

Guide de la pratique des aquariums récifaux

© Jörg Kokott (Auteur)

Environnements d'éclairage expérimentaux (modifications du spectre et de l'intensité)

Dans les explications précédentes sur le sujet de la lumière et de l'éclairage des aquariums récifaux, la nécessité d'un environnement d'éclairage sain et non stressant a été expliquée, en particulier pour les débutants. Les débutants avec peu d'expérience en aquarium devraient absolument s'abstenir de créer des environnements d'éclairage agressifs et intensifs en radiation, et tous les assistants impliqués dans le processus de consultation devraient aider le nouveau venu à utiliser un cadre d'éclairage initialement sain. Un gros problème se pose surtout lorsque les débutants utilisent les paramètres d'éclairage individuels des aquariophiles expérimentés des récifs comme modèle et sont incapables de contrôler, de comprendre techniquement et de comprendre une lumière très exigeante.

Cependant, les aquariums récifaux nouvellement démarrés et nouvellement déplacés ne doivent être éclairés qu'avec beaucoup de soin afin de ne pas surcharger le système d'aquarium d'instabilités. Surtout après un déménagement de bac ou une refonte de l'aquarium récifal avec remplacement de l'éclairage.

Avec le matériel de conception, il est important de réduire considérablement l'intensité du rayonnement et de réduire d'abord la lumière à ondes courtes en violet (390-410 nm) et en bleu à ondes courtes (410-420 nm), même si les coraux sont exposés ou acclimatés à la même lumière. Tous les changements biochimiques et écologiques, accompagnés de changements parfois forts de la teneur en éléments nutritifs et éventuellement aussi en polluants, sont trop stressants pour les coraux acclimatés à une lumière agressive. Dans presque tous les cas, les coraux d'un aquarium récifal relocalisé ou redessiné émettront des zooxanthelles avec le même éclairage puissant (spectre, intensité, durée d'illumination), c'est-à-dire que les dinoflagellés peuvent se multiplier très rapidement, mais aussi de violentes proliférations de plancton ou de cyanobactéries, des coraux peuvent blanchir et être gravement endommagés par un stress radioactif aigu, jusqu'à la perte irréversible des tissus et la mort. Afin de donner aux coraux suffisamment de temps pour s'habituer au nouvel environnement, l'intensité du rayonnement (c'est-à-dire la puissance de la lampe) doit être considérablement réduite. Une réduction de l'intensité de rayonnement précédemment existante de 40 à 50% est ici recommandée afin de

ne pas surcharger les coraux dans leur phase d'acclimatation de 3-4 semaines dans le nouveau bac ou dans le bac déplacé.

Les environnements lumineux expérimentaux et les modifications du spectre lumineux ainsi que l'intensité lumineuse présentés ci-dessous ne conviennent donc pas aux aquariums nouvellement démarrés, ainsi qu'aux aquariums récifaux qui viennent de bouger ou qui ont été massivement convertis. Même les débutants devraient d'abord s'en éloigner dans la pratique, mais devraient néanmoins se sentir encouragés à ce stade à lire les informations discutées ici en paix et à les apprendre étape par étape.

Historique de l'environnement d'éclairage de 1980 à aujourd'hui

Dans l'environnement naturel des récifs coralliens tropicaux, le soleil est très haut à son zénith et a donc un angle d'incidence favorable dans l'eau de mer généralement très claire et transparente et, dans des conditions optimales, peut pénétrer dans une profondeur d'eau allant jusqu'à 100 m. Cette plage de profondeur allant de la surface à environ 100 m est définie en biologie marine comme une zone photique, dans laquelle peuvent vivre des organismes induisant la photosynthèse tels que les plantes, les algues et les bactéries phototrophes (qui se nourrissent de la lumière). La zone photique se jette dans la zone aphotique (sombre), dans laquelle aucune lumière naturelle du soleil ne peut pénétrer. En fonction du contenu trouble et de la présence d'organismes planctoniques, cependant, la lumière du soleil peut également être fortement affaiblie dans les régions proches de la surface, à la fois par réflexion et diffusion et par absorption lumineuse des pigments photosynthétiques du phytoplancton. En conséquence, un environnement de rayonnement uniforme ne peut jamais être représenté dans les récifs coralliens, ni pour une région géographique spécifique ni pendant un certain temps, car des différences saisonnières, par exemple dans le contenu en plancton ou en turbidité, se produisent également dans les tropiques, par exemple influencées par l'évolution des courants océaniques et les conditions météorologiques changeantes.

