Meersalz einen bestimmten Spurenstoff im Rahmen eines Wasserwechsels möglicherweise erhöhen kann, ist es ebenfalls wahrscheinlich, dass das selbe Salz gleichzeitig einen anderen wichtigen Stoff aus dem Wasser entfernt und dessen Verfügbarkeit dadurch verringert. Wir arbeiten also mit einem Wasserwechsel äußerst unkontrolliert und können nicht garantieren, dass Vorteile nicht auch durch gleichzeitig eintretende Nachteile in ihrer Gesamtwirkung verpuffen. Wenn ein bestimmter und v.a. auch messbarer Stoff im Wasser fehlt, haben wir heute viele Möglichkeiten, diesen Stoff auch direkt und zielgenau nachzudosieren, ggf. auch in sinnvollen Kombinationen mit anderen Substanzen. Aber es braucht dafür keinen Tausch aller anderen Meerwasserinhaltsstoffe durch einen Wasserwechsel.

Wenn das Riffaquarium nach einem Wasserwechsel (WW) ein besseres Bild abgibt als vor dem WW, wird oft argumentiert, es läge an zugeführten Spurenelementen, die im frischen Meerwasser vorhanden waren. Wenn dem so wäre, dann hätte vermutlich jede gute Spurenelementlösung den gleichen Effekt, wäre aber erheblich günstiger und effizienter als ein WW. Wir dürfen an dieser Stelle nicht übersehen, dass Meersalze auch Zuschlagstoffe wie z.B. Fließmittel oder andere organische Komponenten enthalten können, die auf die Polypenexpansion der Korallen Einfluss nehmen. Wenn also nach einem Wasserwechsel die Korallen für einige Stunden oder einen Tag in

einer schöneren Polypenpracht erscheinen, muss das nicht grundsätzlich daran liegen, dass sich die Wasserqualität oder die Nährstoffverfügbarkeit signifikant verbessert hätte. Wer nach dem WW einen positiven Effekt erkennt, ist natürlich auch motiviert, einen WW oft und gerne durchzuführen. Diese potentielle Wirkung von Zuschlagstoffen in einigen Meersalzen ist durchaus verkaufsfördernd und wird auch seitens des Handels genutzt, hat aber mit einem Qualitätsmerkmal nichts zu tun.

Den Fall angenommen, das ein Riffaquarium nach einem Wasserwechsel (WW) tatsächlich und objektiv besser funktioniert, dann sollte diese Feststellung keinesfalls dazu verleiten, öfter und mehr Wasser zu wechseln, ohne dabei gleichzeitig den oder die dahinter liegenden Fehler im Riffaquariumsystem ausfindig zu machen, die dieses Phänomen erklären können. Der Wasserwechsel ist in einem solchen Fall zunächst zwar eine praktische Maßnahme, um die sich zeigenden Symptome zu kompensieren, allerdings betrachtet der Wasserwechsel nicht die Problemursache(n), sondern dient lediglich der Symptombehandlung und der akuten Aufrechterhaltung einer optimalen Wasserqualität. Zur allgemeinen Problemsuche stehen uns heute nicht nur die Laboranalysen zur Verfügung, die eine Beurteilung der anorganischen Wasserzusammensetzung liefern können, sondern auch eine gezielte Fachberatung (SANGOKAI Support), die das Potential hat, nicht optimale Umgebungsbedingungen im Aquariensystem (Beleuchtung, Bestromung, Gestaltung, Filterung) zuverlässig und schnell aufzuzeigen. Dadurch kann die Ursache für einen konkreten Mangel, oder auch für einen vermuteten Überschuss z.B. an nicht messbaren Schadstoffen lokalisiert und benannt werden, so dass nach der Problembehebung auf den Wasserwechsel in einer starken und routinierten Ausprägung in naher Zukunft wieder verzichtet werden kann. Als Beispiele dafür können genannt werden: stark mit Mulm belastetes Technikbecken, alter Bodengrund, ungepflegte Refugien, stark verdreckte mechanische Filtermedien, oder nicht ausreichende Anwendung adsorptiver Filtermedien wie Aktivkohle oder Anionenadsorber. Liegt es hingegen an einem Mangel an Spurenelementen oder an einer fehlenden Meerwasserkomponente, ist es nicht nur billiger, sondern auch wirkungsvoller, diese gezielt und unabhängig von einem Wasserwechsel zu dosieren. Es macht keinen Sinn, Natrium oder Kalium aus dem Wasser zu entnehmen und neu zuzuführen, wenn es dem Becken lediglich an etwas Eisen oder Bor mangelt, das in einem Meersalz vielleicht oder vielleicht auch nicht in ausreichender Menge enthalten ist.

Man kann einen Wasserwechsel (WW) daher auch als Indikator betrachten: wenn sich mit dem WW im gut funktionierenden Riffaquarium keine sichtbaren positiven Veränderungen zeigen, dann ist das Meerwasser an sich und auch das verwendete Meersalz „gesund“. Wenn aber der WW längerfristige positive Effekte an den Tag bringt (d.h. Effekte, die nicht schon nach wenigen Stunden verpuffen), dann ist grundsätzlich eine Fehlerdiagnostik notwendig und sinnvoll. Nur dadurch können wir gezielt Probleme erkennen, diese korrigieren und wertvolle Erfahrungen für die Zukunft sammeln und die tatsächliche Notwendigkeit für einen Wasserwechsel für das eigene Aquarium besser bewerten. Riffaquarianer, die nicht ohne einen Routinewasserwechsel auskommen, um ein jeweiliges Qualitätsniveau zu erreichen und dieses zu erhalten, und die trotz intensiver Diagnostik und Beratung keine Hinweise auf ungünstige Umgebungsbedingungen finden können, sollten möglichst versuchen, die dafür notwendige Wasserwechselintensität und ein

probates Wasserwechselintervall individuell zu ermitteln, um die Kosten für den Wasserwechsel (Meersalz und Reinstwasser) möglichst gering zu halten.

SANGOKAI Empfehlung: Ein Wasserwechsel sollte unter Berücksichtigung der heute zur Verfügung stehenden analytischen Beurteilungen und der praktischen Möglichkeiten durch spezialisierte Produkte nicht gezielt angewendet werden, um dem Riffaquarium bestimmte Spurenstoffe oder Mineralstoffe wie Calcium oder Carbonate hinzuzufügen. Defizite in definierten Parametern können über zuverlässige Tests ermittelt und dann individuell ausgeglichen werden.

Der Wasserwechsel ist nur in solchen Fällen geeignet, wenn z.B. mehrere Parameter gleichzeitig korrigiert werden müssen, die nicht optimal eingestellt sind, z.B. durch ein falsch gemischtes und schlecht konzipiertes und damit mangelhaftes Meersalz. Dies bezieht sich auf die Hauptkomponenten des Meerwassers, wie Kalium, Brom, Bor, Chlorid oder Schwefel, die mit einem sehr guten Meersalz in einer optimalen Komposition durch mehrere aufeinanderfolgende Wasserwechsel mit der Zeit korrigiert werden können. Siehe dazu den nachfolgenden Themenpunkt „**Wasserwechsel zur Ionenbalancierung**“.