En général, cependant, l'intensité de rayonnement dans les récifs coralliens tropicaux est très élevée lorsque le ciel est clair, souvent bien au-delà de 1000 μmol de photons par m^2 et par seconde (densité de flux de photons, PFD, souvent appelé «PAR») sur la surface de l'eau et dans les premiers mètres d'eau avec une eau cristalline. Un cas particulièrement intense se produit lorsque le sommet récifal des récifs proches de la côte se retrouve partiellement ou complètement à sec pendant quelques heures lors de marées basses extrêmes et que les habitants du sommet récifal sont exposés à toute la force des rayons du soleil, y compris les UV-B et les UV.

Dans la littérature plus ancienne sur les aquariums d'eau de mer des années 1980 et 1990, dans laquelle les lampes aux halogénures métalliques (HQI) étaient généralement présentées comme le type d'éclairage le plus puissant pour un aquarium d'eau de mer, de tels cas extrêmes étaient souvent cités afin de montrer clairement que la lampe pour aquariums d'eau de mer doit être très puissante afin de se rapprocher le plus possible de l'environnement de lumière naturelle. À cette époque, les relations spectrales au-dessus et sous l'eau ont été discutées, mais les options de mesure en dehors des recherches scientifiques n'étaient pas possibles dans les magasins d'aquarium spécialisés, et certainement pas dans les ménages privés. À cette époque, la combinaison d'ampoules lumière du jour HQI et de tubes bleus T8 était à la pointe de la technologie en ce qui concerne le soin des coraux durs qui avaient « besoin de lumière », c'est-à-dire des techniques d'éclairage empruntées à des applications industrielles à très forte intensité de rayonnement, mais même pour les aquariums d'eau salée le spectre n'a pas été spécifiquement optimisé. Les intensités de rayonnement créées avec HQI et des tubes bleus supplémentaires et les spectres lumineux générés dans le processus peuvent être classés comme un environnement lumineux sain dans le contexte présenté ici, car la proportion de rayonnement bleu était relativement plus faible par rapport aux sources lumineuses d'aquarium modernes d'aujourd'hui et la lumière violette à ondes très courtes, proche des UV était généralement absente. De plus, une lampe HQI était capable de générer une intensité ponctuelle très élevée dans le cône de rayonnement central, mais l'intensité à l'extérieur du centre du cône lumineux est rapidement devenue nettement plus faible. Les composants de rayonnement tels que les UV-A et les UV-B très agressifs n'ont été possibles qu'avec la modification des lampes HQI (suppression de l'écran de protection UV), ce qui, cependant, conduit généralement toujours à de graves brûlures en raison de la très forte intensité, en particulier dans la gamme UV. Néanmoins – et c'est pourquoi le lien est discuté en détail dans cette considération historique – nous avons jusqu'à aujourd'hui, surtout en Europe et surtout en Allemagne, une certaine tendance à utiliser des intensités lumineuses très élevées dans les aquariums d'eau de mer. Cependant, les spectres lumineux dont nous disposons étaient moins à ondes courtes que ce que nous pouvons générer aujourd'hui avec des lampes modernes. Il faut déjà prévoir que le spectre lumineux et l'intensité lumineuse ne sont pas deux paramètres d'éclairage qui peuvent être discutés complètement séparément l'un de l'autre, complétés par la durée d'illumination, qui est largement traitée dans un thème distinct.