Dagegen sollen Kalkhaushalt-Stabilisierung und Nährstoffversorgung immer durch spezialisierte Methoden in exakt bestimmten Mengen nachgereicht werden, und nicht über einen Wasserwechsel, der möglicherweise auch andere Substanzen in ihrer Konzentration im Aquariumwasser verändert und beispielsweise auch einen Verlust solcher Stoffe verursachen kann.

Bestehende Probleme, die sich durch einen Wasserwechsel symptomatisch verbessern lassen, sollten immer näher untersucht werden. Eine intensive fachliche Diagnostik kann dann beurteilen, ob die Ursache für die Problematik ausgeschaltet werden kann.

Wasserwechsel als Maßnahme zur Ionenbalancierung

Ionenbalance ist ein auf qualitativer Ebene gültiger Begriff, der den Zustand unseres Meerwassers in den Hauptkomponenten Natrium, Chlor (als Chlorid), Schwefel (als Sulfat) und ggf. auch Kalium so beschreibt, dass er der Zusammensetzung natürlichen Meerwassers entspricht. Demgegenüber beschreibt eine Ionendisbalance eine signifikante Abweichungen von der natürlichen Zusammensetzung in mindestens einer der genannten Komponenten.

Darüber hinaus, an dieser Stelle jedoch nur der Vollständigkeit halber erwähnt, wird der Begriff auch in der Meerwasseranalytik benutzt, um die in einer Meerwasserprobe quantitativ erfassten Substanzmassen mit der jeweils vorliegenden Salinität zu vergleichen. Ionenbalance liegt dann vor, wenn die Summe aller gemessener Massen der angegebenen Salinität entspricht.

Da Natrium, Chlorid und Sulfat zusammen den überwiegenden Anteil an der Meerwasserzusammensetzung stellen, bezieht sich eine Ionenbalance in der Regel auf diese Parameter. Demgegenüber würden wir Abweichungen im Bereich der anderen Hauptkomponenten Magnesium, Calcium, Kalium, Brom, Strontium, Bor und Fluor vielmehr nur als akute Mangel-, oder als Überschusszustände diskutiert. Wir würden hier aber nicht zwingend von einer Ionendisbalance sprechen, obwohl das natürlich im weitesten Sinne korrekt wäre. Wenn also eine Ionendisbalance im Meerwasser betrachtet wird, geht es in der Regel um die Verhältnisse

zwischen Natrium, Chlorid und Sulfat, ggf. auch Kalium, untereinander, sowie auch in der jeweiligen Relation zur Salinität.

Die Salinität ist grundsätzlich für alle Meerwasserinhaltsstoffe der relative Bezugspunkt. Wenn die Salinität im Beckenwasser nicht richtig eingestellt, d.h. entweder zu niedrig oder zu hoch ist, beeinflusst dies auch den Gehalt der jeweiligen Inhaltsstoffe und damit auch deren Verfügbarkeit. Liegt z.B. bei einer Salinität von 38 psu der Calciumgehalt bei 420 mg/L, dann ist dieser relativ betrachtet zu niedrig, weil die Korrektur der Salinität von 38 auf 35 psu durch eine Entnahme von Meerwasser und anschließender Süßwasserergänzung Calcium aus dem Wasser entfernt, und zwar genau den relativen Anteil der Salinitätsveränderung, hier also von 7,9%. Der bei 38 psu mit 420 mg/L gemessene Calciumgehalt würde also nach der Anpassung nur noch bei 387 mg/L und damit kritisch zu tief liegen. Zwar war vor der Anpassung der absolut betrachtete Zahlenwert von 420 mg/L korrekt, aber relativ zur erhöhten Salinität von 38 psu wie berechnet nicht passend. Steinkorallen können dadurch Schwierigkeiten haben, Calcium aus dem Wasser zu rekrutieren. Wenn die Salinität z.B. mit 32 psu deutlich zu niedrig liegt, und in einer Meerwasseranalyse Kalium nur mit 360 mg/L statt mit 395 mg/L gemessen wurde, muss immer erst die Salinität korrigiert werden. Dadurch steigt auch anteilig der Kaliumgehalt an und liegt dann relativ betrachtet zur Salinität wieder in einem unkritischen Bereich. Viele Anwender verstehen diese Zusammenhänge nicht richtig, und würden z.B. den Kaliumgehalt von 360 mg/L auf 395 mg/L einstellen, aber die Salinität unberücksichtigt lassen. Dann würde zwar der Zahlenwert stimmen, aber eine Anpassung der Salinität auf 35 psu in einem darauffolgenden zweiten Schritt würde den Kaliumgehalt noch weiter auf ein deutlich zu hohes Niveau anheben.

Es ist also beim Thema Ionenbalance essentiell wichtig, die Salinität zu kennen und die Abweichungen von absoluten Messergebnissen auch dahingehend zu relativieren, sollte die Salinität nicht stimmen. Es muss vor jeder Messwertanpassung immer erst die Salinität korrigiert werden.

Die Salinität verändert nicht zwingend das Verhältnis zwischen zwei Meerwasserinhaltsstoffen im Meerwasser, z.B. zwischen Natrium und Chlorid. Bei sich ändernden Bedingungen im Salzgehalt würde sich dieses Verhältnis zumindest nicht bei einer Senkung der Salinität verändern, weil immer beide Inhaltsstoffe gleichzeitig über eine Meerwasserentnahme und Süßwasserzufuhr gesenkt werden. Bei einer aktiven Erhöhung der Salinität kommt wieder zum tragen, wie das Verhältnis im zugegebenen Meersalz ist. Dieses kann auch das Verhältnis im Beckenwasser modifizieren.

Auch wenn ein bestimmtes Ionenmissverhältnis im Aquariumwasser mit sich ändernder Salinität gleich bleibt, kann es möglicherweise dennoch stärker oder schwächer zur Ausprägung kommen, je nachdem in welche Richtung und wie stark sich die Salinität verändert. Auch hier zeigt sich, wie wichtig eine optimale und konstante Salinität, d.h. auch eine zuverlässige Bestimmung der Salinität, in der Riffaquaristischen Praxis ist.

Welche grundsätzlichen Auswirkungen wir von einer Abweichung in der Komposition unseres Wassers vom natürlichen Meerwasser, also von einer Ionendisbalance, auf unser Riffaquarium erwarten können, und ab welchem Zeitpunkt diese kritisch relevant werden, ist für viele Inhaltsstoffe oder Elemente nur unzureichend genau bekannt und auch von Fall zu Fall

verschieden. Das liegt zum einen daran, dass in wissenschaftlichen Experimenten ganz bewusst nur natürliches Meerwasser verwendet wird, um allgemein gültige (globale) Voraussetzungen zu schaffen, und um Veränderungen z.B. durch biogenen Verbrauch oder chemische Veränderungen während des Experiments auszuschliessen. Die Wissenschaft sieht zudem selten Anlass dazu, eine Anreicherung des Meerwassers mit z.B. Natrium, Chlorid oder Sulfat gezielt, d.h. für einen bestimmten Organismus, zu untersuchen, weil solche Abweichungen im Meer praktisch nicht vorkommen und es dahingehend keine global relevante Fragestellung gibt. Eine Ionendisbalance ist ein ausschliesslich aquaristisches Problem und wissenschaftlich weitestgehend irrelevant.

Zum anderen sind innerhalb der professionellen Riffaquaristik viele Hersteller oder Händler weder ausgebildet noch labortechnisch ausgerüstet, um gezielte wissenschaftlich fundierte und statistisch signifikante Ergebnisse aus Experimenten zu erzielen, die allgemeine Gültigkeit besäßen. Wenn Ergebnisse in wissenschaftlicher Qualität vorliegen, würden diese von kommerziellen Firmen vermutlich als exklusives Wissen der allgemeinen Geheimhaltung unterliegen und in die Produktentwicklung einfließen, z.B. bei der Meersalzherstellung.

Ungeachtet dessen, zeigt uns seit jeher unsere praktische Erfahrung, dass die möglichst naturähnliche Zusammensetzung des künstlichen Meerwassers in den Hauptkomponenten über einen möglichst langen Zeitraum (Stichwort Konstanz) ein entscheidendes Kriterium für die langfristig erfolgreiche Pflege eines Riffaquariums ist. Das liegt vermutlich daran, dass die meisten marinen Organismen evolutiv an konstante Bedingungen hinsichtlich der Zusammensetzung des Meerwassers adaptiert sind. Dadurch sind sie mitunter auch auf eine bestimmte Konzentration eines Stoffes im Meerwasser physiologisch fix eingestellt. In der Riffaquaristik wird uns dies z.B. am Element Calcium praktisch deutlich, weil schon geringe Abweichung von nur 15-20% von der natürlichen Calciumkonzentration die Kalkbildungsrate in Steinkorallen signifikant beeinflussen kann. Ähnliche Beobachtungen kennen wir auch vom Kalium- oder Borgehalt.

Glücklicherweise stehen uns seit einigen Jahren bezahlbare laboranalytische Möglichkeiten zur Verfügung, anhand derer wir eine kurzfristige Beurteilung unseres Wassers hinsichtlich der allgemeinen Ionenbalance vornehmen können. Das betrifft wie bereits genannt v.a. die Hauptkomponenten des Meerwassers Natrium, Chlorid und Sulfat, sowie ggf. auch Kalium, die wir nicht mit mobilen Testverfahren zuhause quantitativ überprüfen können.

Die moderne Meerwasseranalytik bieten uns Gelegenheit, das Thema Ionenbalance, respektive Ionendisbalance, anhand faktischer Befunde und in Anlehnung an bestimmte individuelle Problemsituationen zu diskutieren. So lassen sich die oben genannten Wissenslücken hinsichtlich der potentiellen Auswirkungen einer Ionendisbalance in den nächsten Jahren nach und nach schliessen.

Wir können zu diesem Zeitpunkt keine global gültigen Referenzpunkte für die maximale und minimale Ausprägung aller Hauptinhaltsstoffe definieren. Bisher publizierte Referenzwerte sind willkürlich durch einzelne Laboratorien, Hersteller, Händler oder Autoren der Fachliteratur gewählt und sollten daher nur als Einzelmeinungen verstanden werden (was jedoch nicht bedeutet, dass diese ungeeignet wären!). Aber zumindest sind wir dazu in der Lage, einen Messpunkt zu erfassen und diesen dann im Falle eines bestehenden Defizits in Richtung des natürlichen Wertes zu

korrigieren. Das betrifft v.a. die Parameter Magnesium, Calcium, Kalium, Brom, Strontium und Bor, also diejenigen Parameter, die wir i.d.R. nicht im Sinne der Ionenbalance besprechen.

Abweichungen von Hauptinhaltsstoffen in Meerwasseranalysen in Richtung einer Ionendisbalance sollten uns auf jeden Fall zur Handlung aufrufen, wenngleich wir hier differenzieren müssen, wie intensiv unsere praktische Handlung sein muss. Ein zu niedriger Natrium oder Chloridgehalt kann ganz einfach und harmlos daran liegen, dass der Salzgehalt nicht stimmt. Die Kontrolle der Salinität spielt hier also immer eine wichtige Rolle als Erstüberprüfung.

Eine Ionendisbalance und die zur ihrer Behebung notwendigen praktischen Maßnahmen sollten bei Bedarf immer im Rahmen einer Fachberatung diskutiert werden (SANGOKAI Support), weil es insbesondere für den Einsteiger ein schwieriges Thema ist, dass erst über einige Jahre in Anlehnung an theoretisches Wissen und an gesammelte praktische Erfahrungen erlernt werden muss.

In einer stark gefährdenden Situationen mit sichtbaren Problemen im Riffaquarium ist der Wasserwechsel nach wie vor eine probate und v.a. schnelle Maßnahme, um eine gravierende, d.h. in mehreren Parametern lokalisierte Ionendisbalance aufzulösen. Dabei gelten die Empfehlungen zum Wasserwechsel, wie sie oben unter dem Thema „**Wasserwechsel als Export-Maßnahme für überschüssige Stoffe**“ vorgestellt wurden, d.h. drei bis vier aufeinanderfolgende Wasserwechsel mit ca. 15-20% Wechselvolumen im Abstand von zwei bis drei Tagen. Eine zwar sehr teure, aber sichere und recht beliebte Alternative zum mehrfachen Wasserwechsel mit künstlichem Meersalz ist der einmalige Austausch eines möglichst großen Wasservolumens (bis zu 100%) gegen natürliches Meerwasser, das aufgrund seiner Herkunft eine optimale Ionenbalance aufweisen sollte. Allerdings muss das NSW im Labor überprüft sein, weil je nach Jahreszeit und Entnahmeort insbesondere die Salinität stark von Idealwerten abweichen kann und Verunreinigungen mit Spurenmetallen oder Nährstoffen wie Phosphat möglich sind.

Liegen Hinweise für eine Ionendisbalance vor, eine akute Gefährdung ist jedoch symptomatisch nicht erkennbar, kann über einen Zeitraum von 10 Wochen mit einem wöchentlichen Wasserwechsel von 10% unter Verwendung eines hochwertigen Meersalzes langsamer, d.h. möglicherweise schonender gearbeitet werden. Nicht jede messbare Ionenverschiebung stellt auch unmittelbar eine Gefährdung für die Riffbewohner dar, weil sich viele Organismen zumindest an schleichende Veränderungen in der Meerwasserzusammensetzung akklimatisieren können. Hier wäre es folglich auch sinnvoll, diesen Prozess ähnlich langsam zu reversieren. Inwiefern dies notwendig ist oder nicht, ist nur individuell zu beurteilen.