Avec le développement ultérieur dans le domaine de l'éclairage T5 (introduit en Allemagne par Oliver Pritzel, ATI-Aquaristik, Hamm), il était alors possible dans les années 2000, en raison du plus petit diamètre du tube (5/8 pouce = 16 mm),

d'amener des tubes sur une certaine zone de l'aquarium que ce qui était possible avec les tubes T8 presque deux fois plus épais (8/8 de pouce = 25,4 mm). Dans les différents tubes T5 disponibles, non seulement le flux lumineux et donc le rendement lumineux était plus élevé que dans les tubes T8, mais aussi beaucoup plus de composants spectraux peuvent être combinés, même dans la gamme violette et actinique à ondes courtes, de sorte que les premiers problèmes de stress de rayonnement se posent lors du passage de HQI / T8 à un éclairage T5 plat et uniformément puissant, en particulier dans les aquariums d'eau de mer plus anciens qui n'avaient que des HQI et / ou la lumière T8 pendant des années. Ces états de stress de rayonnement étaient principalement causés par le fait que la lumière elle-même était plus forte et plus exigeante spectralement en raison des tubes T5 placés très près de la surface de l'eau. Cependant, il y avait aussi un effet secondaire, qui était dû au développement ultérieur de la technologie générale des flux et des filtres avec des appareils haute performance, ce qui était également évident dans les populations de corail plus élevées dans les aquariums (disponibles dans les fermes coralliennes) et dans le même temps, les populations de poissons souvent plus faibles à cette époque ont provoqué les premières situations de carence en nutriments, ce qui a encore intensifié un état de stress radiologique.

Le passage aux premières lampes LED vers 2010, avec des spectres très bleus, et également une lumière extrêmement mal distribuée à cette époque avec un éclairage ponctuel, a fait que le problème déjà décrit en Allemagne a eu un impact massif auquel la plupart des aquariophiles étaient habitués. Avec les LED ponctuelles et les spectres agressifs, en particulier dans la gamme bleue et violette, les premiers échecs totaux se sont produits dans la population corallienne, de sorte que les premières voix se sont rapidement fait entendre que la nouvelle technologie LED a enfoncé le clou du cercueil et a répandu l'opinion aussi longtemps. Le soin à terme des coraux, en particulier des coraux durs, n'est pas possible avec les LED. Seules les améliorations techniques dans la diffusion et la distribution de la lumière, en partie encore dans l'application hybride avec les tubes T5 familiers et bien connus, ont ensuite apporté les premiers succès relativement rapidement, également dans les soins à long terme et l'élevage de coraux, à condition qu'il a été entendu que les composants de rayonnement à ondes courtes en combinaison avec la charge bleue générale dans tout le spectre des lampes à LED ne peuvent être utilisés que de manière contrôlée et avec modération.

Avec l'état actuel des choses, il y a toujours le problème que la plupart des aquariophiles utilisent leurs lampes LED à pleine charge, d'abord parce que dans l'histoire plus ancienne des aquariums d'eau salée, ils y étaient toujours habitués (même sous T5, qui n'avait généralement pas de ballasts contrôlables et donc ne pouvait être allumé et éteint), mais aussi parce que c'est une

satisfaction mentale quand on peut utiliser le maximum de la puissance de la lampe, parce que la lampe est là. Le deuxième aspect est très important à ce stade, car il laisse de nombreux aquariophiles insatisfaits lorsque leur lampe ne fonctionne qu'à 70% de puissance, et il y a un stimulus pour pousser le régulateur de puissance encore plus loin, ce qui, cependant, est basé sur la haute performance. Les lampes à LED modernes empêchent rapidement les coraux de contrôler et de neutraliser le stress des rayonnements. Il est donc essentiel aujourd'hui de s'assurer que non seulement le spectre est utilisé de manière contrôlée, mais aussi qu'il est entendu que des intensités lumineuses élevées combinées à des spectres agressifs à ondes courtes sont contre-productives dans la plupart des cas. Dans la suite de ce chapitre, les liens avec ce sujet sont traités de manière approfondie et expliqués en détail.

Environnements d'éclairage expérimentaux en tant que modifications esthétiques individuelles

Tout d'abord, dans cette introduction au sujet des environnements lumineux expérimentaux, il convient d'expliquer en arrière-plan pourquoi l'éclairage de nombreux aquariophiles récifaux est défini, par exemple, à intensité de rayonnement et délibérément agressif à ondes courtes avec un contenu énergétique élevé, ce qui devrait surprendre le débutant quand il s'agit en fait d'un aquarium récifal pour maintenir des soins sains et réussis pendant longtemps.

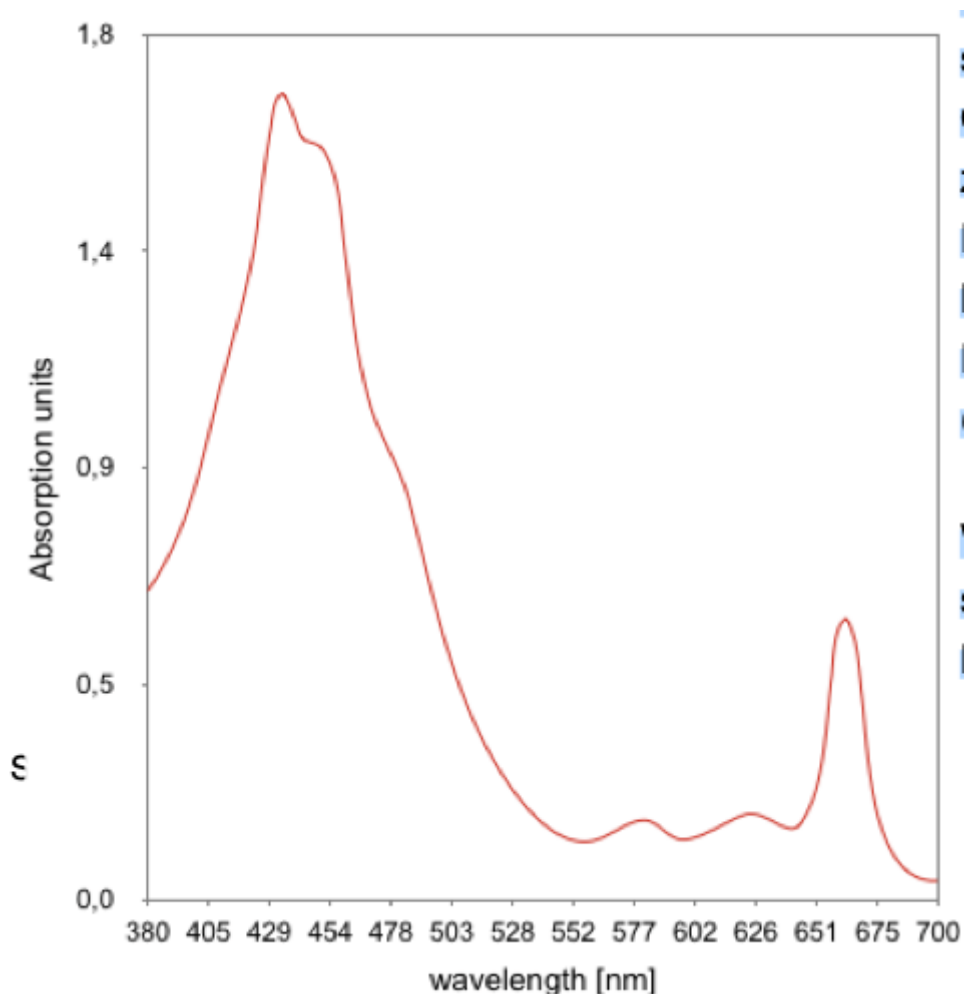
En aquariophilie, aquariums d'eau douce et d'eau salée, la lumière joue principalement un rôle central dans l'apport d'énergie pour la photosynthèse, des plantes en eau douce, des coraux zooxanthellés et des algues calcaires rouges désirées dans l'eau de mer. Les coraux sont des animaux qui ne peuvent pas fonctionner sans source d'énergie même avec la lumière. Cependant, la coexistence avec les algues symbiotiques unicellulaires (zooxanthelles) dans le tissu corallien crée un lien fonctionnel avec la vie végétale, qui utilise de manière photosynthétique le contenu énergétique de la lumière visible pour convertir cette énergie en processus de croissance, de reproduction et de régénération (par exemple après une blessure). En aquariophilie, les coraux symbiotiques peuvent certainement être considérés comme des plantes en termes de soins, même s'ils sont des animaux.