Wichtig ist jedoch zu verstehen, dass eine akute Gefährdung in jedem Fall auch eine zügige Handlung erfordert. Leider wird dies oftmals so nicht befolgt. Wenn es offensichtlich ist, dass das Meerwasser durch eine Ionendisbalance ein Unwohlsein in den Riffbewohnern hervorruft, sollte auch eine rasche und möglichst umfängliche Verbesserung der Bedingungen eingeleitet werden. Daher wäre es falsch, in einer solchen Lage die Regeneration der Organismen durch wöchentliche kleine Wasserwechsel unnötig in die Länge zu ziehen. Die Wasserwechselintervalle sollten dann also auf wenige Tage (z.B. 2-3 Tage) verkürzt werden, um eine rasche Verbesserung zu ermöglichen.

Sind in einer Analyse nur ein oder zwei individuelle Hauptparameter angezeigt, die nicht optimal eingestellt sind und die ein Defizit aufweisen, z.B. Kalium oder Strontium, ist eine gezielte Anpassung dieser Elemente nicht nur sehr effizient, sondern gleichzeitig auch erheblich kostengünstiger als mehrfache Wasserwechsel, die, wie erörtert, aufgrund des Verdünnungseffekts und der damit verbundenen asymptotischen Annäherung an den Sollwert auch gar nicht kurzfristig dazu in der Lage sind, einen akuten Mangel zügig und wirksam auszugleichen. Zudem setzt diese Vorgehensweise voraus, dass die Werte im verwendeten Meersalz auch optimal passen. Nach einer individuellen Korrektur von Defiziten wird sich das Aquarium recht schnell regenerieren, bei Bormangel lässt sich i.d.R. schon nach wenigen Stunden ein verbessertes Polypenbild v.a. an LPS-Korallen beobachten. Nach Ausgleich eines Kaliummangels reagieren Korallen allerdings oft etwas träge und zeigen Verbesserungen von Kalium-Mangelsymptomen erst nach einigen Tagen, manchmal sogar erst nach einer bis zu zwei Wochen. Repetitive Wasserwechsel benötigten dazu weitaus länger, Wochen oder sogar Monate, was die Organismen im Riffaquarium unnötig lange stressen würde.

Selbst wenn wir ein akutes Problem im Riffaquarium, verursacht durch eine Ionendisbalance, durch eine Angleichung an die natürlichen Werte erfolgreich korrigieren können, fällt es uns oft schwer, die dahinterliegende Problematik zu finden und diese langfristig zu lösen.

Oft ist es nur eine Frage der Zeit, bis wieder ein bestimmtes Defizit oder ein Überschuss eines akut falsch eingestellten Meerwasserinhaltsstoffs zum Vorschein kommt und dadurch der Gesundheitszustand unserer Riffbewohner aufs Neue strapaziert wird. Daher ist immer die Anstrengung des Riffaquarianers und auch beratender Personen gefragt, die dahinterliegende Problematik zu finden und langfristig zu lösen, d.h., die konkrete Frage zu stellen, warum ein oder auch mehrere bestimmte Messwerte in unserem Meerwasser ausserhalb des Referenzbereiches liegen. Antworten darauf finden wir in verschiedenen Bereichen: es kann ein biogener Verbrauch stattgefunden haben, eine chemische Veränderung durch Bindung oder Fällung, eine Freisetzung aus verwendeten Filter- oder auch Gestaltungsmaterialien, die kontinuierliche und einseitige Zufuhr von Natrium und Chlorid über Calcium- und Carbonatsalze im Rahmen einer Supplement-basierten Kalkhaushalt-Stabilisierung, oder es liegt, wie es schon mehrfach in diesem Kapitel thematisiert wurde, an einer mangelhaften Meersalzmischung, die mit jedem Wasserwechsel den Gehalt eines bestimmten Stoffes reduziert oder ggf. auch weiter erhöht. Alle diese Möglichkeiten können auch mit jeweils anteiligem Effekt wirken.

Mit nur einer einzigen Messwerterfassung im Aquariumwasser wird man diese Frage auch i.d.R. nicht zuverlässig beantworten können, z.B. nur dann, wenn man durch eine spezifische Analyse des verwendeten Meersalzes (frisch angesetztes Meerwasser) feststellt, dass der Ausgangswert hier schon nicht stimmt und sich damit das Meersalz als unmittelbare Fehlerquelle identifizieren lässt. Ansonsten zeigen nur zeitlich aufeinander folgende Laboruntersuchungen Tendenzen an, wie sich einzelne Messwerte mit der Zeit verändern. Diese Langzeitbeobachtungen können wir dann zielführend in Richtung eines Verbrauchs, einer bestimmten Filterwirkung, oder auch einer Freisetzung interpretieren.

Wie es bereits im Thema „**Wasserwechsel als Ergänzung von Haupt-, Spuren- und Mineralstoffen**“ erörtert wurde, entscheidet zunächst die Qualität eines Meersalzes darüber, ob und wie hoch ein bestimmter Stoff im Meerwasser vorliegt. Ein analytisch aufgezeigter Mangel oder ein Überschuss einer Substanz lässt sich im einfachsten Falle also dadurch erklären, dass die Ausgangsbedingungen im verwendeten Meersalz nicht optimal sind. Eine zu geringe Natriumkonzentration oder ein zu hoher Sulfatgehalt im Meerwasser treten beispielsweise infolge einer mangelhaften Rezeptur, einer fehlerhaften Einwaage oder einer ungenügenden Vermischung der Einzelkomponenten einer Meersalzmischung auf. Mit zusätzlichen Wasserwechseln würden sich diese Probleme also gar nicht lösen lassen, sondern im Gegenteil, werden genau dadurch verursacht. Die einzige Möglichkeit, hier schnell zu einem gesicherten Ergebnis zu kommen, ist die Meersalzmischung analysieren zu lassen, um festzustellen, ob die Ionenbalance in genau diesem Meersalz nicht stimmt. Das dabei Schwierigkeiten auftreten, wenn man mehrere Salzmischungen gleichzeitig nutzt, wurde bereits im vorherigen Themenabschnitt erläutert und spricht für die Empfehlung, bei nur einer einzigen Meersalzmischung zu bleiben, die für das eigene Riffaquarium sehr gute Ergebnisse liefert. Auch lässt es sich nur in Zusammenarbeit mit dem jeweiligen Hersteller oder durch Messung mehrerer unterschiedlicher Chargen dieses Meersalzes klären, ob es lediglich ein Problem einer einzelnen Charge ist, oder ob das Produkt grundsätzlich eine mangelhafte Qualität aufweist.

Die Leistungsfähigkeit eines Wasserwechsels ist in diesem Zusammenhang recht einfach zu beurteilen: Defizite oder Überschüsse in den Hauptkomponenten können über einen Wasserwechsel nur dann korrigiert werden, wenn die verwendete Meersalzmischung qualitativ auch dazu geeignet ist, d.h., dass sie hinsichtlich ihrer Zusammensetzung dem natürlichen Meerwasser möglichst gut angenähert ist. Bei der Korrektur einer Ionendisbalance, die durch das Meersalz verursacht wurde, ist also der Wechsel auf ein anderes, qualitativ hochwertiges Salz oder auf natürliches Meerwasser eine primär entscheidende Anforderung, worüber schon im Vorfeld ausführlich diskutiert wurde.

Schwieriger, oder besser gesagt zeitlich aufwendiger, wird die Fehlersuche, wenn die Analyse der Ausgangsqualität des Meerwassers bzw. der verwendeten Meersalzmischung keinen Zusammenhang zur einer vorliegenden Ionendisbalance zulässt. In einem solchen Fall kann die Ionendisbalance entweder über einen einseitigen Verbrauch (biogen oder filtertechnisch bedingt), oder als Folge einer Zufuhr einer oder mehrerer anderer Meerwasserinhaltsstoffe von außen entstanden sein, z.B. durch Salze zur Supplement-basierten Kalkhaushalt-Stabilisierung nach dem Prinzip von H-W BALLING, respektive E. PAWLOWSKI (→ [Kalkhaushalt-Stabilisierung](#)). Diese Szenarien sollen im Folgenden vorgestellt werden.

Ein Verbrauch ist von biogener Natur, wenn durch Wachstum oder durch eine bestimmte Stoffwechselaktivität ein Meerwasserinhaltsstoff von einem lebenden Organismus aus dem Wasser aufgenommen und in Biomasse eingebaut (gebunden) wird. Das einfachste Beispiel ist Calcium, das langfristig im Skelett von Steinkorallen, Kalkrotalgen oder Muscheln abgelagert wird. Calcium unterliegt also im Riffaquarium einem kontinuierlichen biogenen Verbrauch. Weitere Beispiele sind Magnesium oder Kalium, die temporär z.B. von Mangroven aufgenommen und

angereichert werden können. Diese Elemente spielen bei der Anpassung an den Salzgehalt eine wichtige Rolle für die Pflanzen. Allerdings werden diese Elemente nicht wie Calcium langfristig als Skelettmaterial gebunden, sondern meist nur temporär eingelagert, d.h. es kann unter Umständen auch wieder zu einer Freisetzung kommen, die sich mit der Wiederaufnahme in der Nettobilanz ausgleicht und daher unauffällig ist. Dennoch wird kontinuierliches Wachstum solcher Organismen langfristig einen dauerhaften Verbrauch erzeugen. Ob andere Organismen wie z.B. Cyanobakterien, massive Algenpopulationen von Kugelalgen (verschiedene Arten der Gattung *Valonia*), oder auch Plagen von Mikroorganismen wie Dinoflagellaten oder Goldalgen z.B. auf den Kalium- oder Magnesiumgehalt im Meerwasser einwirken, kann man nur hypothetisch formulieren. Ähnliches gilt für Bor, Fluor oder Iod, die in verschiedenen Riffaquarien meist unterschiedlich stark verbraucht werden und deren Verbrauchsursache oft nicht im Detail geklärt werden kann. Wenn sich eine Messwertveränderung nicht anders erklären lässt, als durch einen biogenen Verbrauch, kann dieser über die Tendenz in Wasseranalysen durch regelmäßige Einzelzugaben abgedeckt werden, wie es z.B. bei dem Element Iod üblich ist. Jedes Riffaquarium zeigt beim Iodverbrauch ein eigenes Verhalten, daher kann Iod nicht zuverlässig über Kombinationspräparate (z.B. Spurenstofflösungen) dosiert werden. Das SANGOKAI BASIS- und HED-System enthält eine definierte Menge an Iod als Grundversorgung, die einen kritischen Iodmangel verhindern soll, die aber i.d.R. nicht dazu ausreichend ist, einen für Riffaquarien typischen Verbrauch zu decken. Das sango chem-individual IF aus dem BALANCE-System ist dann dazu geeignet, Iod auf einer regelmäßigen Basis zu supplementieren. Eine Überwachung der Iod-Verbrauchstendenz durch ICP-OES Analysen ist hierbei sehr hilfreich.

Neben dem biogenen Verbrauch kann auch eine chemische Fällung Ursache dafür sein, dass die Konzentration eines Hauptinhaltsstoffs im Wasser sinkt. Auch hier können wir exemplarisch Calcium nennen, das bei einer zu hohen Karbonathärte und/oder einem zu hohen pH-Wert als unlöslicher Kalk niederschlägt. Strontium und Magnesium können ähnlichen Fällungsreaktionen unterliegen, v.a. ist Strontium sehr sensitiv gegenüber einer hoher Karbonathärte. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit für die Fällung der meisten anderen Hauptelemente im Meerwasser unter normalen Aquarienbedingungen extrem gering. Weder Natrium noch Chlorid können unter Aquarienbedingungen gefällt werden, genauso unwahrscheinlich wie Sulfat oder Kalium. Fluor hingegen kann Fällungen z.B. mit Lithium unterliegen, was allerdings auch ein stark alkalisches Milieu voraussetzt und z.B. bei der Kalkwasser-Dosierung (vgl. → [Kalkhaushalt-Stabilisierung](#)) auftreten kann.

Weiterhin sind physikalisch-chemische Bindung an → [absorbierende und adsorbierende Filtermaterialien](#) wie Aktivkohle, Adsorber und ionenaustauschaktive Oberflächen, z.B. Zeolithe und Tonminerale, sog. Bentonite, möglich. Vor allem letztere können bei langanhaltendem Einsatz durchaus signifikant in die Ionenbalance eingreifen und den Natrium- und Kaliumgehalt mit der Zeit verändern. Der dauerhafte Einsatz von adsorptiven Filtermedien kann also als Ursache durchaus auch für die Hauptkomponenten in Betracht kommen. Auch künstliche Gestaltungsmaterialien können den Gehalt an Magnesium und Calcium, in seltenen Fällen auch Kalium im Riffbecken durch Rücklösungen oder Bindung (Kalium) erhöhen, was insbesondere beim Neustart eines Riffaquariums zu beachten ist.

Die weitaus größte Gefährdung der Ionenbalance im Meerwasser besteht in der Zufuhr von Natrium und Chlorid im Rahmen der → **Kalkhaushalt-Stabilisierung** nach dem Prinzip von H-W BALLING, respektive E. PAWLOWSKY. Dabei werden dem Meerwasser Calciumchlorid-2-Hydrat und Natriumhydrogencarbonat/Natriumcarbonat, bei erweiterter Anwendung auch Magnesiumchlorid-6-Hydrat und/oder Magnesiumsulfat-7-Hydrat zur gezielten Aufrechterhaltung des Gehalts an Calcium, Carbonat, sowie zuletzt genannt auch Magnesium supplementiert. Der Einfluss auf die Ionenbalance ist dabei abhängig vom individuellen Kalkverbrauch und wird daher in dominant mit SPS besetzten Riffaquarien stärker zum Ausdruck kommen als in Weichkorallen- oder LPS-Becken mit geringerer Kalkbildungsrate.