Notre objectif premier est donc de fournir une lumière pour l'aquarium d'eau salée qui puisse être utilisée de manière optimale par les coraux symbiotiques, mais aussi par les algues rouges calcaires, ce qui signifie tout simplement que l'énergie lumineuse peut être convertie en croissance aussi complètement que possible. Une forte croissance des coraux, équivalente à la croissance des plantes dans les aquariums d'eau douce, est le principal facteur écologique clé

du déplacement des algues indésirables par la compétition pour l'espace et les nutriments.

L'ensemble pigmentaire spécial des zooxanthelles nous dit comment la lumière doit idéalement être composée pour être efficace pour la photosynthèse des algues symbiotiques. Les zooxanthelles des coraux et les espèces de *Tridacna* (palourdes géantes) appartiennent aux dinoflagellés, qui, en plus de la chlorophylle A et C, contiennent un caroténoïde typique appelé pyridine. La chlorophylle et la pyridine se combinent dans des complexes dits PCP (complexes pyridine-chlorophylle-protéine) et forment ensemble la partie principale du pigment de photosynthèse situé dans les complexes collecteurs de lumière dans lesquels la lumière utilisée pour la photosynthèse est capturée (absorbée).

Alors que les chlorophylles absorbent généralement à la fois la lumière bleue (environ 430 nm) et rouge (environ 670 nm) et reflète presque complètement la lumière verte et jaune (les plantes à forte teneur en chlorophylle sont donc vertes), la pyridine présente une forte absorption dans la gamme de longueurs d'onde bleu-vert et vert entre 470-530 nm (qui, en combinaison avec la chlorophylle dans les zooxanthelles, reflète une couleur jaune brunâtre).



Comparez avec cela le spectre d'absorption (extraction des zooxanthelles dans l'acétone d'*Acropora millepora*, J. Kokott).

Au sein des cellules (in vivo) et dans les complexes PCP, cependant, il existe de légers écarts dans les maxima d'absorption mesurables par rapport aux spectres d'absorption qui peuvent être mesurés dans des extraits en dehors des cellules vivantes (in vitro). En fonction de la structure protéique et de la distribution des pigments, la cellule photosynthétique peut s'ajuster à certaines conditions environnementales spectrales, ce que l'on appelle «adaptation chromatique».

En adaptant le contenu et la distribution des différents pigments photosynthétiques, l'utilisabilité de la lumière existante peut être modifiée dans une certaine mesure par les cellules végétales.

Néanmoins, les algues dans les écosystèmes marins en particulier ont évolué pour se spécialiser davantage dans la lumière bleue et bleu-verte, car le rouge est filtré relativement rapidement de l'eau de mer avec l'augmentation de la profondeur de l'eau, tandis que, par exemple, les plantes supérieures (plantes terrestres et aquatiques) également rouges la lumière via les chlorophylles A et B l'utilise très bien. Le rouge joue un rôle photosynthétiquement subordonné dans l'eau de mer car l'absorption du rayonnement bleu est très forte et le rouge est souvent absent. Les pigments rouges spécialisés, appelés phytochromes, qui agissent comme récepteurs et générateurs de signaux dans les cellules des plantes, des algues et des cyanobactéries, jouent un rôle pour les plantes dans leur ensemble (par exemple dans les plantes supérieures pour la germination, la formation des feuilles, etc.), mais également dans les algues marines et les cyanobactéries jouent un rôle important car, en fonction de la quantité de rouge dans la lumière, elles régulent et contrôlent les processus photosynthétiques.