Die Zufuhr dieser chemischen Salze führt zunächst einmal ganz allgemein betrachtet zu einem Anstieg in der Salinität: wenn wir dem Wasser Salze zugeben, steigt der Salzgehalt auch dementsprechend an. Darüber hinaus erzeugt die dabei gleichzeitig auftretende Ergänzung von Natrium und Chlorid unter Umständen ein Ungleichgewicht zwischen genau diesen beiden Hauptinhaltsstoffen. Natrium und Chlorid (NaCl, als Festsubstanz Kochsalz genannt) stellen bei Weitem den Hauptanteil an der Meerwasserkomposition, gefolgt von Schwefel (als Sulfat), Magnesium, Calcium, Kalium, Brom, Strontium, Bor und Fluor als letzte per Definition nennenswerte Hauptkomponente.

Wenn das Aquarium Carbonate (messbar als Karbonathärte/Alkalinität) und Calcium unterschiedlich stark, d.h. in einem nicht calcifikationstypischen Modus verbraucht, ergibt es sich, dass wir Natrium und Chlorid nicht in dem Verhältnis zugeben können, wie es im natürlichen Meerwasser vorliegt. Im Zuge der Calcifikation, z.B. durch Steinkorallen, werden im Kalkbildungsprozess nach der chemischen Summenformel $\text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3$ äquivalente Stoffmengen Calcium und Carbonat benötigt, um Kalk zu bilden. D.h., es müssen der gezeigten chemischen Reaktionsfolge entsprechend auch äquivalente Anteile an Calciumchlorid-2-Hydrat und Natriumhydrogencarbonat dosiert werden, damit das stöchiometrische Verhältnis zwischen Calcium und Carbonat, und gleichzeitig auch an Natrium und Chlorid erhalten bleibt. Für eine Standard-Rezeptur sind dies 73,5 g/L Calciumchlorid-2 Hydrat und 84 g/L Natriumhydrogencarbonat, die in exakt gleichen Volumina dem Riffaquarium zugegeben werden müssen, damit sich das Verhältnis zwischen Natrium und Chlorid im Meerwasser nicht verändert.

Viele Riffaquarien folgen jedoch nicht dieser idealisierten calcifikationstypischen Stöchiometrie, sondern verbrauchen ungleiche Mengen an Calcium und Carbonat, nicht zuletzt auch deshalb, weil der Carbonatgehalt über den Gasaustausch mit der Raumluft über Kohlendioxid, CO_2 , und dem pH-abhängigen Carbonatgleichgewicht im Meerwasser extern beeinflusst ist, der Calciumgehalt aber nicht. Dadurch wird also in der praktischen Konsequenz das Verhältnis zwischen Natrium und Chlorid gestört, weil die genannten Lösungen nicht in gleicher Dosis zugeführt werden können. Ansonsten würde es zu Ungleichgewichten im Kalkhaushalt kommen.

Die Veränderung im Natrium und Chloridgehalt in Anlehnung an die hier besprochene Methode zur Kalkhaushalt-Stabilisierung wird im Allgemeinen am häufigsten und vordergründigsten im Rahmen

der Ionenbalance betrachtet und diskutiert, spielt aber praktisch gesehen gar nicht die vordergründige Rolle. Denn, der Anteil an Natrium und Chlorid an der Hauptzusammensetzung des Meerwassers ist derart groß, dass es für die Organismen mariner Lebensräume im Meerwasseraquarium keinen signifikanten Unterschied macht, ob a) der Natrium und Chloridgehalt durch diese Art der Kalkhaushalt-Stabilisierung anteilig zur Salinität steigt, und b) ob sich die beiden Hauptkomponenten Natrium und Chlorid vom natürlichen Verhältnis relativ zueinander verändern.

Das weitaus größere und zeitlich viel schneller auftretende Problem ist der in Folge des Na/Cl-Eintrags auftretende anteilige Verlust der übrigen Meerwasserinhaltsstoffe (wie oben genannt Sulfat, ggf. Magnesium, Kalium, Brom, Strontium, Bor, Fluor) relativ zur Salinität. Der Hintergrund ist der, dass, wie eingangs festgestellt, die Salinität durch die Zufuhr der genannten Salze ansteigt und diese folglich mit der Zeit auch ausgeglichen werden muss (Entnahme von Meerwasser und Ersatz durch Süßwasser). Der Ausgleich der Salinität entzieht dem Meerwasser natürlich nicht nur selektiv Natrium und Chlorid, sondern alle Meerwasserinhaltsstoffe in der jeweils vorliegenden homogenen Verteilung. Die einseitige NaCl Zufuhr bedingt also, dass auf Dauer der Anteil z.B. an verfügbarem Kalium, Brom oder Bor in Relation zu Natrium und Chlorid über die Entnahme von Meerwasser sinkt. Das Meerwasser verarmt also sukzessive an allen Meerwasserinhaltsstoffen und entwickelt sich tendenziell immer weiter in Richtung einer von NaCl/Kochsalz dominierten Lösung. Dies erzeugt dann im Laufe der Zeit nicht nur messbare Mangelzustände in der Laboranalyse, sondern zeigt sich sichtbar in Mangelsymptomen im Riffaquarium, durch eine auf ein kritisches Maß gesunkene Verfügbarkeit von z.B. Kalium oder Bor.

Um der geschilderten Verarmung des Meerwassers an wichtigen Inhaltsstoffen vorzubeugen, sieht die Originalpublikation von H-W BALLING nicht nur eine exakt gleiche Dosierung der Calcium und KH-Lösung vor (stöchiometrischer Verbrauch), sondern auch eine NaCl-freie Meersalzmischung (ein sog. Mineralsalz) zur Wiederherstellung der Ionenbalance in den Bereichen Sulfat, Kalium, etc. Da diese Mineralsalze i.d.R. auch carbonathaltig sind und sich sehr schlecht in Wasser lösen, wurde dieses Salz i.d.R. separat über einen Wasserwechsel einem größeren Wasservolumen hinzugeführt. Der jeweilige Anteil an Mineralsalz hat dann einen rechnerischen Anteil an Meersalz ersetzt, wobei gleichzeitig die Salinität angepasst wurde. Im Prinzip ist diese Vorgehensweise veraltet, aber durchaus noch in der Praxis anzutreffen. Eine allgemeine Problematik taucht bei dieser Original Anwendung dennoch auf: weil die meisten Riffaquarien keinem calcifikationstypischen Calcium- und KH-Verbrauch folgen, die Berechnung der Mineralsalzmenge jedoch genau diesen Modus vorsieht, stellt sich die Frage nach der Bezugsgröße für den Ionenausgleich. Entweder wird das Mineralsalz an Natriumhydrogencarbonat, also an die Natrium-Anreicherung gekoppelt, oder an die Chlorid-Anreicherung durch das Calciumchlorid-2-Hydrat. Weil i.d.R. der Chlorid-Eintrag über die Calciumzufuhr höher ist als der Natriumeintrag, wird i.d.R. ein Chlorid-Ausgleich durchgeführt.