Une forte proportion de rouge dans le spectre lumineux du système phytochrome peut indiquer que les algues / zooxanthelles poussent très près de la surface au sein de la colonne d'eau, c'est-à-dire dans un environnement très riche en radiations pour lequel elle nécessite une adaptation photosynthétique différente de celle d'un autre environnement d'eau plus profonde où l'intensité lumineuse est nettement inférieure. En termes aquariophiles, cela a déjà été formulé comme une hypothèse selon laquelle les coraux dans un environnement lumineux avec une forte proportion de rouge supposent que l'intensité lumineuse est très élevée, c'est-à-dire que la photosynthèse est régulée vers le bas, ce qui, cependant, ne correspond pas nécessairement aux besoins réels des coraux. Il y a de nombreuses années, des recherches en aquarium ont été menées sur les coraux, dont la plupart sont arrivées à la conclusion que les coraux poussent mal sous le rayonnement rouge ou même subissent des dommages. Ce n'est pas pour rien que de nombreux fabricants de lampes se sont éloignés de l'installation de fortes émissions rouges dans leurs lampes LED. Dans le contexte d'environnements lumineux expérimentaux, le

rouge est une gamme de longueurs d'onde potentiellement critique pour nous, avec laquelle nous devons travailler très soigneusement.

Pour favoriser la photosynthèse chez les coraux zooxanthellés, un réglage de lampe est donc approprié qui émet à la fois une lumière bleue dans la gamme de 430-470 nm, mais aussi une lumière bleu-vert avec une longueur d'onde plus longue à 470-500 nm et une lumière verte à 500- max. 530 nm, ce qui est très bien possible aujourd'hui avec des LED cyan et une proportion de LED vertes.

Les tubes T5 présentent généralement un espace dans cette zone cyan et verte, que les lampes LED conçues en conséquence peuvent combler (voir aussi environnement lumineux sain).

Même si nous n'avons théoriquement pas à offrir beaucoup plus que du bleu, du bleu-vert et du vert jusqu'à un maximum de 530 nm en ce qui concerne les exigences spectrales pour une bonne excitation de la photosynthèse des zooxanthelles présentées ici, le manque de vert à ondes longues, jaune et rouge émise par des tubes T5 blancs ou des LED blanches signifie une perte de rendu des couleurs dans le spectre global. Les couleurs de l'aquarium récifal, en particulier les couleurs vertes, jaunes et rouges des poissons, les algues rouges calcaires et autres pigments qui créent une couleur par réflexion de la lumière, seraient sévèrement limitées si le spectre de la lampe était seulement réduit au bleu et au bleu-vert. Mais la perception de la luminosité de l'aquariophile est également altérée car l'œil humain, qui a principalement des récepteurs verts et rouges et moins de récepteurs bleus dans la rétine, ferait apparaître l'aquarium sombre en l'absence de vert, de jaune et de rouge et certains détails seraient peu visible pour le spectateur. En conséquence, nous avons toujours travaillé dans l'aquariophilie avec de la lumière blanche, à laquelle s'ajoute un spectre supplémentaire bleu-lourd (par exemple des tubes bleus ou des LED bleues). Ce n'est qu'avec les LED qu'il est devenu possible de concevoir un spectre de lampe complètement individuel, optimisé pour les aquariums d'eau de mer, grâce à des combinaisons appropriées de différentes LED dans une lampe afin que la lumière soit équilibrée en bleu-lourd et en blanc en même temps. En fonction de la lampe, il existe des options ici, non seulement pour contrôler électroniquement le blanc et le bleu séparément, mais aussi pour ajouter d'autres plages de longueurs d'onde telles que le violet, le vert et le rouge séparément ou pour les éteindre (selon le modèle de lampe) .