Da der Wasserwechsel in den 1990er und 2000er Jahren ohnehin üblich war, damals zumeist noch in höherer Intensität von 10% bis zu 15% pro Woche, sind die meisten Anwender dazu übergegangen, auf den Mineralsalz-Ausgleich gänzlich zu verzichten und die Ionendisbalance stattdessen mit dem sowieso erfolgten wöchentlichen Wasserwechsel zu kompensieren.

Langfristig ist dazu ein Wasserwechsel von ca. 10% pro Woche ausreichend, was jedoch auch von der Kalkbindungsrate des Riffaquariums abhängt. Ein stark wachsendes SPS-Riffaquarium sollte diesbezüglich also regelmäßig laboranalytisch überwacht werden.

In der Tat ist dies bis heute auch in der riffaquaristischen Praxis eine gängige Methode, die dem Wasserwechsel funktionellen Spielraum und eine relevante Bedeutung zukommen lässt. Ohne diesen regelmäßigen Wasserwechsel würde ein derart betriebenes Riffaquarium langfristig Mangelsituationen v.a. in den physiologisch wichtigen Bereichen Kalium und Bor erfahren. Beides sind wichtige Nährelemente, die sich in kritischen Mangelsituationen für die Korallenpflege extrem ungünstig auswirken können. Ein Vorteil des Wasserwechsels ist in diesem Zusammenhang auch, dass Verschiebungen zwischen Natrium und Chlorid bei ungleicher Dosierung von Calcium- und Carbonatlösung leichter kontrollierbar bleiben, sofern diese überhaupt praktisch relevant werden. Mittlerweile ist es möglich, einzelne Parameter in Laboranalysen zu prüfen und in Form von Einzeldosierungen zuzuführen, z.B. für Kalium, Brom, Strontium und Bor. Es zeichnet sich derzeit schon ab, dass sich diese Vorgehensweise in der nächsten Zeit zu der bevorzugten gängigen Praxis entwickelt und den Routine Wasserwechsel dauerhaft ablöst. Das SANGOKAI BALANCE System mit den sango chem-individual Produkten für Brom, Bor, Strontium und Kalium ergänzt die wichtigsten Meerwasserkomponenten in Anlehnung an Labormesswerte gezielt und v.a. exakt berechnet.

Heute sind kommerzielle Anwendungen wie das SANGOKAI BALANCE-System mit den sango chem-balance Produkten darauf spezialisiert, exakt berechnete Mengen an Magnesium, Kalium, Brom, Strontium, Bor und Fluor sowie weitere Spurenstoffe im Rahmen einer Supplement-basierten Methode zuzuführen, allerdings nicht in Form des umständlichen Mineralsalzes, sondern als flüssige Mehrkomponenten-Lösungen. Ziel einer solchen modernen Applikation, neben der primären Aufgabe der Calcium- und Carbonatdosierung, ist jedoch nicht, nur eine Ionendisbalance als sekundäre Folge dieser Kalkhaushalt-Stabilisierung zu verhindern, sondern weiter gedacht, diese Notwendigkeit praktisch zu nutzen, um das Meerwasser mit einer Vielzahl an Meerwasserinhaltsstoffen nachhaltig und automatisiert zu stabilisieren. Dadurch wird der Wasserwechsel zur Aufrechterhaltung der Meerwasserkomposition nicht nur überflüssig, sondern es wird ganz bewusst verhindert, dass der Wasserwechsel durch eine schlecht konzipierte Meersalzmischung zu einer ungewollten negativen Veränderung eines optimalen Beckenwassers führt. Der Wasserwechsel stellt hier also oftmals vielmehr ein Risiko als eine nützliche Routinepraxis dar.

Das Meerwasser wird durch solche komplexen Methoden also in einer optimalen Ionenbalance stabilisiert und gleichzeitig können mögliche ungünstige Einflüsse von Aussen minimiert werden. Sollten sich mit der Zeit z.B. über einen Verbrauch oder durch chemische Veränderungen einzelne Messwerte trotzdem verringern, können diese gezielt angeglichen werden, ohne dass dabei die Meerwasserkomposition kritisch beeinflusst wird.

Es ist an dieser Stelle aber wichtig zu betonen, dass die laborbasierte Untersuchung des Meerwassers dabei einen wichtigen Stellenwert in der Gegenkontrolle einnimmt. Dieser Bereich ist zu einer wichtigen Stütze in der Riffaquaristik geworden und löst ganz offensichtlich den Wasserwechsel in seiner praktisch stützenden Funktion zunehmend ab.

SANGOKAI Empfehlung: Liegt eine ausgeprägte Ionendisbalance in den Hauptparametern Natrium, Chlorid und Sulfat vor, die das Riffaquarium akut belastet, ist es die schnellste und wirkungsvollste Möglichkeit, mit einer hochwertigen Meersalzmischung in 3-4 aufeinanderfolgenden Wasserwechseln mit einem Wechselvolumen von 15-20% im Abstand von zwei bis drei Tagen eine grundlegende Ausbalancierung zu erreichen. Es gilt jedoch auch zu berücksichtigen, dass Riffaquarien bei auffälligen Wasserwerten, die auf eine Ionendisbalance hinweisen, gut beobachtet und korrekt eingeschätzt werden müssen, weil nicht jede Ionendisbalance auf dem Papier gleich eine negative Schädigung im Aquarium hervorruft. Besteht keine akute Gefährdung, ist es sinnvoll, über einen Zeitraum von 10 Wochen einen wöchentlichen Wasserwechsel mit 10% Wechselvolumen durchzuführen. Dabei reversieren sich die Wasserwerte etwas langsamer und für das Ökosystem möglicherweise schonender. In beiden Fällen sollte im Anschluss an die Wasserwechselphase eine weitere Meerwasseranalyse (Folgeanalyse) darüber aufklären, ob und wie sich die Wasserwerte in Richtung einer günstigen Ionenbalance verändert haben. Gleichzeitig muss immer auch eine Beratung erfolgen, die auch die Ursache für die bestehende Ionendisbalance ergründet und Lösungsmöglichkeiten erarbeitet, mit deren Hilfe ein vergleichbarer Zustand nachhaltig verhindert werden kann.

Für individuelle Defizite in nur wenigen Parametern bieten sich Einzeldosierungen besser an, v.a. weil sie schnell und effektiv wirken und zudem auch kostengünstiger sind als mehrfache Wasserwechsel. Hierbei gilt es zu beachten, dass die Salinität als Bezugspunkt für jeden Einzelmesswert zuerst korrekt eingestellt wird.

Eine etablierte Ionenbalance sollte möglichst konstant erhalten bleiben. Eine Gefahr stellt hierbei die Supplement-basierte Kalkhaushalt-Stabilisierung mit entsprechenden Calcium- und Carbonatsalzen dar, die mitunter gravierend (d.h. bei hohem Kalkverbrauch) die Verfügbarkeit von Meerwasserinhaltsstoffen wie Kalium, Brom, Bor oder Strontium verringern können. Hier stellt nach wie vor ein Routine-Wasserwechsel von ca. 10% pro Woche eine praktische Möglichkeit dar, einen solchen Mangel zu verhindern, oder dessen Entstehung stark zu verlangsamen. Durch die modernen analytischen Möglichkeiten ist eine gezielte Einzeldosierung von Inhaltsstoffen möglich, die schneller wirken und kostengünstiger sind als die regelmäßigen Wasserwechsel.

Kommerzielle Lösungen zur Kalkhaushalt-Stabilisierung wie das SANGOKAI BALANCE System kompensieren die Veränderungen in der Meerwasserzusammensetzung durch die Kalkdosierung nicht nur, sondern führen dem Beckenwasser automatisiert verschiedene Elemente und Inhaltsstoffe in geeigneter Form und angepasster Menge zu, wodurch das Meerwasser ein sehr hohes Qualitätsniveau erreicht. Hier stellt der Wasserwechsel ein potentiell Risiko dar, weil dieser durch Abweichungen in der geeigneten Stoffverteilung in mangelhaften Meersalzmischungen die optimierte Meerwasserkomposition verschlechtern kann. Wasserwechsel sind in solchen Systemen also auch kritisch zu betrachten.

Die verschiedenen, auf die Meerwasseranalytik spezialisierten Laboratorien in Deutschland bieten uns moderne und zielführende Möglichkeiten an, unser Wasser umfangreich und zuverlässig zu

kontrollieren (vgl. dazu auch das Kapitel → [Wasseranalytik](#)). Korrekte und zielführende Bewertungen von Laboranalysen durch geschultes Personal ist mehr denn je wichtig, um v.a. in Problemfällen die richtigen praktischen Entscheidungen zu treffen. Diese können dann allerdings sehr schnell und effektiv wirken.

Dadurch verliert der Wasserwechsel als Routinemaßnahme in der Riffaquaristik zunehmend an Bedeutung. Das heißt jedoch nicht, dass grundsätzlich kein Wasserwechsel mehr durchgeführt werden muss oder soll. Nach wie vor müssen manche Riffaquarien in bestimmten Zonen, z.B. im Filterbecken von Mulm oder Ablagerungen befreit werden, so dass ein Wasseraustausch nach dem Absaugen notwendig wird. Auch die eingangs im Kapitel betrachteten akuten Gefährdungen durch äußere Faktoren wie z.B. Schwermetalleinwirkungen (Metallkorrosion), Rücklösung von potentiellen Schadstoffen aus künstlichen Gestaltungsmaterialien, akuter Schadstoffeintrag durch unerwartete Störungen (z.B. Stromausfall), sowie die Anwendung von nicht ionenbalanzierten Kalkhaushalt-Stabilisierungen machen einen regelmässigen oder auch spontanen Wasserwechsel wie erörtert notwendig. Hier gelten dann die hohen Ansprüche an die Ausgangswasserqualität und an eine sehr gute Meersalzmischung.

Wasserwechsel-Empfehlungen für den Einsteiger und zum Beckenneustart

Wie im bisherigen Verlauf dieses Kapitels erörtert wurde, übernimmt der Wasserwechsel verschiedene Funktionen und kann daher auch ganz individuell je nach Bedarf angewendet werden. Nichtsdestotrotz sind insbesondere Einsteiger mit der Vielzahl an Informationen und der individuellen Beurteilung und Entscheidungsfindung schnell überfordert, so dass es sinnvoll ist, an dieser Stelle eine explizite Empfehlung für einen routinemässigen Wasserwechsel auszusprechen. Dadurch können mögliche Problemfälle, z.B. hinsichtlich einer Anreicherung von Schadstoffen aus Gestaltungsmaterialien, oder Schwankungen in der Meerwasserzusammensetzung durch eine noch nicht routinierte Kalkhaushalt-Stabilisierung mit möglicher Ionendisbalance vermieden oder zumindest in ihren negativen Ausprägung minimiert werden.

Ein 10%iger Wasserwechsel pro Woche mit sauberem Ausgangswasser und einem qualitativ hochwertigen, rein anorganischen Meersalz mit bekannter und laborüberprüfter Qualität, ist dem Einsteiger in die Riffaquaristik für mindestens das erste Jahr empfohlen. Während dieser Zeit können die praktischen Fähigkeiten bei der Herstellung von sauberem Ausgangswasser (Umkehr-Osmose, Harzfilter/Ionenaustauscher), dem Mischen und Herstellen von künstlichem Meerwasser mit einer optimalen Salinität, die Überprüfung der Salinität und das Prozedere beim Wasserwechsel ausreichend lange erlernt und automatisiert werden. Über regelmäßige Laboranalysen (ICP-OES) kann die Meerwasserqualität dann auch überwacht und kontrolliert werden.

Für den Beckenneustart spielt das verwendete Gestaltungsmaterial und auch weitere Materialien, die z.B. zum Kleben von Gestaltungselemente verwendet werden (Zement/Mörtel), eine wichtige Rolle bei der Entscheidung für einen routinemässigen Wasserwechsel. Eine Rücklösung von z.B. Schwermetallen wie Zink, Kupfer, Vanadium oder Molybdän, aber auch von potentiellen Schadstoffen wie Lithium oder Aluminium, können innerhalb der ersten Wochen und Monate einen

Wasserwechsel zwingend notwendig machen. Es ist also auch hier ratsam, nicht nur für den Einsteiger, mindestens im ersten halben Jahr nach dem Beckenstart mit einem Routinewasserwechsel von 10%, bei Bedarf auch 15% pro Woche zu arbeiten, um solche Rücklösungen zu kompensieren, so lange die Gestaltungsmaterialien noch signifikante Mengen an Stoffen an das Wasser abgeben, was über Laboranalysen kontrolliert und beobachtet werden kann. Je nach → [Gesamtdekorationsoberfläche](#) ist ein Routinewasserwechsel unterschiedlich intensiv und unterschiedlich lange notwendig. Mit dem Start des Riffaquariums und dem Einbringen der gesamten Gestaltung sollte der Wasserwechsel von Beginn an im wöchentlichen Turnus durchgeführt werden. Diese Empfehlung gilt insbesondere bei Verwendung von künstlichen Gestaltungsmaterialien (verschiedene Keramiken und andere Materialien natürlichen oder unnatürlichen Ursprungs).

-X-

-Y-

-Z-

Zeolithfilterung → [Filterung und Filterkonzepte](#)