Cela se traduit par un large éventail d'options pour la modification individuelle des spectres de la lampe, car certains aquariophiles préfèrent qu'elle soit brillante et semblable à un lagon, tandis que d'autres aquariophiles préfèrent regarder les biotopes en eau profonde, qui semblent plus sombres en raison d'une plus faible proportion de blanc et ne produisent pas de teintes jaunâtres, comme le ferait une source de lumière blanche.

À partir des inconvénients mentionnés d'un spectre lumineux de rayonnement bleu et bleu-vert optimisé uniquement pour la photosynthèse, il est clair que le manque de perception du rayonnement bleu à ondes courtes par l'œil humain est compensé par de nombreux aquariophiles en réglant l'intensité de la lampe aussi haut que possible pour que l'aquarium apparaisse toujours de manière attrayante pour le spectateur. Une telle combinaison d'irradiation exclusivement à ondes courtes, mais en même temps très intensive, conduit rapidement à une surcharge des photosystèmes dans les zooxanthelles (voir le sujet Stress radiologique / stress oxydatif dans ce chapitre) et à des dommages potentiels aux coraux. En règle générale, l'apparition de zooxanthelles expulsées se complètent de dinoflagellés, de cyanobactéries, de carences chroniques en nutriments et éventuellement de déficits permanents en iode et en potassium dans l'eau de mer. L'éclairage bleu doit et ne peut pas être rendu plus visible à l'œil humain en augmentant l'intensité de la lampe de manière incontrôlée, car cela met trop de charge sur les systèmes photo des zooxanthelles et crée potentiellement un stress de rayonnement. Dans la nature un spectre bleu pur n'apparaît que dans des profondeurs d'eau inférieures à 30 m, c'est-à-dire dans une plage de profondeur qui ne peut également être décrite que comme une zone de lumière faible, avec des densités de flux de photons significativement $<250 \mu\text{mol}$ de photons par m^2 par seconde. Cette relation doit être suivie comme règle de base pour les environnements d'éclairage expérimentaux lorsqu'il s'agit d'offrir un rayonnement à ondes courtes, mais en même temps en évitant les intensités de rayonnement élevées. À l'ère actuelle, vous pouvez avoir trop de lumière très rapidement.

Alors que la stimulation de la photosynthèse comme objectif principal de l'éclairage des aquariums a été très largement expliquée jusqu'à présent, la connexion du rayonnement à ondes courtes avec des pigments fluorescents colorés dans les coraux joue également un deuxième rôle dans les aquariums d'eau salée, ce qui est souvent encore plus important pour la plupart des aquariophiles. Des informations détaillées sur ces pigments colorés, leurs propriétés chimiques et leurs éventuelles fonctions biologiques suivront dans un sous-chapitre séparé. À ce stade, il faut s'attendre à ce que de nombreux coraux et anémones développent des couleurs optiquement attrayantes qui, d'un point de vue esthétique, rendent les aquariums marins si spéciaux et attrayants pour le spectateur.

La plupart des pigments de couleur des coraux, appelés chromoprotéines, sont fluorescents et, selon le pigment, réagissent aux stimuli dans la gamme des ondes courtes entre UV-A, violet et bleu profond jusqu'à environ 430 nm, mais aussi aux ondes plus longues par exemple dans la zone verte, produisant par exemple des fluorescences jaunes, oranges et rouges. Ces pigments absorbent le rayonnement fourni et renvoient une lumière fluorescente colorée à ondes plus

longues dans l'environnement. Parce que ce rayonnement de fluorescence n'est pas aussi radieux que le rayonnement de réflexion avec une forte intensité lumineuse, il prend tout son sens dans un environnement de lumière bleue intense lorsque l'aquarium, comme déjà expliqué, apparaît plus sombre à l'œil humain et les fluorescences sont en même temps plus visible.

Des modifications expérimentales du spectre lumineux sont souvent utilisées pour stimuler la production de pigments fluorescents dans les coraux et pour rendre ces fluorescences plus visibles.